



Etablissement Public d'Aménagement Paris - Saclay

6 Boulevard Dubreuil
91 400 ORSAY

**Demande d'autorisation de recherche d'un gite géothermique et
d'ouverture de travaux de forage à l'Albien sur la ZAC du quartier de
l'Ecole polytechnique**

Janvier 2016

Version n°1	Date : 26/01/2016
Maîtrise d'ouvrage : EPA Paris-Saclay	J.SORREAU A.DEMOLLIENS
Maîtrise d'œuvre : IDEX / EGIS	P-A.PICARD
Rédacteur : GEOETHER	M.PRIGENT



SOMMAIRE

	Pages
1.....RESUME NON TECHNIQUE	13
2.....INTRODUCTION AU PROJET.....	17
2.1 ....LE PROJET D'AMENAGEMENT DE PARIS SACLAY	17
2.1.1 L'Établissement Public d'Aménagement Paris-Saclay	17
2.1.2 Les ZAC du Sud Plateau	17
2.1.3 La ZAC du quartier de l'École polytechnique.....	19
2.1.4 Stratégie énergétique du projet d'aménagement - Une mise en œuvre de la transition énergétique	19
2.1.5 Le réseau de chaleur et de froid de Paris Saclay	20
2.2 ....LE RECOURS A LA NAPPE DE L'ALBIEN : UN CHOIX ADAPTE AUX ENJEUX DU TERRITOIRE	21
3.....RENSEIGNEMENTS GENERAUX	22
3.1 ....RENSEIGNEMENTS SUR LE DEMANDEUR	22
3.1.1 L'EPA Paris-Saclay, exploitant du réseau de chaleur	22
3.1.2 Marché CREM.....	22
3.1.3 Acteurs et rôles du projet.....	23
3.1.3.1 TILIA / ALTO INGENIERIE	23
3.1.3.2 GEOTHER	23
3.1.3.3 IDEX Energies / EGIS	23
3.1.3.4 GEOFLUID	24
3.2 ....CAPACITES FINANCIERES DU DEMANDEUR	24
3.3 ....FONCTIONNEMENT GLOBAL DU RESEAU DE CHALEUR ET DE FROID	24
3.4 ....BUDGET DE L'OPERATION RESEAU DE CHALEUR	26
3.4.1 Budget d'investissements	26
3.4.1.1 Montant global des investissements	26
3.4.1.2 Focus sur les investissements associés à la production géothermale	26
3.4.2 Budget prévisionnel d'exploitation	29
3.4.2.1 Budget prévisionnel d'exploitation du réseau de chaleur	29
3.4.2.1 Budget prévisionnel d'exploitation spécifique à la boucle géothermale	29
3.5 ....BILAN ENERGETIQUE ET PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE A HORIZON 2021.....	29
3.6 ....CONTEXTE REGLEMENTAIRE DU PROJET.....	30
3.6.1 Autorisation au titre de la loi sur l'eau – Article L214 du code de l'environnement.....	31
3.6.2 Permis de recherche minier et d'exploitation	31
3.6.3 Demande d'ouverture de travaux miniers	33
4.....DEMANDE D'AUTORISATION DE RECHERCHE D'UN GITE GEOTHERMIQUE A L'ALBIEN	34
4.1 ....LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU PROJET	34
4.2 ....JUSTIFICATION DE LA REALISATION DE FORAGES DANS LA NAPPE DE L'ALBIEN.....	36



4.2.1	Le recours à la nappe de l'Albien comme source d'énergie du futur réseau de chaleur	36
4.2.2	L'intégration d'un forage de secours dans le plan du SEDIF.....	36
4.3	....CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.....	38
4.3.1	Contexte géologique	38
4.3.1.1	Cadre structural	38
4.3.1.2	Géologie du Tertiaire	38
4.3.1.3	Géologie de l'Albien	41
4.3.1.4	Coupe géologique prévisionnelle au droit de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique	41
4.3.1.5	Contexte hydrogéologique	45
4.3.1.6	Ecoulement et pression hydrostatique de l'Albien	45
4.3.1.7	Paramètres hydrodynamiques de l'Albien et débit exploitable	48
4.3.1.8	Température	51
4.3.2	Caractéristiques physico-chimique du fluide	51
4.3.3	Historique de l'exploitation de l'Albien.....	52
4.4	....ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE SECOURS.....	53
4.4.1	Stratégie adoptée par le SEDIF pour son plan d'ultime secours.....	54
4.4.1.1	Ressource en eau	54
4.4.1.2	Transport	54
4.4.2	Intérêt des forages du plateau de Saclay dans la réalisation du plan d'ultime secours.	57
4.4.2.1	Plan d'ultime secours dans le secteur sud	57
4.4.2.2	Utilisation des forages du plateau de Saclay pour l'ultime secours.	57
4.4.3	Principe de raccordement au réseau	59
4.5	....OUVRAGES DE SURFACE : LE RESEAU DE CHALEUR ET DE FROID DE PARIS SACLAY ..	60
4.5.1	Introduction	60
4.5.2	Les besoins énergétiques de la ZAC.....	60
4.5.3	Solution technique pour assurer les besoins de la ZAC	63
4.5.4	Fonctionnement de l'installation	65
4.5.4.1	Fonctionnement installation centralisée	65
4.5.4.2	Fonctionnement des sous-stations d'ilot (SSTI)	66
4.5.4.3	Fonctionnement des sous-stations de parcelle (SSTP)	66
4.6	....DESCRIPTION DE LA BOUCLE GEOTHERMALE	66
4.6.1	Définition de la production géothermale	66
4.6.2	Description des forages	67
4.6.3	Description des locaux enterrés	67
4.6.4	Description de la pompe immergée et des colonnes.....	70
4.6.5	Description de la gestion du réseau géothermal	73
4.6.6	Description de l'échangeur	76
4.6.7	Description du réseau	76
4.6.8	Description de la filtration	77
4.6.9	Implantation des forages.....	77
4.6.9.1	Forage de production	77
4.6.9.2	Forage d'injection	79
4.6.10	Implantation de la centrale	81
4.7	....DESCRIPTION DES LIMITES DES PERIMETRES SOLLICITES	81
4.7.1	Description de l'autorisation de recherche demandée et de sa durée	81
4.7.2	Description du permis d'exploitation envisagé et de sa durée	82



4.8	....MODELISATION HYDROTHERMIQUE - CONSTRUCTION DU MODELE	85
4.8.1	Méthodologie de simulation	85
4.8.2	Domaine simulé	85
4.8.3	Paramètres hydrothermiques du réservoir et condition aux limites	88
4.9	....MODELISATION HYDROTHERMIQUE - RESULTATS DES SIMULATIONS – CUMUL DES INCIDENCES	89
4.9.1	Simulation à débit variable	89
4.9.2	Simulation à débit maximal constant sur l'année	91
4.9.2.1	Impacts mutuels des doublets	91
4.9.3	Simulation avec les deux doublets produisant à 200m ³ /h constamment sur l'année	94
4.10	..SUIVI ET ENTRETIEN DES FORAGES ET DE LA BOUCLE GEOTHERMALE	95
4.10.1	Suivi de l'exploitation	95
4.10.1.1	Suivis périodiques	95
4.10.1.2	Inspections périodiques	97
4.10.2	Entretien des forages	97
4.11	..CONDITIONS D'ARRET DE L'EXPLOITATION DU DOUBLET	98
4.11.1	Procédure d'abandon	98
4.11.2	Coût des travaux d'abandon	98
5	.... DEMANDE D'AUTORISATION D'OUVERTURE DE TRAVAUX A L'ALBIEN	100
5.1	....IMPLANTATION DES FORAGES.....	100
5.2	....ORGANISATION DU CHANTIER	100
5.3	....PHASES DE PREPARATION DU CHANTIER.....	101
5.3.1	Choix du matériel	101
5.3.2	Préparation de la plateforme.....	101
5.4	....FORAGE DES PUIITS - MACHINES DE FORAGES UTILISEES	102
5.4.1	Phase avant puits	102
5.4.2	Phase forage rotary	103
5.5	....COUPE TECHNIQUE PREVISIONNELLE	104
5.5.1	Résumé des travaux	104
5.5.2	Programme de forage / complétion / essais	106
5.6	....PROGRAMME DE DIAGRAPHIES DIFFEREES.....	110
5.7	....ESSAI DE PRODUCTION	110
5.8	....REMISE EN ETAT DU SITE.....	110
5.9	....DUREE ET ECHELONNEMENT DES TRAVAUX	110
6	....ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT	112
6.1	....PRESENTATION DU PROJET	112
6.1.1	Justification du projet	112
6.1.2	Contexte géographique et administratif.....	112
6.1.2.1	Le territoire de Paris-Saclay	112
6.1.2.2	Paysage naturel	113
6.1.2.3	Paysage urbain et infrastructures	113
6.1.3	Contexte climatologique.....	114



6.1.3.1	Températures	114
6.1.3.2	Précipitations	114
6.1.3.3	Vent	115
6.1.4	Plan local d’urbanisme et servitudes	115
6.1.4.1	Plan Local d’Urbanisme de la commune de Palaiseau	118
6.1.4.2	Plan Local d’Urbanisme de Saclay	121
6.1.4.3	Servitudes au droit du site	122
6.2	....ETAT INITIAL DU SITE ET DE SON ENVIRONNEMENT	124
6.2.1	Localisation et description des sites	124
6.2.1.1	Forage de production	124
6.2.1.2	Forage d’injection	126
6.2.2	Habitations et installations situées à proximité des sites	127
6.2.2.1	Site du forage de production	127
6.2.2.2	Site du forage d’injection	128
6.2.2.3	Proximité de sites ICPE	129
6.2.3	Accessibilité des sites de forages.....	130
6.2.3.1	Site du forage de production	130
6.2.3.2	Site du forage d’injection	130
6.2.4	Richesses naturelles	130
6.2.4.1	Milieus secs	130
6.2.4.2	Patrimoine arboré	130
6.2.4.3	Terres agricoles	133
6.2.4.4	Milieus anthropiques de l’Ecole Polytechnique et des nouveaux centres	133
6.2.4.5	ZNIEFF	133
6.2.4.6	Sites NATURA 2000	136
6.2.4.7	Zones humides	138
6.2.4.8	Faune	142
6.2.4.9	Flore	144
6.2.4.10	Parcs naturels	146
6.2.4.11	Réserves naturelles	146
6.2.4.12	Espace Naturel sensible	146
6.2.4.13	Sites inscrits ou classés	146
6.2.4.14	Conclusion de l’étude sur les richesses naturelles	147
6.2.5	Patrimoine culturel	147
6.2.6	Qualité du sol.....	148
6.2.6.1	Géotechnique	148
6.2.6.2	Cavités souterraines	149
6.2.6.3	Pollution des sols	149
6.2.7	Qualité de l’air	149
6.2.7.1	Réglementation	149
6.2.7.2	Qualité de l’air en Ile-de-France	150
6.2.7.3	Qualité de l’air dans la zone d’étude	150
6.2.8	Qualité de la ressource en eau	151
6.2.8.1	Les eaux superficielles	151
6.2.8.2	Les eaux souterraines	154
6.2.9	Bruit et vibration.....	159
6.2.9.1	Les textes réglementaires	159
6.2.9.2	Environnement sonore du secteur	159
6.2.10	Réseaux existants.....	164
6.3	....DESCRIPTION DES IMPACTS ET MESURES ENVISAGEES POUR COMPENSER CES IMPACTS	165
6.3.1	Impacts sur le contexte socio-économique	165
6.3.1.1	En phase de travaux	165



6.3.1.2	En phase d'exploitation	165
6.3.2	Impacts sur les personnes	165
6.3.2.1	En phase de travaux	165
6.3.2.2	En phase d'exploitation	166
6.3.3	Impacts sur la circulation.....	166
6.3.3.1	En phase de travaux	166
6.3.3.2	En phase d'exploitation	168
6.3.4	Impacts sur la faune et la flore.....	169
6.3.4.1	En phase de travaux	169
6.3.4.2	En phase d'exploitation	170
6.3.5	Impacts sur le sol	170
6.3.5.1	En phase de travaux	170
6.3.5.2	En phase d'exploitation	170
6.3.6	Impacts sur la ressource en eau	170
6.3.6.1	En phase de travaux	170
6.3.6.2	En phase d'exploitation	174
6.3.6.3	SAGE concernés	178
6.3.7	Impacts visuels	185
6.3.7.1	En phase de travaux	185
6.3.7.2	En phase d'exploitation	185
6.3.8	Impacts sur la qualité de l'air	185
6.3.8.1	En phase de travaux	185
6.3.8.2	En phase d'exploitation	186
6.3.9	Impacts liés au bruit.....	186
6.3.9.1	En phase de travaux	186
6.3.9.2	En phase d'exploitation	188
6.3.10	Impacts sur la protection du patrimoine culturel.....	189
6.3.10.1	En phase de travaux	189
6.3.10.2	En phase d'exploitation	189
6.3.11	Impacts sur l'hygiène, la salubrité et la sécurité publique.....	189
6.3.11.1	En phase de travaux	189
6.3.11.2	En phase d'exploitation	190
6.4	....REPRISE DES PRESCRIPTIONS DE L'ANSES	191
6.5	....CHIFFRAGE PREVISIONNEL DES MESURES ENVIRONNEMENTALES.....	195
7	....DOCUMENT DE SECURITE ET DE SANTE.....	199
7.1	....DOCUMENT DE SECURITE ET DE SANTE PENDANT LES TRAVAUX	199
7.1.1	Protection du personnel de chantier.....	199
7.1.1.1	Information du personnel	199
7.1.1.2	Dispositions en cas d'accident corporel grave	200
7.1.1.3	Protection contre l'explosion	200
7.1.1.4	Protection contre l'incendie	200
7.1.1.5	Protection contre le bruit	200
7.1.1.6	Protection contre la chute d'objet	201
7.1.1.7	Protection contre la chute de hauteur	201
7.1.1.8	Protection contre les collisions	201
7.1.1.9	Protection contre l'électrocution	202
7.1.1.10	Encadrement des visiteurs	202
7.1.2	Sécurité des riverains.....	202
7.1.2.1	Circulation sur la voie publique et balisage	202
7.1.2.2	Bruits liés aux travaux de forage	203
7.1.3	Risque de chute du mât de forage.....	203



7.2	....DOCUMENT DE SECURITE PENDANT L'EXPLOITATION DU DOUBLET.....	203
7.2.1	Procédure de mise en sécurité en cas de fuite sur la boucle géothermale .	203
7.2.2	Percement d'un tubage d'un forage en cours d'exploitation.....	204



FIGURES

Figure 1. Périmètre des ZAC du Sud Plateau.....	18
Figure 2. Phase d’exploitation du réseau de chaleur.....	22
Figure 3. Principe de fonctionnement du réseau de chaleur.....	25
Figure 4 : Principe général du réseau de chaleur – ZAC du Quartier de l’Ecole Polytechnique.....	25
Figure 5. Localisation des communes de Palaiseau et de Saclay.....	34
Figure 6. Localisation du site de travaux.....	35
Figure 7. Plan du bassin Sud du réseau d’ultime secours SEDIF.....	37
Figure 8. Carte structurale simplifiée du bassin de Paris.....	38
Figure 9. Carte géologique au droit de la zone d’étude.....	40
Figure 10. Carte des isohypses du toit des sables de l’Albien.....	43
Figure 11. Carte des isohypses du mur des sables de l’Albien.....	44
Figure 12. Carte piézométrique de la nappe de l’Albien.....	47
Figure 13. Répartition des transmissivités (rapport BGRM IDF R39702).....	49
Figure 14. Répartition des transmissivités (rapport Hydroexpert).....	50
Figure 15. Localisation des forages à l’Albien voisins.....	53
Figure 16 : Ossatures principales et secondaires du réseau SEDIF.....	56
Figure 17 : Plan d’ultime secours du SEDIF pour le secteur Sud.....	58
Figure 18. Principe de raccordement réseau géothermal / réseau SEDIF.....	59
Figure 19. Implantation du raccordement en ultime secours SEDIF.....	60
Figure 20 : Mix énergétique prévisionnel ZAC QEP chaud 2021.....	61
Figure 21 : Mix énergétique prévisionnel ZAC QEP froid 2021.....	62
Figure 22. Principe général de fonctionnement du réseau de chaleur.....	63
Figure 23. Plan du réseau de chaleur de la ZAC du quartier de l’Ecole polytechnique.....	64
Figure 24 : Schéma de fonctionnement de la boucle géothermale.....	67
Figure 25 Plan de cave – vue en coupe.....	68
Figure 26. Plan de cave – Coupe en travers.....	69
Figure 27. Raccords colonne de refoulement.....	72
Figure 28 : Coupe schématique d’un forage producteur.....	73
Figure 29 : Réseau géothermal – schéma de principe.....	75
Figure 30. Réseau géothermal – tuyau pré-isolé.....	76
Figure 31. Localisation du forage de production.....	77
Figure 32. Plans cadastraux du site du forage de production.....	78
Figure 33. Localisation du forage d’injection.....	79
Figure 34. Plan cadastral du site du forage d’injection.....	80
Figure 35. Position de la centrale thermique de la ZAC du quartier de l’Ecole polytechnique.....	81
Figure 36. Représentation schématique d’un périmètre d’exploitation d’un doublet.....	83
Figure 37. Emprises des périmètres de recherche et d’exploitation envisagés.....	84
Figure 38 : Logigramme de simulation de réservoir.....	87
Figure 39 : Domaine simulé.....	88
Figure 40 : Coupe du modèle réservoir (couche réservoir en rouge et épontes imperméables en bleu).....	88
Figure 41 : Bulles froides simulées après 30 ans d’exploitation à débit variable.....	90
Figure 42 : Evolution de la température de production simulée au cours du temps pour un débit variable.....	90
Figure 43 : Rabattements simulés en bars autour des puits.....	91



Figure 44 : Impacts thermiques simulés de la réinjection de la ZAC du Moulon après 30 ans d'exploitation (températures en °C)	92
Figure 45 : Rabattements simulés (bars) après 30 ans d'exploitation de la ZAC du Moulon .	92
Figure 46 : Impacts thermiques simulés de la réinjection de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique après 30 ans d'exploitation	93
Figure 47 : Rabattement (bars) - Impact des rabattements après une exploitation de 30 ans de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique	93
Figure 48 : Bulle froide (°C) - Impact des températures après une exploitation de 30 ans	94
Figure 49 : Rabattement (bars) - Impact des rabattements après une exploitation de 30 ans ..	95
Figure 50 : Installation du chantier de forage sur les sites	100
Figure 51. Grue de forage type BENOTO	102
Figure 52. Benne de havage	103
Figure 53. Rig de forage au rotary	103
Figure 54. Tricônes à molettes	104
Figure 55 : Colonne filtrante Munipak Johnson Skeleton.....	108
Figure 56 : Architecture des puits	109
Figure 57. Avancement prévisionnel des travaux	111
Figure 58 : Communes et intercommunalités du périmètre de l'EPAPS	113
Figure 59 : Températures à la station d'Orly, comparaison 2009-2010.....	114
Figure 60 : Précipitations à la station d'Orly, comparaison 2009-2010.....	115
Figure 61 : Fréquence des vents en fonction de leur provenance en %	115
Figure 62 : Plan de zonage des PLU en vigueur de Palaiseau et Saclay	117
Figure 63 : Carte de synthèse du PADD de Palaiseau – PLU Palaiseau.....	120
Figure 64 : Servitudes au droit des sites – atelier VILLES & PAYSAGES – juin 2011 – Mise à jour par Ingerop – Septembre 2012.....	123
Figure 65 : Localisation des sites de forages – Photo aérienne de 2014.....	124
Figure 66 : Localisation du site du forage de production.....	125
Figure 67 : Photo du site du forage de production	125
Figure 68 : Photos du site du forage de production.....	126
Figure 69 : Localisation du site du forage de réinjection – Photo aérienne avant déboisement	126
Figure 70. Photo actuelle du site depuis le boulevard.....	127
Figure 71 : Localisation des installations proches du site du forage de production (vue actuelle)	128
Figure 72. Localisation des installations proches du site du forage d'injection	129
Figure 73 Localisation des ICPE de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique.....	129
Figure 74 : Couvert végétal de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique.....	132
Figure 75 : Exemple de milieu anthropique - Plantations isolées, en alignement ou en bosquets sur le site de l'école Polytechnique	133
Figure 76 : Localisation des ZNIEFF et des sites remarquables.....	135
Figure 77. Localisation des sites Natura 2000 à proximité de la ZAC (en rouge).....	137
Figure 78 : Exemple de zone humide du Plateau de Saclay.....	138
Figure 79 : Cartographie des zones humides répertoriées par ECOSPHERE.....	140
Figure 80 : Cartographie des zones humides répertoriées par SOL PAYSAGE	141
Figure 81 : Localisation de la faune remarquable sur la ZAC de l'Ecole polytechnique	143
Figure 82 : Localisation de la flore patrimoniale de la ZAC de l'Ecole polytechnique	145
Figure 83 : Cartographie des aléas liés au retrait-gonflement des argiles du BRGM.....	148
Figure 84. Résultats de mesure de qualité de l'eau sur les rigoles du plateau de Saclay en 2011(Asconit Consultants).....	153
Figure 85 : Piézométrie de la nappe du Fontainebleau	156



Figure 86 : Localisation et inventaire des forages d'eau dans un rayon de 2 km autour du site	158
Figure 87 : Implantation des points de mesures fixes (verts) et ponctuels (rouges)	160
Figure 88 : Carte de bruit de la situation actuelle sur la période 6h-22h (hauteur 4m).....	162
Figure 89 : Carte de bruit de la situation actuelle sur la période 22h-6h (hauteur 4m).....	163
Figure 90. Plan des réseaux à proximité du forage de production	164
Figure 91 : Organisation du chantier vis-à-vis des boues et des eaux géothermales et de ruissellement.....	172
Figure 92 : Contours et prescriptions du SDAGE AESN relatifs à la nappe de l'Albien/Néocomien	177
Figure 93. SAGE concernés par le projet.....	179



TABLEAUX

Tableau 1 : Financement du projet	24
Tableau 2 : Coût global d'investissement du réseau de chaleur	26
Tableau 3 : Coûts d'investissements spécifiques aux forages.....	27
Tableau 4 : Coûts d'investissements de la chaufferie centrale d'appoint/secours	28
Tableau 5 : Budget prévisionnel d'exploitation	29
Tableau 6 : Postes P2 et P3 spécifiques à la boucle géothermale	29
Tableau 7 : Bilan énergétique et performance du réseau	30
Tableau 8 : Coupes géologiques retenues au droit de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique	42
Tableau 9 : Composition chimique de l'eau de l'Albien prélevée au forage d'Orsay	51
Tableau 10 : Besoins en puissance	61
Tableau 11 : Répartition de la production de chaud.....	61
Tableau 12 : Répartition de la production de froid	62
Tableau 13 : Caractéristiques de la pompe de production de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique	70
Tableau 14 : Sélection de la pompe exhaure.....	71
Tableau 15 : Coordonnées du périmètre de recherche des forages	82
Tableau 16 : Débits et delta de température envisagés	82
Tableau 17 : Coordonnées des têtes de puits et des impacts (Lambert II étendu)	83
Tableau 18 : Paramètres de réservoir utilisés pour la simulation.....	89
Tableau 19 : Débits d'exploitation rentrés dans le modèle	89
Tableau 20 : Paramètres et fréquences des analyses d'eau	97
Tableau 21 : Programme de forage et de complétion.....	106
Tableau 22 : Programme forage / boue / diagraphies / cimentation.....	107
Tableau 23 : Caractéristique de la crépine pré-packée.....	108
Tableau 24 : Réserves naturelles proches de la ZAC.....	146
Tableau 25 : Synthèse des sites classés et inscrits aux alentours du projet.....	147
Tableau 26 : Classement des voies de circulation bordant le secteur d'étude par arrêté préfectoral du 20 mai 2003.....	159
Tableau 27 : Points de mesures fixes 24h	161
Tableau 28 : Points de prélèvements entre 30 minutes et 1 heure	161
Tableau 29 : Estimation du nombre de camions desservant le site selon les périodes de travaux	168
Tableau 30 : Enjeux du SAGE Orge / Yvette	181
Tableau 31 : Paramètres et fréquences des analyses d'eau	184



ANNEXES

Annexe 1 : Rapport d'activité EPA Paris-Saclay

Annexe 2 : Présentation Générale d'IDEX

Annexe 3 : Présentation direction générale

Annexe 4 : Présentation Géofluid

Annexe 5 : Délibération du SEDIF



1 RESUME NON TECHNIQUE

La ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique s'étend sur plus de 250 hectares sur lesquels 870 000 mètres carrés seront aménagés. Les besoins énergétiques de cette programmation immobilière sont estimés à 35 GWh/an.

Face aux enjeux du changement climatique, dans un contexte où la sobriété énergétique est recherchée, l'Etablissement Public d'Aménagement Paris-Saclay (EPA Paris-Saclay), aménageur de la ZAC, a décidé la réalisation d'un réseau de chaleur et de froid alimenté par un doublet de forages géothermiques sur la nappe de l'Albien. La production de chaleur est assurée à environ 60% par cette énergie renouvelable.

En accord avec les dispositions 42 et 114 du SDAGE du bassin Seine Normandie, le Syndicat des Eaux d'Ile de France (SEDIF) a identifié un potentiel d'approvisionnement en eau d'ultime secours dans le secteur de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique. Ainsi, le SEDIF s'est associé à l'EPA Paris-Saclay afin de pouvoir disposer, en cas de crise majeure, de la production d'un des forages du doublet pour alimenter son réseau d'eau potable.

Le présent document constitue le dossier technique relatif à la demande d'autorisation de recherche d'un gîte géothermique et à la demande d'autorisation d'ouverture de travaux de forage conformément aux exigences du Code minier et de ses décrets d'application, qui considèrent qu'un gîte géothermique comme une mine.

Le principe des forages géothermiques repose sur la création d'un doublet de forages verticaux réalisés depuis deux plateformes distinctes. L'un des forages est utilisé pour la production de l'eau géothermale (au sud) et l'autre (au nord) pour sa réinjection après passage dans les échangeurs thermiques. Ce positionnement et la distance entre les forages d'environ 1100 m assurent la pérennité thermique de l'installation. En surface, la liaison entre les deux forages et la centrale thermique, dans laquelle aura lieu l'échangeur de chaleur, est assurée par un réseau primaire calorifugé.

Au droit du projet, la nappe des sables de l'Albien sera exploitée à une profondeur de l'ordre d'environ 730 m. L'eau géothermale sera exploitée à un débit de pointe de 200 m³/h à une température d'environ 31°C par pompage dans le puits de production et traversera le réseau primaire jusqu'à l'échangeur de chaleur, avant d'être réinjectée dans le puits d'injection à une température voisine de 10°C. Ainsi, la puissance calorifique maximum soutirée à la nappe de l'Albien sera de 4,9 MW. La pompe immergée sera installée à environ 180 m de profondeur pour obtenir les débits nécessaires à l'alimentation du réseau. Le réseau primaire dans lequel circulera l'eau de l'Albien sera maintenu sous pression et l'eau de la nappe ne subira aucune modification chimique.

Les travaux commencent par l'aménagement du site de forage. Les travaux de terrassement (nivellement et creusement) nécessaires à la création des plateformes de forage impliquent l'emploi d'engins conventionnels de travaux publics. La plateforme est ensuite aménagée par apport extérieur de matériaux durs, propres et compactés en couches successives puis totalement imperméabilisée.

La phase de forage est une opération d'environ un mois par forage, fonctionnant en trois postes de 8 heures, 7 j/7. Les travaux seront réalisés par un appareil de forage (ou derrick) de capacité adaptée à l'ouvrage à réaliser.



Ses principaux éléments incluent :

- Un mât de forage,
- Un treuil de forage et son câble pour la manutention du train de tiges et des cuvelages,
- Une table de rotation pour entraîner les tiges de forage en surface et provoquant la rotation de l'outil en fond de puits,
- Les pompes de forage pour la circulation du fluide de forage depuis la surface jusqu'au fond du puits,
- Un ensemble moteurs thermiques/génératrice, fournissant l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'appareil,
- Un ensemble de bacs hors sol pour la fabrication du fluide de forage et pour séparer en surface les déblais de forage (solides) des fluides avant réinjection de ces derniers dans le puits.

Le principe de réalisation d'un forage géothermique à l'Albien est le suivant :

On installe tout d'abord le mât de forage, une tour métallique qui sert de support aux tiges de forage. Ces longues tiges métalliques, mesurant environ 9 mètres, sont solidement reliées bout à bout entre elles (train de tiges). L'outil de forage (le trépan) fixé au bout de la première tige, tourne et pénètre la roche tout en la broyant en petits morceaux (les déblais).

Pendant que l'on creuse le puits, on y fait circuler en permanence un fluide de forage ayant des propriétés de suspension des solides. C'est un élément indispensable, qui a deux fonctions: le refroidissement de l'outil et la remontée des déblais. Il consolide également les parois du puits et équilibre la pression qui s'exerce sur les parois du puits. Ainsi, le fluide de forage contribue grandement à la réussite de l'opération. Sa composition est soigneusement élaborée par un spécialiste, ingénieur des fluides, qui contrôle constamment sa densité, sa stabilité et sa composition. Ce fluide est injecté depuis la surface dans les tiges de forage et pénètre dans le puits au fond du trou au niveau du trépan grâce à des événements aménagés sur l'outil de forage. Ce fluide remonte ensuite depuis le fond jusqu'en surface par l'espace annulaire (espace existant entre les tiges de forage et les parois du trou) en entraînant avec lui les déblais de roche broyée. En surface, ce fluide de forage passe par un circuit de traitement approprié destiné à le débarrasser des particules de roche solides avant sa réinjection dans le puits. Les déblais de forage sont temporairement stockés dans des bacs de rétention avant d'être transportés sur un site de traitement et d'élimination dûment agréé.

Pendant l'exécution du forage, pour éviter l'effondrement du trou et surtout rendre possible l'approfondissement du forage dans des conditions parfaites de sécurité, on descend régulièrement des cuvelages en acier à différentes profondeurs. Ceux-ci sont ensuite cimentés aux parois du trou afin de stabiliser celles-ci, et d'isoler les unes des autres les différentes zones perméables rencontrées lors du forage. La qualité de cimentation des cuvelages en acier est obligatoirement et réglementairement contrôlée par des enregistrements successifs (appelés diagraphies) puis approuvée par la DRIEE avant chaque phase d'approfondissement du forage. La nappe est captée à l'aide d'une crépine pré-équipée d'un système de filtration afin d'éviter l'entraînement de sable.

Il est primordial de mesurer l'impact environnemental des opérations prévues afin de pouvoir prendre toutes les mesures qui s'imposent.



L'étude d'impact repose sur trois volets:

- La présentation de l'état initial des sites de forage,
- L'inventaire des impacts probables générés sur les sites autant en phase de travaux qu'en phase d'exploitation,
- La description des mesures envisagées pour compenser les impacts.

Les sites choisis pour la réalisation des forages se situent au sud et au nord de la ZAC du quartier l'Ecole polytechnique. La superficie de chaque site de forage sera de 3 500 m².

L'étude d'impact montre qu'il y aura peu d'impacts notables lors de la réalisation ou de l'exploitation des forages, étant donnée la situation des sites. Les principaux impacts, pour lesquels des mesures seront prises, concernent:

- La ressource en eau,
- Le sol,
- Les nuisances sonores,
- L'aspect visuel du site,
- La circulation routière.

Les nuisances sonores seront limitées par le respect des normes en vigueur et par l'exécution des phases les plus bruyantes pendant la journée. La principale gêne sonore sera liée, de jour comme de nuit, aux chocs des tiges métalliques et au bip de recul des engins de chantier. A titre de comparaison, la nuisance sonore d'un tel chantier correspond au bruit d'une salle de classe et le bruit ambiant résultant de la circulation routière à proximité des chantiers couvrira en grande partie le bruit généré par le chantier.

Ainsi des mesures seront prises pendant les travaux pour permettre de limiter les impacts, et se définissent entre autre, par :

- La mise en place d'une clôture de 2,50 m de haut pour limiter l'impact visuel du site et interdire l'accès au public,
- La mise en place d'une signalisation routière pour ne pas entraver la circulation routière à proximité du chantier,
- La réalisation d'une plateforme étanche aux eaux de ruissellement et de caniveaux pour collecter les eaux de pluie et l'eau géothermale vers un bac de rétention étanche avec déshuileur,
- La mise en place d'un double de tubage sur les 200 premiers mètres pour éviter toute contamination de la nappe de l'albien par les aquifères superficiels,
- L'utilisation de ciments bien adaptés aux terrains traversés et le contrôle de la qualité de la cimentation à l'aide d'outils spécifiques,
- L'utilisation d'une boue de forage non polluante,
- La désinfection des outils de forage et de tous les organes en contact avec l'eau de l'albien.

De plus afin d'assurer la protection de la nappe de l'Albien pendant l'exploitation du doublet de forage, les mesures suivantes seront prises :

- Les têtes de forages seront protégées par des caves enterrées dont l'accès sera réservé au personnel de maintenance et placé sous alarme anti-intrusion. Par ailleurs, de par leur conception ces caves et les équipements hydrauliques équipant la tête des forages permettront d'éviter toute infiltration d'eau superficielle dans la nappe de l'Albien,

- 
- Le réseau primaire dans lequel circulera l'eau de l'Albien sera maintenu sous pression et soumis à détection de fuite afin d'assurer le confinement de l'eau de l'albien pendant son transit dans le réseau de surface,
 - Les installations de la boucle primaire seront soumises à une surveillance réglementaires dont les résultats seront transmis à la DRIEE (suivi régulier de la qualité de l'eau et des paramètres d'exploitation de la boucle primaire donnant lieu à un compte rendu annuel d'exploitation et des inspections périodiques plus approfondi a minima tous les 7 ans).



2 INTRODUCTION AU PROJET

2.1 Le projet d'aménagement de Paris Saclay

2.1.1 L'Etablissement Public d'Aménagement Paris-Saclay

L'Etablissement public Paris-Saclay a été créé par la loi du 3 juin 2010 relative au Grand Paris et son organisation précisée par le décret du 3 août 2010 relatif à l'établissement public Paris Saclay. La loi du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles porte création de l'Etablissement public d'aménagement de Paris-Saclay et dissolution de l'Etablissement public de Paris-Saclay.

L'EPA Paris-Saclay a pour mission de révéler tout le potentiel du territoire et de définir une stratégie de développement cohérente. Ses attributions sont de plusieurs ordres : outre les attributions classiques de l'aménageur, l'EPA Paris-Saclay assure la maîtrise d'ouvrage ou la conduite de plusieurs opérations immobilières. Il est également doté de compétences en matière de développement économique.

Son objectif est donc la création d'un pôle scientifique et technologique sur le plateau de Saclay et de promouvoir le développement de l'enseignement, la recherche et l'innovation à travers l'aménagement de la zone qui lui est confiée.

L'EPA Paris-Saclay s'étend sur 49 communes et 2 départements (Essonne et Yvelines) Les sites stratégiques du périmètre de l'établissement ont été classés comme Opération d'Intérêt National (OIN), donnant ainsi le pouvoir à l'EPA Paris-Saclay le pouvoir de prendre des initiatives de Zone d'Aménagement concerté (ZAC).

Le territoire de l'EPA Paris-Saclay est composé de deux zones :

1. La zone d'aménagement du Sud Plateau avec les ZAC du Moulon et du quartier l'Ecole polytechnique sur laquelle les forages s'implanteront,
2. La zone d'aménagement des Yvelines avec les ZAC de Satory et de Trappes, qui ne seront pas abordées ici.

2.1.2 Les ZAC du Sud Plateau

La zone du Sud Plateau s'étend sur les communes de Gif-Sur-Yvette, Saint-Aubin, Orsay, Palaiseau, Saclay et Vauhallan au sud du département de l'Essonne.

Elle est composée de deux ZAC :

1. La ZAC du Moulon sur la commune de Gif-sur-Yvette située à l'ouest de la zone,
2. La ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique sur les communes de Palaiseau et Saclay à l'est de la zone.

La figure suivante présente les territoires des ZAC et leur implantation géographique.

Ces deux ZAC sont impliquées dans le déploiement du réseau de chaleur. Le présent dossier ne traite cependant que des forages sur la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique.

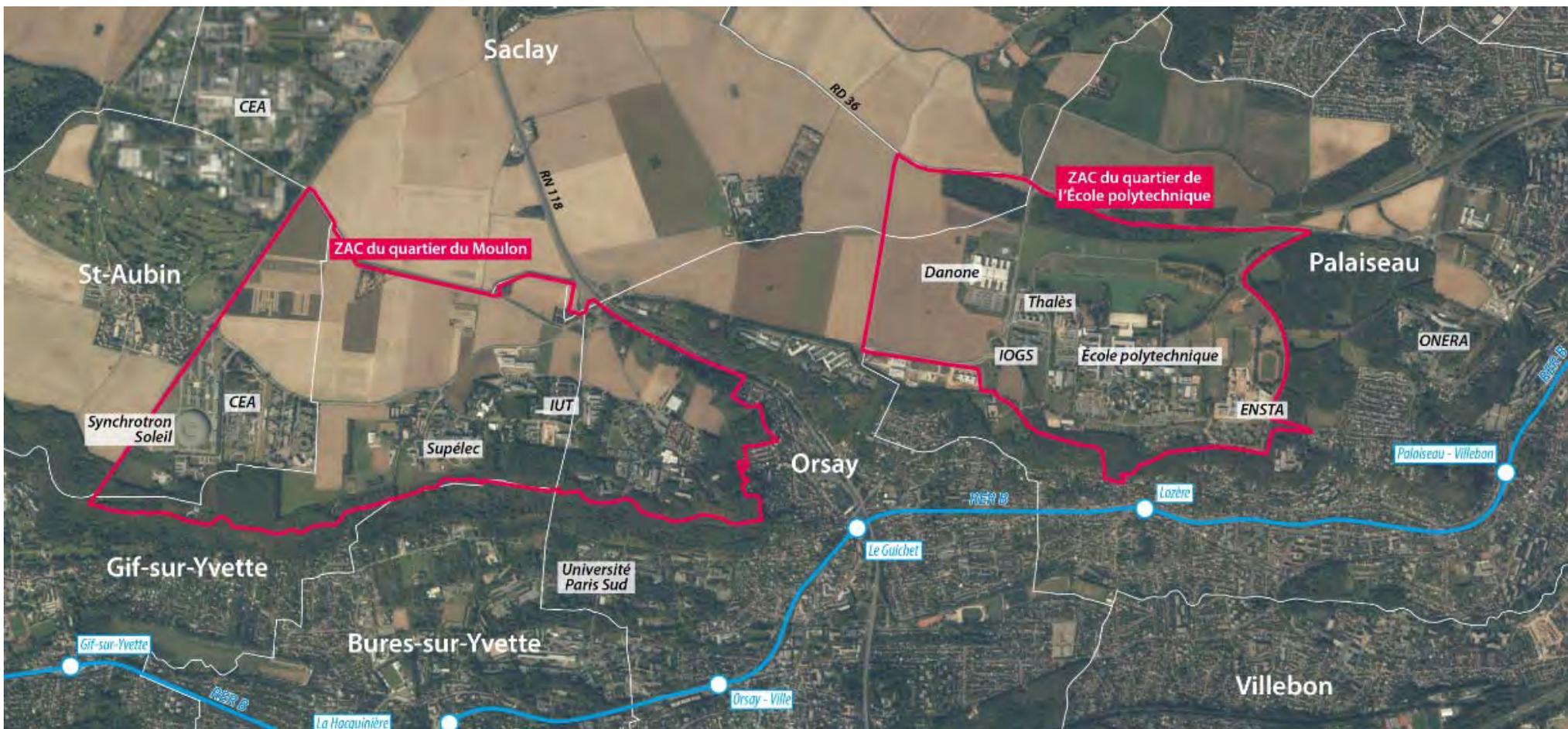
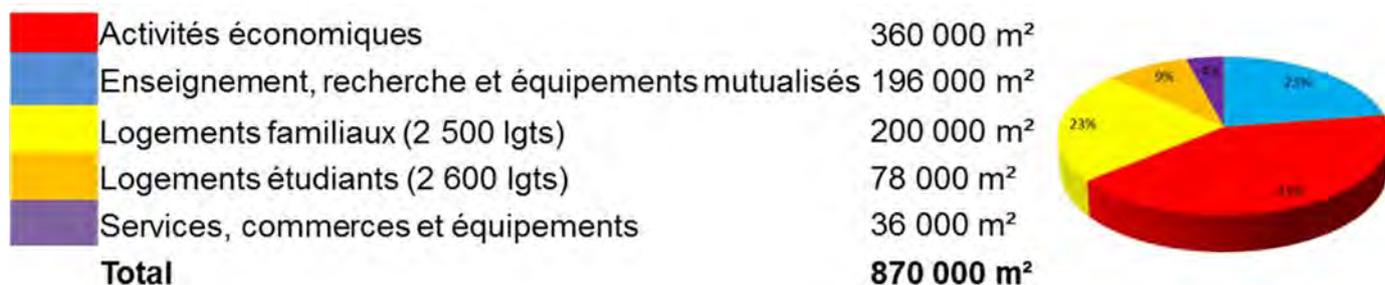


Figure 1. Périmètre des ZAC du Sud Plateau

2.1.3 La ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique

La ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique s'étend sur plus de 250 hectares sur lesquels 870 millions de mètres carrés seront aménagés. Même si la mission de l'EPA Paris-Saclay concerne la création d'un pôle scientifique et technologique avec l'implantation de 556 000 m² dédiés aux entreprises et aux écoles, une part importante est également consacrée aux logements et au développement des commerces et services.

Le graphique ci-dessous résume cette répartition :



2.1.4 Stratégie énergétique du projet d'aménagement - Une mise en œuvre de la transition énergétique

Face aux enjeux du changement climatique, dans un contexte où la sobriété énergétique est recherchée, où la question de la précarité énergétique est une réalité et où l'attractivité du territoire dans le futur sera liée à son empreinte énergétique et à sa capacité de s'adapter à l'offre énergétique, le volet « énergie » de la démarche EcoTerritoire vise à mettre en œuvre la transition énergétique à l'échelle du territoire, sur la base d'une conception énergétique claire et partagée par les collectivités locales et l'aménageur.

L'ambition est de faire de Paris-Saclay un territoire à énergie positive, en poursuivant simultanément trois objectifs : la sobriété des consommations énergétiques, la mise en valeur d'énergies locales et renouvelables, et un pilotage intelligent fondée sur la communication entre tous les acteurs de l'énergie.

Pour réussir localement la transition énergétique, la question énergétique doit être territorialisée : il ne faut pas se contenter d'agir à l'échelle du bâtiment (BEPOS), mais s'efforcer de construire un équilibre énergétique au niveau du territoire (TEPOS), où la mise en réseaux et la mutualisation sont essentielles. La volonté de faire du campus Paris-Saclay un territoire entièrement connecté avec le projet de plateforme numérique de services et la présence d'une filière « énergie » à Paris Saclay (EDF, CEA, IPVF, AREVA, Paris-Saclay Efficacité Énergétique, laboratoires des établissements d'enseignement supérieur et de recherche...) sont des formidables atouts pour la réussite de ce territoire à énergie positive.

La dimension territoriale de cette stratégie sera intégrée dans un schéma directeur énergie qui prendra simultanément en compte le patrimoine actuel et futur, en anticipant l'évolution des besoins et usages énergétiques, des ressources, des réseaux, des mobilités. Les investissements énergétiques à réaliser sur Paris Saclay étant considérables, les synergies sont privilégiées et le dimensionnement optimisé.

Le premier axe de la stratégie énergétique du territoire sud concerne la réduction des consommations énergétiques : agir sur la demande. La sobriété énergétique est un objectif clair de la démarche Ecoterritoire : construire des bâtiments peu consommateurs et favoriser la rénovation énergétique du parc actuel.



Le second axe de la stratégie énergétique du territoire sud concerne la production d'énergie, sa distribution et l'optimisation de l'offre énergétique qui s'articulent autour d'infrastructures et de systèmes énergétiques bas carbone mobilisant les énergies locales et renouvelables, tout en assurant un rôle de catalyseur de l'innovation.

Les infrastructures et systèmes énergétiques qui seront mis en œuvre sont :

- Le réseau de chaleur, de froid et de récupération
- Des installations solaires photovoltaïques en toiture des nouveaux programmes immobiliers
- La construction de bâtiments efficaces et intelligents (architecture bioclimatique, panneaux photovoltaïques, Smart Grid ready...)
- Le développement de services de mobilité décarbonnés et leurs infrastructures énergétiques associées

La gestion locale des problématiques énergétiques (planification, organisation des réseaux et moyens de production, gestion de l'équilibre offre / demande tout en garantissant la meilleure économie possible etc.) nécessite le développement d'une gestion intelligente de l'énergie, également présenté comme le « Smart Energy Paris Saclay », véritable système de management énergétique de territoire.

Ces infrastructures sont mutualisées et mises en réseau (réseaux de chaleur, gestion intelligente de l'énergie, solaire photovoltaïque) et créent un écosystème favorisant les synergies entre les différents bâtiments et une complémentarité de leurs besoins énergétiques (favorisée par la mixité de la programmation : enseignement supérieur, bâtiments tertiaires, logements).

2.1.5 Le réseau de chaleur et de froid de Paris Saclay

Sur la frange sud, un réseau d'eau tempérée circulera dans les deux quartiers. Ce réseau sera réchauffé grâce à un forage géothermique sur la nappe de l'Albien. Ce réseau permettra également de véhiculer les calories issues de productions frigorifiques pour les valoriser ou, à défaut, les évacuer grâce à des installations centralisées. Enfin il permettra la récupération d'énergie fatale dégagée par certains bâtiments (process, évacuation de chaleur par les groupes frigorifiques...) et sa valorisation au sein d'autres bâtiments.

Le réseau de chaleur qui sera ainsi mis en œuvre permettra :

- La valorisation de la géothermie profonde, le potentiel d'énergie renouvelable le plus pertinent pour assurer la fourniture d'énergie aux projets immobiliers,
- Une mutualisation et foisonnement des différents besoins énergétiques du campus urbain,
- La sécurisation de l'approvisionnement à un coût maîtrisé et stable dans la durée.



2.2 Le recours à la nappe de l'Albien : un choix adapté aux enjeux du territoire

Les différents acteurs du projet, l'aménageur (EPA Paris-Saclay), opérateur du réseau de chaleur ainsi que le SEDIF ont conclu à l'opportunité d'investir dans des forages géothermiques à l'Albien permettant :

- D'assurer une alimentation en eau potable en cas de crise,
- De valoriser les calories de la nappe de l'Albien.

Ce choix sera détaillé dans la partie 4.2 sur la justification des forages à l'Albien.

3 RENSEIGNEMENTS GENERAUX

3.1 Renseignements sur le demandeur

3.1.1 L'EPA Paris-Saclay, exploitant du réseau de chaleur

L'aménageur (EPA Paris-Saclay) assure la maîtrise d'ouvrage du réseau de chaleur et de froid dans le cadre de ses missions. Il est donc exploitant de ce réseau. L'établissement public a mené jusqu'à maintenant l'ensemble des études sur le réseau de chaleur, inscrit comme équipement public des ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique et du Moulon.

L'EPA Paris-Saclay assure la maîtrise d'ouvrage de la première phase opérationnelle du réseau de chaleur pour laquelle il s'est adjoint les compétences d'une assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO).

3.1.2 Marché CREM

L'EPA Paris-Saclay assure la première phase de construction du réseau de chaleur par la passation d'un contrat CREM (conception-réalisation-exploitation-maintenance) de sept ans. A l'issue de ce CREM en 2022, la gestion du réseau de chaleur sera assurée par la collectivité. Le schéma ci-dessous représente les deux phases de gestion du réseau de chaleur :

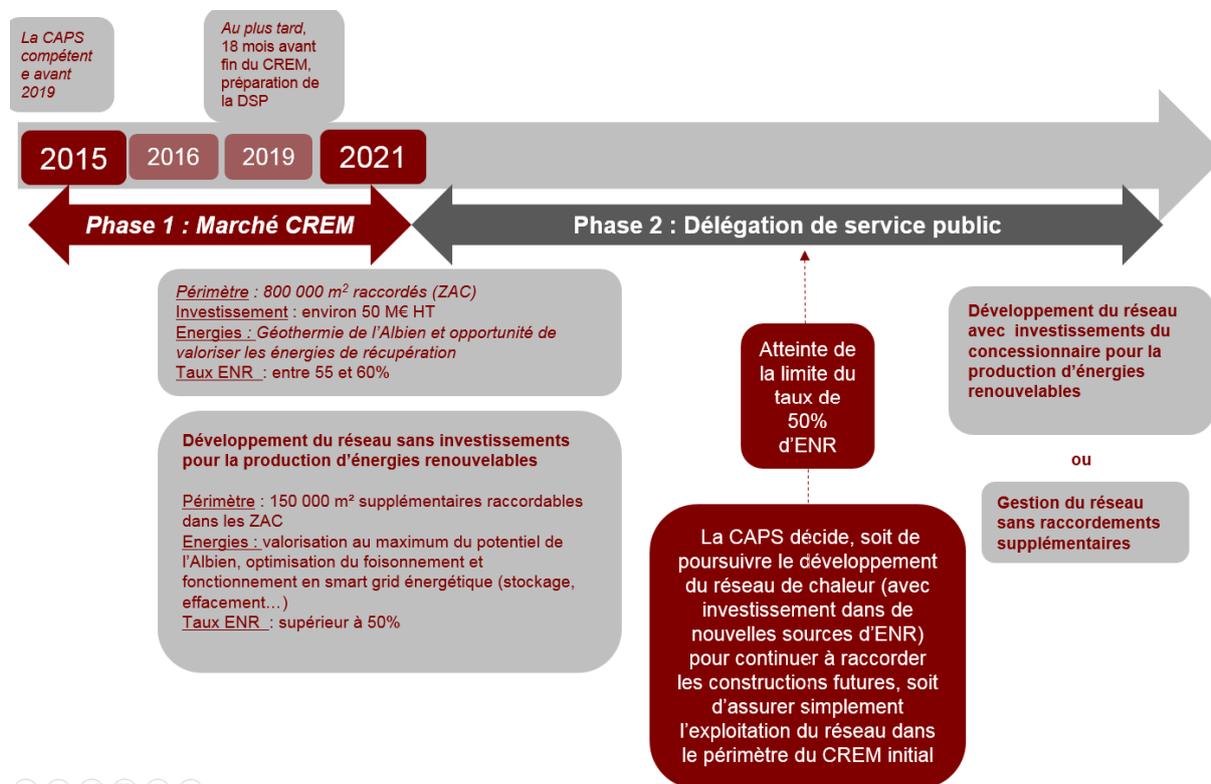


Figure 2. Phase d'exploitation du réseau de chaleur



3.1.3 Acteurs et rôles du projet

Les acteurs de ce projet sont donc multiples :

- D'une part, l'EPA Paris-Saclay, qui assume les deux rôles d'aménageur et d'exploitant du réseau de chaleur assisté par TILIA en AMO et GEOTHER pour la partie forages,
- L'entreprise IDEX Energies, lauréate du marché CREM, qui sous-traite la conception et la réalisation du réseau au groupement momentané d'entreprise IDEX Energies/EGIS,
- Le bureau d'études GEOFLUID qui assurera la maîtrise d'œuvre des forages.

3.1.3.1 TILIA / ALTO INGENIERIE

TILIA est le partenaire des villes, des collectivités, des services publics, des entreprises industrielles et de co-investisseurs qui développent de nouveaux projets, réalisent de nouveaux investissements, améliorent leurs opérations, redéfinissent leur stratégie et gèrent des défis de plus en plus complexes dans les domaines de l'énergie, de l'eau et des services environnementaux.

Le modèle de TILIA peut aller du conseil et de l'assistance à maîtrise d'ouvrage à la co-réalisation et éventuellement au co-investissement. Il porte sur l'ensemble des sujets liés aux services locaux essentiels : stratégie et gouvernance, optimisation opérationnelle, développement de nouveaux investissements.

Créée en 2009, à partir d'une expérience internationale et d'une vision commune de la modernisation des services publics, TILIA compte aujourd'hui plus de 70 références contractuelles dans 7 pays. Son activité est principalement concentrée en France et en Allemagne.

3.1.3.2 GEOTHER

Concernant l'ingénierie du sous-sol, GEOTHER a réalisé l'étude de faisabilité du projet de géothermie sur la nappe de l'Albien et la rédaction du présent document. GEOTHER est un bureau d'études composé de spécialistes de la géothermie et plus particulièrement de spécialistes de la géothermie profonde qui ont l'habitude de travailler sur des projets comme celui des forages du réseau de chaleur et disposent d'une longue expérience de la géothermie profonde.

3.1.3.3 IDEX Energies / EGIS

Depuis 1963, le groupe IDEX se place en tant qu'opérateur de réseaux de chaleur et froid en gérant plus de 11 000 installations énergétiques et en alimentant l'équivalent de 33 millions de m² en chauffage et/ou climatisation. Avec depuis les années 70 le doublet au Dogger du Méesur-Seine, celui de Neuilly-sur-Marne en exploitation et le site de production combinée chaud/froid sur géothermie peu profonde prochainement en exploitation, IDEX Energies fait partie des exploitants de géothermie en France.

Pour mener à bien cette opération, IDEX Energies s'est associé en groupement avec EGIS pour associer à l'expérience d'opérateur énergétique d'IDEX Energies celle d'ingénierie projets d'EGIS en tant qu'opérateur majeur en ingénierie en France et dans le monde, aussi bien sur les sujets d'ingénierie que sur la gestion de projets.



3.1.3.4 GEOFLUID

GEOFLUID est une société d'ingénierie et de services, créée en 2013, filiale de GPC IP (créée en 1998) à partir d'un noyau d'ingénieurs expérimentés dans l'exploration et l'exploitation des fluides du sous-sol (eau, hydrocarbures, géothermie) avec pour objectif la promotion de technologies de forage/complétion/production innovants.

Le champ d'intervention de GPC IP couvre les domaines d'activité suivants :

- Forage/complétion,
- Réparations (« workovers ») de puits et complétions endommagées.

Celui de GEOFLUID couvre les domaines d'activité suivants :

- Ingénierie de réservoirs et évaluation de ressources et réserves,
- Essais de puits/simulations de réservoirs et gestion des ressources,
- Suivi et maintenance des installations de production,
- Services « coiled tubing»,
- Traitement/abattement des effluents et rejets,
- Inhibition chimique anti-corrosion/dépôts/bactérienne,
- Etudes de faisabilité et montages financiers,
- Etudes d'impact environnemental,
- Aspects légaux et réglementaires.

3.2 Capacités financières du demandeur

Les investissements de l'opération réseau de chaleur s'élèvent à 51,7 M€ et seront financés par le coût de raccordement des futurs abonnés au service de distribution d'énergie, des subventions et le recours à un emprunt.

Tableau 1 : Financement du projet

INVESTISSEMENT		EXPLOITATION	
Dépenses	Recettes	Charges	Produits
Etudes préalables Ressources du projet Conception réalisation des ouvrages	Subventions	P1 (fourniture d'énergie)	R1
	Emprunt	P2, P3 (exploitation maintenance)	R2
	R0	Prestation du suivi (interne / externe)	

3.3 Fonctionnement global du réseau de chaleur et de froid

La solution technique de production de chaleur et de froid pour les futurs réseaux alimentant les bâtiments de la ZAC est basée sur le principe de valorisation de l'énergie issue de la nappe sur l'Albien.

Il est prévu 3 niveaux de production/distribution d'énergie pour desservir les différentes parcelles de la ZAC :

- Une **installation centralisée**: échange avec l'Albien, appoints de chaleur et refroidissement du réseau tempéré.

- Des installations semi-centralisées (**SSTI**) localisées au niveau des îlots regroupant plusieurs parcelles
- Des installations décentralisées (**SSTP**) au niveau des parcelles

Le schéma ci-dessous représente le principe général de la production de chaud et de froid sur la ZAC.

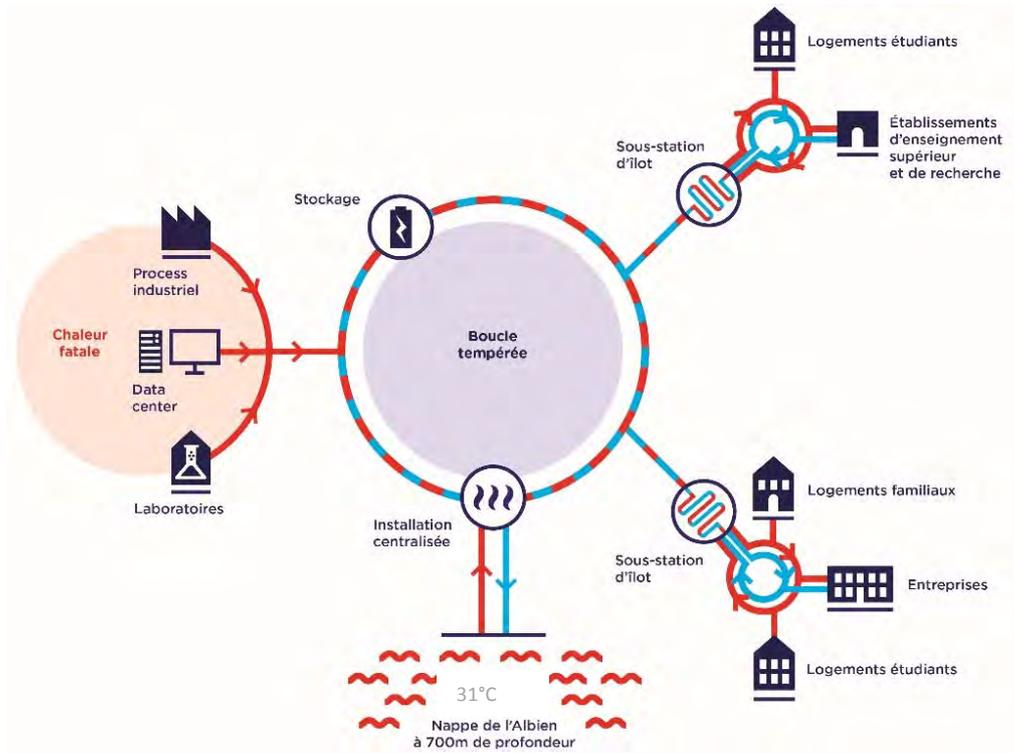


Figure 3. Principe de fonctionnement du réseau de chaleur

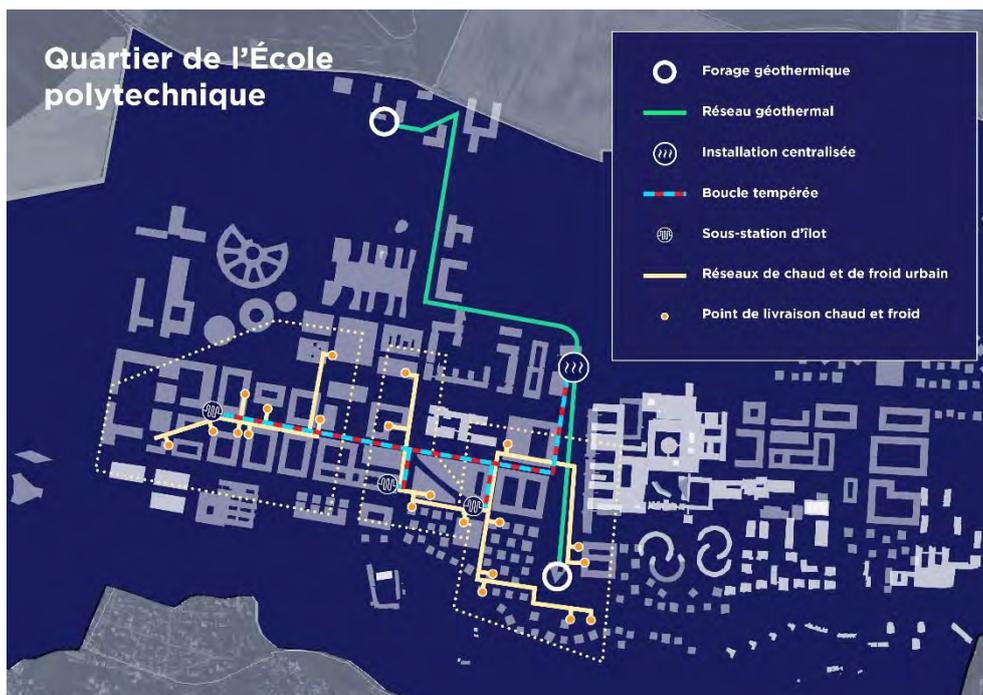


Figure 4 : Principe général du réseau de chaleur – ZAC du Quartier de l'École Polytechnique

Le fonctionnement de ce réseau de chaleur et de froid est donc basé sur la mise en œuvre d'une série d'ouvrages :

- Deux forages,
- Une centrale thermique,
- Une boucle géothermale,
- Un réseau de chaud et de froid,
- Plusieurs SSTI (4 au minimum sur la ZAC),
- Une SSTP par projet immobilier.

Ce fonctionnement et chacun des organes du réseau sont détaillés dans la partie 4.5.

3.4 Budget de l'opération réseau de chaleur

3.4.1 Budget d'investissements

3.4.1.1 Montant global des investissements

Le tableau suivant intègre les coûts des études de conception, contrairement à ceux de focus sur les investissements associés à la production géothermale.

Tableau 2 : Coût global d'investissement du réseau de chaleur

ZAC	Ouvrage	Coût (M€ HT)
ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique	Puits géothermal	6,8
	Centrale thermique	4,9
	Réseau de distribution chaud froid	3,1
	SSTP	1,6
	SSTI	3,4
	Génie civil et terrassement	4,1
	Etudes réglementaires	0,2
	TOTAL X	24,1

3.4.1.2 Focus sur les investissements associés à la production géothermale

En plus des coûts de conception qui s'élèvent à environ 390 000 €HT, les investissements liés aux puits géothermaux sont répertoriés dans le tableau ci-après.



Tableau 3 : Coûts d'investissements spécifiques aux forages

Désignation des ouvrages	U	Qté	MONTANT EUROS H.T.
Géothermie (puits géothermaux)			
<i>Forages géothermiques</i>			
Réalisation de la plateforme et avant-trou puits 1	Ens	1	395 000,00 €
Réalisation de la plateforme et avant-trou puits 2	Ens	1	395 000,00 €
Préparation et mobilisation de l'appareil de forage	Ens	1	175 000,00 €
Opérations de forage, équipements et services puits 1	Ens	1	2 305 000,00 €
Ripage de l'appareil de forage entre puits	Ens	1	150 000,00 €
Opérations de forage, équipements et services puits 2	Ens	1	2 305 000,00 €
Démobilisation appareil de forage	Ens	1	160 000,00 €
Essais de puits	Ens	1	70 000,00 €
Sous-Total : Géothermie			5 955 000 €
Management transverse pour la réalisation et frais divers associés			
Frais généraux	Ens	5%	297 750 €
Aléas + Bénéfice	Ens	2,13%	126 742 €
Sous-Total : Frais généraux, Aléas, Assurances, Bénéfices			424 492 €
Sous - Total : GEOTHERMIE (puits géothermal)			6 379 492 €
Etudes	Ens		390 000 €
Total général			6 769 492 €



En plus des coûts de conception qui s'élèvent à environ 710 000 €HT, les investissements liés à la centrale thermique sont répertoriés dans le tableau ci-après.

Tableau 4 : Coûts d'investissements de la chaufferie centrale d'appoint/secours

Désignation des ouvrages	Unité	Qté	MONTANT EUROS H.T.
Ensemble chaudières Gaz à condensation	U	2	537 104 €
Echangeurs géothermie - 4 650kW	Ens	2	92 000 €
Tour Aéroréfrigérante à circuit ouvert	U	2	156 758 €
Puissance unitaire 4MW	U	2	138 000 €
Echangeurs intermédiaire (réseau TAR)	U	2	138 000 €
Pompes de réinjection eau de puits	Ens	1	80 500 €
Pompes circulation chaudières	Ens	3	25 875 €
Pompes circulation TAR	Ens	3	51 750 €
Groupe de pompes de cication réseau tempéré	Ens	3	241 500 €
Tuyauteries/calorifuge	Ens	1	249 320 €
Organes hydrauliques	Ens	1	426 650 €
Electricité process : Alimentation et régulation	Ens	1	199 293 €
Electricité HTA	Ens	1	805 000 €
Réalisation des installations provisoires			
Mise en place d'alimentation provisoire pour ZAC X - îlot 2 (80 jours)	Ens	1	inclus
Mise en place d'alimentation provisoire pour ZAC X - îlot 3 (80 jours)	Ens	1	inclus
Sous-Total : CHAUFFERIE CENTRALE			3 003 750 €
Système de suivi et pilotage global des installations	Ens	1	630 385 €
Management transverse pour la réalisation et frais divers associés			
Frais généraux	Ens	5%	150 187 €
Aléas + Bénéfice	Ens	3,50%	105 131 €
Installation de chantier et coordination travaux	Ens	1	318 061 €
Sous-Total : Frais généraux, Aléas, Assurances, Bénéfices			573 380 €
Total : CHAUFFERIE CENTRALE D'APPOINT/SECOURS			4 207 514 €
Etudes	Ens		710 000 €
Total général			4 917 514 €€

3.4.2 Budget prévisionnel d'exploitation

3.4.2.1 Budget prévisionnel d'exploitation du réseau de chaleur

Le budget prévisionnel d'exploitation du réseau de chaleur de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique est présenté dans le tableau suivant.

Tableau 5 : Budget prévisionnel d'exploitation

ZAC	Poste	Coût (M€ HT)
ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique	P1	1,0
	P2	0,5
	P3	0,2

3.4.2.1 Budget prévisionnel d'exploitation spécifique à la boucle géothermale

Le tableau suivant reprend les dépenses liées à la géothermie uniquement, ventilée sur le P2 et le P3.

Tableau 6 : Postes P2 et P3 spécifiques à la boucle géothermale

ZAC	Ouvrage	Montant (k€ HT)
ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique	P2	
	GEOOTHERMIE (puits et réseaux géothermal)	2021
	<i>Forages géothermiques</i>	116 502 €
	<i>Réseau géothermal (depuis les puits vers la centrale)</i>	
	P3	
	GEOOTHERMIE (puits et réseaux géothermal)	2021
<i>Forages géothermiques</i>	125 753 €	

3.5 Bilan énergétique et performance environnementale à horizon 2021

Le bilan énergétique et la performance environnementale du réseau de chaleur de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique est résumé dans le tableau suivant.



Tableau 7 : Bilan énergétique et performance du réseau

ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique	PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE DE LA CHALEUR LIVREE		
	% ENR chaleur livrée	%	62%
	Contenu CO2 de chaleur livrée	<i>g CO2 / kWh Chaud</i>	72
	CONSOMMATIONS ENERGETIQUES DU RESEAU		
	Gaz naturel centrale thermique	<i>MWh</i>	574
	Electrique des Pompes à chaleur	<i>MWh</i>	5 394
	Prélevé sur l'Albien	<i>MWh</i>	8 523
	Chaleur évacuée par tours aéros (centrales thermiques)	<i>MWh</i>	1 637
	<i>Consommation Auxiliaires</i>		
	Consommation électrique Forage	<i>MWh</i>	568
Consommation électrique Chaufferie centralisée (chaud et froid)	<i>MWh</i>	307	
Consommation électrique Pompage	<i>MWh</i>	1 352	

3.6 Contexte réglementaire du projet

La recherche d'un gîte géothermique à basse température à l'Albien, les travaux de forage et son exploitation sont réglementés par les textes suivants :

- Le Code de l'environnement, en particulier son article L214,
- Le Code minier (un gîte géothermique est considéré comme une mine), en particulier son article L112-1, et ses décrets d'application suivants :
 - Le décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015 modifiant le décret n°78-498 du 28 mars 1978 (version consolidée au 08/01/2016) qui précise les conditions administratives d'obtention des titres de recherche et d'exploitation,
 - Le décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 (version consolidée au 13/01/2016) relatif à l'ouverture des travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains,
- Le Règlement Général des Industries Extractives (RGIE) : ce décret introduit le titre « Recherche par forage, exploitation de fluides par puits et traitement de ces fluides ».



3.6.1 Autorisation au titre de la loi sur l'eau – Article L214 du code de l'environnement

La Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques n° 2006- 1772 du 30 décembre 2006 régit et définit la gestion équilibrée et durable de la ressource en eau.

Dans ce contexte, le livre II du Code de l'Environnement, et notamment les articles L214-1 à 6, soumettent un certain nombre d'installations, ouvrages, travaux et activités (IOTA) à des procédures de déclaration ou d'autorisation auprès du Préfet du Département.

Ces procédures d'autorisation et de déclaration sont explicitées dans les articles R214-6 à 56 du Code de l'Environnement. L'article R214-1 du Code de l'Environnement définit, dans une nomenclature, la nature et l'importance des installations, ouvrages, travaux et activités concernés, et précise le régime dont ils relèvent (déclaration (D) ou autorisation (A)).

La réalisation d'un forage intéressant la nappe de l'Albien est régie par cette nomenclature selon les rubriques suivantes :

- Pour l'alimentation en eau potable, la rubrique 1.3.1.0 :
« A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L214-9, ouvrages, installations, travaux permettant un prélèvement total d'eau dans une zone où des mesures permanentes de répartition quantitative instituées, notamment au titre de l'article L.211-2, ont prévu l'abaissement des seuils :
 - Capacité supérieure ou égale à 8m³/h : autorisation.
 - Dans les autres cas : déclaration. »

- Pour la géothermie, la rubrique 5.1.1.0 :
« Réinjection dans une même nappe des eaux prélevées pour la géothermie :
 - Supérieure ou égale à 80m³/h : autorisation.
 - Supérieure ou égale à 8m³/h, mais inférieure à 80m³/h : déclaration. »

- Pour la géothermie également, la rubrique 5.1.2.0 :
« Travaux de recherche et d'exploitation de gîtes géothermiques (autorisation). »

Ces activités prévues à la nomenclature IOTA sont soumises à autorisation au titre de cette nomenclature, mais sont également régies par les dispositions imposées par le Code minier.

Il est prévu que l'autorisation de travaux au titre du code minier équivaille à l'autorisation IOTA. Cependant, les principes de gestion équilibrée de l'eau sont applicables et l'autorisation doit respecter les dispositions locales de protection des aquifères.

Ainsi, le présent dossier étudiera les incidences directes et indirectes prévues dans le cadre d'une demande d'autorisation IOTA (compatibilité du projet avec le SDAGE et le SAGE, gestion équilibrée et durable de la ressource en eau).

3.6.2 Permis de recherche minier et d'exploitation

Etant donnée la nature de la demande, l'article L112-1 du Code minier s'applique pour la demande de permis de recherche et d'exploitation. Dans le cas présent, en raison d'une température de l'eau dans le gisement inférieure à 150 °C, le gîte géothermique constitué de



l'aquifère de l'Albien est considéré comme un gîte géothermique à basse température (article L112-2 du Code minier).

Au titre du Code minier, les articles suivants s'appliquent au projet :

- Article L124-4: « *Nul ne peut entreprendre un forage en vue de la recherche de gîtes géothermiques à basse énergie sans une autorisation de recherche accordée par l'autorité administrative. Cette autorisation détermine soit l'emplacement du ou des forages que son titulaire est seul habilité à entreprendre, soit le tracé d'un périmètre à l'intérieur duquel les forages peuvent être exécutés. Sa validité ne peut excéder trois ans.* »,
- Article L134-5: « *Le titulaire d'une autorisation de recherche peut seul obtenir, pendant la durée de cette autorisation, un permis d'exploitation qui englobe les emplacements des forages autorisés ou qui est situé en tout ou en partie à l'intérieur du périmètre de ladite autorisation. De plus, si ses travaux ont fourni la preuve qu'un gîte est exploitable et s'il en fait la demande avant l'expiration de l'autorisation, le titulaire a droit à l'octroi d'un permis d'exploitation* ».
- Article L 134-6: « *Le permis d'exploitation confère un droit exclusif d'exploitation dans un volume déterminé, dit volume d'exploitation défini par un périmètre et deux profondeurs. L'arrêté institutif peut limiter le débit calorifique qui sera prélevé* ».
- Article L134-8 du Code minier : « *La durée initiale de validité du permis d'exploitation ne peut excéder trente ans* ». Il peut être prolongé par périodes ne pouvant chacune excéder quinze ans.

L'arrêté portant autorisation de recherches ou permis d'exploitation, ou un arrêté ultérieur pris après enquête publique, peut fixer un périmètre de protection à l'intérieur duquel peuvent être interdits ou réglementés tous travaux souterrains susceptibles de porter préjudice à l'exploitation géothermique.

Le décret n°78-498 du 28 mars 1978 (version consolidée au 01/03/2011) décrit les points à aborder dans le cadre d'une demande d'autorisation de recherches ou de permis d'exploitation. Ce décret indique que toute demande doit être accompagnée d'une étude d'impact définie à l'article 2 du décret du 12 octobre 1977 et par les articles R122-1 à R122-16 du Code de l'Environnement.

La DRIEE accepte que les deux demandes d'autorisations de recherche du gîte et d'ouverture des travaux soient présentées conjointement dans un seul document.

Dans le cadre du présent projet et conformément à la réglementation en vigueur, le titre de recherche est sollicité pour la durée maximale de 3 ans.

Le dossier de demande d'autorisation est adressé au Préfet. Lorsque la demande est jugée recevable, une enquête publique d'une durée minimale de 15 jours est diligentée dans chaque commune concernée par la demande.

Les travaux de forage 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.



En cas de non réalisation des travaux au cours de cette période, le permis de recherche peut être renouvelé, dans la mesure où la justification de non réalisation du forage est argumentée et recevable.

A l'issue des travaux de forage, en cas de succès des forages, une demande de permis d'exploitation pour une durée de trente ans sera formulée. Cette demande tiendra compte des caractéristiques de la ressource mobilisée (température, débit) et des caractéristiques exactes du réseau géothermique (puissance calorifique et de prévisions de consommation sur le réseau). 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.

3.6.3 Demande d'ouverture de travaux miniers

Le décret n°2006-649 du 2 juin 2006 (version consolidée du 13/01/2016) soumet les travaux de recherche d'un gîte géothermique mentionnés à l'article L112-2 du Code minier à autorisation.

Ce décret mentionne les points à aborder dans le cadre du dépôt d'une telle demande d'autorisation. Cette demande doit notamment comporter un mémoire exposant les caractéristiques principales des travaux prévus ainsi que les méthodes d'exploration.

De plus, ce document doit être accompagné d'un document de sécurité et de santé dans lequel sont déterminés les risques auxquels le personnel est susceptible d'être exposé.

Enfin, cette demande doit intégrer un document indiquant les incidences des travaux sur la ressource en eau et, le cas échéant, les mesures compensatoires envisagées ainsi que la compatibilité du projet avec le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) mentionné à l'article L.212-1 du code de l'Environnement.

Toute demande d'autorisation vaut également demande d'autorisation au titre du Code de l'Environnement (loi sur eau). Il n'y a pas double procédure.

4 DEMANDE D'AUTORISATION DE RECHERCHE D'UN GITE GEOOTHERMIQUE A L'ALBIEN

4.1 Localisation géographique du projet

La ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique est située à l'ouest du département de l'Essonne, sur le plateau de Saclay à environ 16 km au sud-ouest de Paris. Le périmètre de cette ZAC se situe sur le territoire des communes de Palaiseau et de Saclay.

Les communes voisines sont :

- A l'ouest : Orsay,
- Au nord : Igny et Vauhallan,
- Au sud : Villebon-sur-Yvette,
- A l'est : Massy et Champlan.

Ce plateau est délimité au nord par la Bièvre et au sud par l'Yvette.

La figure suivante présente les communes de Palaiseau et de Saclay par rapport aux communes voisines.

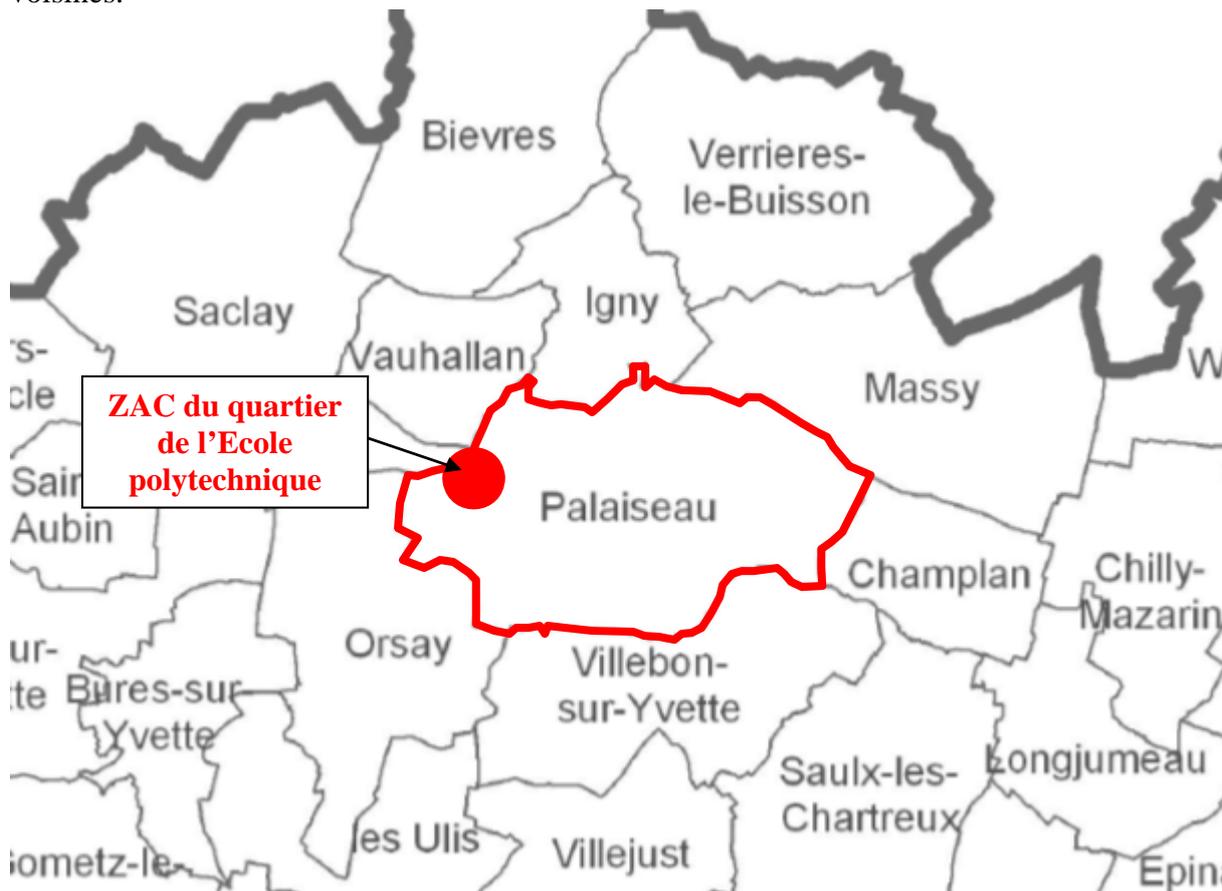


Figure 5. Localisation des communes de Palaiseau et de Saclay

l'Yvette. Sa partie nord-ouest s'étend sur le plateau de Saclay.

C'est sur cette zone et la frange sud-est de la commune de Saclay que se situe la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique.

Au droit de cette ZAC, le plateau de Saclay culmine à une altitude maximale d'environ +160 m NGF.

Les forages géothermiques objet du présent dossier seront situés sur cette zone. La figure ci-dessous précise les implantations sur la ZAC.

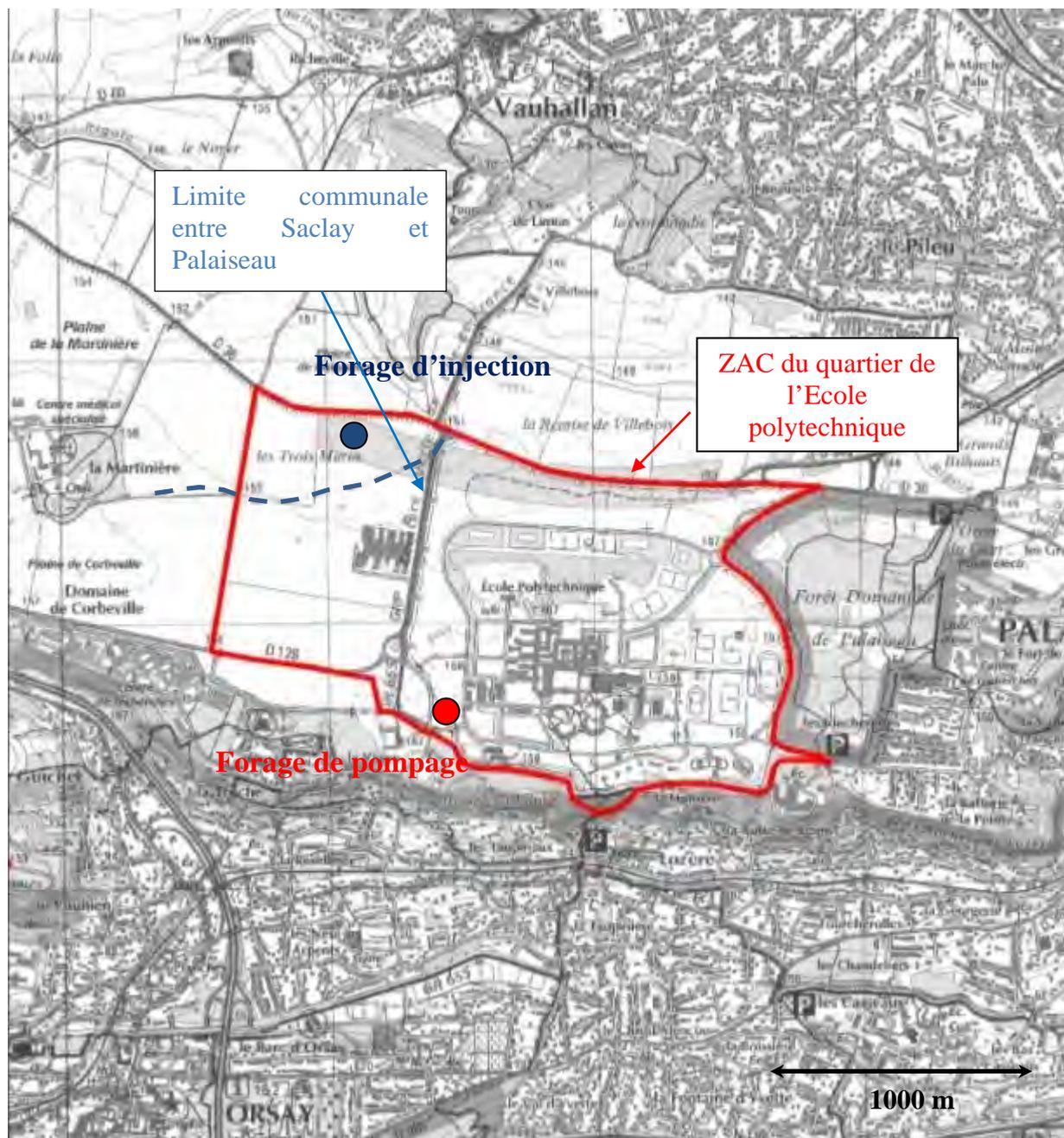


Figure 6. Localisation du site de travaux



4.2 Justification de la réalisation de forages dans la nappe de l'Albien

Le recours à la nappe de l'Albien permet de répondre à deux finalités :

1. L'alimentation du réseau de chaleur et de froid de Paris Saclay sur la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique par une énergie renouvelable et locale, à savoir la valorisation des calories de la nappe de l'Albien,
2. La création d'un nouveau point d'accès à la nappe de l'Albien pour la gestion de crise et besoin en ultime secours.

4.2.1 Le recours à la nappe de l'Albien comme source d'énergie du futur réseau de chaleur

Les études de faisabilité réalisées en 2010/2011 identifient notamment la ressource géothermale de la nappe de l'Albien comme un des scénarios techniques possible pour l'alimentation en énergie du futur réseau de chaleur de la ZAC.

La température de cette nappe est d'environ 31 °C, ce qui permettra d'assurer la production de chaud et de froid grâce à des pompes à chaleur. Un des avantages de la solution est aussi de pouvoir valoriser des énergies résiduelles de certains process ou activités de recherche actuellement non valorisées (énergies dites fatales).

Le projet, présenté à la DRIEE sous-sol dès 2012 a attiré l'attention de l'Administration dans la mesure où le territoire de développement du projet d'aménagement se trouvait à proximité d'une zone nécessitant l'implantation de forages de secours complémentaires à l'Albien (voir paragraphe suivant).

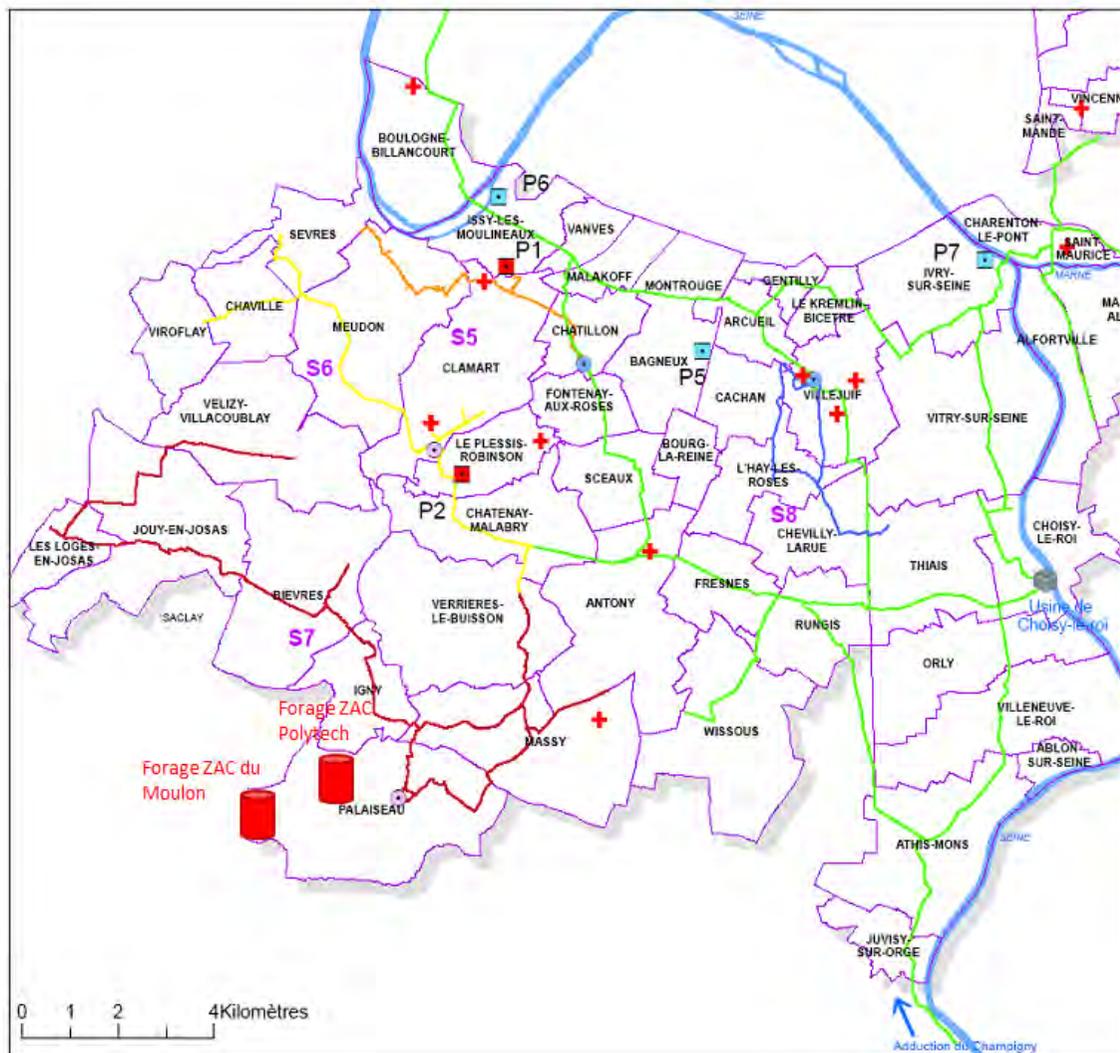
Une rencontre organisée par la DRIEE avec l'ARS en novembre 2012 a confirmé l'intérêt d'une telle solution ainsi que l'opportunité que représentait le projet d'aménagement. L'EPA Paris-Saclay a choisi de privilégier cette ressource géothermique pour l'alimentation en énergie renouvelable et bas carbone du réseau de chaleur.

4.2.2 L'intégration d'un forage de secours dans le plan du SEDIF

Le SDAGE du bassin Sud-Normandie définit la nappe de l'Albien comme une ressource exploitable en eau potable pour l'ultime secours. Les dispositions du SDAGE sont décrites plus précisément au paragraphe 6.3.6 portant sur l'impact des forages sur les ressources en eau.

Le doublet de forages sur la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique ne se trouve pas strictement sur la zone déficitaire en accès pour l'ultime secours mais à sa limite. Le projet d'aménagement de la ZAC de l'Ecole polytechnique et la réalisation de ce réseau de chaleur demeure une opportunité de réaliser un nouveau forage.

Le SEDIF a prévu d'intégrer ce nouveau forage dans son plan de secours (figure suivante).



SEDIF
SERVICE PUBLIC DE L'EAU

VEOLIA
Eau d'Ile de France
Délégataire du SEDIF

Légende carte 22 04 2013

- Usines principales (hors service)
- Centre Hospitalier
- P1 Issy les Moulineaux Géothermie (En projet)
- P2 Le Plessis Robinson Géothermie (En projet)
- P5 Bagneux Albien Aep (A rénover)
- P6 Issy les Moulineaux Albien Aep (A rénover)
- P7 Ivry sur seine Albien Aep (A rénover)
- Ossature principale
- Réservoirs sur Ossature Principale
- Réservoirs sur Ossature secondaire
- Ossature secondaire Fort d'Issy-les-Moulineaux
- Ossature secondaire Le Plessis-Robinson
- Ossature secondaire Palaiseau
- Ossature secondaire Villejuif
- Communes
- S5** SECTEUR S5 du Fort d'Issy = 108 000 habitants
- 1600 logements prévus - Population localisée dans un rayon de 1000m à proximité du réseau
- S6** SECTEUR S6 du Plessis = 148 000 habitants
Population localisée dans un rayon de 1000m à proximité du réseau
- S7** SECTEUR S7 de Palaiseau = 160 000 habitants
Population localisée dans un rayon de 1000m à proximité du réseau
- S8** SECTEUR S8 de Villejuif = 23 000 habitants
Population localisée dans un rayon de 1000m à proximité du réseau

Bassin SUD
en situation d'ultime secours

Carte N° 3

Figure 7. Plan du bassin Sud du réseau d'ultime secours SEDIF

4.3 Contexte géologique et hydrogéologique

4.3.1 Contexte géologique

4.3.1.1 Cadre structural

Les épaisseurs des formations géologiques antérieures aux sables et grès de Fontainebleau (d'âge stampien) dans la région du projet sont variables en raison des conditions tectoniques.

En effet, plusieurs axes structuraux (ondulations tectoniques) s'établissent sur la région du projet parmi lesquels on peut citer l'anticlinal de Beynes et le synclinal de l'Eure. Ce dernier se ramifie en deux axes synclinaux que sont le synclinal de Trappes qui se confond approximativement avec le tracé de la Bièvre et le synclinal de Chevreuse qui correspond à l'axe d'écoulement de l'Yvette.

La ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique se situe sur le flanc nord du synclinal de Chevreuse.

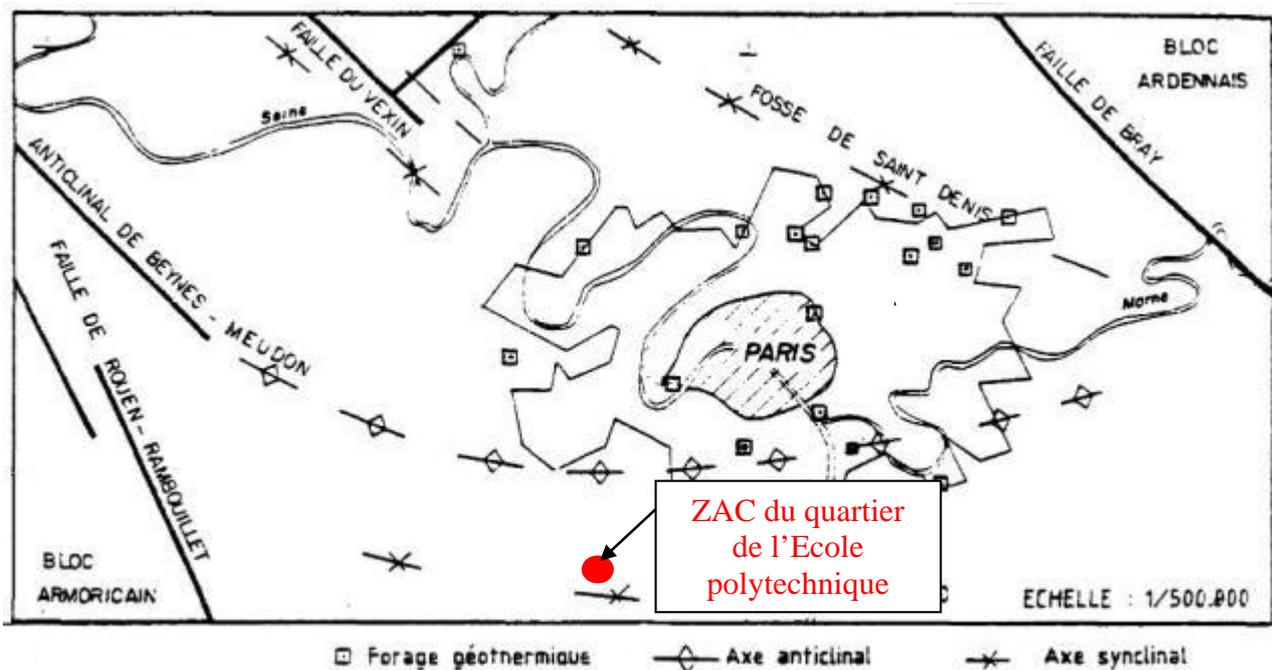


Figure 8. Carte structurale simplifiée du bassin de Paris

D'après les cartes géologiques n°218 et 219, le rapport BRGM SGR.64.A48 et les coupes des ouvrages BSS du secteur, la succession lithologique tertiaire est la suivante :

- Les Limons des plateaux (LP) : limon renfermant des débris de roches dures.
- Les Meulière de Montmorency (g3) : argile bariolée et meulière.
- Les Sables de Fontainebleau (g2b) : sable fin jaune à ocre au sommet, vert et plus argileux à la base.
- Les Marnes à Huîtres (g2a) : marne argileuse gris-vert.
- L'Argile verte de Romainville (g1) : argile verte avec des niveaux de calcaire beige.
- Les Marnes supragypseuses et les Masses et Marnes du Gypse (e7) : marne argileuse bleu-verdâtre et marno-calcaire beige.



- Le Calcaire de Saint-Ouen (e6b) : marno-calcaire beige.
- Les Sables de Beauchamp (e6a) : sables fins à très fins, vert, et plus ou moins argileux avec présence de grés.
- Les Marnes et Caillasses et le Calcaire Grossier (e5) : marnes blanches plus ou moins argileuses et magnésiennes au sommet et alternance de caillasses calcaire beige très dures. Calcaire grossier beige à grisâtre reposant sur des calcaires glauconieux parfois très durs et compacts, parfois tendres et sableux.
- Le sable de Cuise (e4) : sable blanchâtre à galets noirs.
- L'Argile plastique (e3) : argile plastique bariolée.
- Le Calcaire pisolitique et les Marnes de Meudon (e1) : calcaire granuleux, concrétionné, jaune ou blanc, en bancs très durs parfois fossilifères et marnes.
- La Craie (c6-5) : craie blanche tendre avec quelques lits de silex noirs.

La localisation de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique sur la carte géologique du BRGM au 1/50 000 de Corbeil (n°219) est présentée sur la figure suivante.

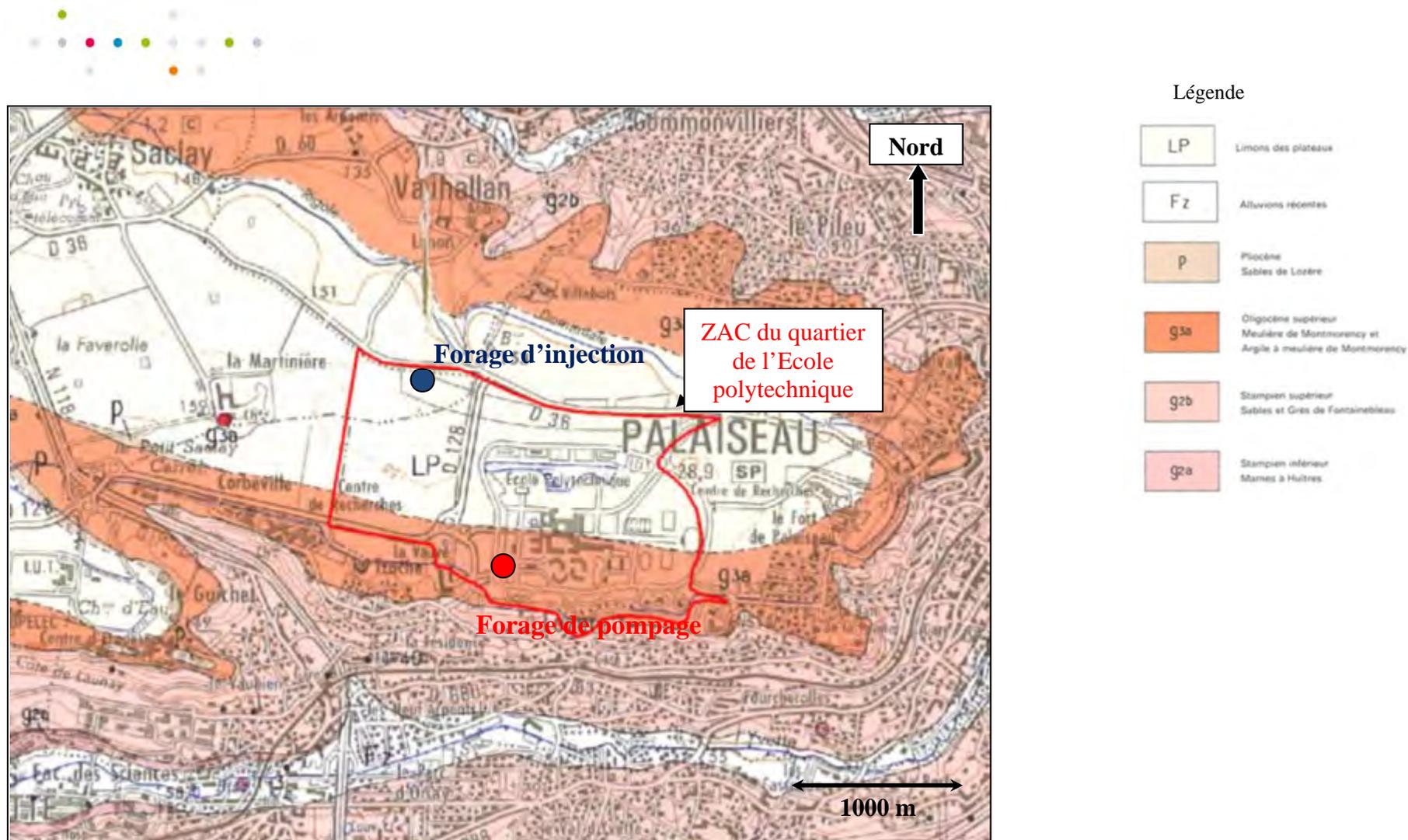


Figure 9. Carte géologique au droit de la zone d'étude



4.3.1.3 Géologie de l'Albien

Situé en profondeur sous la série tertiaire et les faciès crayeux du Crétacé supérieur, l'Albien est rencontré entre 450 et 750 m de profondeur en région Ile-de-France.

Dans la partie centrale du bassin parisien, l'Albien repose sur les argiles de l'Aptien et est limité au sommet par des marnes sablo-gréseuses et glauconieuses du Cénomaniens.

Du point de vue hydrogéologique, on peut subdiviser l'Albien en deux parties :

- Les niveaux supérieurs marneux et argileux appelés Marnes de Brienne (marnes plastiques ou indurées, noirâtres et glauconieuses) et Argile de Gault (localement sableuses), constituant le toit de l'aquifère. Ces deux niveaux sont souvent indifférenciés,
- Le niveau inférieur formé de niveaux sableux et de passages argileux appelé Albien inférieur. Il constitue le réservoir aquifère albien.

L'Albien inférieur est représenté par une alternance de niveaux sableux (sables moyens à grossiers jaune – vert) et de niveaux argileux qui sont de haut en bas :

- Les Sables de Frécambault, marqués par la présence de grés blancs, peu cimentés, à grains anguleux au sommet, et de sables jaunes, grossiers, hétérogènes et glauconieux au sommet. De plus, des passées d'argiles noirâtres discontinues peuvent être présentes à la base,
- Les Argiles tégulines, noires, parfois sableuses et relativement peu épaisses
- Les Sables des Drillons, grés glauconieux au sommet et des sables fins gris verts, glauconieux et argileux à la base,
- L'Argile de l'Armanche, argilites noires légèrement sableuses avec localement des passées dolomitiques brunes,
- Les Sables verts, très glauconieux et mélangés à des argiles vertes, la base étant souvent la plus argileuse.

Ces appellations stratigraphiques ne représentent pas obligatoirement en tout lieu les faciès correspondant à leur dénomination lithologique. Les niveaux sableux peuvent être en partie ou totalement envahis par de l'argile.

De plus, suivant les sites, il apparaît que les trois niveaux sableux de l'Albien inférieur peuvent être bien distincts ou au contraire se fondre en un banc unique.

D'après la coupe du forage à l'Albien le plus proche du site (forage AEP d'Orsay), il semble qu'à proximité de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique, on se trouve plutôt dans le premier cas de figure (niveaux sableux distincts).

4.3.1.4 Coupe géologique prévisionnelle au droit de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique

La ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique se situe sur les communes de Palaiseau et de Saclay, à une cote comprise entre +153 et +160 m NGF environ.

A partir des coupes géologiques des forages répertoriés à la BSS, de l'étude BRGM SGR.64.A48 et l'étude BRGM 97-D-411 (R 39702) (cartes du toit et du mur de l'Albien sableux, voir figures suivantes), deux coupes géologiques prévisionnelles peuvent être proposés au droit des zones pressenties pour accueillir les forages (sud et nord de la ZAC).

Tableau 8 : Coupes géologiques retenues au droit de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique

Profondeur approximative (nord) (m/TN à +159 m NGF)	Profondeur approximative (sud) (m/TN à +153 m NGF)	Formation géologique	Age
0 à 2	0 à 2	Limons des plateaux	Quaternaire
2 à 18	0 à 13	Argiles à Meulières	Stampien
18 à 76	13 à 70	Sables de Fontainebleau	
76 à 86	70 à 80	Marnes à Huîtres	
86 à 92	80 à 86	Argile verte	
92 à 99	86 à 93	Marnes supragypseuses	
99 à 139	93 à 133	Masse et Marnes du Gypse, Calcaire de Saint Ouen, Sable de Beauchamp	Bartonien
139 à 174	133 à 168	Marnes et caillasses Calcaire grossier	Lutétien
174 à 189	168 à 183	Sable de Cuise, Argile plastique	Yprésien
189 à 539	183 à 533	Craie blanche et grise	Séno-Turonien
539 à 624	533 à 618	Craie grise argileuse	Cénomaniens
624 à 669	618 à 663	Marnes de Brienne et Argile de Gault	Albien supérieur
669 à 734	663 à 728	Sables de Frécambault, Argiles tégulines, Sables des Drillons, Argile de l'Armanche, Sables verts	Albien inférieur
734 à 757	728 à 751	Sables et argiles	Aptien

Précision des cotes : +/- 5 m jusqu'au toit de la craie et +/- 10 m pour le Crétacé supérieur et l'Albien.

D'après le rapport BGRM 97-D-411 (R 39702), la puissance cumulée des sables de l'Albien inférieur est d'environ 50 m sur l'ensemble de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique.

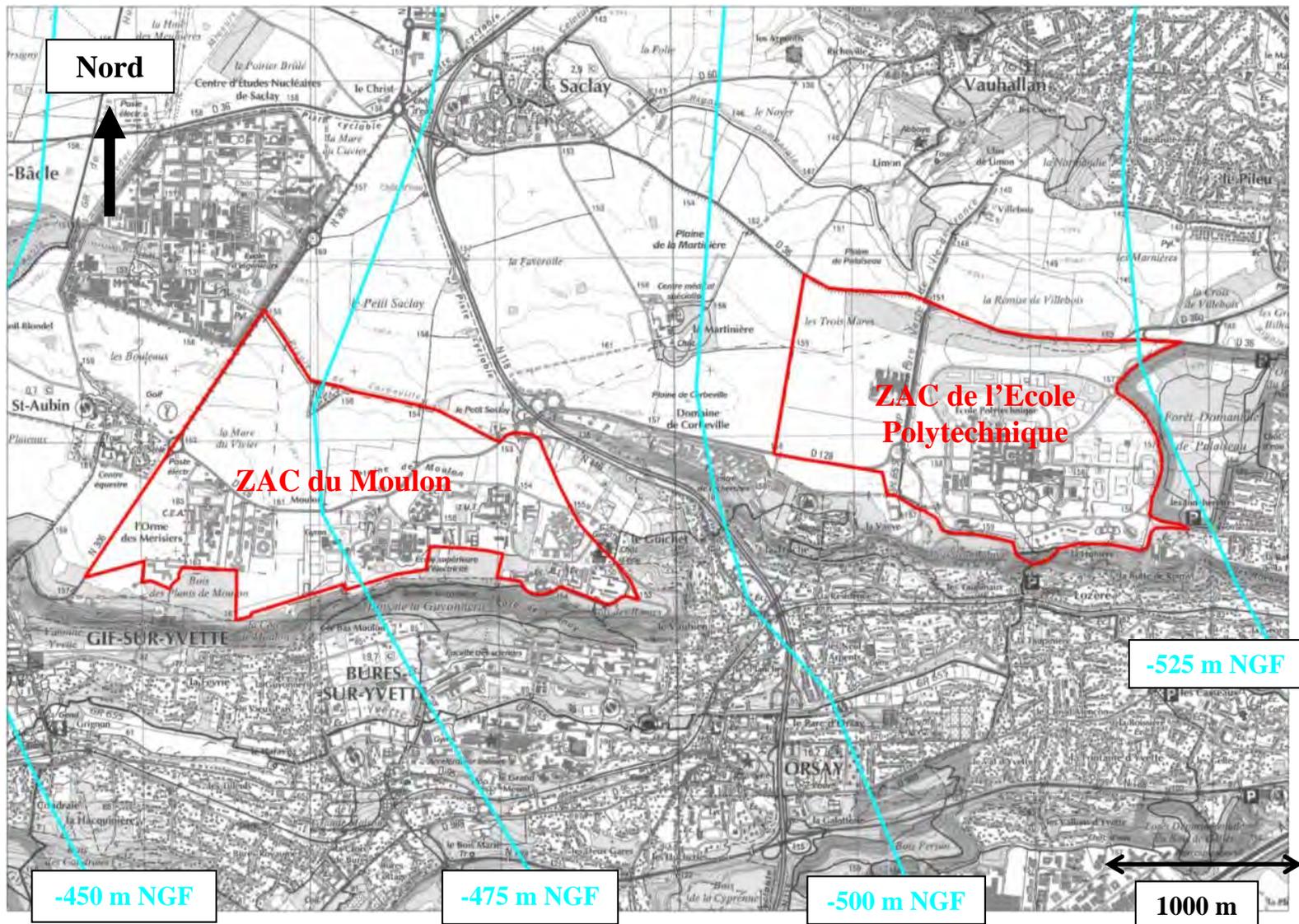


Figure 10. Carte des isohypses du toit des sables de l'Albien

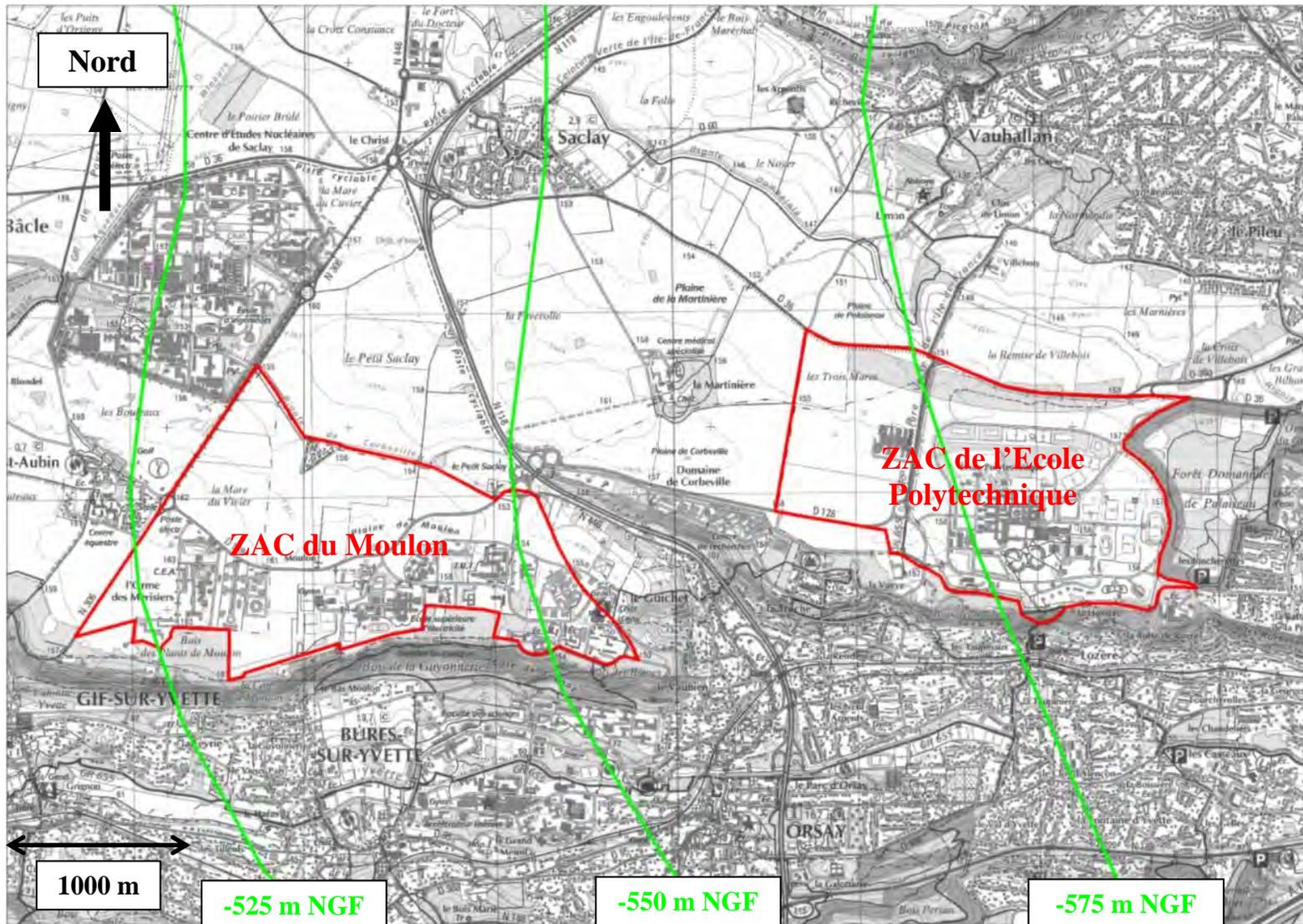


Figure 11. Carte des isohypses du mur des sables de l'Albien



4.3.1.5 Contexte hydrogéologique

Dans la région du projet, plusieurs réservoirs aquifères ont été identifiés :

- Les formations superficielles (limons des plateaux, sables de Lozère et argiles à meulière de Montmorency),
- Les Sables et grès de Fontainebleau de l'Oligocène
- Les Calcaires de Saint-Ouen du Marinésien,
- Les Sables de Beauchamp de l'Auvervien,
- Les Calcaires du Lutétien,
- Les Sables de Cuise de l'Yprésien (plutôt argileux voire inexistant localement),
- La Craie du Sénonien.

Les principales caractéristiques de ces réservoirs sont les suivants :

- Une nappe située dans les formations superficielles (limons des plateaux, sables de Lozère et argiles à meulière de Montmorency). Il s'agit en réalité d'un ensemble de « lentilles aquifères perchées » en discontinuité hydraulique les unes des autres, ce qui va à l'encontre de la définition exacte d'une nappe. Il faut donc l'envisager comme un milieu discontinu, d'épaisseur variable, comportant localement des massifs de meulière compacte ou seulement des fragments, des lentilles argileuses imperméables et des poches sableuses.
- La nappe des sables de Fontainebleau est une nappe d'importance régionale présente au niveau du projet. Les débits prélevés pourraient être compris entre 10 et 40 m³/h au droit du secteur d'étude.
- La nappe de l'Eocène supérieur (composée principalement du calcaire de Saint-Ouen au niveau du secteur d'étude) est présente presque exclusivement à l'est de la zone d'étude (soit en direction de la fosse de Draveil) et principalement dans les axes des vallées (zones plus fracturées). Du fait de sa géométrie, ce réservoir présente, au niveau de la zone d'étude, de faibles débits (débit maximum de l'ordre de quelques m³/h).
- La nappe du Lutétien est assez reconnue au nord et à l'est du plateau de Saclay. Les débits d'exploitation envisageables s'échelonnent entre 20 et 40 m³/h au droit du secteur d'étude.
- La nappe de l'Yprésien est absente dans le secteur du projet.
- La nappe de la craie est réputée improductive lors qu'elle est recouverte par une épaisseur importante de terrains tertiaires comme c'est le cas au droit du plateau de Saclay.

4.3.1.6 Ecoulement et pression hydrostatique de l'Albien

Au droit de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique, l'écoulement de la nappe de l'Albien converge vers Paris et la petite couronne où se concentrent la majorité des prélèvements.



D'après l'étude BRGM 97-D-411 (R 39702), la nappe de l'Albien s'écoule du Sud-Ouest vers le Nord-Est avec un gradient moyen d'environ 1‰.

De plus, d'après cette étude, le niveau statique de la nappe s'établit à environ +38 m NGF au droit de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique.

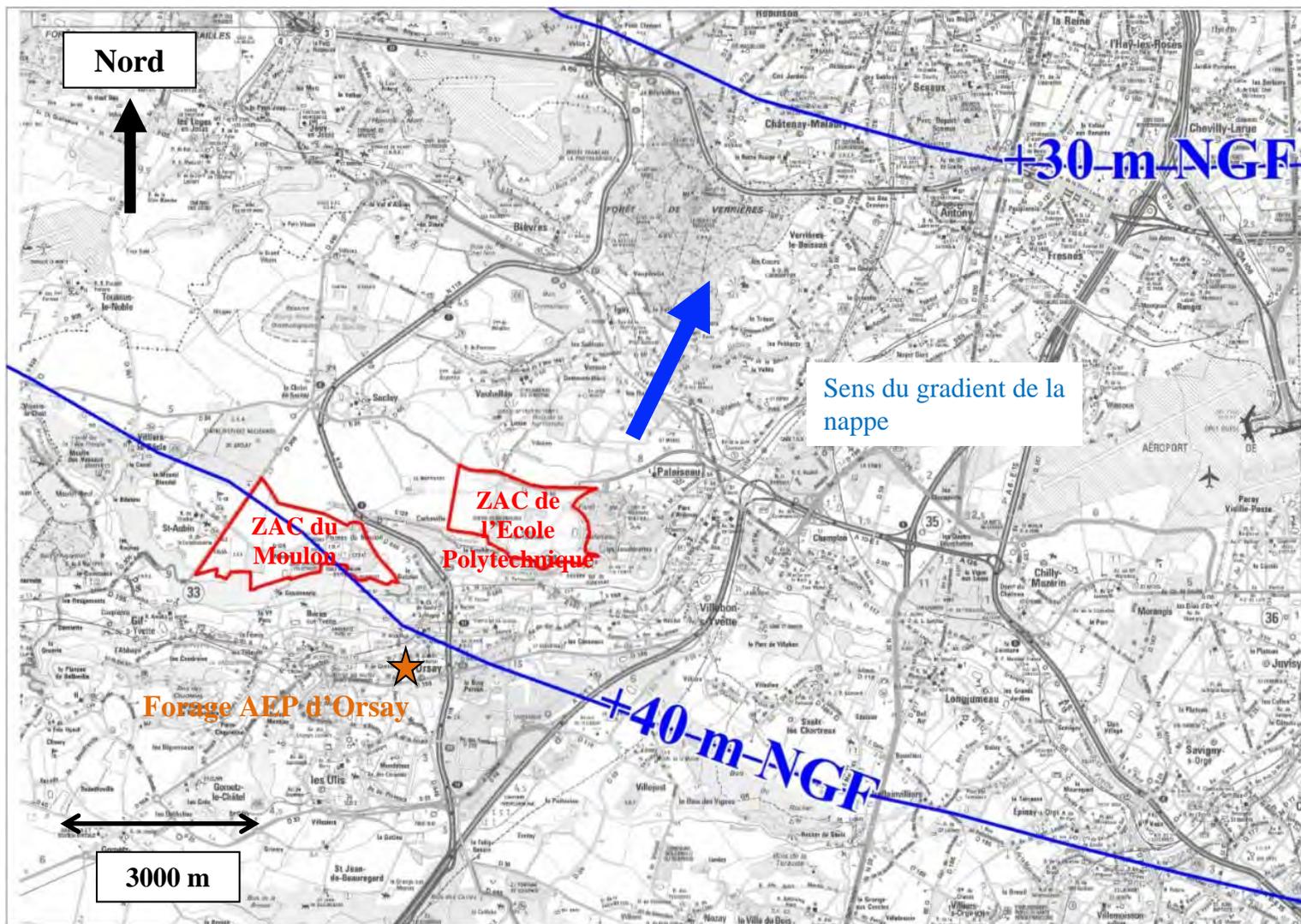


Figure 12. Carte piézométrique de la nappe de l'Albien



4.3.1.7 Paramètres hydrodynamiques de l'Albien et débit exploitable

D'après l'étude BRGM 97-D-411 (R 39702) et l'étude de la gestion des aquifères de l'Albien et du Néocomien (Hydroexpert, 2000), la transmissivité des sables de l'Albien au droit de la ZAC du Moulon serait respectivement comprise entre $3,5 \cdot 10^{-3}$ et $4,5 \cdot 10^{-3}$ m²/s et entre $3 \cdot 10^{-3}$ et $4 \cdot 10^{-3}$ m²/s. Ces deux cartes de transmissivité (figures suivantes) ont été réalisées à partir des données recueillies sur l'ensemble des forages à l'Albien du Bassin Parisien.

Le projet de ZAC se situe à proximité du forage d'eau potable de la commune d'Orsay qui a servi à l'élaboration de ces cartes. On peut donc estimer que les fourchettes de transmissivité sont fiables sans pour autant pouvoir quantifier cette fiabilité puisqu'il n'existe pas d'autre forage à proximité.

Ainsi, en prenant l'intervalle commun de ces deux fourchettes, on peut penser que la transmissivité au droit du projet sera vraisemblablement comprise entre $3,5 \cdot 10^{-3}$ et $4 \cdot 10^{-3}$ m²/s.

Sur la base de cette fourchette de transmissivité, on peut donner une fourchette de débit probable comprise entre 190 et 215 m³/h.

La mesure du coefficient d'emmagasinement nécessite la mesure du rabattement induit sur un piézomètre. Elle n'a pas été réalisée sur la nappe de l'Albien.

La mesure de ce paramètre la plus proche du projet a été réalisée à Neuilly-sur-Seine ($1 \cdot 10^{-4}$).

D'après l'étude BRGM 97-D-411 (R 39702), la porosité des sables Albien serait d'environ 30%.

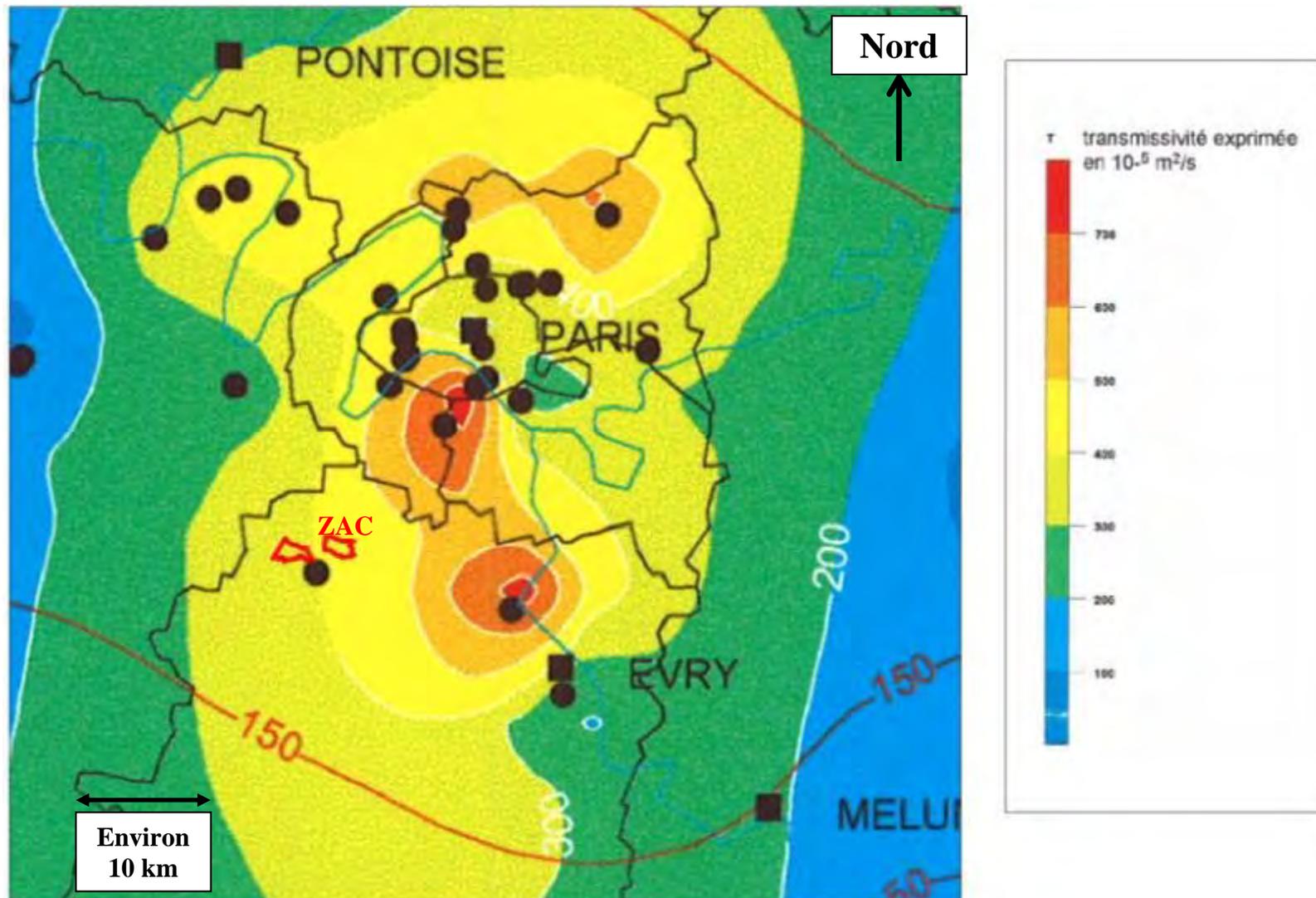


Figure 13. Répartition des transmissivités (rapport BGRM IDF R39702)

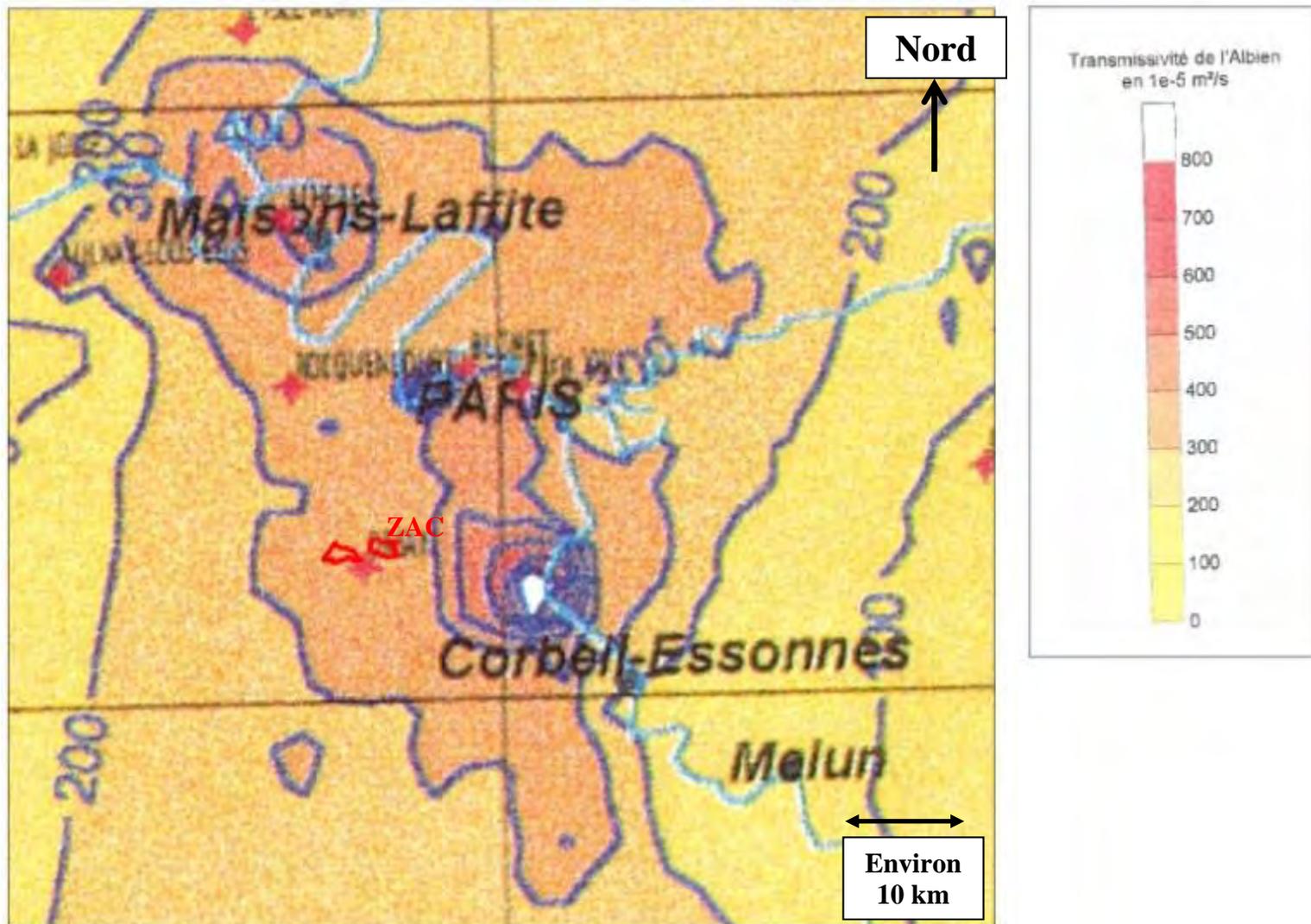


Figure 14. Répartition des transmissivités (rapport Hydroexpert)



4.3.1.8 Température

Compte tenu du gradient géothermique moyen en Ile de France et de la profondeur du toit de l'Albien au droit de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique, la température du réservoir est estimée à environ 31°C +/- 1°C.

Les données collectées sur le forage AEP d'Orsay sur le site de l'ADES pour 28 échantillons (température mesurée en surface) confirment une fourchette de température en tête de puits comprise entre 29 et 31°C (en excluant une valeur anormalement basse).

Ainsi, en première approximation, on retiendra une température moyenne de l'eau d'exhaure en surface de 30°C +/-1°C au producteur. Afin de ne pas descendre sous une valeur de principe de 10°C à l'injecteur, on peut donc compter sur un ΔT° de l'ordre de -20°C.

4.3.2 Caractéristiques physico-chimique du fluide

Le forage à l'Albien le plus proche de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique est celui appartenant à la commune d'Orsay (91). L'eau de ce forage étant utilisée pour l'approvisionnement en eau potable, la chimie de l'eau de ce forage est particulièrement suivie et les données de ce suivi sont disponibles sur le site ADES.

Le tableau suivant indique la composition chimique en ions majeurs du forage d'Orsay qui devrait être proche de la composition chimique de l'eau de l'Albien au droit de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique.

Tableau 9 : Composition chimique de l'eau de l'Albien prélevée au forage d'Orsay

Paramètres	Nombre d'analyses	Références ou limites de qualité	Valeur minimum	Valeur maximum	Valeur moyenne
Calcium (mg/l)	31	-	27,1	32,5	29,8
Magnésium (mg/l)	31	-	3,8	8	6,5
Sodium (mg/l)	30	200	4,6	6,6	5,7
Potassium (mg/l)	31	-	2,7	9,8	8,5
Chlorures (mg/l)	24	250	4,4	8	5,2
Sulfates (mg/l)	30	250	9,5	14,1	11,6
Hydrogénocarbonates (mg/l)	31	-	110	322	133
Dureté (°F)	17	-	9,2	11	10,1
pH (à 20°C)	32	$\geq 6,5$ et ≤ 9	6,7	8	7,6
Conductivité à 25°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	31	≥ 200 et ≤ 1100	207	283	242,7
Fer ($\mu\text{g}/\text{l}$)	20	200	135	300	150

Selon l'arrêté du 11/01/2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaines

Ces analyses montrent que l'eau de l'Albien est dans le secteur d'étude faiblement minéralisée (salinité d'environ 200 mg/l), en quasi équilibre calco-carbonique ce qui réduit le risque de corrosion et le risque de formation de dépôt.

D'autre part, des analyses sur l'eau du forage à l'Albien de la Maison de la Radio à Paris avant passage dans l'échangeur (27°C) et après passage dans l'échangeur (8°C) ont permis de montrer que la minéralisation des eaux rejetées a peu varié par rapport à celle des eaux prélevées.

Ces différentes études montrent que la composition des eaux de l'Albien est assez constante au cours du temps.



Les eaux de l'Albien sont réputées pour contenir du fer, ce que les analyses sur le forage d'Orsay confirment. La présence de glauconie dans les sables albiens et/ou de niveaux argileux dans les sables peuvent être à l'origine de cette présence de fer. Les teneurs en fer observées sur le forage d'Orsay sont relativement élevées ce qui nécessite de maintenir le fluide dans des conditions d'anaérobiose pour éviter toute précipitation sous la forme d'hydroxyde de fer. La présence de fer est aussi propice au développement des bactéries du fer. Le maintien en pression du réseau géothermal évitera toute oxygénation et permettra de remplir cet objectif.

4.3.3 Historique de l'exploitation de l'Albien

Dans un rayon de 20 kilomètres, il existe 9 captages fonctionnant ou susceptibles de fonctionner actuellement :

- Le captage AEP d'Orsay, le plus proche, situé à environ 1700 m au Sud-Ouest,
- Le captage de Viry-Châtillon situé à environ 13 km à l'Est,
- Le forage de Brétigny-sur-Orge situé à environ 14 km au Sud,
- Le forage d'Evry situé à environ 19 km au Sud-Est,
- Les forages de St Lambert situés à environ 13 km à l'Ouest,
- Le forage de Rocquencourt situé à environ 14 km au Nord-Ouest,
- Le forage d'Issy SEDIF situé à environ 12,5 km au Nord,
- Le forage de Bagneux situé à environ 12 km au Nord-Est,
- Le doublet de forages géothermiques d'Issy les Moulineaux situé à environ 11,5 km au Nord.

Les forages à l'Albien cités ci-dessus sont localisés sur la figure suivante.

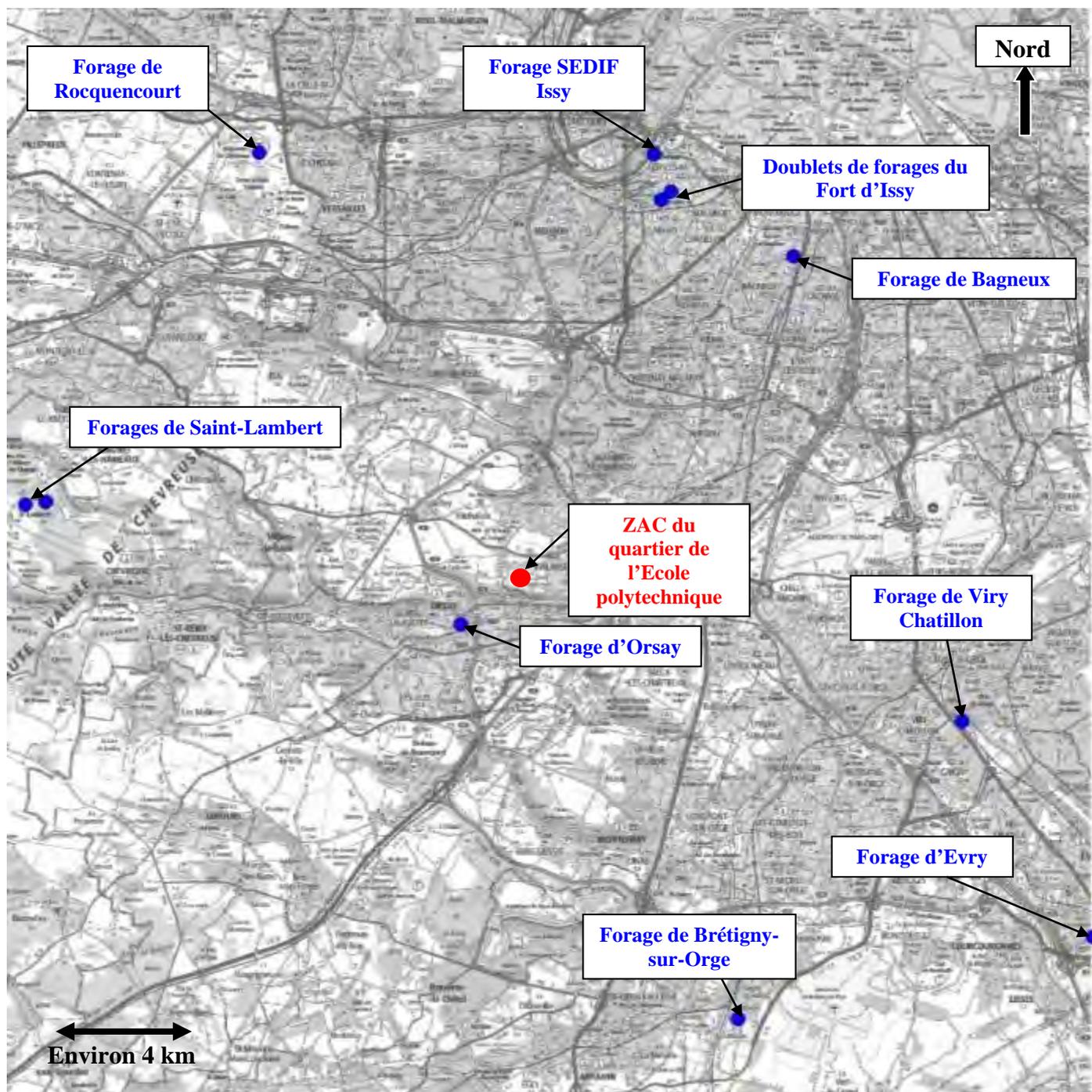


Figure 15. Localisation des forages à l'Albien voisins

4.4 Alimentation en eau potable de secours

La situation d'Ultime Secours correspond à une crise majeure durant laquelle l'essentiel des moyens du système de production-distribution sont indisponibles de manière durable.

Pour faire face à une telle situation, le SEDIF s'est doté d'un plan de gestion de crise interne appelé « plan d'ultime secours », qui apporte une première réponse aux prescriptions du Plan



Régional d'Alimentation en Eau Potable (PRAEP) édicté par les services de l'Etat. Les principes du plan d'ultime secours ont été validés par ses instances le 05 juillet 2013.

4.4.1 Stratégie adoptée par le SEDIF pour son plan d'ultime secours

4.4.1.1 Ressource en eau

Dans le cas du SEDIF, l'hypothèse de crise retenue devant recourir à une solution d'Ultime Secours est l'arrêt simultané, quelle qu'en soit la cause et pour une durée indéterminée, des 3 usines de production d'eau potable du SEDIF, sans secours possible de la part des autres distributeurs. Ces trois usines qui produisent de l'eau potable à partir d'eau de surface (Seine, Marne et Oise) assurent en temps normal 95 % des besoins en eau sur le territoire du SEDIF. Pour pallier le déficit en ressource causé par la perte de ces usines, le SEDIF doit recourir aux ressources souterraines qui sont moins vulnérables aux crises que les eaux de surface.

Les besoins prioritaires en eau de qualité potable sont établis dans le PRAEP entre 5 l/j/hab. (minimum vital) et 20 l/j/hab. Ce même document établit une base de 10 l/j/hab dès lors que la distribution d'eau ne provient plus d'un réseau d'adduction conventionnel. En limitant donc à 10 l/j/hab la quantité d'eau distribuée en cas de crise, le besoin total en eau sur le territoire du SEDIF en situation d'ultime secours a été estimé à 111 000 m³/j, soient 13% des ressources prélevées en moyenne en situation normale.

Aujourd'hui le SEDIF compte déjà dans son patrimoine des ressources souterraines mobilisables. Il s'agit des usines à puits d'Arvigny, d'Aulnay-sous-Bois, de Neuilly-sur-Seine et Pantin. La production de ces usines (associée à la production de quelques forages tiers existants et réquisitionnables), couvre aujourd'hui 73% des besoins nécessaires en cas d'Ultime Secours. Pour atteindre les 100%, il a été estimé que le SEDIF devait construire et équiper 9 nouveaux forages.

Les forages dans l'Albien sont à privilégier car, de par sa profondeur, cette nappe est protégée des pollutions de surface et l'eau puisée ne nécessite pas de traitement avant distribution (voir partie 4.3.2 sur la qualité de l'eau de l'Albien).

Le SDAGE en vigueur (décrit dans la partie 6.4.6) réserve l'usage de la ressource à l'ultime secours. Les autorisations de prélèvement sont gérées par la DRIEE qui assure la police de l'eau sur cette nappe.

Afin de réduire les coûts d'investissement pour ces nouveaux forages, le SEDIF est à la recherche de partenariats sur des projets de géothermie à l'Albien. L'eau puisée dans un forage géothermique qui est en temps normal réinjectée dans la nappe, pourra être distribuée, en cas d'ultime secours, soit par un raccordement à un réseau de distribution situé à proximité, soit par camion-citerne.

C'est le cas de deux projets de géothermie déjà en exploitation, à Issy-Les-Moulineaux et au Plessis Robinson, pour lesquels le SEDIF bénéficiera des droits de puisage lors des situations d'ultime secours à la demande des services de l'Etat. Un raccordement entre le réseau géothermique et le réseau du SEDIF est à l'étude et devrait permettre dans le futur l'utilisation de cette eau en ultime secours.

4.4.1.2 Transport



En cas de crise, il n'est pas possible de maintenir en service le réseau de distribution de manière complète, car cela ne permettrait pas de restreindre la consommation individuelle à 10 l/j/hab. Il n'est pas non plus imaginable de transporter l'eau par camion, compte tenu d'une part du nombre de camions qui serait nécessaire, et d'autre part des difficultés probables de circulation en ces circonstances.

Le SEDIF a donc envisagé de mettre à disposition l'eau en des points de distribution judicieusement repartis sur l'ensemble du territoire. L'eau produite par les forages serait transportée vers ces points de distribution par des réseaux spécialisés appelés ossatures.

Le transport de l'eau en cas d'ultime secours serait donc assuré de la sorte :

- Une ossature principale, alimentée principalement par les usines à puits existantes et qui s'étend sur un linéaire de 250 km dans les zones les plus basses (zones actuelles de 1^{ère} élévation) du territoire du SEDIF. Elle permet de desservir environ 80% de la population à secourir (voir figure suivante).
- Des ossatures secondaires constituées autour de forages à créer. Les ossatures secondaires permettent d'amener l'eau dans les différentes zones d'altitude plus élevée (zones actuelles de 2^{ème} et 3^{ème} élévation)
- Un transport par camion pour les zones situées à plus de 1 km des ossatures. Le besoin pour cette partie limitée du territoire est évalué à 150 camions citernes de 10 m³ qui viendront s'approvisionner sur les bornes ou postes incendie encore en service.

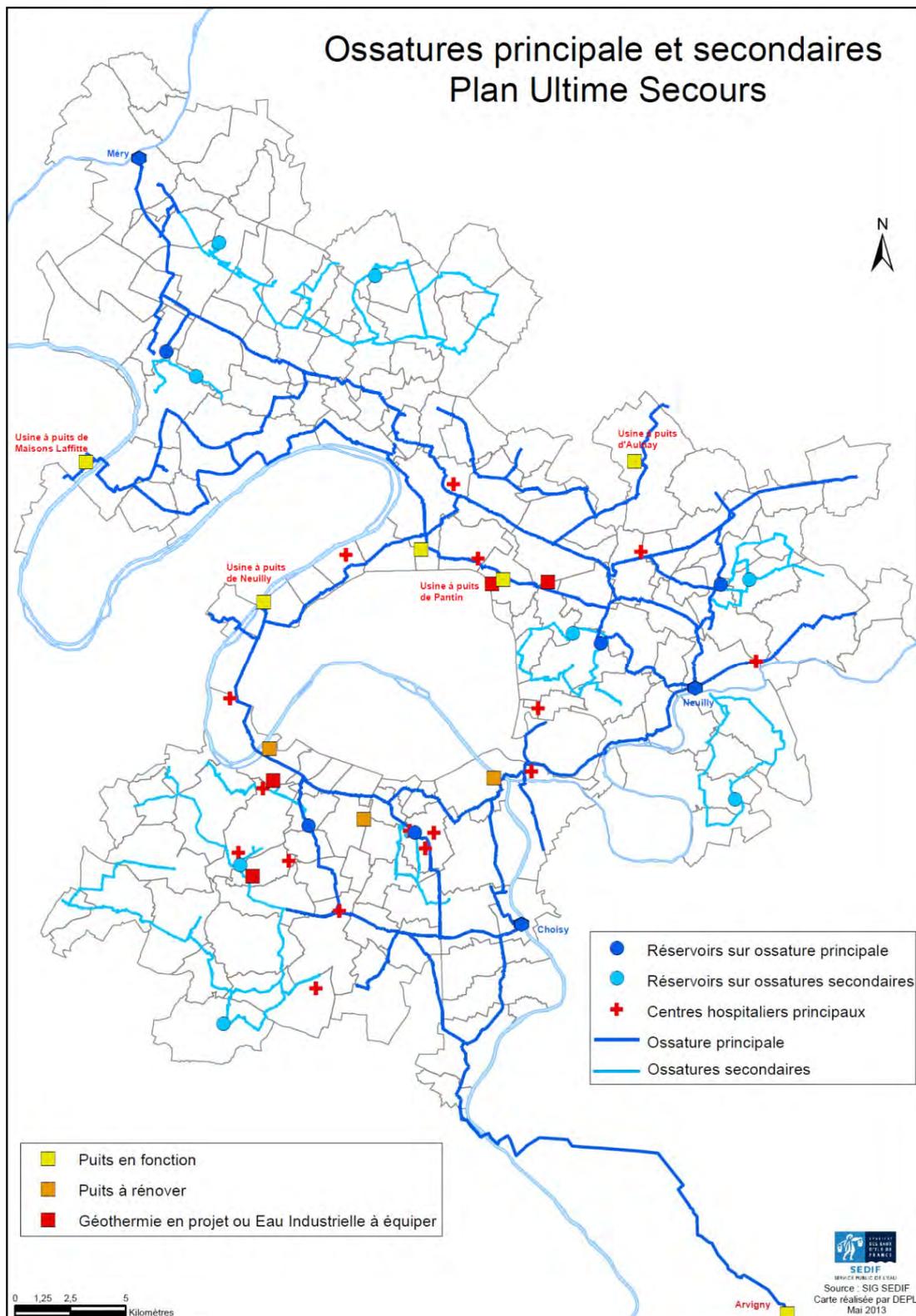


Figure 16 : Ossatures principales et secondaires du réseau SEDIF



4.4.2 Intérêt des forages du plateau de Saclay dans la réalisation du plan d'ultime secours.

4.4.2.1 Plan d'ultime secours dans le secteur sud

Dans le secteur sud du territoire du SEDIF, l'architecture du plan d'ultime secours est la suivante (cf carte de la figure suivante) :

- L'ossature primaire (en vert) couvre la partie la moins élevée du réseau du SEDIF est alimentée par les usines de production.
- L'ossature secondaire d'Issy-Les-Moulineaux (en jaune) et l'ossature secondaire du Plessis Robinson (en orange) seront alimentées par les forages géothermiques déjà exploités.
- Enfin une ossature secondaire (en rouge) en équilibre sur le réservoir de Palaiseau qui transporterait l'eau vers des points de distribution situés dans les communes de Palaiseau, Massy, Igny, Verrière le Buisson, Bièvre, Jouy en Josas, Les loges en Josas et Vélizy-Villacoublay.

Le plan d'ultime secours prévoyait initialement la construction d'un forage pour alimenter cette ossature. Cette fonction pourrait être assurée par le forage de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique.

4.4.2.2 Utilisation des forages du plateau de Saclay pour l'ultime secours.

Les doublets géothermiques de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique et de la ZAC du Moulon seront implantés sur le plateau de Saclay à proximité du réservoir de Palaiseau (cf carte de la figure suivante). Nous prévoyons donc que ces deux forages alimentent l'ossature secondaire en équilibre sur ce réservoir en remplacement du forage à construire.

De plus la présence à proximité immédiate de canalisations appartenant au SEDIF, limite les aménagements nécessaires pour le transport de l'eau produite vers le réservoir de Palaiseau.

Le plan d'ultime secours estime à 160 000 le nombre de personnes alimentées par l'ossature secondaire de Palaiseau. La production d'un forage à l'Albien étant limitée à 150 m³/h, un seul forage serait en théorie suffisant pour leur fournir 10 litres par jour et par personne. Néanmoins, cette estimation ne prenait pas en compte les besoins, de la future population de la ZAC du Moulon et de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique (environ 5000 logements) qui aura également besoin d'eau en cas de crise.

Une étude menée par le SEDIF a montré qu'un deuxième forage était nécessaire pour couvrir, les besoins de l'ossature de Palaiseau, et de celles des deux ZAC.

L'étude a également démontré que l'excédent éventuel d'eau produit par le second forage, pouvait, moyennant quelques aménagements, être transféré via l'ossature primaire vers d'autres zones du périmètre SEDIF non encore pourvues en forage ou mises à disposition par camion-citerne dans d'autres secteurs ne disposant pas de ressources souterraines.

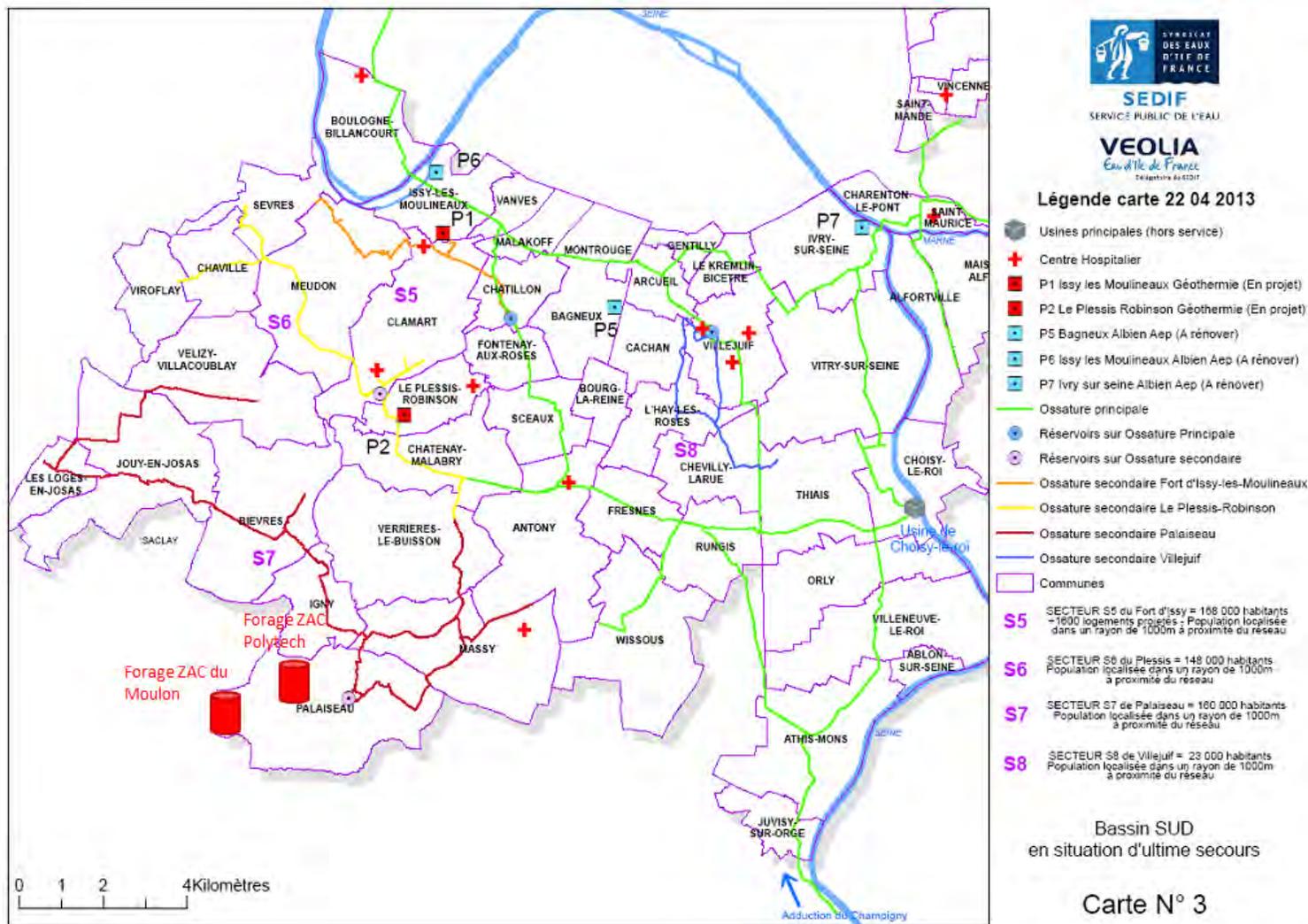


Figure 17 : Plan d'ultime secours du SEDIF pour le secteur Sud

4.4.3 Principe de raccordement au réseau

Le principe de raccordement proposé par le SEDIF est le suivant :

- Piquage direct sur la conduite géothermale au niveau du forage de réinjection (au nord de la ZAC),
- Pose d'une conduite jusqu'à une chambre de raccordement, incluant tous les équipements nécessaires à la maîtrise et au contrôle de l'alimentation en eau potable,
- Pose d'une conduite de raccordement jusqu'au réseau principal d'alimentation en eau.

Le schéma ci-dessous illustre le principe du raccordement entre les deux réseaux et les équipements nécessaires pour la gestion de celui-ci

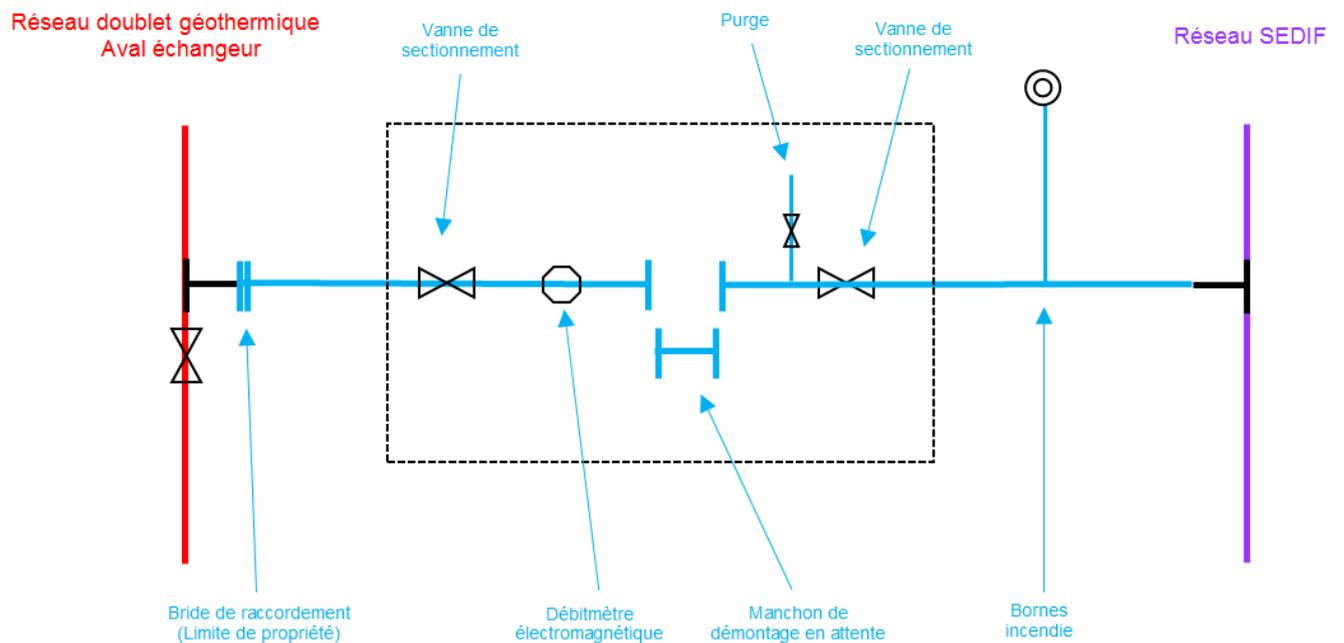


Figure 18. Principe de raccordement réseau géothermique / réseau SEDIF

Comme montré sur la figure précédente, le raccord ne sera effectif qu'en cas de pose du manchon de raccordement. La chambre sera sécurisée et étanche.

Le croquis ci-dessous place le raccordement entre les réseaux sur le site de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique.

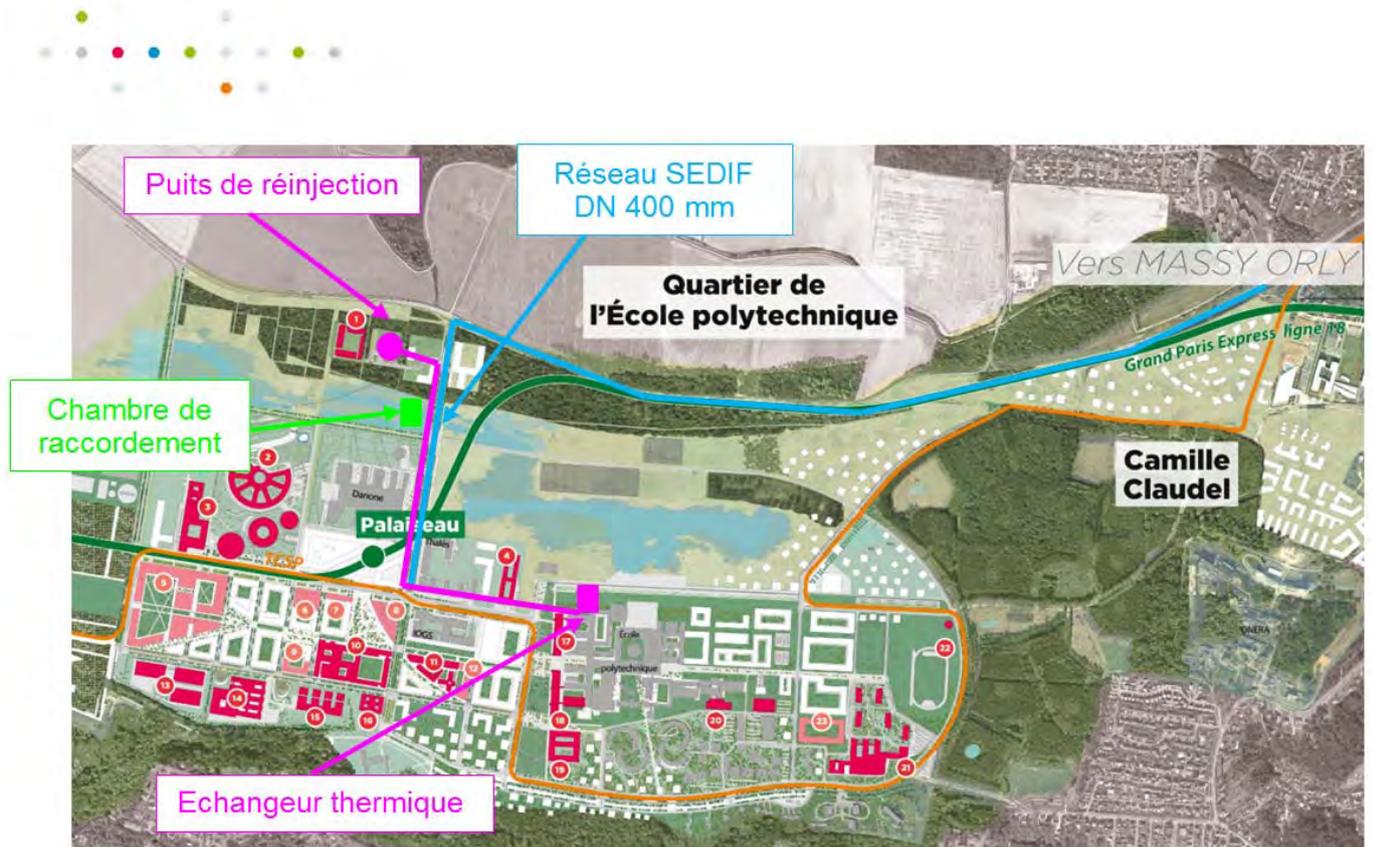


Figure 19. Implantation du raccordement en ultime secours SEDIF

4.5 Ouvrages de surface : le réseau de chaleur et de froid de Paris Saclay

4.5.1 Introduction

Comme évoqué dans l'introduction de ce document, l'EPA Paris-Saclay s'est orienté vers le choix d'un réseau de chaleur et de froid sur la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique. Afin d'en assurer la performance énergétique et d'en faciliter le dimensionnement, l'ensemble des futurs projets immobiliers y seront raccordés.

4.5.2 Les besoins énergétiques de la ZAC

Sur la base des ratios de puissance au mètre carré, le tableau ci-dessous présente les besoins (kW) en chauffage, ECS et froid de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique. Ces besoins sont traduits en puissance appelée au niveau des ilots et de l'installation centralisée en prenant en compte les pertes réseaux et le foisonnement.



Tableau 10 : Besoins en puissance

Puissance (kW)	Total ZAC QEP	Ilôt 1	Ilôt 2	Ilôt 3
P chaud ratios (W/m²)		6 260	9 943	1 217
P chaud tenant compte du foisonnement (0,8)		5 008	7 955	973
P chaud tenant compte des pertes réseaux (0,95)		5271	8 373	1 024
P ECS ratios (W/m²)		537	1 175	137
P ECS tenant compte du foisonnement (0.8)		430	940	110
P ECS tenant compte des pertes réseaux (0.95)		452	989	115
P froid ratios (W/m²)		2 018	3 166	187
P froid tenant compte des pertes réseaux (0.98)		2 058	3 231	191
Total Chaud appelé	16 224	5 723	9 362	1 139
Total Froid appelé	5 480	2 058	3 231	191

Sur la base des profils types, le bilan prévisionnel de production donne la répartition suivante entre les différentes ressources pour les productions de chaleur et de froid. Elle met en évidence que la ressource géothermique de l'Albien est indispensable pour l'atteinte du taux de 50% EnR à l'échelle de la ZAC.

Tableau 11 : Répartition de la production de chaud

CHAUD	Besoins chaud	Albien	Valorisation combinée chaud et froid	Récupération autres ilôts	Electricité TFP et auxiliaires	Electricité géothermie et auxiliaires	Gaz	Taux ENR
2 016	1 451	601	260	142	445	51	24	64%
2 017	1 854	707	553	71	524	60	24	67%
2 018	6 864	2 952	1 788	119	1 987	250	113	66%
2 019	12 564	5 665	2 932	210	3 724	480	210	65%
2 020	15 164	6 819	3 310	357	4 497	580	395	64%
2 021	18 569	8 268	3 456	684	5 663	708	768	62%

Figure 20 : Mix énergétique prévisionnel ZAC QEP chaud 2021

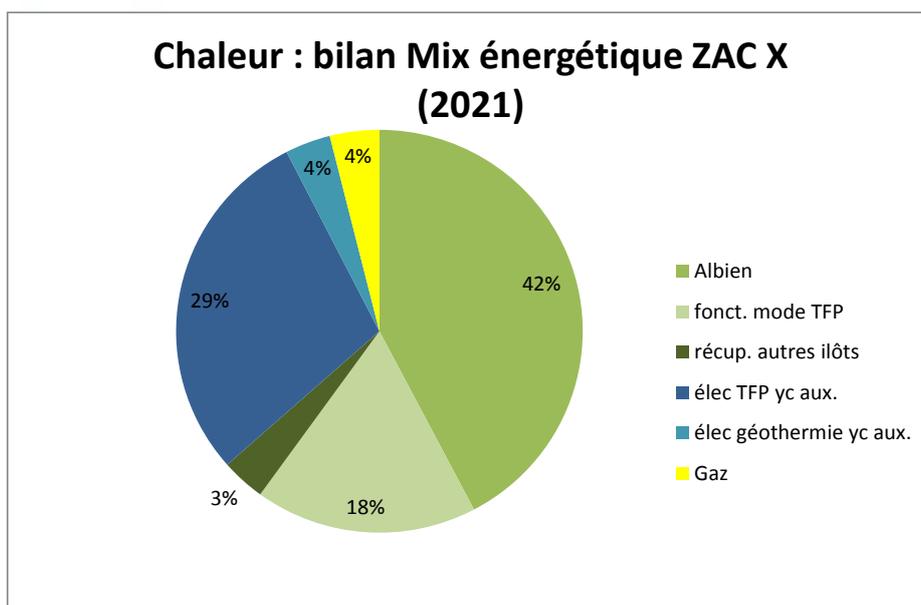


Tableau 12 : Répartition de la production de froid

FROID	Besoins froid	TAR	Valorisation combinée chaud et froid	Récupération autres îlots	Electricité TFP et auxiliaires	Electricité TAR et auxiliaires	Taux ENR
2 016	460	261	16	4,65	187	17	56%
2 017	943	550	22	9,76	379	46	55%
2 018	2 282	1 276	921	21,83	823	83	60%
2 019	3 596	1 839	1 633	32,33	1 273	120	61%
2 020	3 885	1 843	1 917	33,09	1 346	120	62%
2 021	3 979	1 637	2 231	29,31	1 186	106	68%

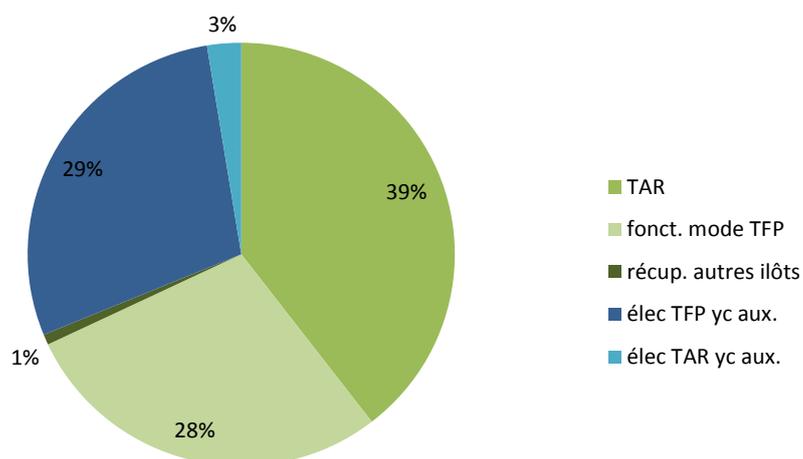


Figure 21 : Mix énergétique prévisionnel ZAC QEP froid 2021

4.5.3 Solution technique pour assurer les besoins de la ZAC

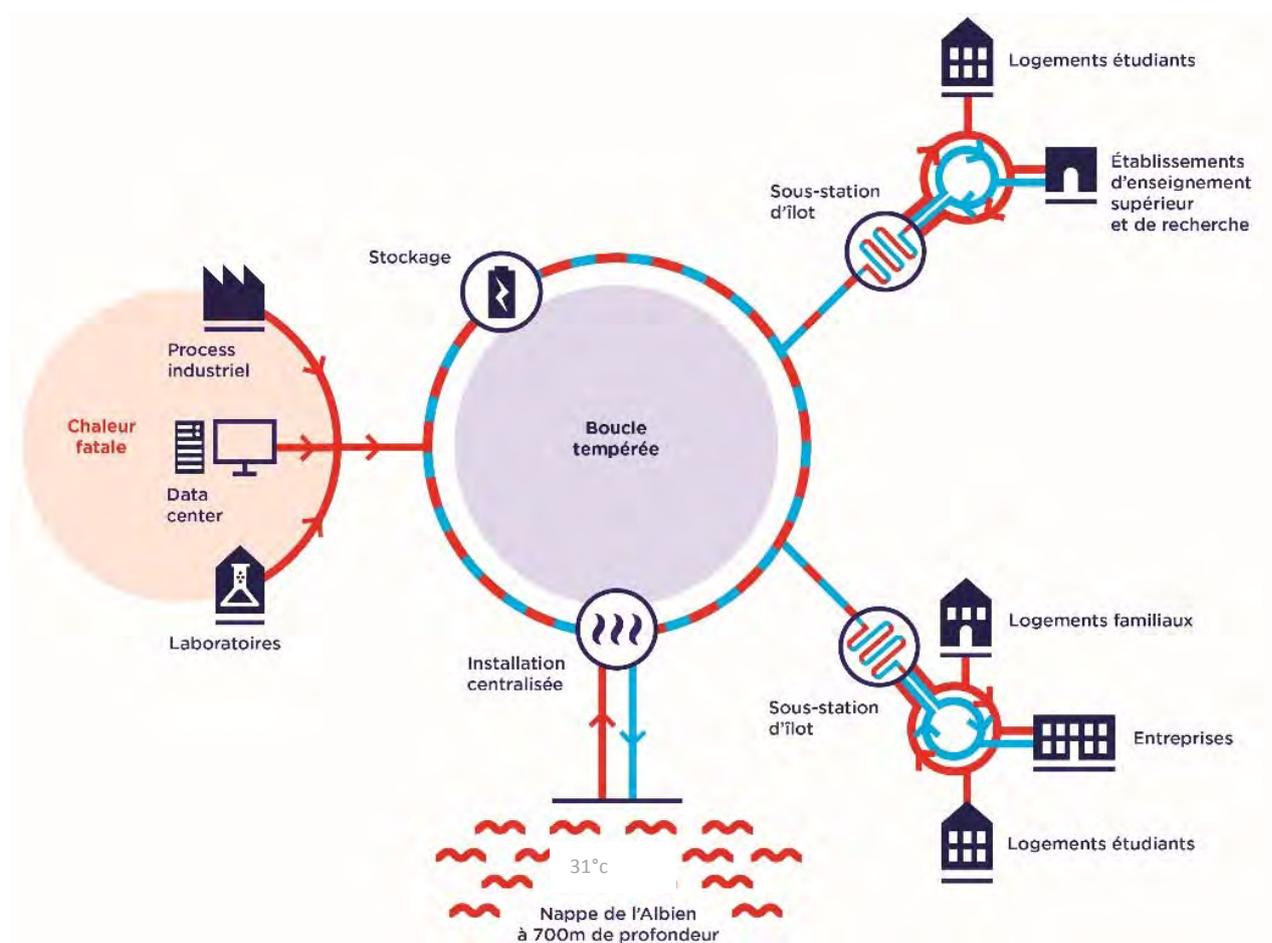
La solution technique de production de chaleur et de froid pour les futurs réseaux alimentant les bâtiments de la ZAC est basée sur le principe de valorisation de l'énergie issue de la nappe sur l'Albien.

Il est prévu 3 niveaux de production/distribution d'énergie pour desservir les différentes parcelles de la ZAC :

- Une installation centralisée : échange avec l'Albien, appoints de chaleur et refroidissement du réseau tempéré,
- Des installations semi-centralisées (SSTI) localisées au niveau des îlots regroupant plusieurs parcelles,
- Des installations décentralisées (SSTP) point de livraison d'énergie au niveau des parcelles.

Le schéma ci-dessous représente le principe général de la production de chaud et de froid sur la ZAC. Le plan qui suit présente le tracé du réseau, des forages et des sous-stations.

Figure 22. Principe général de fonctionnement du réseau de chaleur



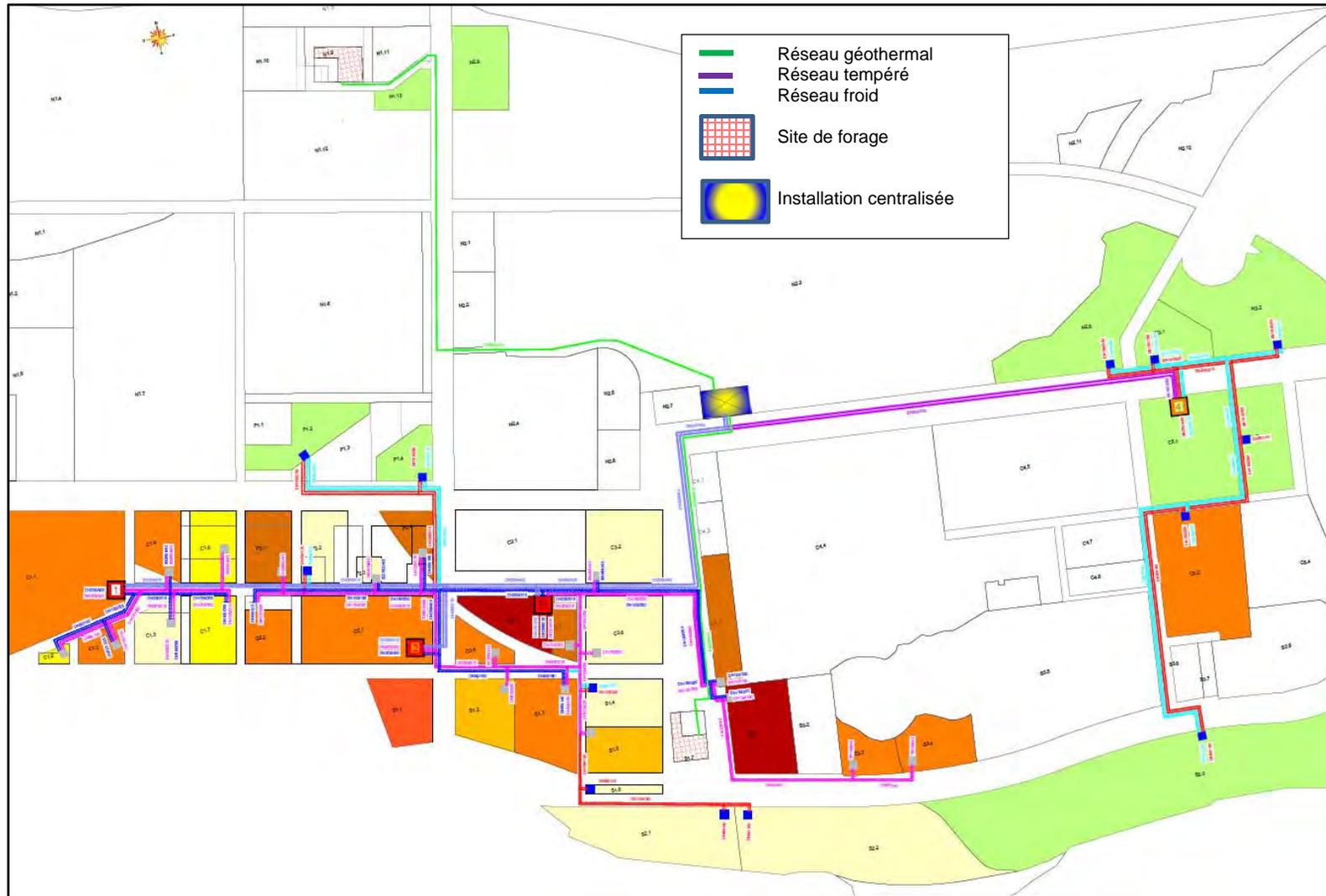


Figure 23. Plan du réseau de chaleur de la ZAC du quartier de l'École polytechnique



4.5.4 Fonctionnement de l'installation

En hiver et demi-saison, le réseau tempéré à un régime de 10-30°C fera profiter de la géothermie à l'ensemble des utilisateurs. L'excédent de froid produit par les SSTI sera soit récupéré au niveau des autres SSTI soit évacué dans la nappe de l'Albien.

Si la capacité de la nappe n'est pas suffisante, un appoint de chaleur sera réalisé en centrale par les chaudières.

En hiver, en cas de très forte demande, la production de chaleur des SSTI par les PAC est complétée par celle des chaudières centralisées qui est alors distribuée à 70-100°C via le réseau tempéré.

En été, la chaleur excédentaire des SSTI ne peut être absorbée par la géothermie car elle réchaufferait alors la ressource, elle est alors distribuée entre les SSTI pour revalorisation par le réseau tempéré et évacuée sur les tours de refroidissement situées dans l'installation centralisée de la ZAC.

Ce schéma énergétique permet de garantir un taux EnR&R de 50% et un contenu CO2 inférieur à 100g/kWh.

4.5.4.1 Fonctionnement installation centralisée

L'installation centralisée de la ZAC a les deux fonctions suivantes :

- Prélever l'énergie de l'Albien pour en faire profiter chacun des preneurs au travers du réseau d'eau tempérée et des SSTI,
- Traiter le surplus de chaud ou de froid véhiculé par le réseau tempéré par des tours de refroidissement ou des chaudières gaz.

L'installation centralisée est pilotée selon 3 modes de fonctionnement à savoir :

- Le fonctionnement mi-saison (fonctionnement Enr&R sur l'Albien),
- Le fonctionnement hiver avec appoint,
- Le fonctionnement été (fonctionnement en froid prédominant).



4.5.4.2 Fonctionnement des sous-stations d'îlot (SSTI)

En modes hiver avec appoint et tempéré, les PAC des SSTI permettent d'assurer la récupération de chaleur entre les besoins de chaleur et de froid de son îlot et aussi entre îlots au travers du réseau tempéré. Ce dernier permet aussi la revalorisation de la géothermie par les PAC.

La récupération de chaleur se fait en hiver avec les besoins de froid des preneurs dit de process, mais aussi en été entre les besoins de climatisation et d'ECS.

Les pompes à chaleur sont gérées de manière globale par l'exploitant du réseau, afin d'optimiser les flux énergétiques en tenant compte des différents usages et des contraintes sur le réseau électrique, dans une logique smart grid et en utilisant au mieux ses installations. Le réseau de chaleur constituera donc une brique du futur smart grid énergétique, le « Smart Energy Paris-Saclay ».

De la même manière que pour l'installation centralisée, les SSTI sont pilotées selon 3 modes de fonctionnement à savoir :

- Le fonctionnement tempéré ou mi-saison
- Le fonctionnement été ou production de froid prédominante,
- Le fonctionnement hiver avec appoint ou production de chaleur prédominante avec appoint,

Afin de limiter les encombrements en voirie, la distribution de chaleur et d'ECS depuis les SSTI se fait sur un réseau 2 tubes et non avec un réseau dédié au chauffage et une autre dédié à l'ECS. La température de livraison sera optimisée en fonction des besoins des preneurs.

4.5.4.3 Fonctionnement des sous-stations de parcelle (SSTP)

Chaque parcelle raccordée est alimentée par une sous-station de parcelle (SSTP) équipée en fonction des besoins :

- d'échangeur (s) de chauffage,
- d'échangeur (s) d'eau glacée,
- de préparateurs ECS.

Chaque SSTP est installée dans un local technique mis à disposition par le preneur appelé «sous-stations de livraison». Dans le cas où le preneur dispose d'une SSTI, la SSTP sera installée dans un local technique contigu.

L'installation peut accueillir des solutions de récupération d'énergie propre au bâtiment par préchauffage de la boucle ECS avant le préparateur. Ces solutions particulières seront étudiées au cas par cas.

Selon les parcelles, sont identifiés 3 typologies de SSTP :

- Type A : Besoin en chauffage, froid et ECS.
- Type B : Besoin en chauffage et ECS.
- Type C : Besoin en chauffage et froid.

4.6 Description de la boucle géothermale

4.6.1 Définition de la production géothermale

La boucle géothermale se compose de :

- Deux forages (production et injection)
- D'un local enterré au droit de chaque forage,
- D'un réseau de transport de l'eau de l'Albien (voir figure19),
- De l'échangeur géothermique et des filtres situés dans la centrale thermique.

La figure ci-après schématise le fonctionnement et les différents éléments de cette boucle géothermale qui seront détaillés dans la suite du paragraphe.

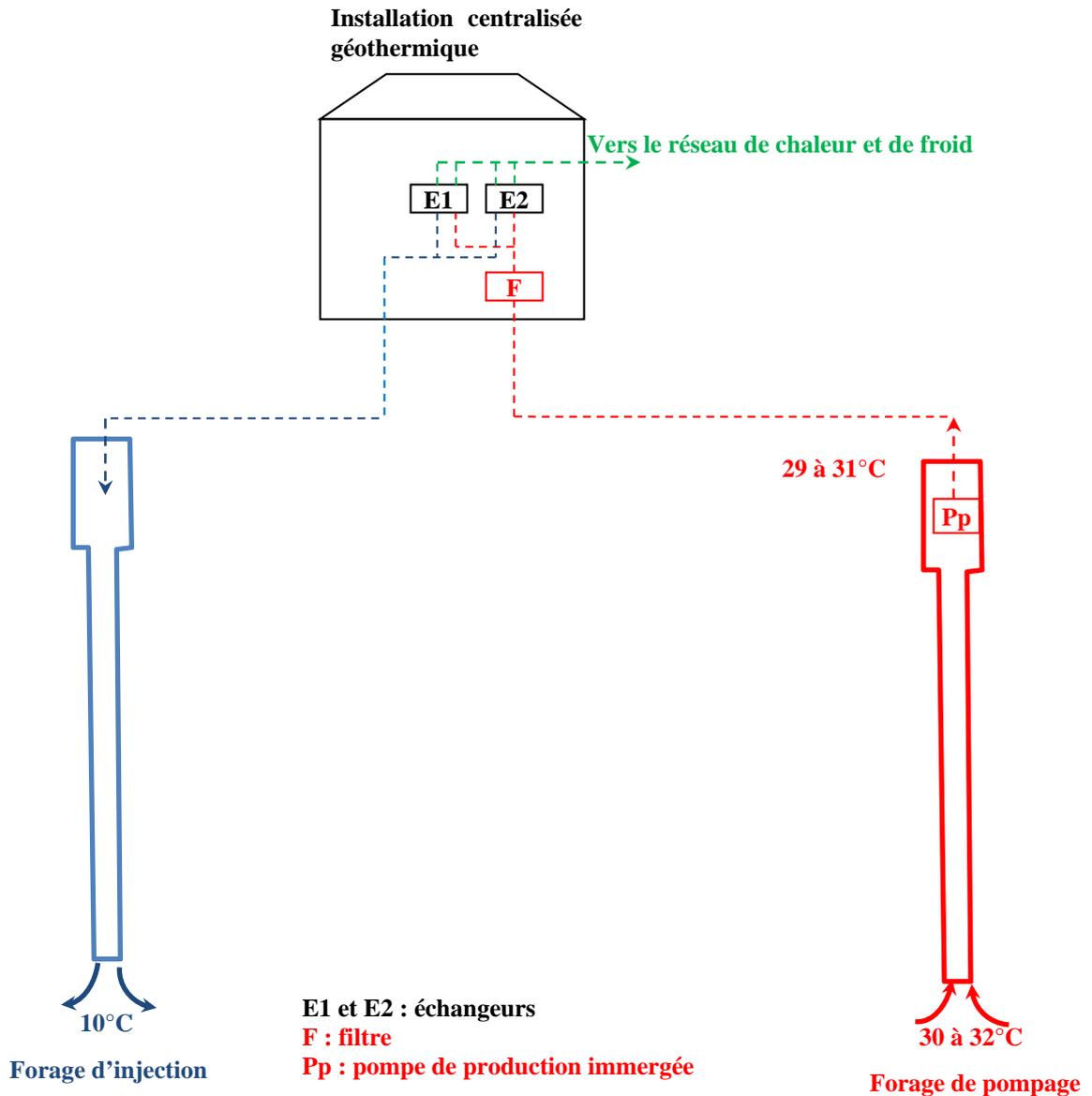


Figure 24 : Schéma de fonctionnement de la boucle géothermale

4.6.2 Description des forages

Il s'agit de deux forages de 750 m de profondeur permettant de capter la nappe de l'Albien.

La description des techniques de forages et de leur géométrie est détaillée dans la demande d'autorisation d'ouverture de travaux (§5).

4.6.3 Description des locaux enterrés

Les forages n'étant pas déviés, ils seront situés sur des sites distants de plus de 1000 mètres et seront situés dans une tête de puits.

Afin de faciliter leur insertion dans l'espace public, les caves de ces têtes seront totalement enterrées. Les accès dédiés à ces caves sont étudiés pour l'exploitation avec un accès et regard au droit des équipements principaux.

Les plans ci-après présentent les ouvrages qui seront construits. Ils abriteront les armoires de communication permettant la remontée d'informations des différents capteurs et des organes (vannes, variateur, puisard...) et l'alimentation électrique comprenant le variateur de la pompe de production le cas échéant et assurant l'alimentation des différents organes y compris l'éclairage.

Les accès seront équipés d'un système anti-intrusion avec alarme.

Chaque cave sera munie d'un puisard avec pompe et donc d'un raccordement à l'assainissement.

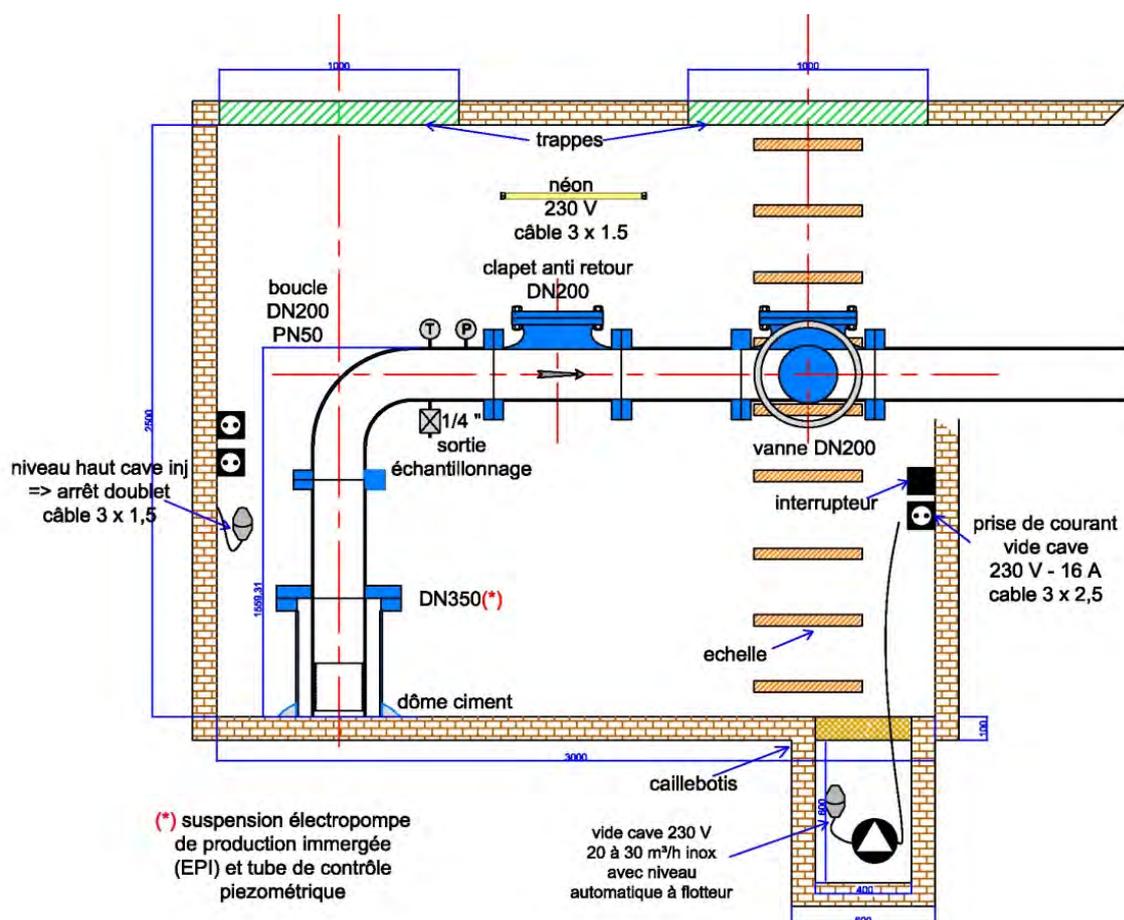


Figure 25 Plan de cave – vue en coupe

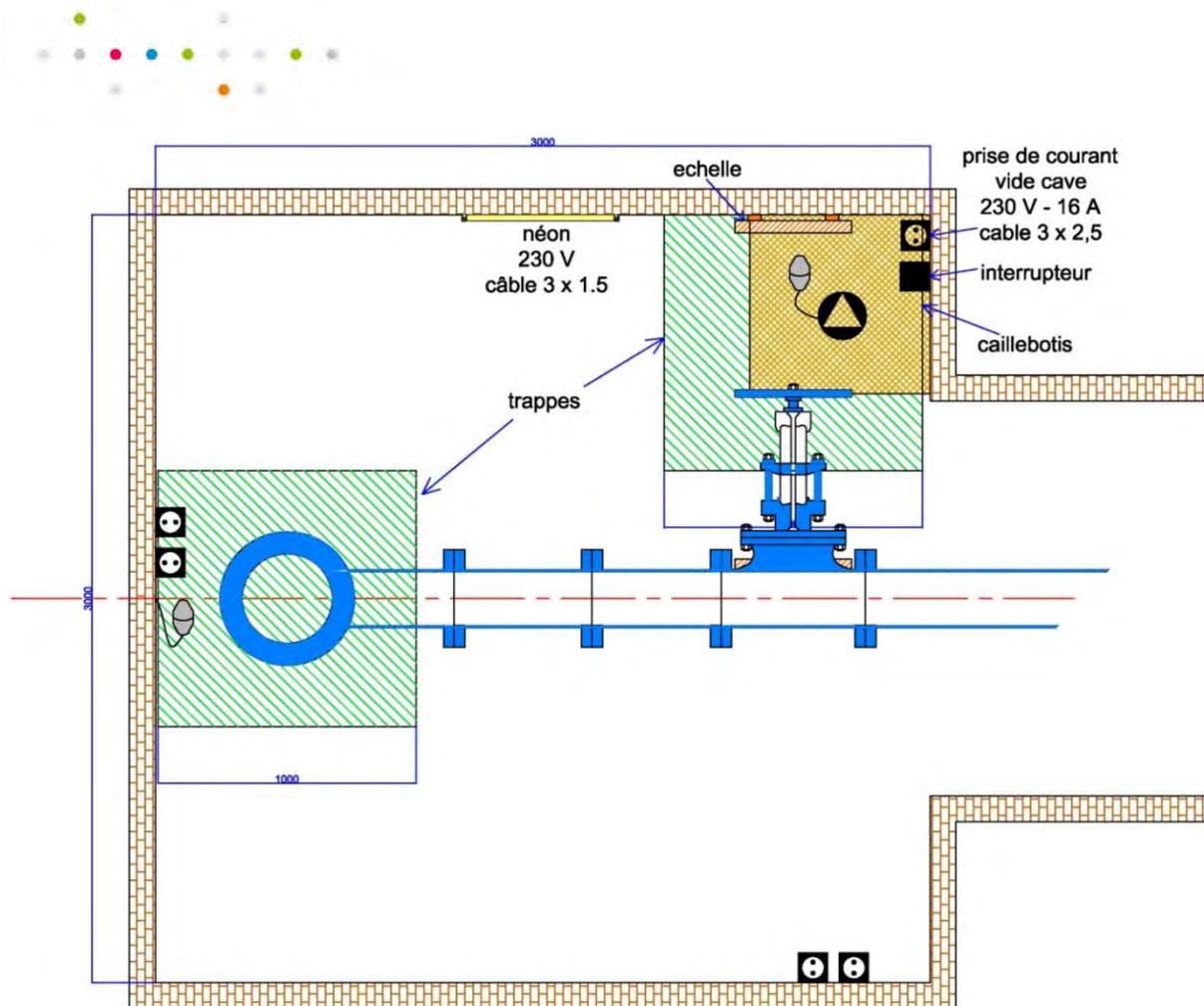


Figure 26. Plan de cave – Coupe en travers

Diverses mesures ont été prises pour éviter toute contamination de l'eau circulant dans le réseau géothermique suite à une fuite au niveau de la cave :

- Un vide cave est mis en œuvre, avec une pompe,
- Au niveau de l'entrée d'eau dans la cave, la canalisation est protégée par un dôme de ciment, puis rendue totalement étanche jusqu'à une hauteur de 50cm.

4.6.4 Description de la pompe immergée et des colonnes

Le tableau suivant présente les calculs de HMT de la pompe de production et sa puissance.

Tableau 13 : Caractéristiques de la pompe de production de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique

Grandeur	Unités	Production	Injection
Pression statique de réservoir en tête de puits	Bars	-11,8	-11,8
Rabatement calculé par le modèle et corrigé par une formule analytique	Bars	-1,6	1,4
Skin effect	Bars	0,0	0,0
Pertes de charges dans le casing	Bars	0,1	0,1
Pertes de charges dans la colonne d'exhaure	Bars	0,4	0,4
Effet thermosiphon	Bars	0,0	0,0
Pertes de charges dans les canalisations en DN 200 de la tête de puits à la géo	Bars	2,4	4,4
Longueur de canalisation considérée (marge de sécurité de 20%)	m	720	1320,0
Pression de consigne en entrée (production)/sortie (injecteur) d'échangeur	Bars	6,0	4,0
Pression totale que doit exercer la pompe P_{tot}	Bars	22,2	-9,5
Rendement pompe	-	0,6	0,65
Hauteur manométrique pompe immergée	m	222	
Profondeur pompe	m/sol	180	
Puissance électrique associée	kW	206	$P_{inj} < 0 \Rightarrow$ pas besoin de pompe d'injection

Ainsi la pompe d'exhaure sera placée à 180 m de profondeur, le débit attendu est de 200 m³/h avec une hauteur manométrique de 25 bars.

A noter que ce débit est en accord avec les demandes du SEDIF pour l'ultime secours, demande qui s'élève à 150 m³/h.

Le tableau suivant présente une première sélection de pompe répondant à ce besoin.

Tableau 14 : Sélection de la pompe exhaure

Modèle/série	UPA 250C
Débit	200 m ³ /h
HMT	250 m
Nombre d'étages	7 à 8 (si dépassement débit)
Diamètre	10" (250 mm)
Alimentation	400 V / 50 Hz
Vitesse variable	Variateur de fréquences 400 V / 240 kVA
Gamme de débits	50 - 250 m ³ /h

Les colonnes de refoulement auront les caractéristiques suivantes :

- Matériel : Inox 304/304L voire 316L
- Colonne de refoulement : DN 200
- Raccordement des éléments par embouts mâles et femelles JSL (Nouvelle appellation du ZSM) 2 joncs 316L et 2 joints inclus par raccords
- Tubes décapés/passivés avant soudure- Soudures brossées
- Soudure intérieur et extérieur des raccords sur tube
- Tubes soudés longs selon norme EN10217-7
- Tubes diamètre extérieur 219,1mm
- Tubes épaisseur nominale 3,00mm
- Diamètre extérieur du raccord femelle : 248 mm
- Traction maximale à la rupture du raccord: 336 KN
- Pression de service maximale des raccords: 25 bars
- Débit max théorique ascensionnel: 192,6 m³/h avec une vitesse ascensionnelle de 1,5m/s



Figure 27. Raccords colonne de refoulement

Le schéma suivant présente la complétion classique d'un forage producteur.

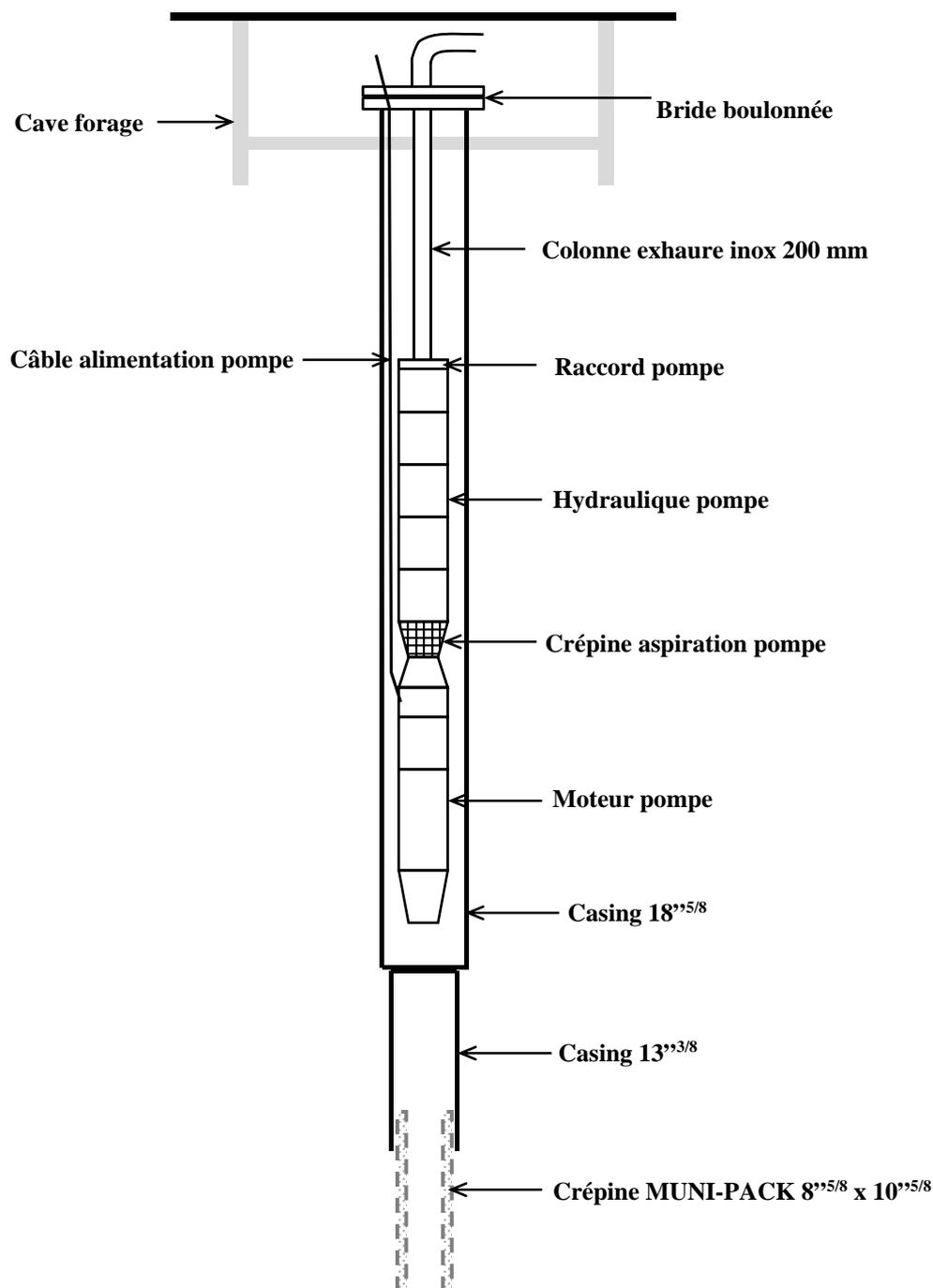


Figure 28 : Coupe schématique d'un forage producteur

4.6.5 Description de la gestion du réseau géothermal

Les têtes de puits étant distantes et distinctes des centrales abritant les équipements de surface de la boucle géothermale, un système de gestion du réseau est mis en place afin d'assurer la non pollution de la ressource.



La détérioration de la ressource pourrait venir de l'insertion de corps étrangers dans la boucle. Le principe est donc d'assurer en permanence une surpression du réseau par rapport à l'atmosphère et au réseau tempéré en centrale. En cas de percement sur le circuit, une telle mesure engendre une perte d'eau plutôt qu'une aspiration de corps étrangers pouvant détériorer la ressource.

C'est pourquoi des capteurs de pression seront installés sur les têtes de puits et en centrale et relèveront en continu la pression dans la canalisation. En cas de chute de pression non liée à un changement de point de fonctionnement de la pompe d'exhaure, la chaîne de sécurité mise en place ordonnera l'arrêt des pompes et la fermeture des vannes d'isolement motorisées en caves de puits et en centrale pour circonscrire l'impact de la fuite.

En cas d'arrêt de la géothermie, les chaudières de production permettront la continuité de service pour la fourniture de la chaleur.

Pour permettre des interventions, des vannes intermédiaires seront installées entre les caves et la centrale de production afin de ne pas avoir à vider l'ensemble du réseau géothermal pour réparation.

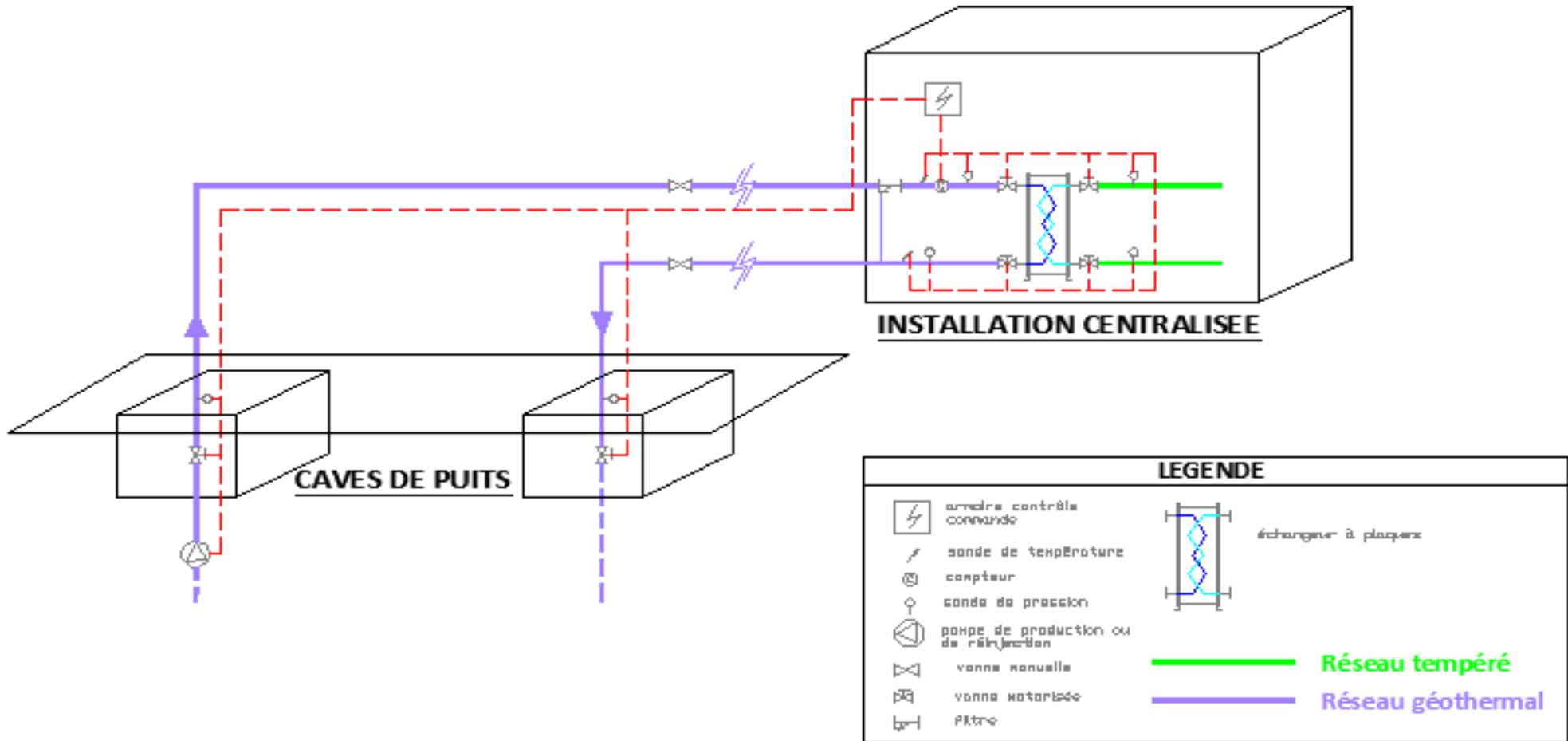
Tous les organes de mesures et les actionneurs sont reliés par le réseau de communication pour assurer le bon fonctionnement de la chaîne de sécurité.

Le réseau géothermal sera désinfecté avant sa mise en service.

Le schéma ci-dessous représente ce système de gestion :



Figure 29 : Réseau géothermal – schéma de principe



4.6.6 Description de l'échangeur

La centrale de production abritera la station d'échange entre le réseau géothermal et le réseau tempéré qui fait profiter des calories de l'Albien aux SSTI.

L'organe principal de cette station est l'échangeur. Il sera de type à plaques et joints collés (pour limiter le risque de fuite). Les plaques seront en inox 304 ou 316 pour assurer aucun risque de percement au regard des caractéristiques des eaux des réseaux géothermal et tempéré. Ce dernier sera un réseau d'eau adoucie traité contre le tartre et la corrosion.

Les pressions entrée et sortie sur les 2 circuits de l'échangeur seront contrôlées en continu pour éviter tout risque de pollution du réseau géothermal par le réseau tempéré.

4.6.7 Description du réseau

Les canalisations enterrées faisant liaison entre les têtes de puits de production et l'installation centralisée seront calorifugées et protégées par une gaine en PEHD. Les canalisations de liaison entre le forage de réinjection et l'installation centralisée ne seront pas calorifugées. Posées sur lit de sable et enterrées dans un sablon fin, le cas échéant des coussins de dilatation seront mis en place, les risques de percement extérieur seront limités au maximum.



Figure 30. Réseau géothermal – tuyau pré-isolé

Pour maîtriser les risques de percement intérieur des canalisations, la qualité et la pression de l'eau du réseau géothermal sera suivie.

4.6.8 Description de la filtration

Pour assurer le bon comptage et la bonne qualité de l'échange thermique, une unité de filtration sera mise en place en entrée de centrale. Cette unité sera automatique et l'eau des opérations de nettoyage automatique sera rejetée dans la réinjection du puits.

La filtration sera à plein débit et malgré son nettoyage automatique, elle sera nettoyée manuellement chaque année.

4.6.9 Implantation des forages

4.6.9.1 Forage de production

Le forage de production sera implanté sur un terrain appartenant à l'EPA Paris-Saclay situé à proximité des bâtiments de l'Ecole polytechnique et de la future école nationale de la statistique et de l'administration économique (ENSAE ParisTech).

Ce terrain de 3500 m² se situe sur la parcelle S1.7 de la ZAC de l'Ecole polytechnique (Commune de Palaiseau).

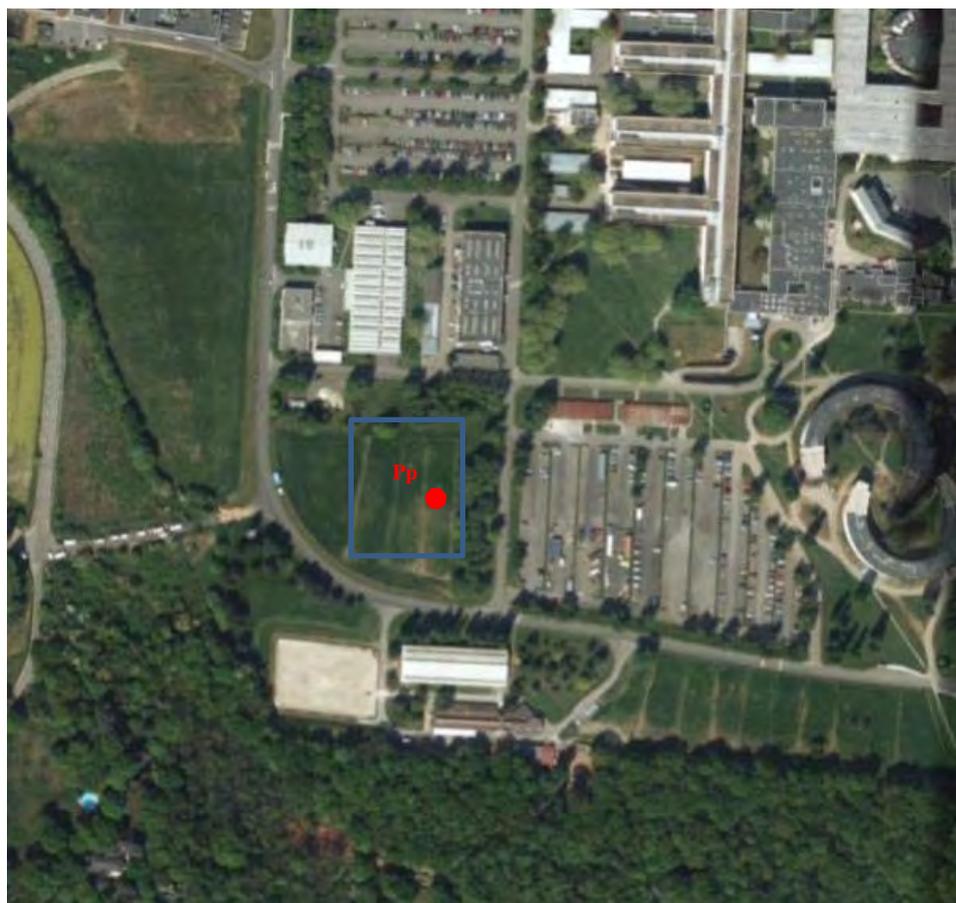


Figure 31. Localisation du forage de production



Figure 32. Plans cadastraux du site du forage de production





4.6.9.2 Forage d'injection

Le forage d'injection sera implanté sur un terrain appartenant à la CAPS et en cours d'acquisition par l'EPA Paris-Saclay situé sur une parcelle déboisée à proximité de RD 36. A noter que la photo aérienne de la figure suivante est antérieure au déboisement.

Ce terrain de 3500 m² se situe sur la parcelle N1.9 de la ZAC sur la commune de Saclay.

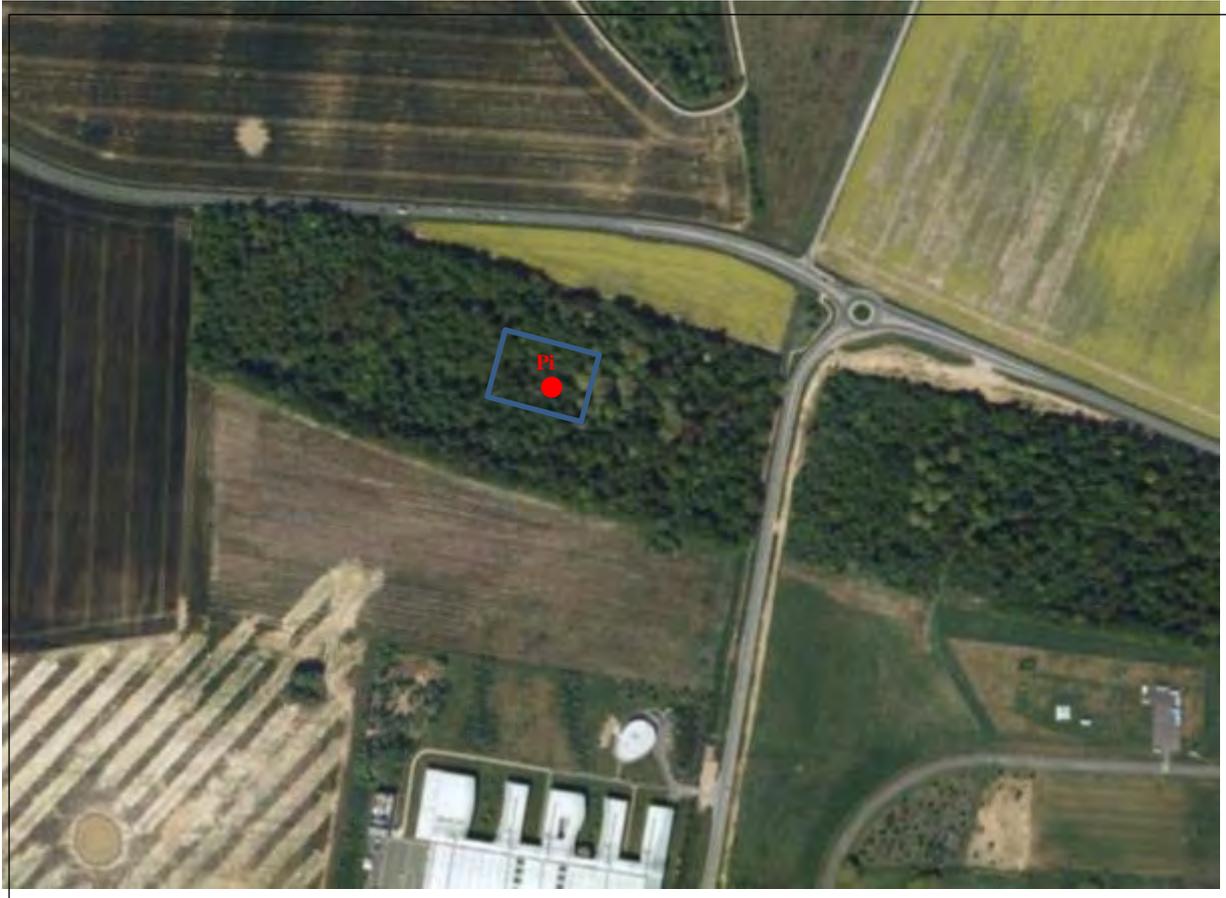
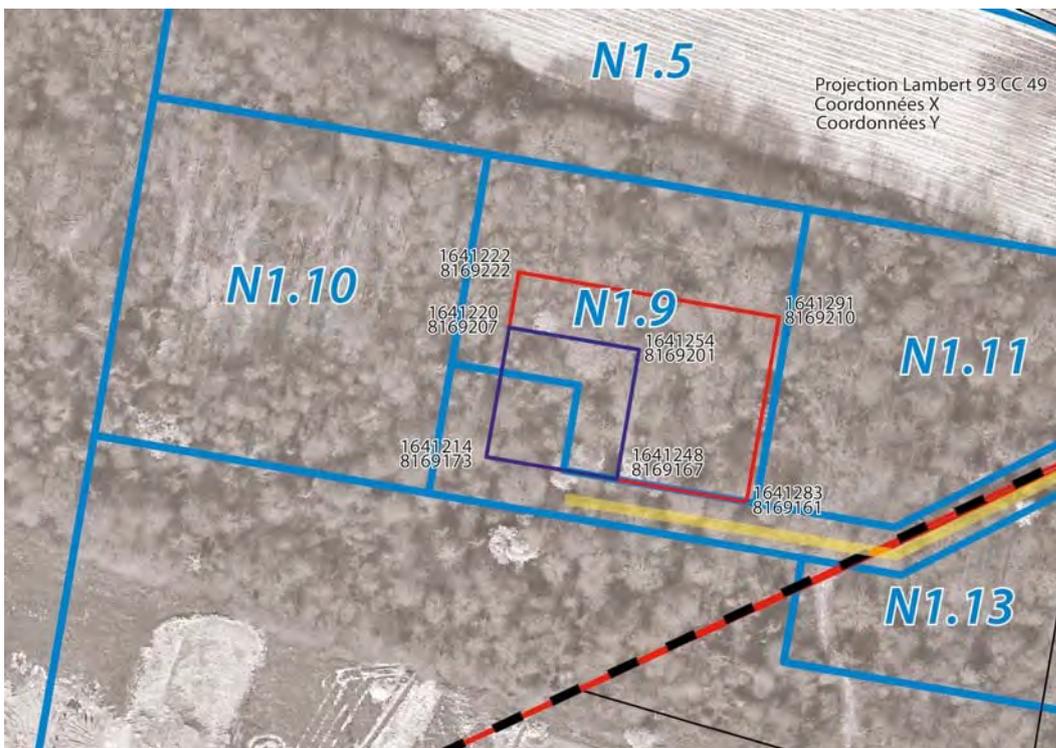


Figure 33. Localisation du forage d'injection



Figure 34. Plan cadastral du site du forage d'injection



4.6.10 Implantation de la centrale

La position de la centrale géothermique est indiquée sur la figure suivante. L'Ecole polytechnique possède déjà à cet endroit sa propre chaufferie, servant à ses bâtiments.

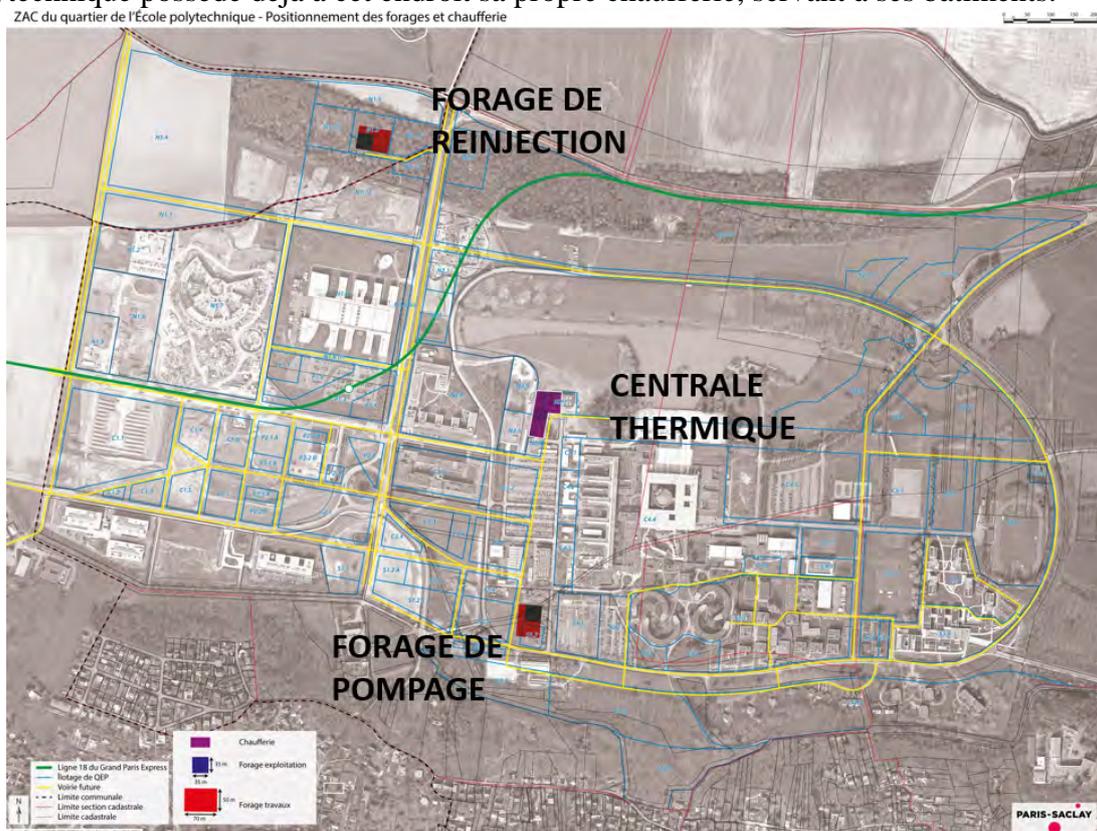


Figure 35. Position de la centrale thermique de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique

4.7 Description des limites des périmètres sollicités

4.7.1 Description de l'autorisation de recherche demandée et de sa durée

Le périmètre de recherche d'un gîte géothermique à l'Albien prend la forme d'un rectangle englobant le périmètre d'exploitation envisagé.



Les coordonnées du périmètre de recherche sont indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 15 : Coordonnées du périmètre de recherche des forages

Coordonnées des angles du périmètre sollicité	Coordonnées Lambert II étendu	
	X(m)	Y(m)
Nord-ouest	589 015	2 413 998
Nord-est	590 523	2 414 558
Sud-est	591 454	2 412 029
Ouest	589 927	2 411 462

Ce périmètre de recherche s'étend sur l'emprise des communes de Palaiseau, Saclay, Orsay et Vauhallan.

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

4.7.2 Description du permis d'exploitation envisagé et de sa durée

Le débit et la température de réinjection souhaités dans le cadre du projet sont indiqués dans le tableau suivant.

Tableau 16 : Débits et delta de température envisagés

Paramètres	Données
Débit maximum en pointe	200 m ³ /h
ΔT maximum en pointe	21°C
Température correspondante de réinjection	10°C
Température de production	31°C
Puissance maximale	Puissance calorifique = 4,9 MW

Le périmètre d'exploitation du doublet devrait prendre la forme d'une gélule dont la représentation schématique est la suivante : il s'agit de l'enveloppe convexe autour des deux cercles 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. Les points P et I sont la représentation des impacts des forages de pompage et d'injection au toit du réservoir de l'Albien.

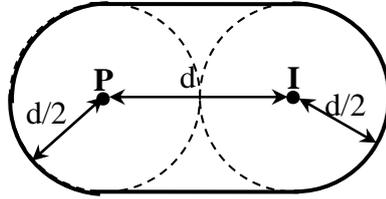


Figure 36. Représentation schématique d'un périmètre d'exploitation d'un doublet

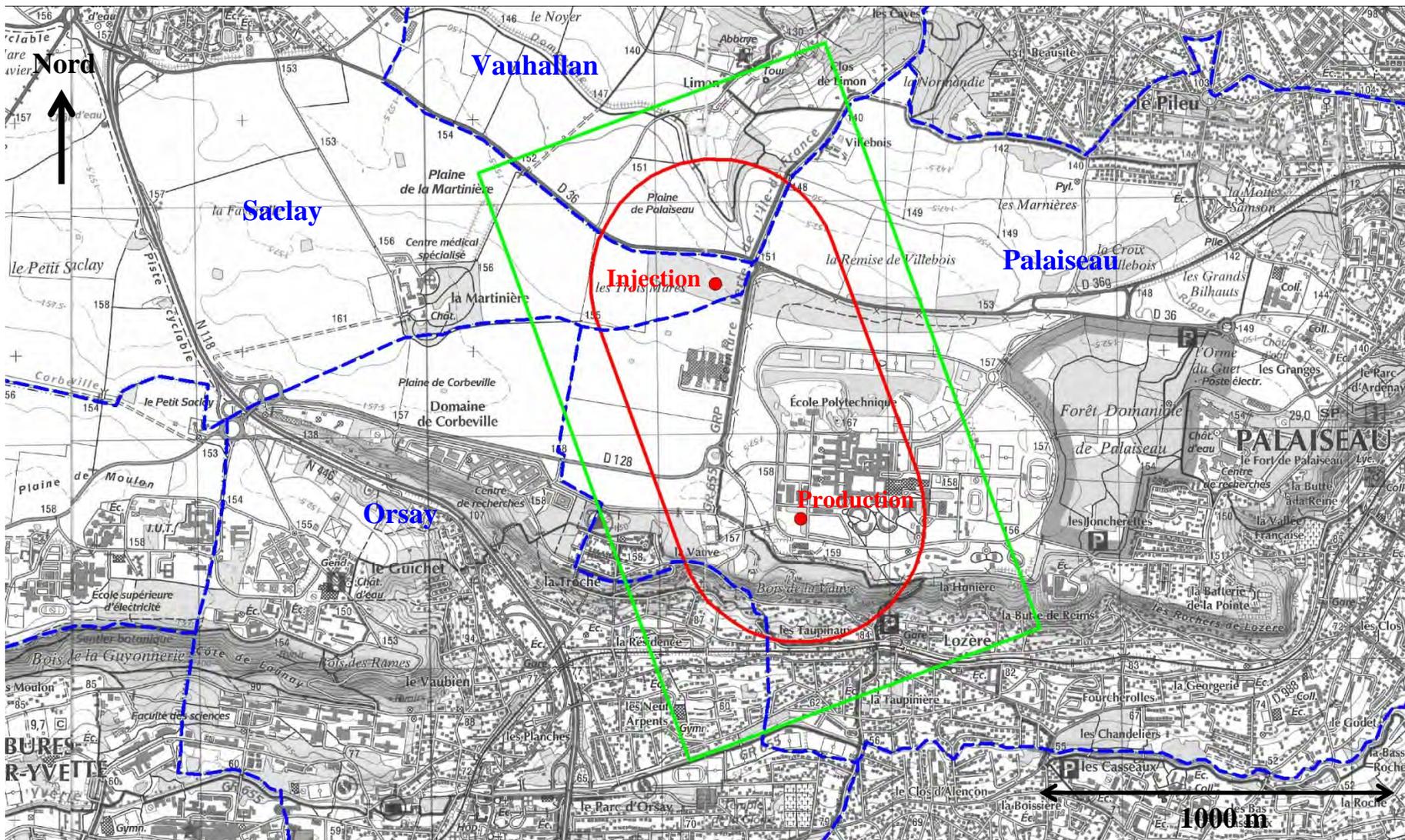
Dans le cadre du présent projet, les forages seront verticaux. Ainsi, la distance entre les impacts des forages au toit de l'Albien sera la même que la distance en surface soit environ 1110 m. Les coordonnées des têtes de puits et des impacts au toit de l'Albien sont reportées dans le tableau suivant.

Tableau 17 : Coordonnées des têtes de puits et des impacts (Lambert II étendu)

Puits producteur	X (m)	Y (m)	Z (m NGF)
Coordonnées prévisionnelles de la tête de puits	590 396,15	2 412 522,65	+153
Coordonnées prévisionnelles de l'impact au toit de l'Albien	590 396,15	2 412 522,65	-510
Puits injecteur	X (m)	Y (m)	Z (m NGF)
Coordonnées prévisionnelles de la tête de puits	590 057,49	2 413 499,33	+159
Coordonnées prévisionnelles de l'impact au toit de l'Albien	590 057,49	2 413 499,33	-510

Le volume d'exploitation correspondant à la surface du périmètre d'exploitation (2 072 000 m²) par la hauteur d'aquifère captée (50 m) est de 103,6 millions de mètres cubes.

La carte suivante illustre la localisation des impacts des forages du futur doublet et l'emprise des périmètres de recherche et d'exploitation envisagés.



- Forage
- Périmètre d'exploitation
- Périmètre de recherche
- Limite communale

Figure 37. Emprises des périmètres de recherche et d'exploitation envisagés



4.8 Modélisation hydrothermique - Construction du modèle

L'objectif de la simulation est d'évaluer l'évolution d'une « bulle froide » (diffusion d'eau plus froide que la nappe dans celle-ci) dans la nappe de l'Albien et son influence sur la thermodynamique de celle-ci.

4.8.1 Méthodologie de simulation

La simulation numérique des transferts de masse et de chaleur, visant à quantifier l'évolution des champs de pressions et températures, a été conduite selon la méthodologie développée dans le logigramme de la figure suivante qui présuppose un modèle structural cohérent.

Les simulations de calage et prévisionnelles ont fait appel au logiciel spécialisé TOUGH2 V2, qui résout par voie numérique les formes discrétisées (différences finies) des équations aux dérivées partielles décrivant les transferts de masse et de chaleur, assorties de leurs équations d'état et des conditions initiales et aux limites.

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

TOUGH2 étant peu ergonomique et rigide sur les formats des données d'entrée, l'interfaçage est assuré par le logiciel MVIEW de gestion des entrées/sorties, plus convivial. En effet, ce dernier facilite la préparation du fichier d'entrée, comme le maillage, les cellules dites génératrices (localisation des puits d'injection, de production, ainsi que leur débit et la température d'injection, par exemple). Les propriétés pétrophysiques des roches sont résumées dans le tableau du paragraphe 4.8.3.

Il est possible également d'appliquer les conditions aux limites, comme une température ou une pression imposées dans une éponte. Loin de s'arrêter à ces fonctions de construction du fichier de données, il permet aussi de lire les résultats de sortie des simulations de TOUGH2. Il est ainsi possible de visualiser l'évolution de paramètres sensibles comme la pression ou la température dans le réservoir en fonction du temps, exporter des tableaux de température de production, ou même de visualiser sur des coupes le trajet de l'eau froide injectée.

En conclusion, il s'agit d'un logiciel scientifique permettant aux géomodeleurs de visualiser les résultats des simulations numériques issues de TOUGH2 V2.

4.8.2 Domaine simulé

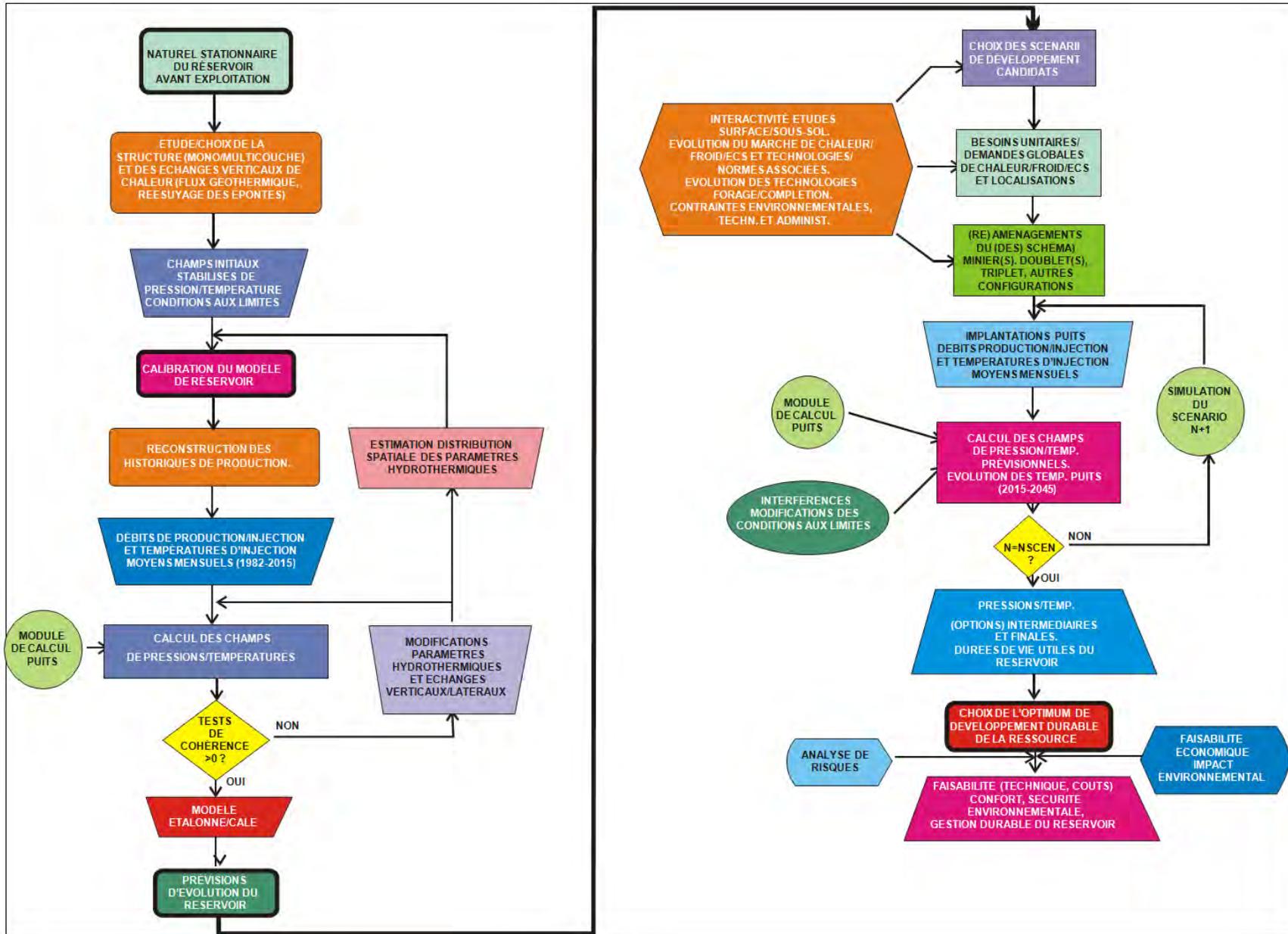
L'ensemble des forages réalisés dans la zone doit être pris en compte pour arriver à un cumul des incidences au niveau géothermique des travaux. Ainsi, le domaine simulé, un rectangle d'environ 40 km² de superficie, incorpore les deux doublets de Saclay respectivement de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique et de la ZAC du Moulon. Le doublet de la ZAC du Moulon ne fait pas partie du présent dossier, mais son influence doit être prise en compte dans la modélisation.

La modélisation ainsi réalisée permet de visualiser l'impact thermique cumulé des deux doublets et donc d'évaluer la pérennité de la ressource.



Les cellules de la grille ont une taille de 128 m×128 m. La transition entre les cellules autour des doublets et le reste du domaine discrétisé s'effectue via des cellules de 8 m×8 m puis 16 m×16 m puis 32 m×32 m et enfin 64 m×64 m (figure 35).

La modélisation verticale choisie schématisée en figure 42 correspond à un équivalent imperméable de 635 m d'épaisseur pour le toit, une couche réservoir de 65 m d'épaisseur pour le niveau producteur Albien et un mur de 100 m d'épaisseur imperméable. Ce modèle correspond à une simplification de l'aquifère multicouche Albien où les niveaux sableux sont interconnectés les uns avec les autres du fait que les formations semi-perméables discontinues ne constituent pas d'obstacles aux circulations verticales.



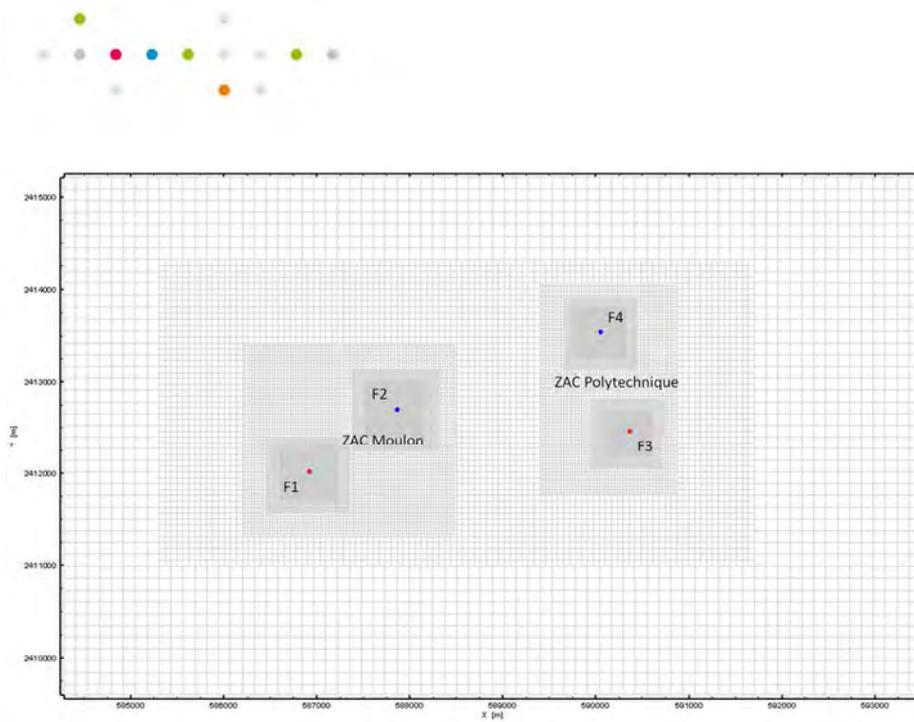


Figure 39 : Domaine simulé

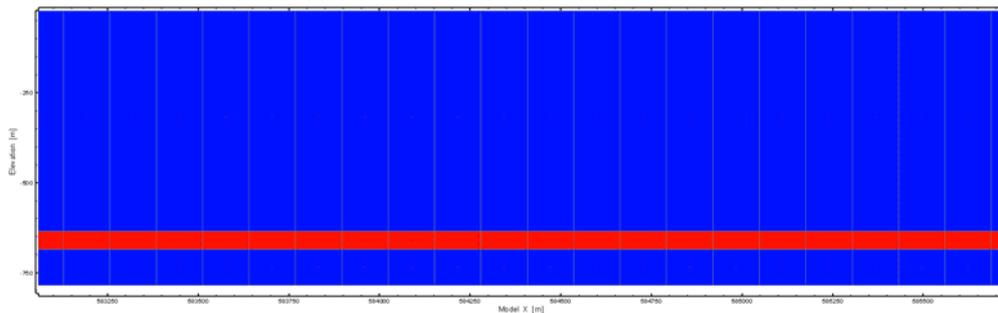


Figure 40 : Coupe du modèle réservoir (couche réservoir en rouge et épontes imperméables en bleu)

4.8.3 Paramètres hydrothermiques du réservoir et condition aux limites

Les paramètres du réservoir utilisés pour la modélisation sont décrits dans le tableau ci-dessous.

Des conditions de Dirichlet (pressions et températures constantes) ont été imposées aux limites respectivement les épontes supérieure et inférieure ainsi que le périmètre du domaine simulé. L'état initial de la simulation, qui correspond à un état stabilisé des pressions et températures, a été calculé au moyen d'une modélisation en régime stationnaire, soumise aux seules sollicitations naturelles (flux de fluides et de chaleur latéraux et verticaux), hors toute exploitation géothermale.



Tableau 18 : Paramètres de réservoir utilisés pour la simulation

Pression	68,8 bar
Température de la nappe	31°C soit environ 30°C pour l'eau d'exhaure en surface
Porosité	30 %
Épaisseur utile	65 m
Masse volumique	2 300 kg/m ³
Conductivité hydraulique	8.10 ⁻⁵ m/s
Conductivité thermique	2,5 W/kg.K
Capacité calorifique	850 J/kg.K
Gradient hydraulique	1.10 ⁻³ m/m

4.9 Modélisation hydrothermique - Résultats des simulations – Cumul des incidences

4.9.1 Simulation à débit variable

Les débits de production et d'injection, qui varient au cours de l'année en fonction des besoins sont plafonnés à 200 m³/h. La simulation prend en compte ces variations. La température de réinjection fixée à 10°C correspond à une enthalpie de 48 723 kJ/kg.

Les forages notés F1 et F2 sont relatifs à la ZAC du Moulon et ceux notés F3 et F4 à celle du quartier de l'Ecole polytechnique.

Tableau 19 : Débits d'exploitation rentrés dans le modèle

Débit d'injection moyen pour une température d'injection de 10°C												
Année Type	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Débit ZAC QEP (m³/h)	117	101	51	24	12	5	5	0	9	18	77	114

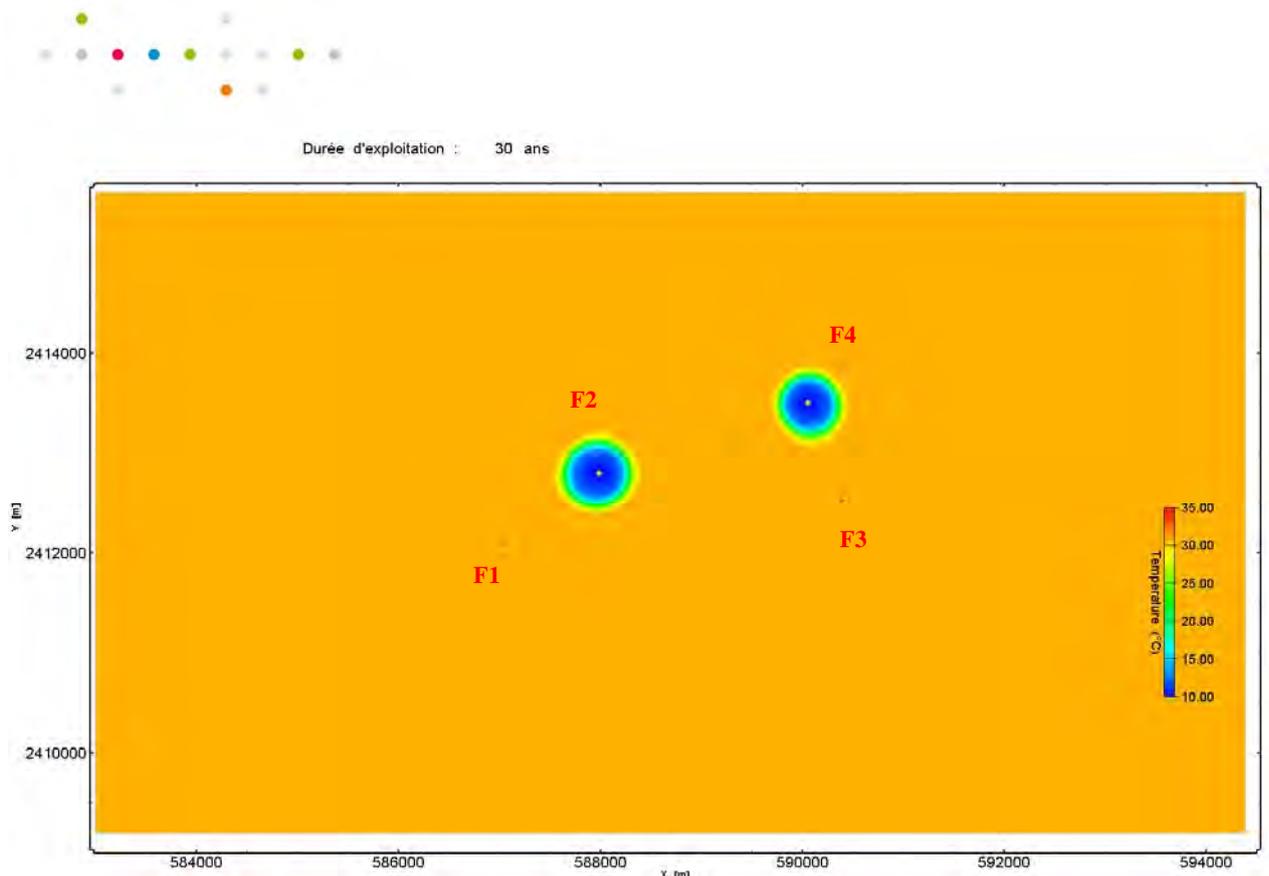


Figure 41 : Bulles froides simulées après 30 ans d'exploitation à débit variable

La figure précédente (champ de températures) et le graphique suivant (cinétiques de refroidissement) n'indiquent aucune percée thermique aux ouvrages producteurs consécutive à l'injection d'eaux refroidies à 10°C à l'issue de trente années d'exploitation à débits variables. Par ailleurs, l'écoulement dans la nappe se faisant sous un gradient faible, de l'ordre de 1‰, les bulles froides sont quasiment statiques.

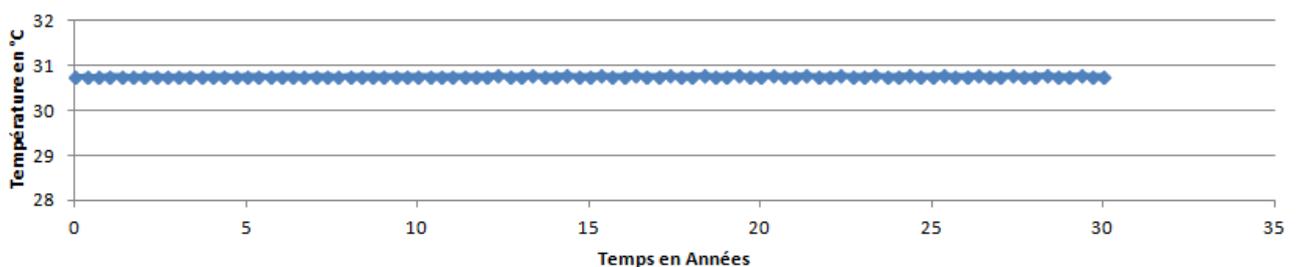


Figure 42 : Evolution de la température de production simulée au cours du temps pour un débit variable

La figure suivante cartographie les rabattements simulés pour une exploitation à débit variable au bout de 30 années. On notera un rabattement maximum de 0.05 bar à des distances variant de 2000 à 1000 m autour des puits de production F1 et F3 dont l'ex-centralisation traduit l'impact de l'hydrodynamisme (gradient de 10^{-3} m/m, de la nappe de l'Albien)

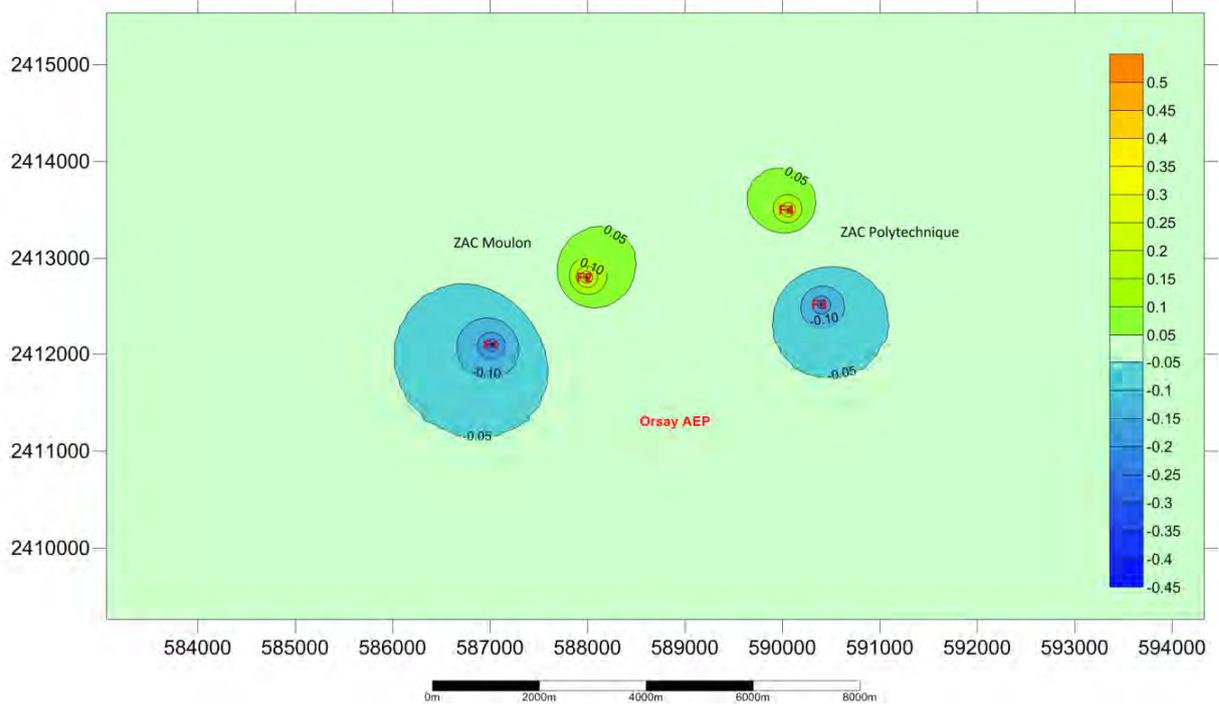


Figure 43 : Rabattements simulés en bars autour des puits

4.9.2 Simulation à débit maximal constant sur l'année

4.9.2.1 Impacts mutuels des doublets

Afin de simuler l'impact mutuel (soit les interférences induites par un doublet sur l'autre) des doublets, deux simulations ont été réalisées, avec pour chacune un seul doublet en fonctionnement produisant constamment sur l'année 200 m³/h sous une température de réinjection de 10°C (hypothèse maximaliste).

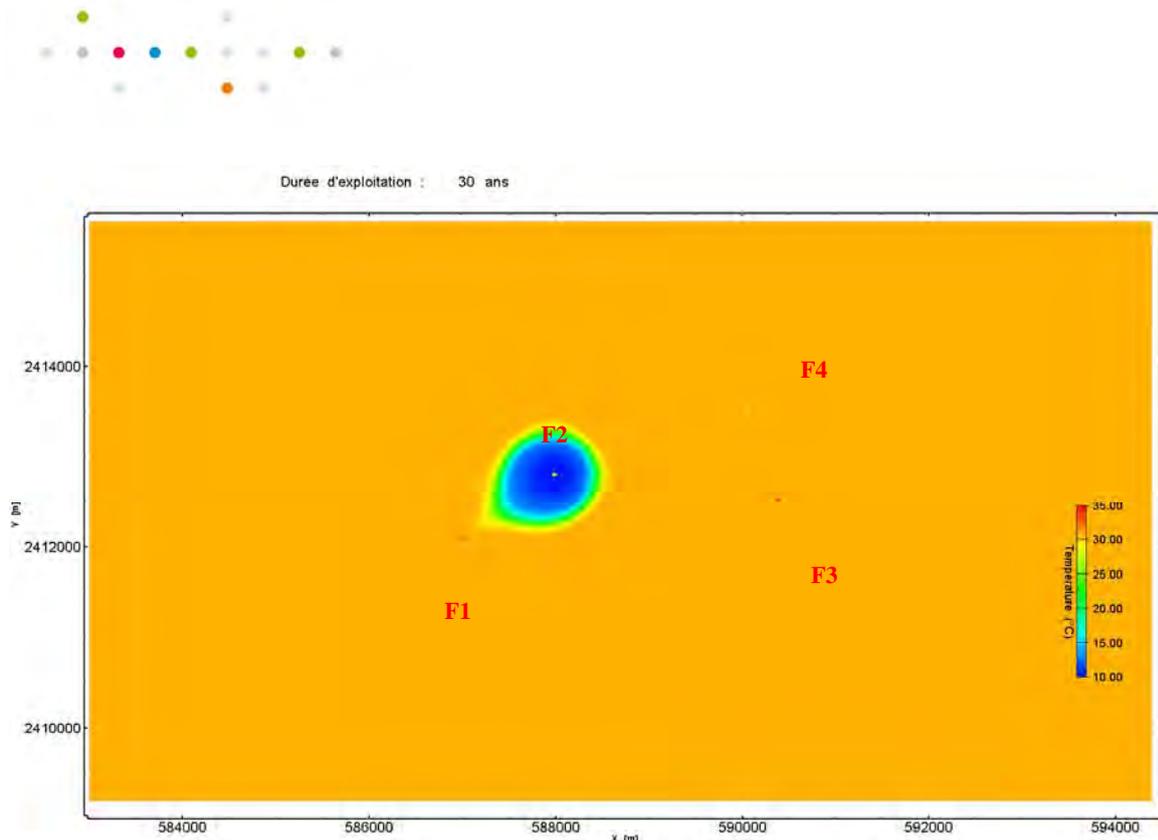


Figure 44 : Impacts thermiques simulés de la réinjection de la ZAC du Moulon après 30 ans d'exploitation (températures en °C)

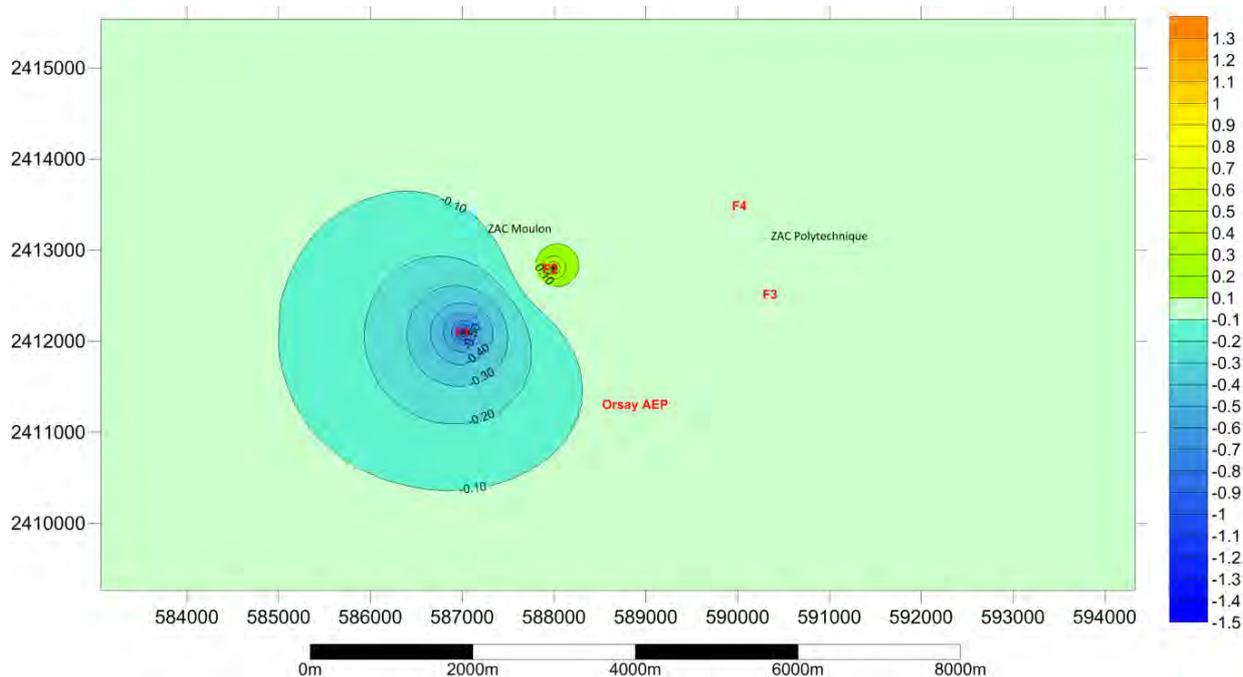


Figure 45 : Rabattements simulés (bars) après 30 ans d'exploitation de la ZAC du Moulon

L'impact thermique et les rabattements se circonscrivent au doublet en fonctionnement, sans influencer le second doublet ni le puits AEP d'Orsay. La percée thermique au puits producteur apparaît au bout de 28 années et se révèle très faible ($\approx 0,05^\circ\text{C}$) à l'issue des 30 années d'exploitation. Le rabattement maximum en périphérie du puits est limité à 0.1 bar au puits AEP d'Orsay.

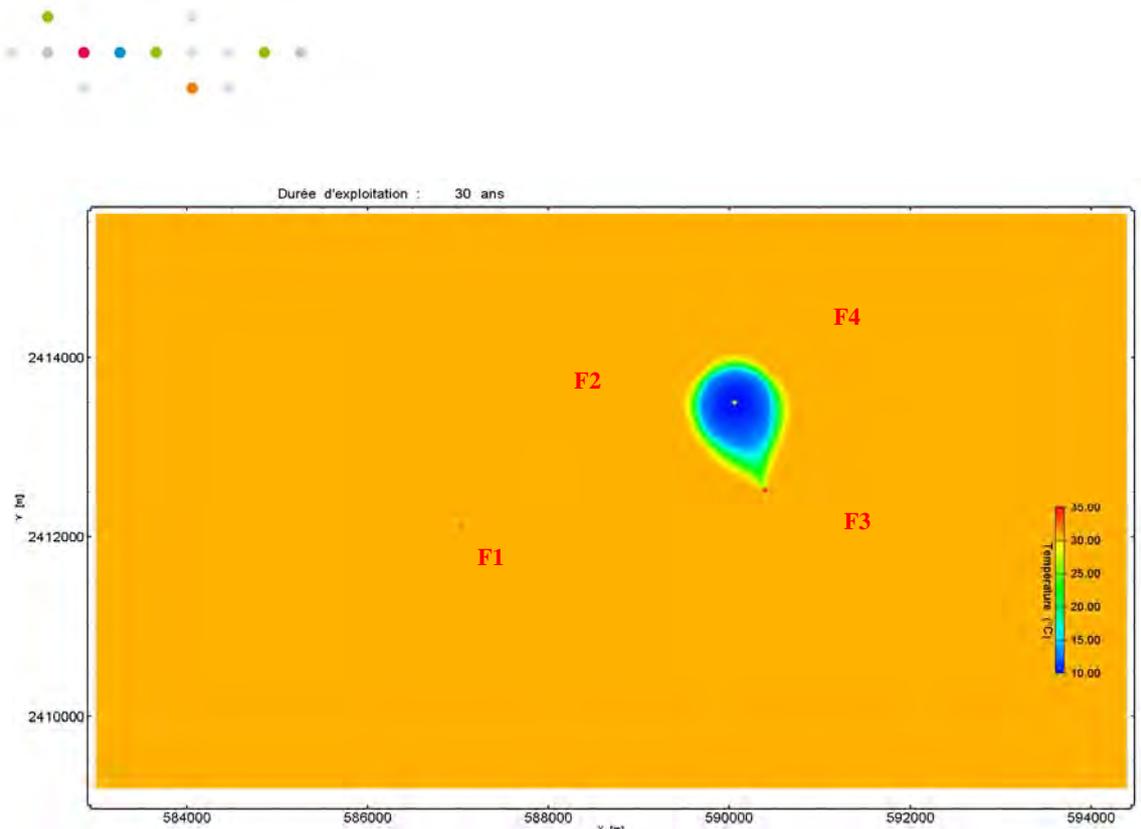


Figure 46 : Impacts thermiques simulés de la réinjection de la ZAC du quartier de l’Ecole polytechnique après 30 ans d’exploitation

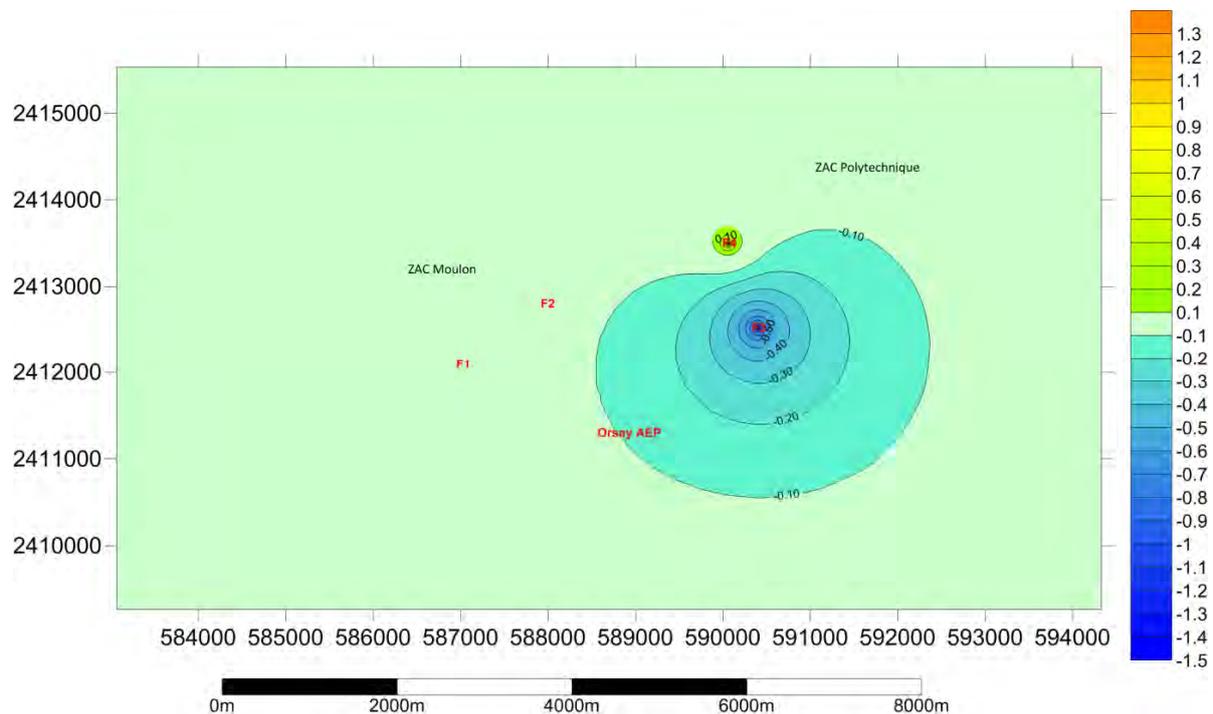


Figure 47 : Rabattement (bars) - Impact des rabattements après une exploitation de 30 ans de la ZAC du quartier de l’Ecole polytechnique

L’impact thermique reste limité au doublet en fonctionnement et n’affecte pas le second doublet ni le puits AEP d’Orsay. La percée thermique y apparaît au bout de 23 années et se traduirait après 30 années d’exploitation par un refroidissement de 0,75°C. L’hypothèse maximaliste de débit 200 m³/h continu sur l’année engendre un rabattement maximum de 0.1 bar (soit 1 m) au puits AEP d’Orsay.



4.9.3 Simulation avec les deux doublets produisant à 200m³/h constamment sur l'année

Cette simulation prend ainsi en compte un fonctionnement des deux doublets à débit maximal de 200 m³/h, sous une température de réinjection constante sur l'année de 10°C, sur une durée d'exploitation de 30 ans.

Elle montre que, malgré des hypothèses très sécuritaires, les impacts thermiques des deux puits sont indépendants, indice qu'ils n'interagissent pas l'un sur l'autre (figure suivante).

Les percées thermiques sont de ce fait identiques à celles calculées pour les doublets à fonctionnement unique :

- 28 ans pour le forage F1 (0,05°C)
- 23 ans, sensiblement plus élevée pour le forage F3 (0,75°C).

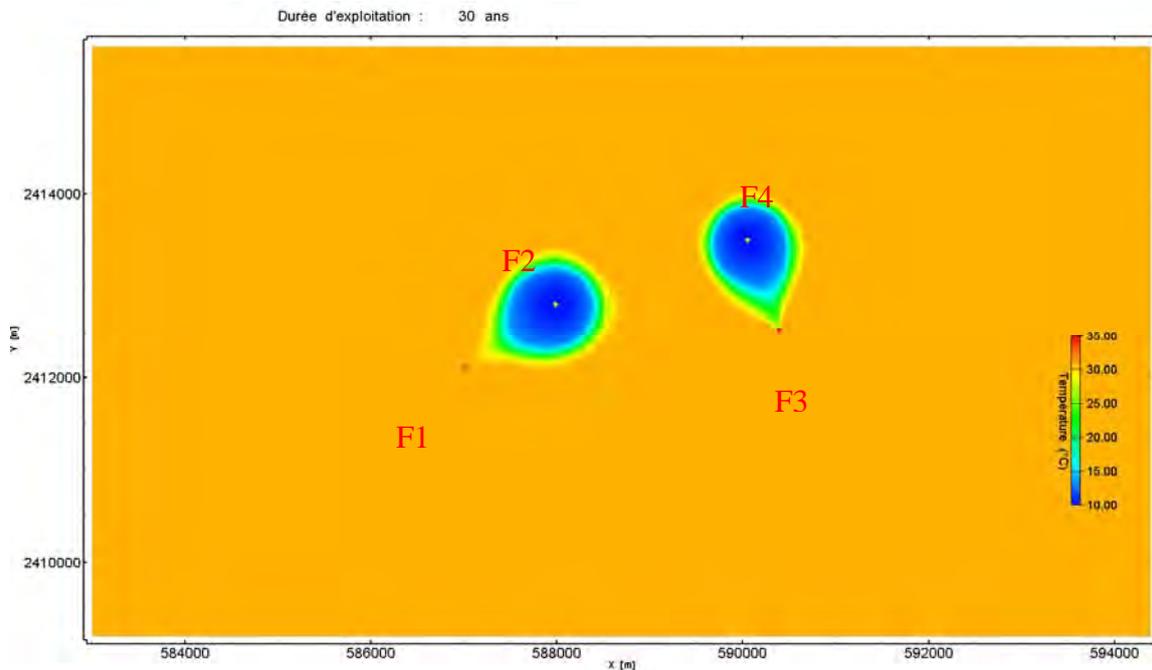


Figure 48 : Bulle froide (°C) - Impact des températures après une exploitation de 30 ans

La configuration des rabattements, illustrée par la figure suivante, indique une interférence mutuelle interdoublts, faible cependant au vu de l'impact limité à 0,1 bar (soit 1 m) au puits AEP d'Orsay.

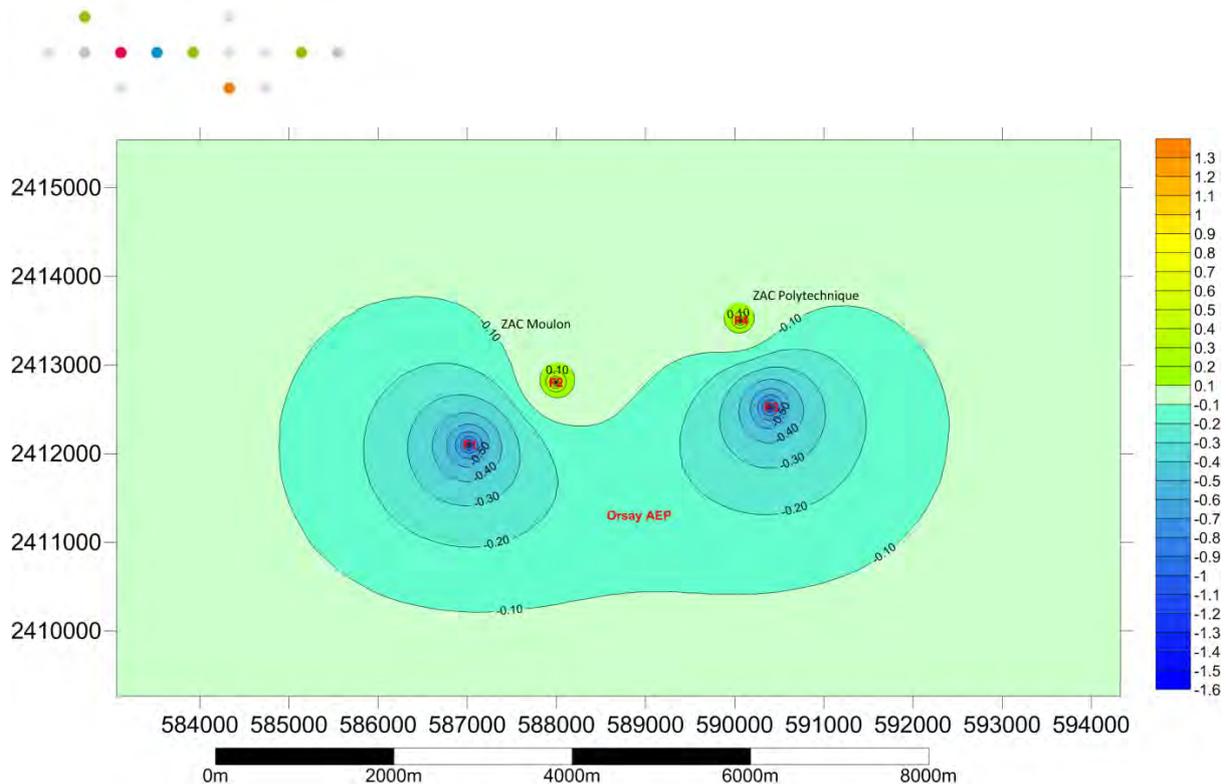


Figure 49 : Rabattement (bars) - Impact des rabattements après une exploitation de 30 ans

Ces valeurs sont à relativiser dans la mesure où elles correspondent à des hypothèses de production maximalistes fictives, assez éloignées de la réalité de l'exploitation dans l'état. En outre, les impacts simulés auraient relativement peu de conséquences sur les performances des ouvrages considérés (doublets et puits AEP d'Orsay).

4.10 Suivi et entretien des forages et de la boucle géothermale

4.10.1 Suivi de l'exploitation

4.10.1.1 Suivis périodiques

Le contrôle se conformera à l'arrêté préfectoral autorisant l'exploitation. Il est prévu de réaliser l'ensemble des mesures suivantes.

Des mesures en continu seront réalisées sur la boucle géothermale :

- Températures aller et retour,
- Pressions aller et retour,
- Débits de la boucle,
- Etat de fonctionnement de la pompe de forage (tension, intensité, fréquence),
- Comptage d'énergie.

Ces mesures seront enregistrées numériquement et donneront lieu à la réalisation d'un bilan annuel qui sera transmis à la DRIEE. Ce document consignera également l'historique des contrôles, de la maintenance et des remplacements effectués sur la boucle géothermale.

De plus, une entreprise spécialisée aura en charge le suivi et le contrôle des équipements électromécaniques à raison de 4 passages annuels. Lors de ces 4 opérations annuelles, cette entreprise contrôlera :



- La productivité et l'injectivité des forages (niveaux dynamiques en fonction du débit d'exploitation),
- L'état de fonctionnement de la pompe immergée (consommations électriques, puissances, rendements),
- Le bilan thermique de l'échangeur (efficacité, pertes de charge),
- L'état des dispositifs de sécurité et de mesure : vannes de barrage en tête de puits, clapets anti-retour, manomètres, thermomètres,
- L'état des régulations et des sécurités électriques.

De plus, un contrôle de la sécurité des installations électriques de la boucle primaire sera programmé tous les ans.

Enfin, un suivi de la qualité de l'eau sera réalisé par un laboratoire spécialisé et certifié tous les 3 à 6 mois afin de contrôler le développement bactérien, le risque de dépôt et la potabilité. Ces résultats seront transmis à l'ARS et à la DRIEE.



Les paramètres analysés et les fréquences d'analyse seront a minima les suivants :

Tableau 20 : Paramètres et fréquences des analyses d'eau

Paramètres analyse complète		Fréquence
- Température - pH - Conductivité - Potentiel redox - Turbidité - Sulfates - Bicarbonates - Chlorures - Manganèse - Sodium - Potassium - Nitrates - Nitrites - Ammonium - Carbone organique total - Fer - Hydrogène sulfuré - Equilibre calcocarbonique	- Magnésium - Titre alcalimétrique total - Carbonates - Calcium - Silice - Matière 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	Tous les 6 mois pendant 4 ans à une fois par an, à partir de la 5 ^{ième} année, selon les résultats d'analyses obtenus
Paramètres analyse réduite		Fréquence
- Température - pH - Conductivité - Tire alcalimétrique complet	- Germes aérobies revivifiables à 22°C et 36°C - Bactéries sulfito-réductrices	Tous les 3 mois pendant 2 ans à une fois tous les 6 mois, à partir de la 3 ^{ième} année, selon les résultats obtenus

Ces contrôles réguliers ont pour but la détection rapide de la dégradation de l'un des éléments de la boucle géothermale (action préventive) mais également de prévenir toute dégradation de la ressource.

Les comptes rendus de ces visites de contrôle seront transmis à la DRIEE.

4.10.1.2 Inspections périodiques

Les opérations d'inspection suivantes seront réalisées au minimum tous les 7 ans :

- Inspection de l'état des tubages et des cimentations (caméra vidéo + CBL/VDL) ;
- Pompage par paliers (4x 2h avec remontée intermédiaires) ;
- Pompage de longue durée de 72h minimum.

En outre, une inspection caméra sera programmée à chaque sortie de pompe. Le rapport d'interprétation de ces résultats sera transmis à la DRIEE.

4.10.2 Entretien des forages

Les différents suivis et diagraphies réalisés sur les forages peuvent amener à devoir procéder à une réhabilitation des ouvrages. En fonction des problèmes détectés, les solutions de réhabilitation pourraient être les suivantes :

- 
- **Encrassement des tubages** : les dépôts sur les tubages pourront être enlevés par la réalisation d'un curage hydromécanique. Il s'agit de descendre dans l'ouvrage, en rotation et en circulation, un outil de nettoyage composé des éléments suivants placé à l'extrémité de masses tiges et de tiges de forages:
 - Un tricône classique,
 - Un porte outil,
 - Un outil de jetting à buses latérales,
 - Un clapet anti-retour.

Les méthodes de l'acidification « douce » ou du curage mécanique peuvent également être utilisées.

- **Perforation d'un tubage** : le colmatage des perforations d'un tubage peut être réalisé par injection sous pression d'un laitier de ciment au droit de la perforation et mise en place d'un patch cylindrique de quelques mètres de long (résine époxy/fibre de verre). Toutefois, si de nombreuses perforations sont détectées, il sera nécessaire de procéder au rechemisage de l'ouvrage par la mise en place d'un tubage de diamètre inférieur et la cimentation de l'entrefer,
- **Perte de productivité ou d'injectivité** : l'injection d'hexaméthaphosphaste et de javel permet de recouvrer tout ou partie des caractéristiques de productivité et d'injectivité d'origine.

4.11 Conditions d'arrêt de l'exploitation du doublet

4.11.1 Procédure d'abandon

En cas de perte définitive de productivité et/ou d'injectivité, d'une baisse de la température du gîte ne permettant plus son exploitation dans des conditions économiques optimum ou en cas de détériorations importantes de l'intégrité des forages (corrosion des tubages notamment) ne permettant de maintenir la protection des nappes superficielles, l'abandon des forages devra être envisagé.

La fermeture d'un puits représente une série d'opérations destinées à maintenir l'isolation des différents niveaux aquifères et pour ce faire des barrières doivent être disposées selon des règles précises de façon à :

- Prévenir toute pollution et protéger l'utilisation future des aquifères,
- Empêcher la circulation des fluides entre niveaux géologiques perméables.

La procédure d'abandon des forages sera soumise à l'approbation de la DRIEE, conformément à l'arrêté d'exploitation (diagnostic de pré-rebouchage, coupe prévisionnelle du forage rebouché notamment). Les pratiques d'abandon des forages géothermiques à l'Albien sont celles appliquées pour les forages profonds.

Avant tous travaux de rebouchage, un diagnostic précis du forage et si nécessaire un nettoyage sont demandés pour évaluer l'état des tubages et adapter la position des bouchons de ciment.

4.11.2 Coût des travaux d'abandon

Le coût des travaux d'abandon d'un forage à l'Albien du type de ceux prévus au droit de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique est d'environ 250 k€HT par puits.



5 DEMANDE D'AUTORISATION D'OUVERTURE DE TRAVAUX A

L'ALBIEN

5.1 Implantation des forages

Le forage de production sera implanté sur un terrain appartenant à l'EPA Paris-Saclay au droit d'une ancienne pâture à chevaux.

Le forage d'injection sera implanté sur un terrain appartenant à l'EPA Paris-Saclay au droit d'une zone déboisée.

Le détail des implantations est donné en partie 4.6.9 du présent document.

L'organisation du chantier sur site pourrait être la suivante :

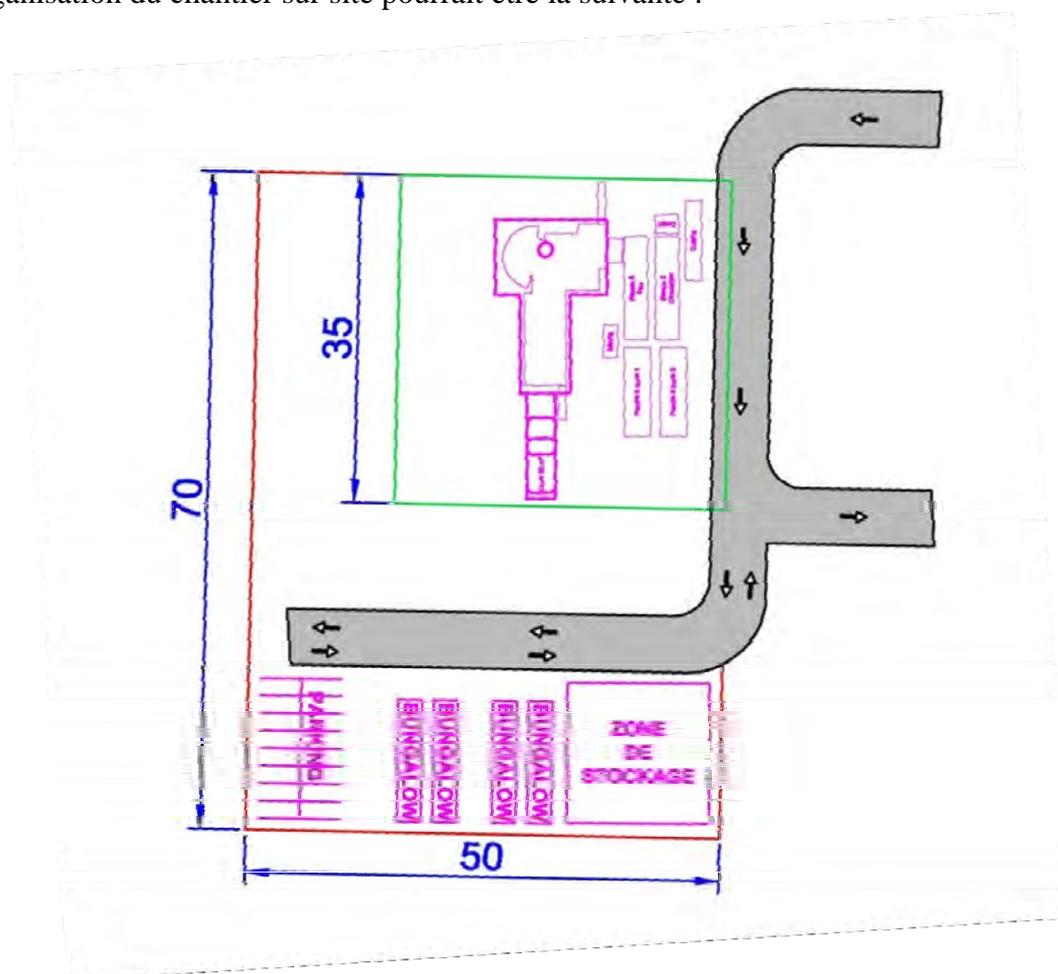


Figure 50 : Installation du chantier de forage sur les sites

5.2 Organisation du chantier

- **Horaires de travail :** En raison des spécificités techniques d'un tel chantier, les travaux seront réalisés sans interruption 24h/24 en 3 postes de 8 heures et 7j/7.
- **Effectif :** Toutes entreprises confondues, le nombre de personnel présent en simultanément sur le chantier sera d'environ 15 personnes :



- 5 personnes de l'entreprise de forage,
- 5 personnes des travaux sous-traités (forage préliminaire, etc.),
- 5 personnes liés à l'encadrement des travaux)
- **Supervision** : un maître d'œuvre (GEOFLUID) supervisera l'ensemble des travaux (plateforme, forages, test de débit, mise en place des moyens de pompages, remise en état du site) et veillera au respect du planning de l'opération.

5.3 Phases de préparation du chantier

5.3.1 *Choix du matériel*

Il s'agit d'une phase préparatoire cruciale, décisive pour la réussite du projet, compte tenu des contraintes imposées par les sites de forage. Elles fixent la sélection d'un appareil dont l'emprise au sol n'excèdera pas 1500 m² sur une zone de travail d'environ 3500 m².

Ces contraintes conditionnent le choix de l'appareil et de sa dotation dans le sens d'une compacité et d'une insonorisation accrues par rapport aux machines et équipements de forage conventionnels.

En conséquence, un appareil de forage à motorisations électrique et hydraulique, sera sélectionné pour satisfaire à ces contraintes.

5.3.2 *Préparation de la plateforme*

Les travaux consisteront :

- A niveler et à terrasser les parcelles en fonction des études de sols après décapage au préalable des terres végétales;
- A aménager l'aire de travail de 3500 m² sur une profondeur de 40 cm via la pose d'un géotextile complété par une épaisseur de 10 cm de graves et matériaux de concassage puis d'un empierrage (30 x 80) compacté sur les derniers 30 cm. La surface sera fermée par une par une couche de d'enrobés sécurisant la circulation des engins de chantier,
- A forer l'avant-puits de diamètre 36", arrêté à une profondeur de 80 m et équipé d'un tube guide en acier roulé/soudé de diamètre 30",
- A terrasser/couler en fonction des résultats et des préconisations des études de sol 3 dalles béton à double ferrailage (double treillis soudé 100 x 100) d'épaisseur 30 à 35 cm. Elles seront dimensionnées pour accueillir:
 - L'appareil de forage,
 - Les générateurs,
 - La zone de stockage des produits et du ciment.
- A aménager la cave de la tête de puits suivant les plans ci-dessus,
- A clôturer l'aire de travail en y aménageant deux accès (véhicules et évacuation en cas de nécessité), délimitant ainsi le périmètre rapproché de sécurité du chantier,

- A assainir la plateforme qui sera imperméabilisée à l'aide d'un bassin de rétention provisoire pour les eaux de pluie avec rejet à 0,7 l/s/ha. Le détail de ce traitement des eaux est précisé dans la partie « Etude d'impact », partie 6.3.6.

La gestion des déblais et fluides de forage sera assurée via des bacs, pelletage/bennes et citernage et celle des essais au moyen de bacs et une unité de traitement (ligne de traitement sans borbier) par décantation de solides, refroidissement et dilution des eaux produites.

5.4 Forage des puits - Machines de forages utilisées

5.4.1 Phase avant puits

Le forage de l'avant puits jusqu'à une profondeur de 80 m environ sera réalisé à l'aide d'une machine de type BENOTO (grue équipée d'une benne preneuse et d'un louvoyeur de tube).

Figure 51. Grue de forage type BENOTO



Cette technique de foration est utilisée pour des forages de diamètre important (>800 mm). La foration par havage se fait au moyen d'une benne circulaire munie de coquilles ouvertes qui percutent le sol comme un trépan et remonte les déblais, coquilles fermées. L'outil est manœuvré au moyen d'un treuil principal monté sur une grue. Parallèlement à l'extraction des déblais, le forage est tubé avec des éléments de tubes à verrouillage rapide, qui à mesure du havage sont enfoncés (ou retirés) par un mouvement de louvoiement. Ce mouvement louvoyant est assuré par un louvoyeur muni de vérins, enserrant la tête du tubage, actionné par une centrale hydraulique, des vérins de fonçage et d'arrachage assurent les mouvements verticaux de ce tubage.



Figure 52. Benne de havage

5.4.2 Phase forage rotary

La réalisation de forages profonds nécessite l'utilisation d'une machine de forage d'une capacité minimale au crochet d'environ 120 tonnes équipée d'un mât d'environ 50 m de haut.



Figure 53. Rig de forage au rotary

Avec cette méthode, un tricône à molettes désagrège le terrain en fond de trou, en éléments plus ou moins grossiers (cuttings) qui sont remontés à la surface par le fluide de forage (boue bentonitique, boue polymère, eau...). Le fluide de forage, constitué d'un mélange d'eau et de



bentonite (argile naturelle) est utilisé en circuit fermé et injecté par une pompe à haute pression. En plus de la remontée des cuttings, le fluide de forage contribue au soutien des parois du puits et maintient en place par pression hydrostatique les fluides présents dans les terrains perméables.

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



Figure 54. Tricônes à molettes

5.5 Coupe technique prévisionnelle

5.5.1 Résumé des travaux

Les forages seront réalisés au moyen d'un appareil de forage, de capacité au crochet 100 T (en dynamique) conformément aux architectures des puits et au programme de forage/complétion/mesures/essais développés dans les sections qui suivent.

Le forage débutera par l'avant-trou en diamètre 36", pour se terminer en 12"1/4 (réservoir objectif), les phases tubées se succèdent de 18" 5/8 et 13"3/8 (réservoir exploité via une crépine Johnson Muni Pack 10"3/4 posé avec un *liner hanger*). L'ouverture des fentes et la taille des sphères en verre sera déterminé en fonction de l'analyse granulométrique du sable du réservoir.

Les outils sont des tricônes couramment utilisés par les opérateurs pétroliers dans les formations sédimentaires en particulier du bassin parisien.

Les fluides de forage évolueront des boues bentonitiques simples, à des formulations mixtes bentonitiques/polymères cellulosiques, puis à des boues à l'eau et biopolymères dégradables dans le réservoir objectif.



Les cimentations des annulaires et entrefers, seront de type primaire [tête de cimentation, anneau (*float collar*) et sabot (*shoe*)], les ciments utilisés faisant appel à des laitiers de classe G.

Les mesures et essais comprendront :

- Des diagraphies différées
 - Des diagraphies différées de découverte, de caractérisation des lithologies des terrains traversés, de la géométrie du trou (volumes de cimentation) et de la porosité des formations réservoir,
 - De production (flotmétrie du découvert, essais de puits et enregistrement des pressions de fond),
 - De trou tubé (contrôle de cimentations des annulaires et des diamètres intérieurs des tubages),
- Des essais de production (cycles transitoires de rabattement et de remontée de pressions) de détermination des caractéristiques hydrodynamiques du réservoir (et de dimensionnement ultérieur des équipements de pompage et variateurs de fréquences),
- Des prélèvements de fluides en fond de puits aux fins d'analyses physico-chimiques et thermodynamiques de l'eau géothermale.

5.5.2 Programme de forage / complétion / essais

Le tableau suivant résume le programme de forage et de complétion des forages de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique.

Tableau 21 : Programme de forage et de complétion

PHASES FORAGE		PHASES TUBAGES						OBSERVATIONS
Diamètre (")	Cote forées (m/sol)	Diamètre (")	Cotes (m/sol)/longueurs (m) tubées	Range	Matériau/ nuance	Masse linéique (lbs/ft)	Filetage	
1. POLYTECHNIQUE Puits DE PRODUCTION								
36	0-85	30	0-80	2	TG acier	320.6	ATL	Avant puits Crépine Muni- Pak
26	85-245	18 ^{5/8}	0-240	3	Acier K/J55	87.5	BTC	
17 ^{1/2}	245-675	13 ^{3/8}	0-669	3	Acier K/J55	54.0	BTC	
12 ^{1/4}	675-755	10 ^{3/4}	619-750	3	INOX 316L	45.5	BTC	
2. POLYTECHNIQUE Puits D'INJECTION								
36	0-80	30	0-75	2	TG acier	320.6	ATL	Avant puits Crépine Muni- Pak
26	85-235	18 ^{5/8}	0-230	3	Acier K/J55	87.5	BTC	
17 ^{1/2}	235-668	13 ^{3/8}	0-663	3	Acier K/J55	54.0	BTC	
12 ^{1/4}	668-755	10 ^{3/4}	613-750	2	INOX 316L	45.5	BTC	

Le tableau ci-après précise les méthodes de forages, le type de boue utilisée et le programme de diagraphie et de cimentation :

Tableau 22 : Programme forage / boue / diagraphies / cimentation

Phase forée (")	Intervalle (m/sol)	Outil	Boue	Phase tubée (")	Intervalle (m/sol)	Diagraphies différées	Observations
26	0-245	TC	Bentonitique simple (BSS)	18 5/8	0 - 240	GR/BGL	Cimentation classique (tête, float collar et shoe) laitier classe G
17 1/2	245-675	TC	Bentonitique simple (BSS)	13 3/8	0--635	GR BGL MFC CBL-VDL	Cimentation classique (tête, float collar et shoe) laitier classe G
12 1/4	675-755	TC	Bentonitique simple (BSS) Biopolymères dégradables	10 3/4	635-720	GR BGL RES HRT PLT	Essais de production et remontée (build-up) de pressions

TC = Outil tricône

GR = Gamma Ray

DLL = Dual latero log

PLT = Production logging tool

CBL- Cement boud log-Variable

VDL = density log

RES = résistivité

BGL = Borehole geometry log

MFC = Multifinger caliper

LDL = Spectral density log

PVT = Pressure, volume, temperature analysis

HRT= High resolution thermometer



Les puits seront équipés avec une colonne filtrante de type Muni-Pack Johnson (skeleton technology, voir figure suivante) 10"3/4x8"5/8.

Le tableau suivant précise les caractéristiques de la crépine pré-packée.

Tableau 23 : Caractéristique de la crépine pré-packée

Crépine extérieur	276,6 x 255,0mm +3/-2mm
Slot:	0,80mm +0,1/-0,1mm
Fils / Hauteur du fil	375 / 6,00mm
Section de rods	1583mm ²
Crépine intérieur	220,4 x 201,5mm +3/-2mm
Slot:	0,80mm +0,1/-0,1mm
Fils / Hauteur du fil	350 / 5,00mm
Section de rods	950mm ²
Media Filtrant:	billes de verre (dimensions à définir)
Pourcentage d'ouverture	17,6%
Débit théorique	16,5 m ³ /h/m pour une vitesse d'entrée d'eau de 3cm/s
Débit max théorique ascensionnel	172,2 m ³ /h avec une vitesse ascensionnelle de 1,5m/s
Résistance théorique à l'écrasement	82,9 bars
Résistance théorique à la traction en limite élastique	30,1 tonnes
Extrémités	avec raccord JSL male x femelle (Ø ext femelle 248mm)
Poids estimatif	99,0 kg/m
Longueur utile:	7 x 8,57m +/-50mm

Figure 55 : Colonne filtrante Munipak Johnson Skeleton



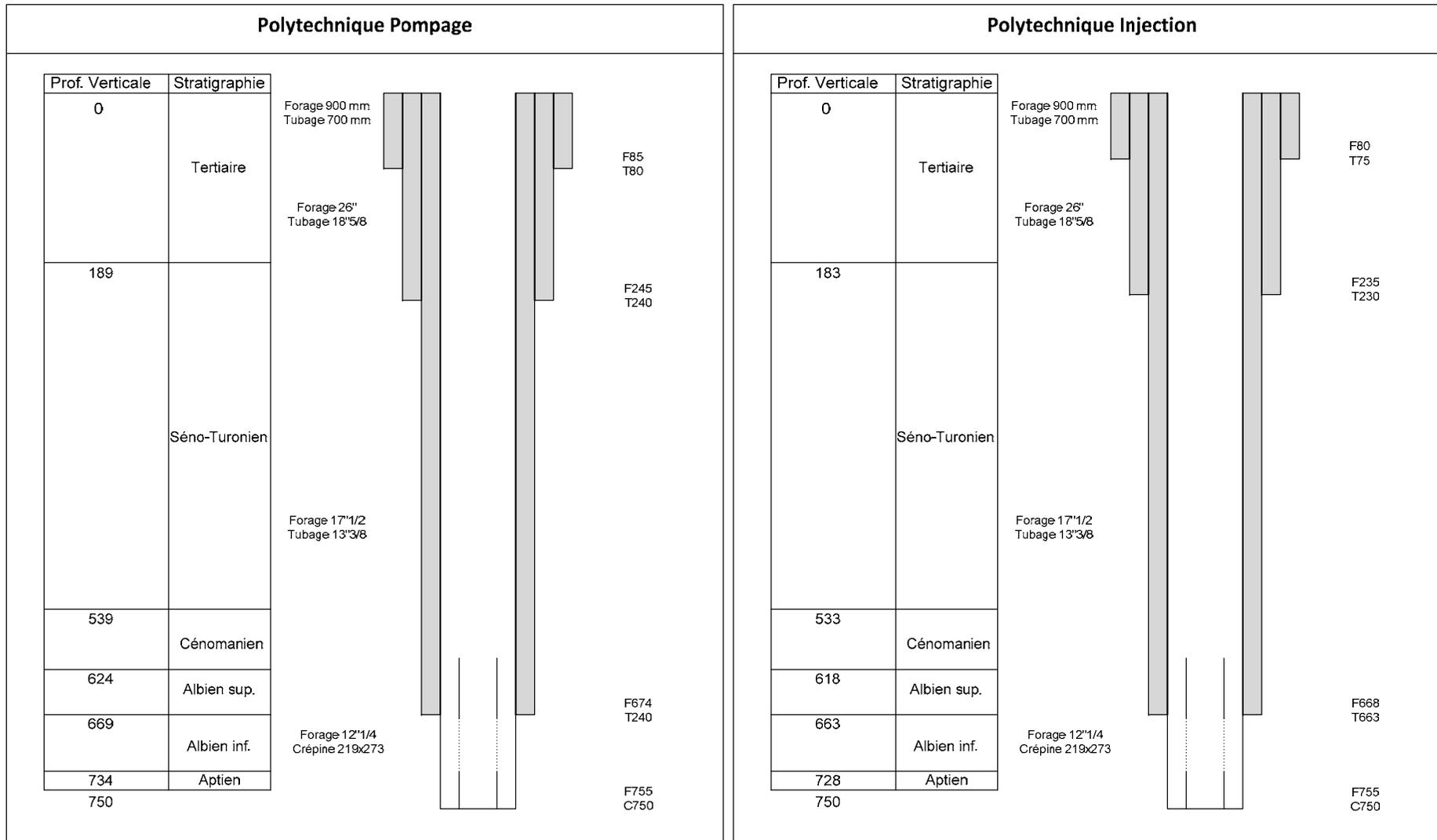


Figure 56 : Architecture des puits



5.6 Programme de diagraphies différées

Pour s'assurer de la qualité des travaux de forage, toutes les diagraphies nécessaires à ce type de travaux seront réalisées, à savoir :

- Contrôles du diamètre et de la verticalité avant à la pose des tubages ;
- Contrôles de cimentation des tubages cimentés (CBL/VDL, USIT) ;
- Gamma ray et résistivité dans le réservoir ;
- Inspection par caméra vidéo.

5.7 Essai de production

A l'issue des travaux de forage, il sera procédé à la réalisation de pompages de nettoyage, de développement et de pompages d'essai :

- **Nettoyage et mise en eau à l'air lift** : Après la mise en place du massif de gravier, le forage sera nettoyé à l'air lift pendant 24 h
- **Développement du forage** : Le développement du forage sera réalisé à la pompe jusqu'à l'obtention d'une eau claire pendant plusieurs jours et atteinte du débit spécifique stabilisé. En fin de développement, une désinfection du forage sera réalisée.
- **Pompages d'essai** : Essai de puits (pompage par paliers) et pompage de longue durée (72 heures).
- **Diagraphies** : débitmétrie, thermométrie/conductivité.

5.8 Remise en état du site

Après évacuation des déchets, effluents et liquides et le repli des machines de forage, le site sera remis dans son état initial.

La remise en état du site comprendra :

- Le repli des appareils de forages et de la logistique associée,
- L'évacuation des déchets et effluents,
- Le démontage de la clôture.

5.9 Durée et échelonnement des travaux

La durée des travaux de forages tels qu'ils sont décrits ci-avant est estimée à 22 jours calendaires par forage (hors avant puits et aménagement de la plateforme).

Ainsi, l'avancement du chantier pourra être modélisé comme suit :

Courbe d'avancement prévisionnel

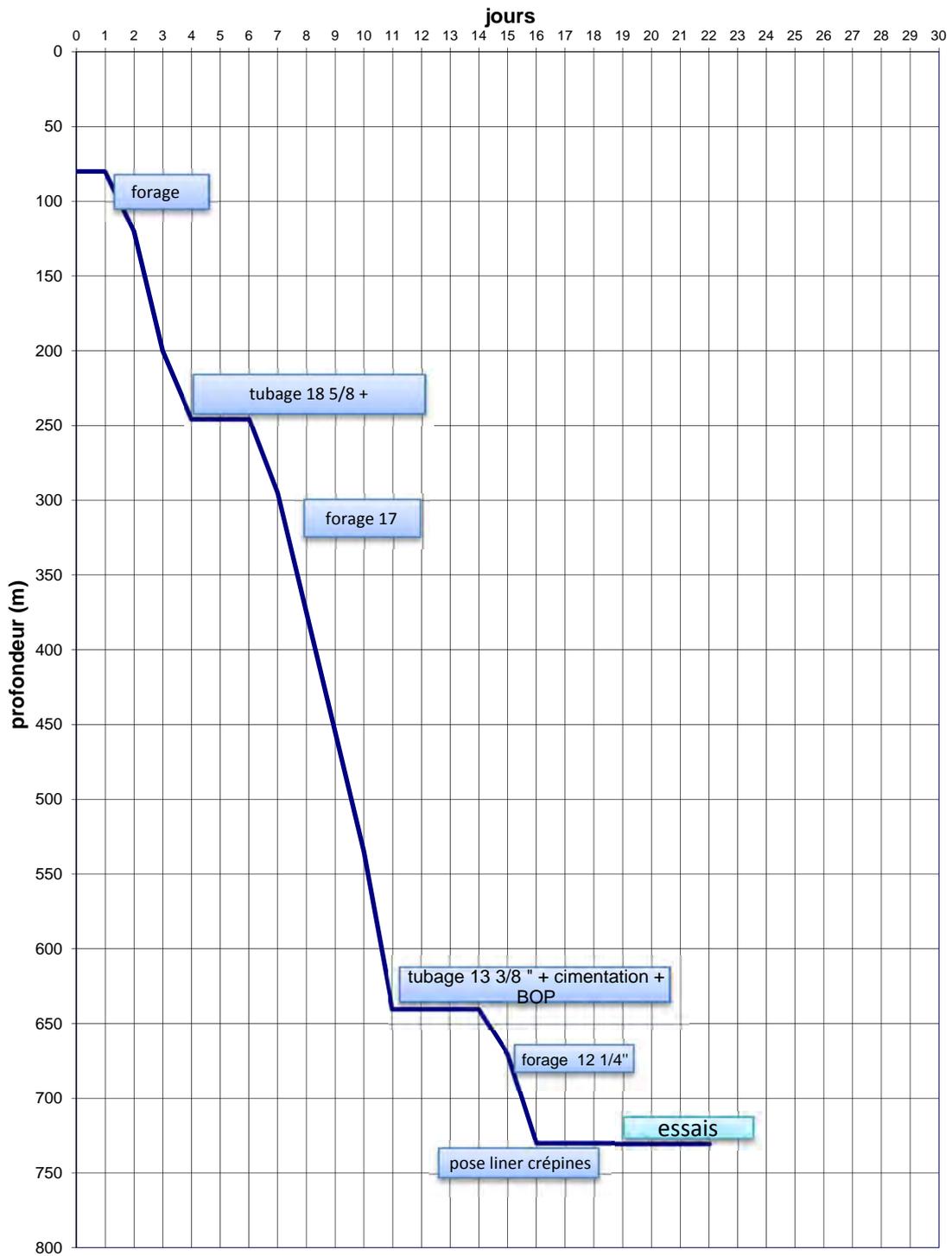


Figure 57. Avancement prévisionnel des travaux



6 ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

6.1 Présentation du projet

6.1.1 Justification du projet

Le projet consiste à créer un doublet géothermique sur la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique comme il est décrit dans les parties précédentes.

L'Etablissement Public d'Aménagement Paris-Saclay, organisme d'intérêt national, est chargé de l'aménagement de la ZAC et est porteur du projet et de son financement.

La réalisation du projet est confiée au groupement d'entreprises IDEX/EGIS dans le cadre d'un contrat de Conception / Réalisation / Exploitation / Maintenance.

6.1.2 Contexte géographique et administratif

6.1.2.1 Le territoire de Paris-Saclay

Le plateau de Saclay, territoire situé au sud-ouest de la région parisienne, à environ 15 km de Paris, est d'orientation Nord-ouest / Sud-est, marqué par les rivières Bièvre au Nord et Yvette au Sud.

Le quartier de l'Ecole polytechnique, le quartier le plus à l'Est du Plateau, s'étend sur 232 hectares. Il est composé du campus de polytechnique et de son quartier ouest, en cours d'aménagement.

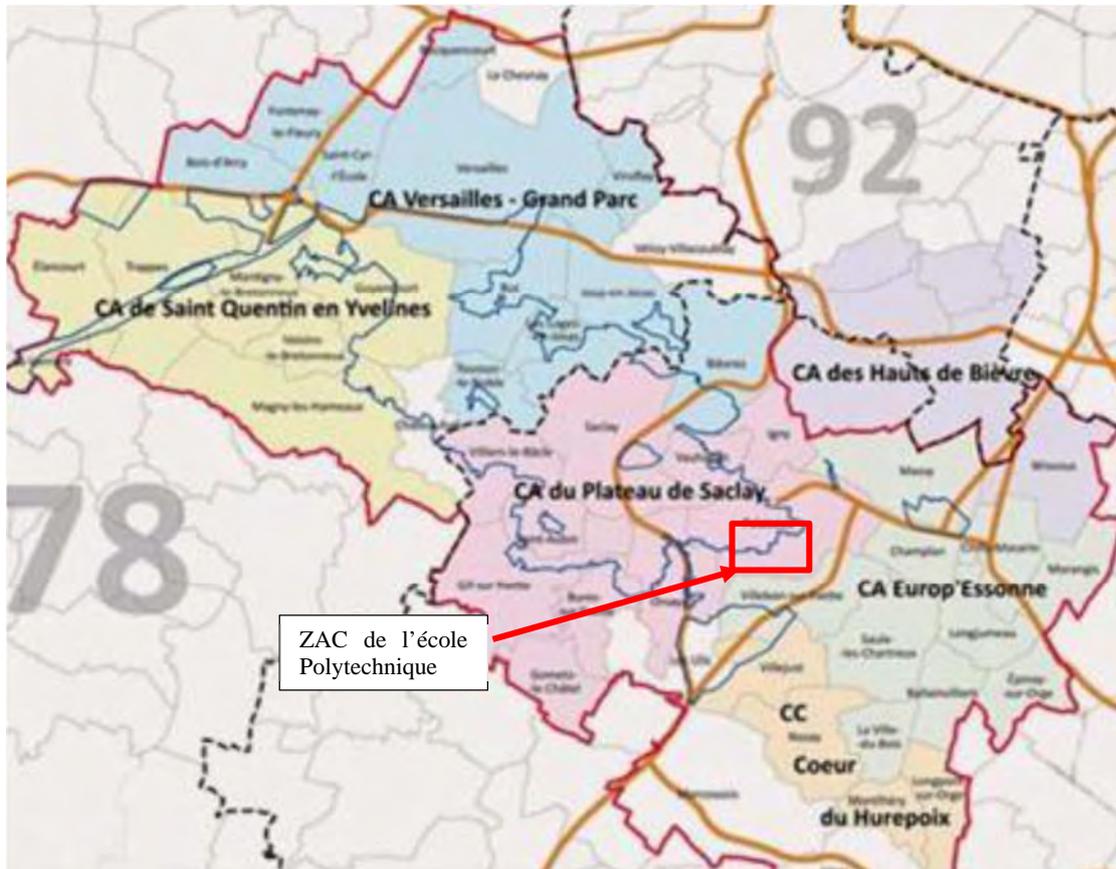
Le quartier est circonscrit par les limites foncières de l'Ecole Polytechnique au nord, à l'est et au sud. Les frontières sont matérialisées par :

- La RD36 au nord,
- La forêt domaniale de l'Ecole Polytechnique à l'est,
- Les coteaux boisés de l'Ecole Polytechnique au sud,
- La RD128 au sud-ouest,
- La limite de la commune de Palaiseau, prolongée jusqu'à la RD 36 à l'ouest.

Le quartier de l'Ecole polytechnique s'étend à la fois sur les communes de Palaiseau et de Saclay (à l'extrémité nord-ouest). A l'Ouest, le quartier jouxte la commune d'Orsay.

Le site du forage de production sera situé sur la commune de Palaiseau et celui du forage d'injection sur la commune de Saclay.

Figure 58 : Communes et intercommunalités du périmètre de l'EPAPS



6.1.2.2 Paysage naturel

Le plateau de Saclay s'inscrit dans une vaste région de plateaux appartenant à la région naturelle du Hurepoix, s'étendant au sud-ouest de Paris entre Beauce et Brie, Seine et Yvelines. Le plateau de Saclay est délimité par les cours d'eau de la Bièvre au nord et de l'Yvette au Sud. Ces deux vallées marquent fortement le paysage du plateau puisqu'elles l'entaillent de denses coteaux boisés.

Le patrimoine naturel environnant est particulièrement riche :

- A l'ouest, le Parc naturel régional de la Haute Vallée de Chevreuse,
- Au nord, les forêts domaniales de Versailles et Meudon,
- Au nord-est, la forêt domaniale de Verrières.

6.1.2.3 Paysage urbain et infrastructures

L'inventaire du paysage urbain est dense. Sont mêlées, au gré des vallées encaissées délimitant un plateau à dominante agricole, des formes urbaines contrastées :

- Agglomérations et villages,
- Centres historiques et ville nouvelle,
- Pôles universitaires, d'innovations et/ou de hautes technologies.

Concernant les infrastructures, le plateau de Saclay est desservi par la RN 118 et se trouve à proximité immédiate des autoroutes A10 et A86. Les vallées de la Bièvre et de l'Yvette



accueillent respectivement les RER C et B avec à proximité la gare TGV de Massy-Palaiseau et l'aéroport d'Orly est accessible en 20 minutes.

6.1.3 Contexte climatologique

Le climat de l'Ile-de-France découle à la fois de sa situation géographique, à l'extrême ouest de l'Europe et de sa position au fond du creux central du bassin parisien.

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 alors que l'humidité est suffisante et sans excès.

Un très léger caractère de sécheresse par rapport à la périphérie du bassin est constaté.

6.1.3.1 Températures

La température moyenne annuelle est de 11,7°C. Juillet (19,5°C) devant août (18,5°C) est le mois le plus chaud. Les températures les plus froides sont enregistrées en janvier (3,4°C) et en février (3,8°C). Le thermomètre peut exceptionnellement descendre à -15°C.

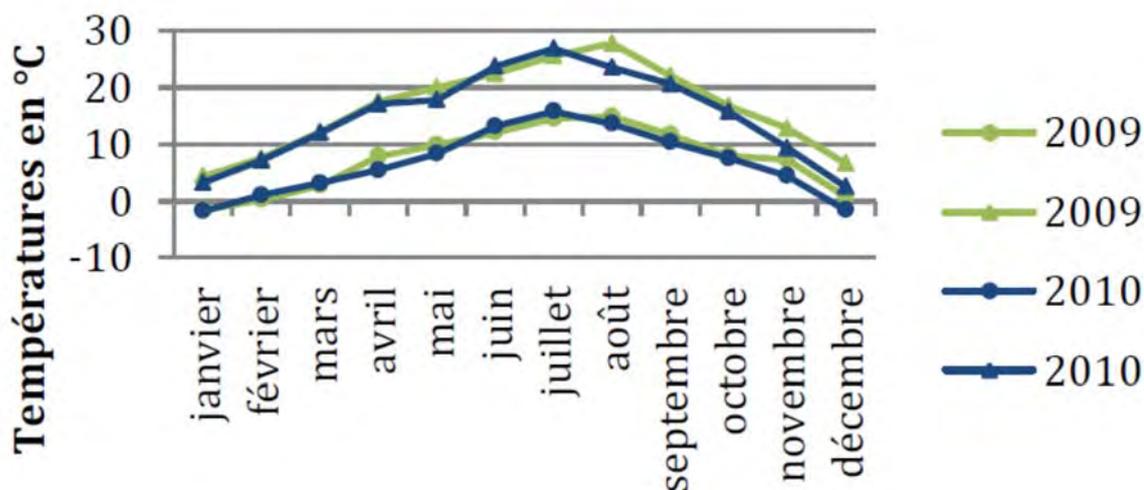


Figure 59 : Températures à la station d'Orly, comparaison 2009-2010

6.1.3.2 Précipitations

Les précipitations sont assez uniformément réparties, entre 50 à 55 mm en moyenne chaque mois de l'année. Toutefois, le printemps, de mars à mai, reste la saison la plus sèche. La neige couvre le sol 8 jours par an en moyenne.

La répartition géographique des précipitations est d'abord influencée par le relief. Plateaux et collines sont plus arrosés, surtout au sud-ouest. Les précipitations sont en général de faible intensité.

Des événements pluvieux exceptionnels peuvent néanmoins survenir sur le territoire, comme en avril et août 2007. Le phénomène orageux du 29 avril 2007, de période de retour estimée entre 50 et 100 ans (70 mm tombés en 6 h à Toussus-Le-Noble, d'après les données de l'étude de Gestion Globale des Eaux sur le plateau de Saclay) a notamment provoqué de fortes inondations.

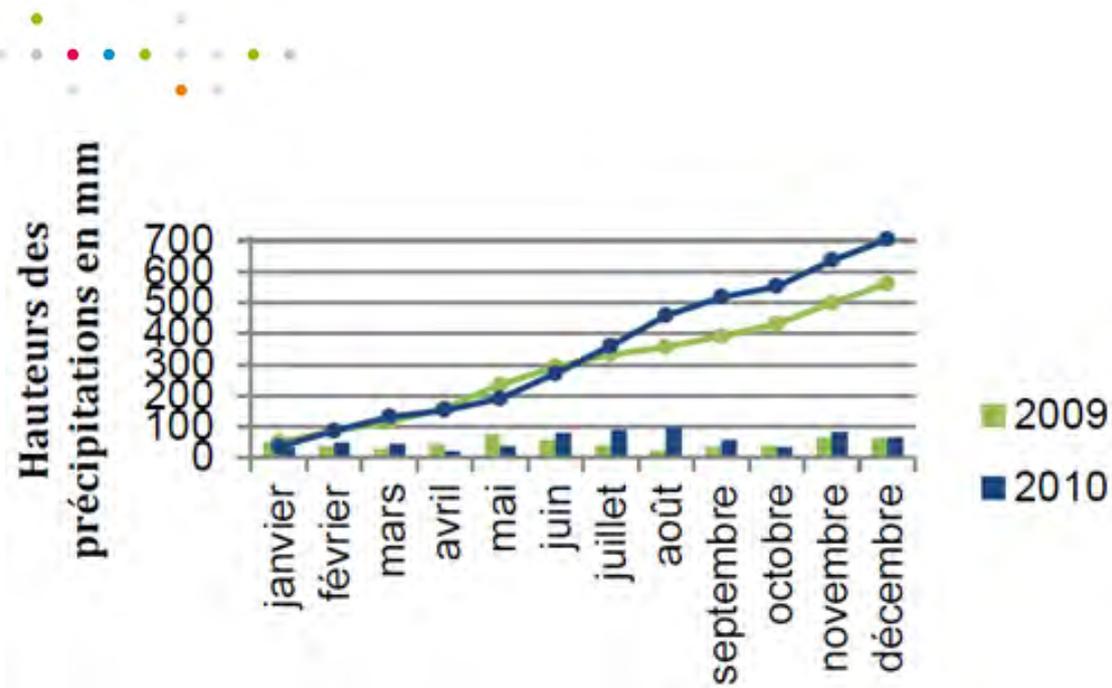


Figure 60 : Précipitations à la station d'Orly, comparaison 2009-2010

6.1.3.3 Vent

La fréquence et la vitesse du vent sont faibles. Le nombre de jours de vent est de 50 par an. Les vents les plus fréquents et les plus forts soufflent du Sud-ouest ainsi que la brise de nord-est pendant l'hiver.

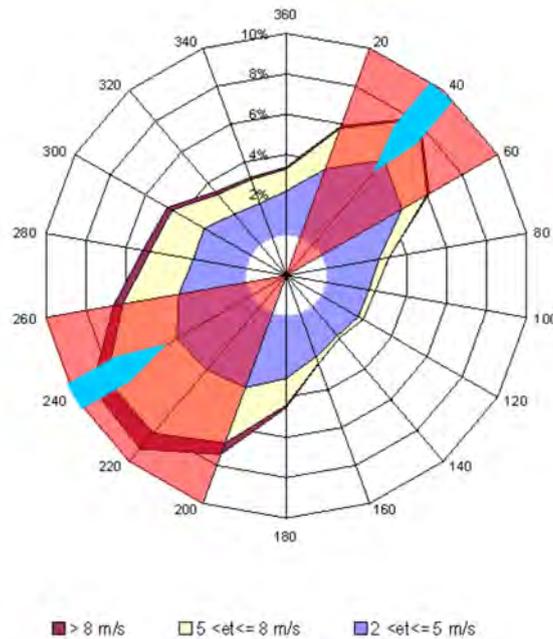


Figure 61 : Fréquence des vents en fonction de leur provenance en %

6.1.4 Plan local d'urbanisme et servitudes

Comme cité précédemment, la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique s'étend sur les communes de Palaiseau et Saclay.

Les plans locaux d'urbanisme de ces deux communes et les parties concernant plus particulièrement les sites des forages sont présentés ci-après.

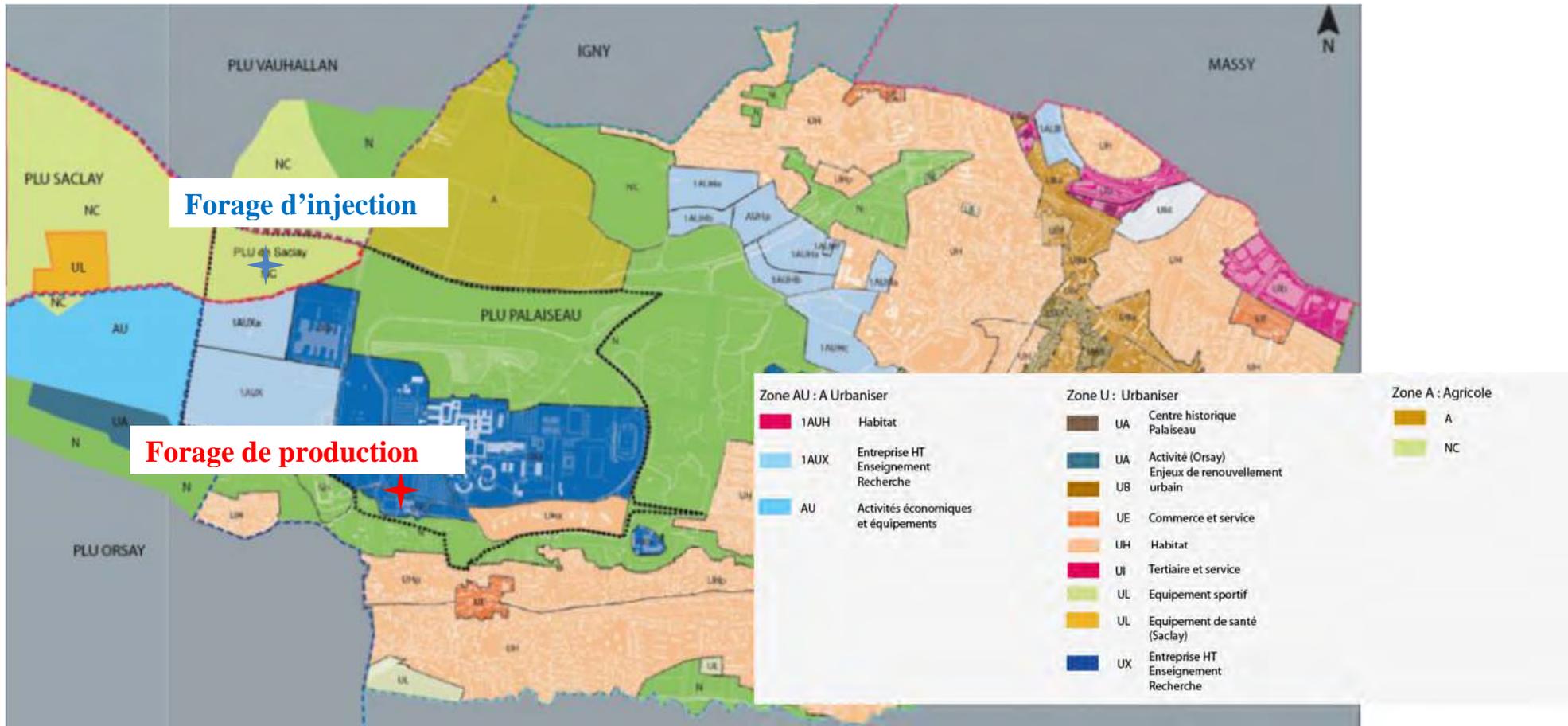
Il ressort d'une première approche que le périmètre d'étude des forages se situe :



- Pour le forage d'injection, en zone Nc de la commune de Saclay, zone naturelle permettant l'accueil d'équipements techniques nécessaires au quartier,
- Pour le forage de production, en zone UX2a de la commune de Palaiseau, zone qui accueille une mixité de programmes dans un ensemble structuré et maillé.



Figure 62 : Plan de zonage des PLU en vigueur de Palaiseau et Saclay





6.1.4.1 Plan Local d'Urbanisme de la commune de Palaiseau

Le Conseil Municipal de Palaiseau a prescrit par délibération la révision de son Plan d'Occupation des Sols (POS) et l'élaboration de son Plan Local d'Urbanisme (PLU) le 4 octobre 2001.

Après plus de 5 ans de travail et de concertation, le Conseil Municipal a voté le PLU le 12 juillet 2006.

Depuis son approbation en 2006, le PLU de Palaiseau a évolué depuis son élaboration. Il a été modifié à trois reprises par délibération du Conseil Municipal du 3 Septembre 2008, du 23 septembre 2010 et du 23 juin 2011 afin de permettre la prise en compte des évolutions réglementaires.

Il a également fait l'objet de trois révisions simplifiées :

- Deux approuvées par délibération le 23 juin 2011 afin d'une part, de permettre l'enfouissement de la ligne HT 63 KV par RTE et d'autre part, la réalisation de salles de laboratoires pour le projet Institut Lumière Extrême sur le site de l'ENSTA,
- Une approuvée par délibération le 28 mars 2012 afin de permettre l'implantation du futur centre de recherche et de campus de formation du groupe EDF dans le secteur Nord-ouest du quartier de l'Ecole Polytechnique.

Par ailleurs, il a été mis à jour par arrêté du maire à six reprises :

- Arrêté n°2006-12-645 du 19 janvier 2007 pour l'intégration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI) de la Vallée de l'Yvette,
- Arrêté n°2007-12-651 du 02 janvier 2008 pour la prise en considération de la réalisation d'une opération d'aménagement sur le périmètre du secteur de la gare de Palaiseau,
- Arrêté n°2009-04-171 du 9 avril 2009 pour la mise en place des plans d'alignement des avenues Jean Jaurès et du Président Wilson et de la rue du Capitaine Cocart,
- Arrêté n°2009-08-478 du 5 août 2009 pour l'instauration du droit de préemption sur les fonds de commerce, les fonds artisanaux et les baux commerciaux dans le périmètre de sauvegarde multisite,
- Arrêté n°2009-08-479 du 5 août 2009 relatif à la prise en considération de la réalisation d'une opération d'aménagement sur le périmètre du secteur dit « Lycée Camille Claudel »,
- Arrêté n°2010-11-689 du 5 novembre 2010 pour l'intégration des changements graphiques dus aux procédures de modification et de révisions simplifiées approuvées le 23 septembre 2010.



6.1.4.1.1 Le Projet d'Aménagement et de Développement Durable (PADD)

Le PADD du PLU de Palaiseau met en évidence plusieurs objectifs :

- Maintenir la mixité sociale et répondre aux besoins des jeunes dans le domaine du logement,
- Maîtriser l'évolution urbaine,
- Développer le potentiel scientifique et économique aux échelles communale et intercommunale,
- Améliorer les moyens de déplacement en ville,
- Proposer des services urbains accessibles à tous.



Figure 63 : Carte de synthèse du PADD de Palaiseau – PLU Palaiseau



Sur le quartier de l'Ecole Polytechnique, la commune souhaite développer le pôle scientifique dans le respect des exigences d'économie de l'espace et de qualité environnementale. Elle souhaite également intégrer l'Ecole Polytechnique dans le développement de la ville.

6.1.4.1.2 Le zonage et le règlement

D'une manière générale, les zones concernées par le projet d'aménagement de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique sur la commune de Palaiseau sont les suivantes :

- Le bois au Nord est en zone N, tout comme les étendues vertes de Polytechnique et le coteau,
- Les écoles et entreprises sont en UX a, b, c,
- Les logements individuels et collectifs au Nord du boulevard des Maréchaux de Polytechnique sont classés en UHx,
- Les terres agricoles sont en 1AUX.

Le projet de forage géothermique (forage de production) sur le PLU de Palaiseau sera implanté dans une zone qualifiée UX.

Cette zone est destinée à recevoir principalement des établissements de recherche et d'enseignement, des activités de haute technologie liées à ces établissements publics ou privés ainsi que des constructions à usage d'habitation liées à ces activités ou établissements. De même, cette zone peut recevoir tout équipement sportif, de loisirs ou d'éducation concourant au fonctionnement des établissements.

Elle est constituée par :

- Un secteur UXa correspondant à une partie du territoire de Polytechnique destiné plus spécifiquement aux établissements d'enseignement et de recherche d'intérêt national mais aussi aux activités de haute technologie et aux logements liés à ces activités,
- Un secteur UXb correspondant au Fort de Palaiseau, occupé par l'ONERA, à celui de la Batterie de l'Yvette, occupé par l'ENSTA et au terrain de Danone Vitapole. Il est affecté à la recherche d'intérêt national, mais aussi aux activités de hautes technologies,
- Un secteur UXc, correspondant à l'Ouest de Polytechnique, aux terrains de Thalès, IOGS et à la pointe Sud du secteur ouest. Il est destiné à l'implantation d'établissements d'enseignement et de centres de recherche, d'activités de un secteur UXc1, partie Sud de UXc, en bordure du coteau, spécifique pour l'article 10 sur la hauteur des constructions.

Le forage de production viendra s'implanter dans le secteur UXa.

6.1.4.2 Plan Local d'Urbanisme de Saclay

La pointe Nord-ouest du PLU et le forage d'injection se situent sur le territoire de Saclay, en zone Nc (voir classification des zones au paragraphe 6.1.4).

Il s'agit d'une zone naturelle réservée aux activités agricoles en raison de la valeur agricole des terrains. Les seules occupations admises sont :

- Les constructions relatives à l'exploitation agricole,
- Les constructions liées à la sécurité publique, les équipements publics d'infrastructure ou d'intérêt collectifs,



- Les terrassements et affouillements à condition qu'ils soient nécessaires aux travaux d'assainissement ou d'irrigation.

Le forage d'injection rentre dans le cadre des équipements publics d'infrastructure.

6.1.4.3 Servitudes au droit du site

Outre les servitudes et contraintes liées aux réseaux (cf. partie suivante 6.2) et aux sites archéologiques il convient de signaler l'existence d'autres servitudes issues des PLU de Palaiseau et Saclay, dont les descriptions figurent ci-après :

Sur Palaiseau et Saclay

Les servitudes relatives aux obstacles (PT2) des transmissions radioélectriques du centre radioélectriques Paris-Sud – Palaiseau ; en application des décrets du 27 août 1993, du 03 novembre 1972, du 16 mars 1982 et du 06 décembre 1990 (PT2) impliquent que les constructions ne doivent pas dépasser les cotes NGF fixées par décret, la hauteur maximale des bâtis fixée est de 174 NGF.

Sur Saclay, le long de la RD36 et RD 128:

Les deux départementales sont affectées des zones non aedificandi (secteur affecté par le bruit) larges de 30 m.

La carte des servitudes ci-après reprend l'ensemble des servitudes présentes sur le secteur de Palaiseau et Saclay.

Application aux forages

Les forages seront réalisés avec des machines dont la cote supérieur est inférieure à la demande du PLU pour la protection des transmissions radioélectriques.

Ceux-ci sont hors des zones sans construction le long des deux routes départementales.

Les sites d'implantation des forages géothermiques ne sont soumis à aucune servitude d'utilité publique.

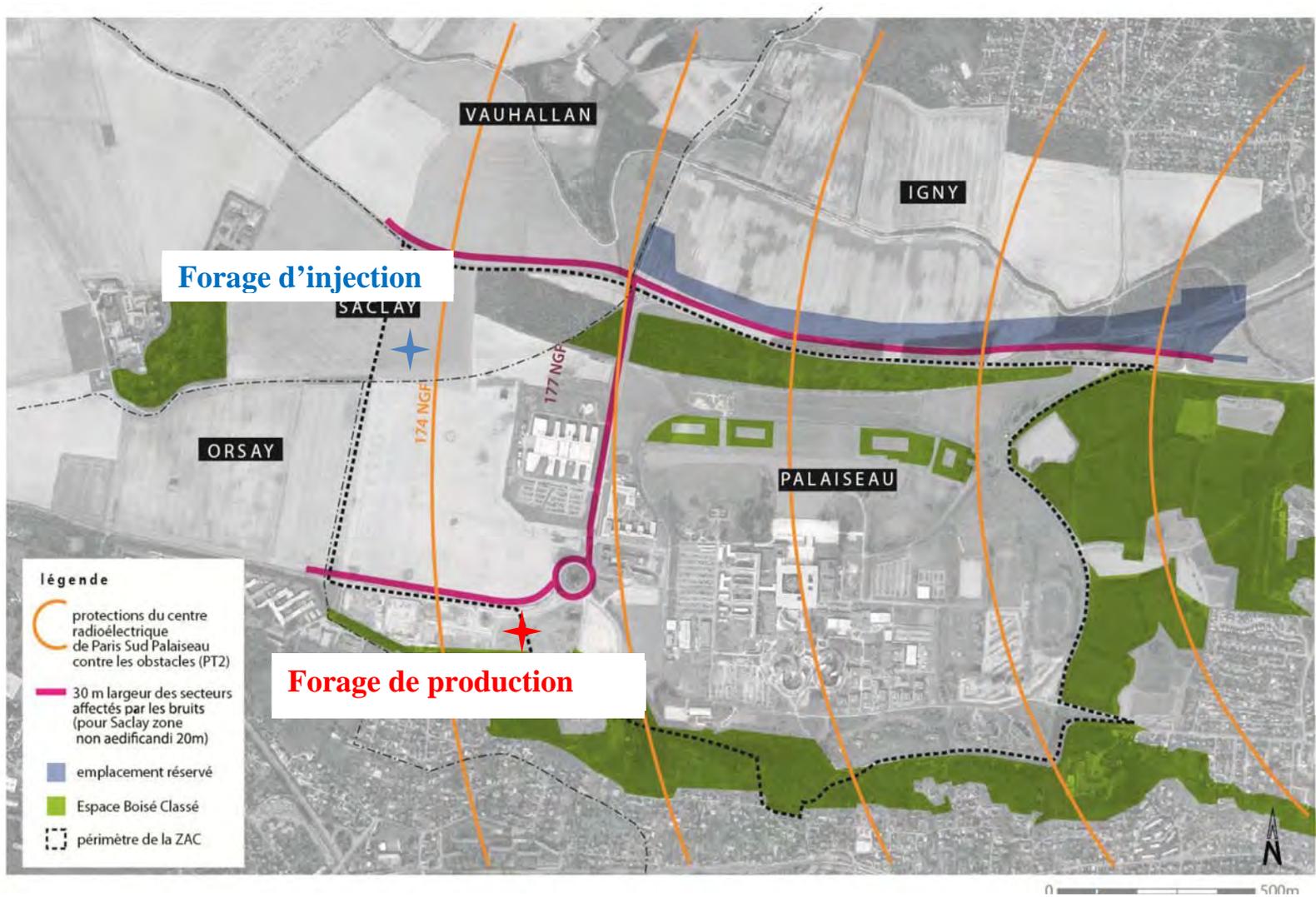


Figure 64 : Servitudes au droit des sites – atelier VILLES & PAYSAGES – juin 2011 – Mise à jour par Ingerop – Septembre 2012



6.2 Etat initial du site et de son environnement

6.2.1 Localisation et description des sites

Les sites choisis pour la réalisation des forages se situent de part et d'autre de l'ancienne route D128 désormais déclassée en boulevard urbain. Les forages seront situés sur des parcelles distantes de plus de 1000 m.

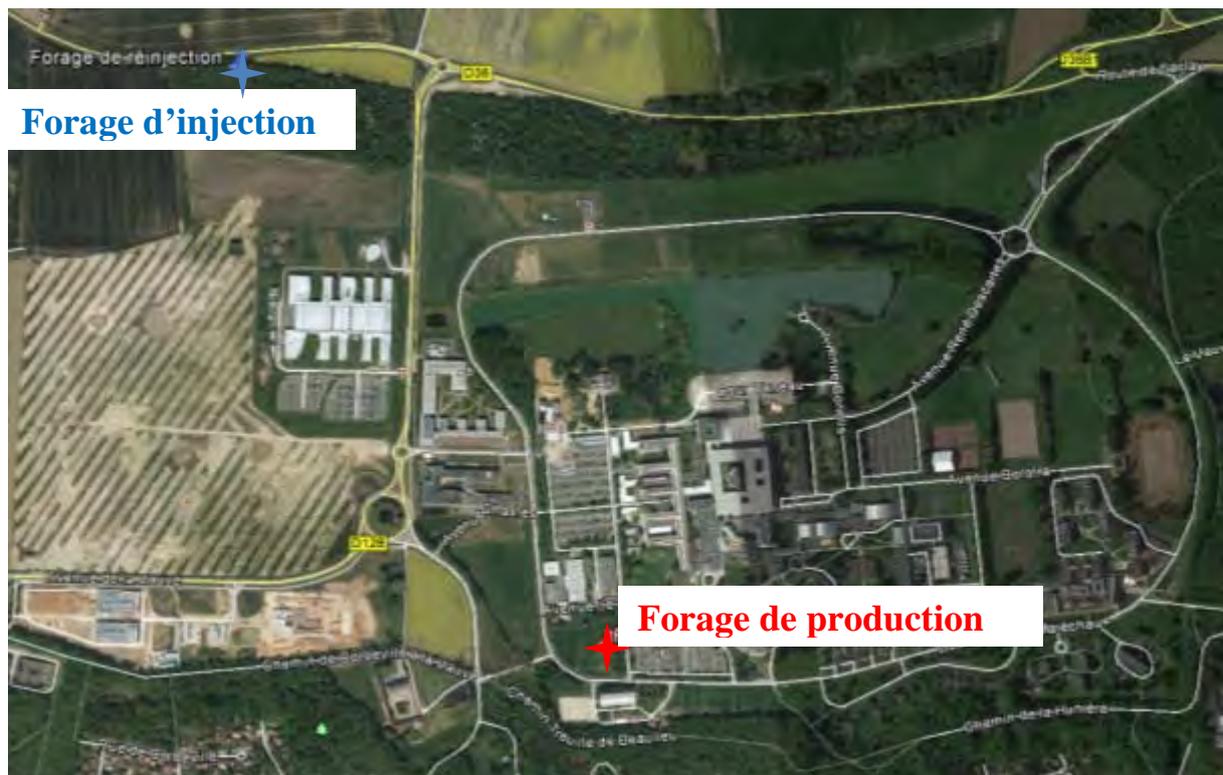


Figure 65 : Localisation des sites de forages – Photo aérienne de 2014

6.2.1.1 Forage de production

Le forage de production sera situé à proximité de l'Ecole polytechnique sur une parcelle appartenant à l'EPA Paris-Saclay. Le site du forage de production est actuellement une zone enherbée plane, anciennement utilisée comme pâture à chevaux.

Une vue en plan de l'implantation et des photos du site sont jointes ci-dessous.



Figure 66 : Localisation du site du forage de production



Figure 67 : Photo du site du forage de production



Figure 68 : Photos du site du forage de production

6.2.1.2 Forage d'injection

Le forage d'injection sera situé au nord-ouest de la ZAC, à une cinquantaine de mètres au sud de la RD36. Le site du forage de réinjection est situé dans une zone boisée défrichée en 2015 pour l'implantation d'une zone technique et d'un poste de transformation EDF.

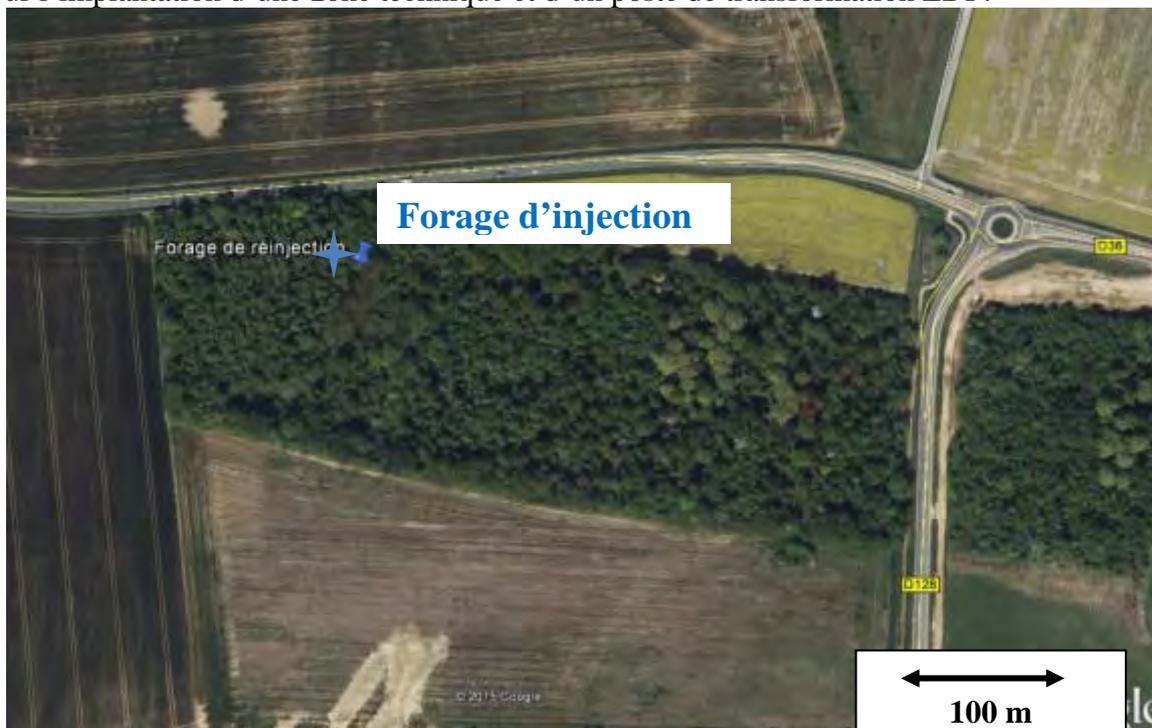


Figure 69 : Localisation du site du forage de réinjection – Photo aérienne avant déboisement



Figure 70. Photo actuelle du site depuis le boulevard

6.2.2 *Habitations et installations situées à proximité des sites*

6.2.2.1 *Site du forage de production*

Aucune habitation n'est présente à proximité du site du forage de production (dans la zone des 50 mètres). A l'issue de l'aménagement de la ZAC, cette zone des 50 mètres sera conservée vierge de constructions.

A proximité du site, on note la présence des bâtiments suivants:

- Un complexe sportif situé à 70 m au sud,
- Des laboratoires situés à 120 m au nord,
- Des logements étudiants à 250 m à l'est,
- L'École nationale de la statistique et de l'administration économique (ENSAE ParisTech) en cours de construction à 100 m à l'est.

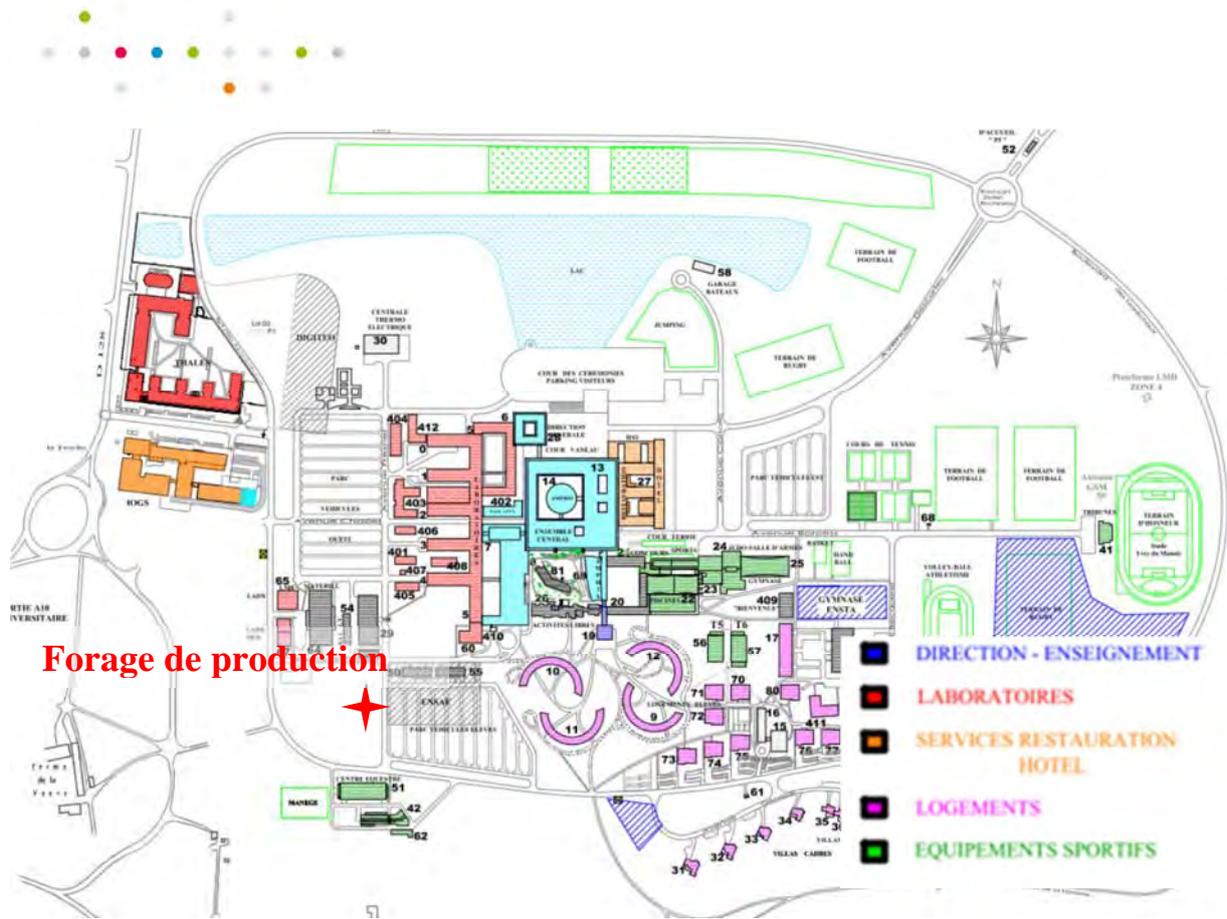


Figure 71 : Localisation des installations proches du site du forage de production (vue actuelle)

6.2.2.2 Site du forage d'injection

Aucune habitation n'est présente à proximité du site du forage d'injection (dans la zone des 50 mètres). Cette zone restera inhabitée à l'issue de l'aménagement de la ZAC, il s'agira d'une zone technique pour le poste EDF et le forage.

Le bâtiment le plus proche du site est celui du centre de recherche de Danone situé à environ 400 m au sud du forage.

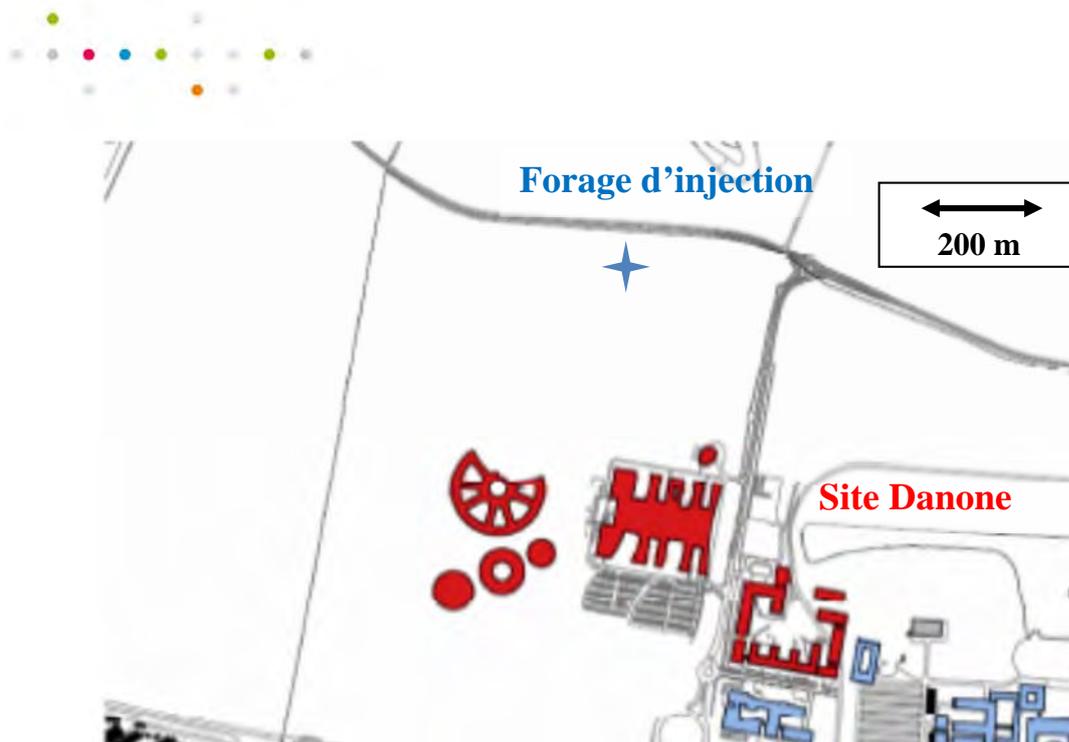


Figure 72. Localisation des installations proches du site du forage d'injection

6.2.2.3 Proximité de sites ICPE

Les deux sites de forages sont éloignés des ICPE présentes sur la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique :

- Pour le forage de production, l'ICPE la plus proche se situe à environ 250 m au nord-est (Ecole polytechnique).
- Pour le forage d'injection, l'ICPE la plus proche se situe à environ 400 m au sud (Danone).

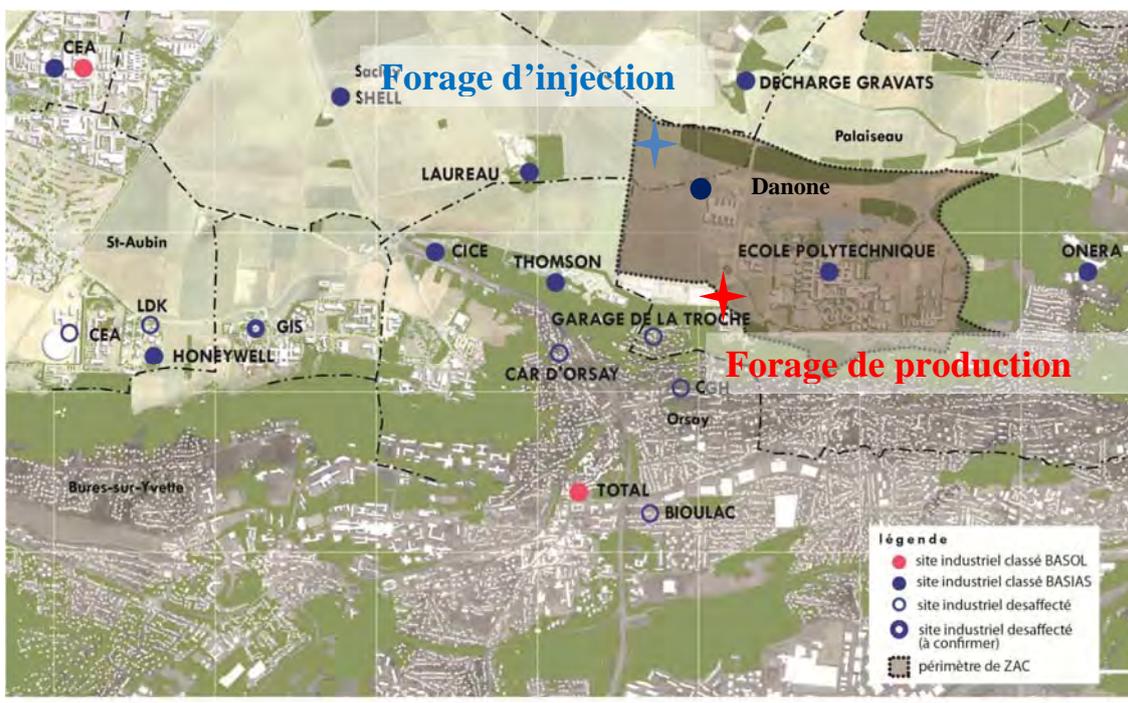


Figure 73 Localisation des ICPE de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique



6.2.3 Accessibilité des sites de forages

6.2.3.1 Site du forage de production

Le site est accessible depuis Paris par la route nationale N118, puis en empruntant la sortie n°9 en direction du *Centre Universitaire – Grandes Ecoles* et la route départementale D128 requalifiée prochainement en boulevard urbain de la Vauve. L'accès se fait par la route encerclant l'École (boulevard des Maréchaux).

6.2.3.2 Site du forage d'injection

Le site est accessible par la route nationale N118, en empruntant la sortie n°8 en direction de Saclay. L'accès au site de forage se fait via la route départementale D36 en direction de l'École polytechnique puis par le Boulevard de la Vauve.

6.2.4 Richesses naturelles

Le plateau de Saclay est un plateau mis en valeur par une agriculture de grande culture céréalière organisée en grandes parcelles. Les espaces hors gestion agricole sont restreints à de petits boisements en bord de plateau et ponctuent la surface du plateau. Les grandes surfaces boisées ont été repoussées dans les vallées et sur les coteaux.

Le plateau de Saclay est entouré d'un bandeau forestier quasi-continu formé par la couronne verte qui n'est interrompue que par des secteurs urbanisés.

Les habitats recensés sur l'ensemble du territoire de la ZAC se classent en deux grandes catégories :

- Les milieux secs, qui composent la quasi-totalité du plateau,
- Les milieux humides qui regroupent l'essentiel de la biodiversité mais représentent des espaces ponctuels de surface réduite, principalement constitués par les rigoles et mouillères.

Les parties suivantes s'attachent à décrire les milieux naturels du plateau et à distinguer l'impact potentiel des forages sur chacun de ces milieux.

6.2.4.1 Milieux secs

Les milieux secs constituent la diversité ordinaire. On rencontre :

- De grandes cultures abritant des groupements d'adventices composés d'annuelles liées aux cultures et aux sols remués,
- Des boisements anthropiques, hétérogènes mais d'une grande banalité floristique,
- D'autres boisements d'origine ancienne occupant les sols les plus pauvres ou les plus pentus,
- Des habitats anthropiques (jardins, pelouses urbaines, ...),
- Des friches sans groupement de valeur particulière.

6.2.4.2 Patrimoine arboré

Les entités boisées localisées sur la figure suivante et se composent des zones suivantes :

- La frange boisée du coteau, en limite de périmètre,
- Le boisement de la Croix de Villebois, couloir boisé partant des Trois Mares, au Nord de la ZAC, et longeant la RD36 jusqu'au coteau,
- La forêt domaniale de Palaiseau, représentant une surface importante d'environ 120 ha, à l'extrémité du plateau,
- Le petit bois « carré » ou remise de la Martinière.



Le site du forage d'injection est localisé dans une zone de la partie boisée de la Croix de Villebois. Cette zone est défrichée, le forage n'implique donc pas d'impact sur le patrimoine arboré.

Le forage de production est situé en-dehors de ce patrimoine arboré sur une partie enherbée.

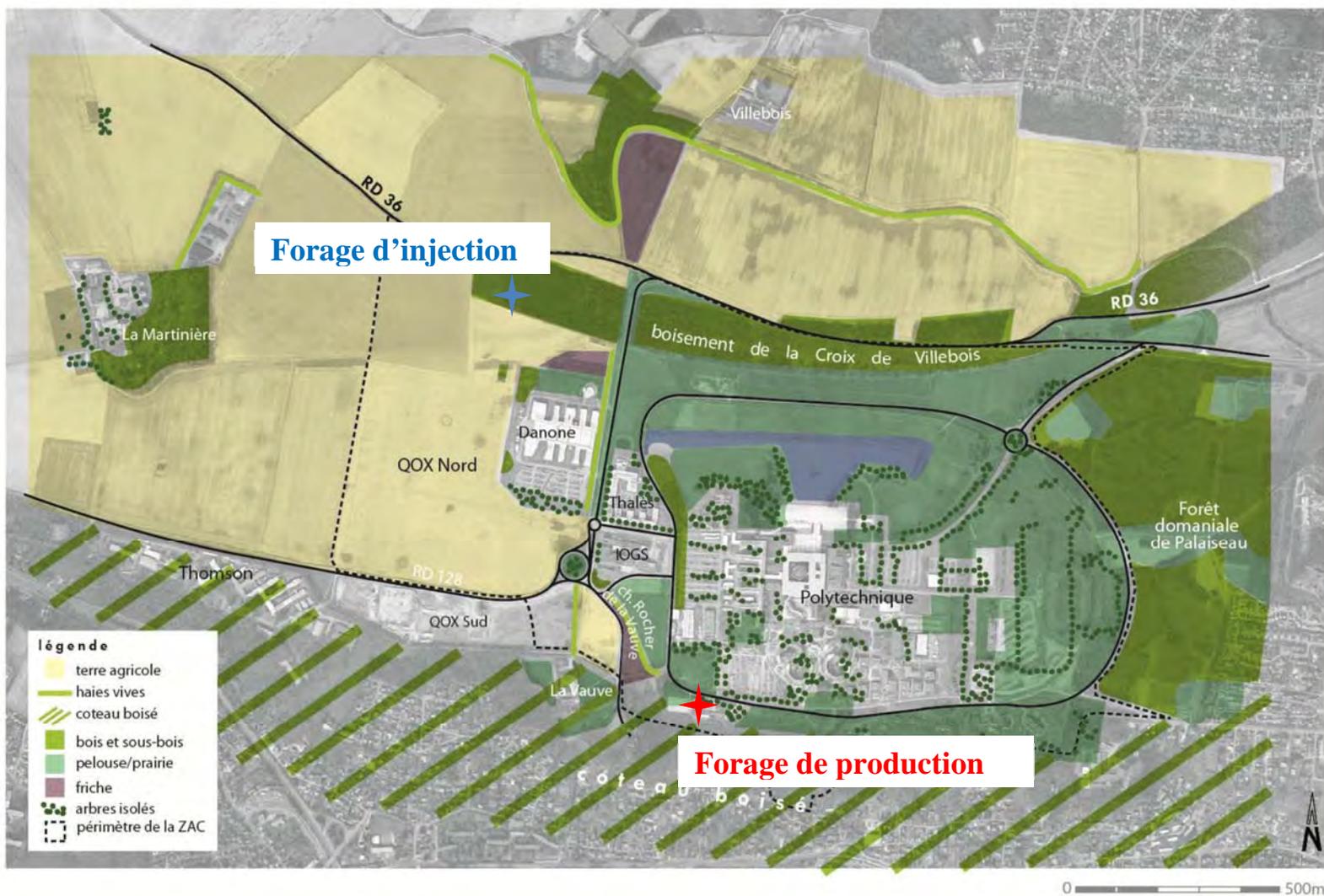


Figure 74 : Couvert végétal de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique



6.2.4.3 Terres agricoles

Les champs de grandes cultures (céréalières et protéagineuses) sont ouverts, traités en openfield, sans haie ou clôture.

Comme on peut le constater sur la figure précédente, les forages sont tous deux situés en-dehors de ces terres agricoles.

6.2.4.4 Milieux anthropiques de l'Ecole Polytechnique et des nouveaux centres

Des aménagements (bandes enherbées, haies) ont été réalisés localement, par exemple sur les sites de Danone, l'IOGS et Thalès ainsi que sur la RD128 requalifiée aujourd'hui en boulevard urbain.

L'Ecole polytechnique développe de grandes pelouses, parfois plantées d'alignements d'arbres à haut développement et de bosquets.

Néanmoins, ces aménagements paysagers ont un impact faible sur le paysage global de la ZAC.



Figure 75 : Exemple de milieu anthropique - Plantations isolées, en alignement ou en bosquets sur le site de l'école Polytechnique

Comme vu précédemment, le site du forage d'injection n'est pas situé sur une de ces zones. C'est le cas en revanche pour le site de production, situé sur une ancienne pâture à chevaux. La parcelle fera l'objet d'un aménagement dans le projet global de la ZAC à l'issue des travaux. Néanmoins, le caractère anthropique sera conservé.

6.2.4.5 ZNIEFF

Le programme ZNIEFF est un inventaire national démarré en 1989, qui a pour vocation de recenser l'ensemble du patrimoine naturel français. Les inventaires se basent sur les caractéristiques géographiques du milieu naturel et les espèces animales et végétales rencontrées. Ce classement est validé par le Museum National d'Histoire Naturelle et archivé dans chaque Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL).

L'inventaire ZNIEFF distingue deux types de zones :

- Type I : d'une superficie généralement limitée, caractérisée par la présence d'espèces rares ou caractéristiques ;
- Type II : elle définit de grands ensembles naturels riches et peu modifiés ou aux potentialités biologiques importantes, mais aux enjeux moins forts que la ZNIEFF de type I.



D'après les données les plus récentes disponibles sur le site de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN), 11 ZNIEFF sont répertoriées sur le secteur de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique et ses abords. Les ZNIEFF sont répertoriées sur la carte ci-dessous.

Aucun des forages projetés ne se situent dans une ZNIEFF répertoriée

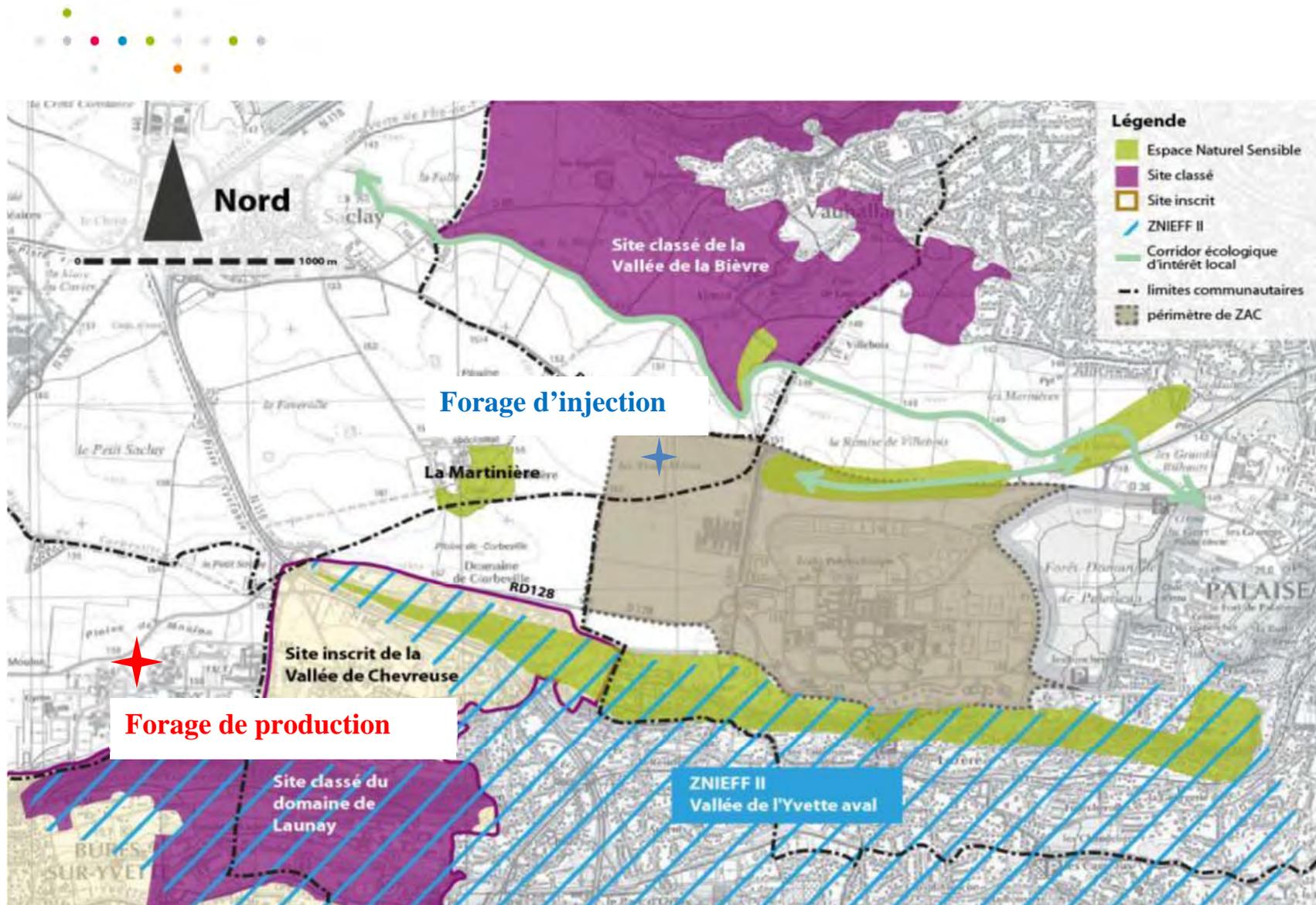


Figure 76 : Localisation des ZNIEFF et des sites remarquables



6.2.4.6 Sites NATURA 2000

Le réseau Natura 2000 a pour objectif de constituer un réseau européen de sites choisis pour abriter des habitats naturels ou des espèces identifiées comme particulièrement rares et menacées.

Les zones Natura 2000 découlent de la Directive CEE 92/43 dite Directive Habitats, et de la Directive CEE 79/409 (dite Directive Oiseaux) :

1. Le Site d'Importance Communautaire (SIC – Directive « Habitats ») le plus proche correspond aux tourbières et prairies tourbeuse de la forêt d'Yvelines (Code FR1100803), à environ 12 km à l'Ouest.
2. Les Zones de Protection Spéciales (ZPS – Directive « Oiseaux ») les plus proches sont les suivantes :
 - Le Massif de Rambouillet et zones humides proches (code FR1112011), d'une surface de 17 110 ha, à une dizaine de kilomètres à l'ouest,
 - L'étang de Saint-Quentin-en-Yvelines (code FR1110025), d'une surface de 87 ha, à plus de 15 km au nord-ouest.

Ces zones sont localisées sur la carte ci-dessous.

Les forages ne sont pas inclus à l'intérieur d'un zonage Natura 2000 et aucun site Natura 2000 ne se trouve à proximité directe (Directives « Habitats » et « Oiseaux »).

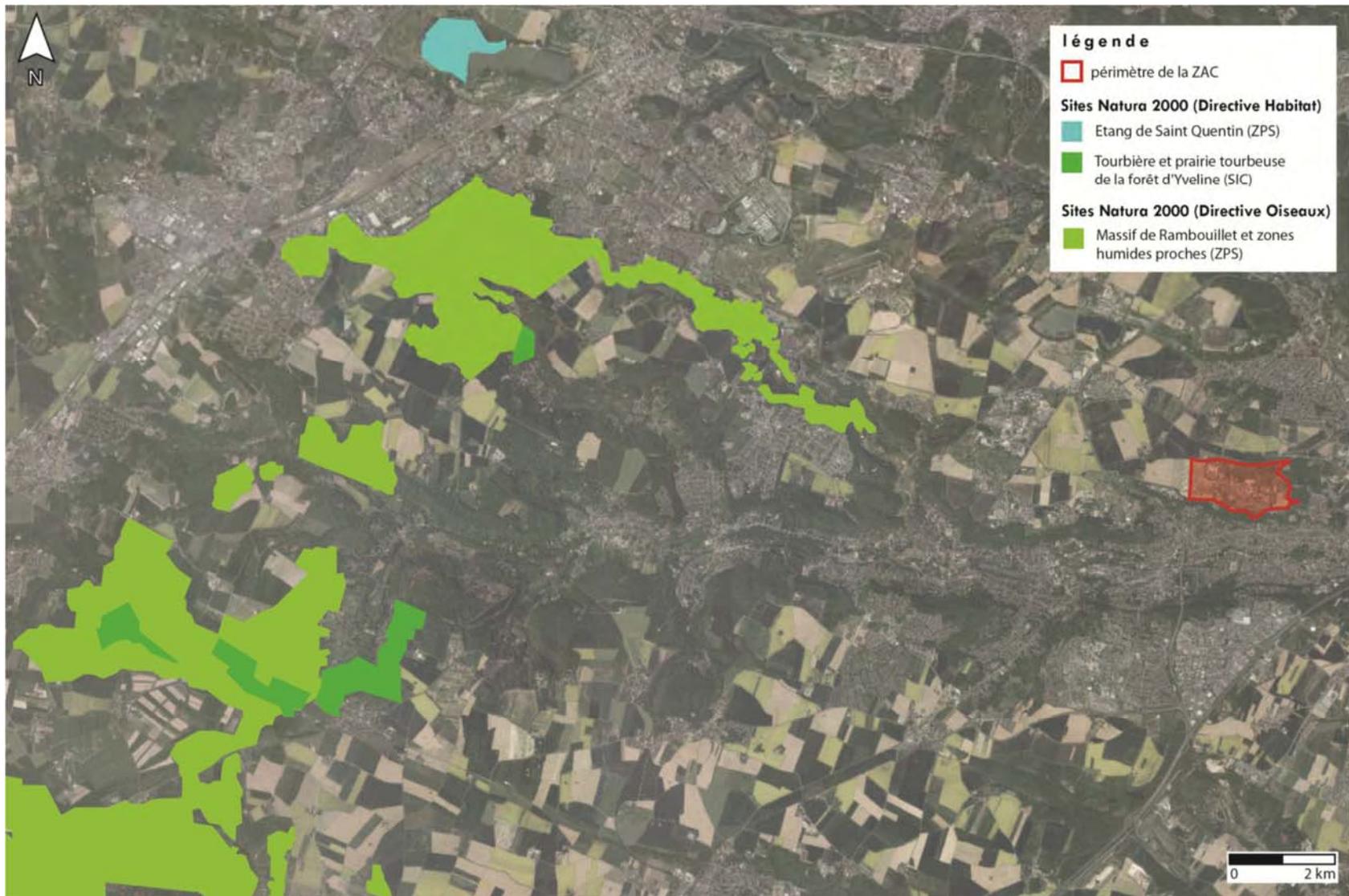


Figure 77. Localisation des sites Natura 2000 à proximité de la ZAC (en rouge)



6.2.4.7 Zones humides

L'article 2 de la Loi sur l'eau du 3 janvier 1992 dispose que « les zones humides sont des terrains exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre, de façon permanente ou temporaire; la végétation, quand elle existe, est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année ».

D'après l'arrêté du 24 juin 2008, un espace peut être considéré comme zone humide dès qu'il présente l'un ou l'autre des critères suivants :

- Sa végétation, si elle existe, est caractérisée par des espèces ou communautés d'espèces (habitats) indicatrices de zones humides, identifiées selon la méthode et la liste d'espèces figurant à l'annexe de l'arrêté,
- Ses sols présentent des signes d'hydromorphie, témoignant d'un engorgement permanent ou temporaire.

Le périmètre de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique reste aujourd'hui constitué de formations superficielles peu perméables. La faible perméabilité des limons de surface induit un drainage naturel lent et la présence de nombreux points d'eau. Ces eaux stagnantes, tout comme certains toponymes locaux (comme celui situé au Nord de la ZAC : « les Trois mares ») témoignent d'un sol gorgé d'eau. Ces nombreuses zones humides ont un effet positif sur la vie floristique et faunistique du territoire.



Figure 78 : Exemple de zone humide du Plateau de Saclay

6.2.4.7.1 Rappel des enjeux

La DRIEE Ile-de-France rappelle que les zones humides peuvent assurer selon leurs caractéristiques et leur état de préservation tout ou partie des fonctionnalités suivantes (non exhaustives) :

- **Régulation des régimes hydrologiques** : les zones humides retardent globalement le ruissellement des eaux de pluie et le transfert immédiat des eaux superficielles vers l'aval du bassin versant. Telles des éponges, elles « absorbent » momentanément l'excès d'eau puis le restituent progressivement lors des périodes de sécheresse. Elles permettent, pour une part variable suivant les sites, la réduction de l'intensité des crues, et soutiennent les débits des cours d'eau, sources et nappes en période d'étiage ;



- **Auto-épuration et protection de la qualité des eaux** : les zones humides contribuent au maintien et à l'amélioration de la qualité de l'eau en agissant comme filtre épurateur des eaux souterraines ou superficielles ;
- **Réservoir biologique** : les zones humides présentent une potentialité biologique souvent plus élevée que les autres milieux. Lorsqu'elles sont peu anthropisées, de nombreuses espèces végétales et animales y vivent de façon permanente ou transitoire. Elles assurent ainsi des fonctions d'alimentation, de reproduction mais aussi de refuge ; les zones humides garantissent par ailleurs des **usages variés** et **des paysages de qualité**.

6.2.4.7.2 Inventaire des zones humides

Les surfaces identifiées comme zones humides au sens de l'arrêté du 24 juin 2008 modifié par arrêté du 1er octobre 2009 ont été définies à partir des données des études spécifiques sur les zones humides réalisées par les bureaux d'études ECOSPHERE et SOL PAYSAGE sur le périmètre de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique en 2011 - 2012.

L'étude menée par ECOSPHERE en 2011 s'est attachée à délimiter les zones humides principalement par rapport au critère de la végétation, selon l'arrêté du 24 juin 2008 modifié par arrêté du 1er octobre 2009.

L'étude menée par SOL PAYSAGE en 2012 vient en complément de l'étude précédente, suite à la demande des services instructeurs (DDT 91, DRIEE), pour préciser le caractère humide ou non des zones non investiguées par ECOSPHERE au sein de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique sur la base du critère pédologique.

L'étude réalisée par ECOSPHERE identifie 24 zones humides au sein du nouveau périmètre de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique.

L'étude menée par SOL PAYSAGE en 2012 a révélé la présence de sept autres zones humides d'après les caractéristiques hydromorphes du sol rencontrées lors des sondages.

Au totale, les études menées par ECOSPHERE et SOL PAYSAGE ont finalement permis d'identifier 31 zones humides, couvrant une emprise totale de 6,95 ha au sein de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique, dont 4,4 ha au sein de la parcelle d'EDF.

Ces zones humides sont reportées sur la carte suivante accompagnées de l'emplacement des forages.

Aucune zone humide n'a été répertoriée à moins de 100 m des sites de forage géothermique.

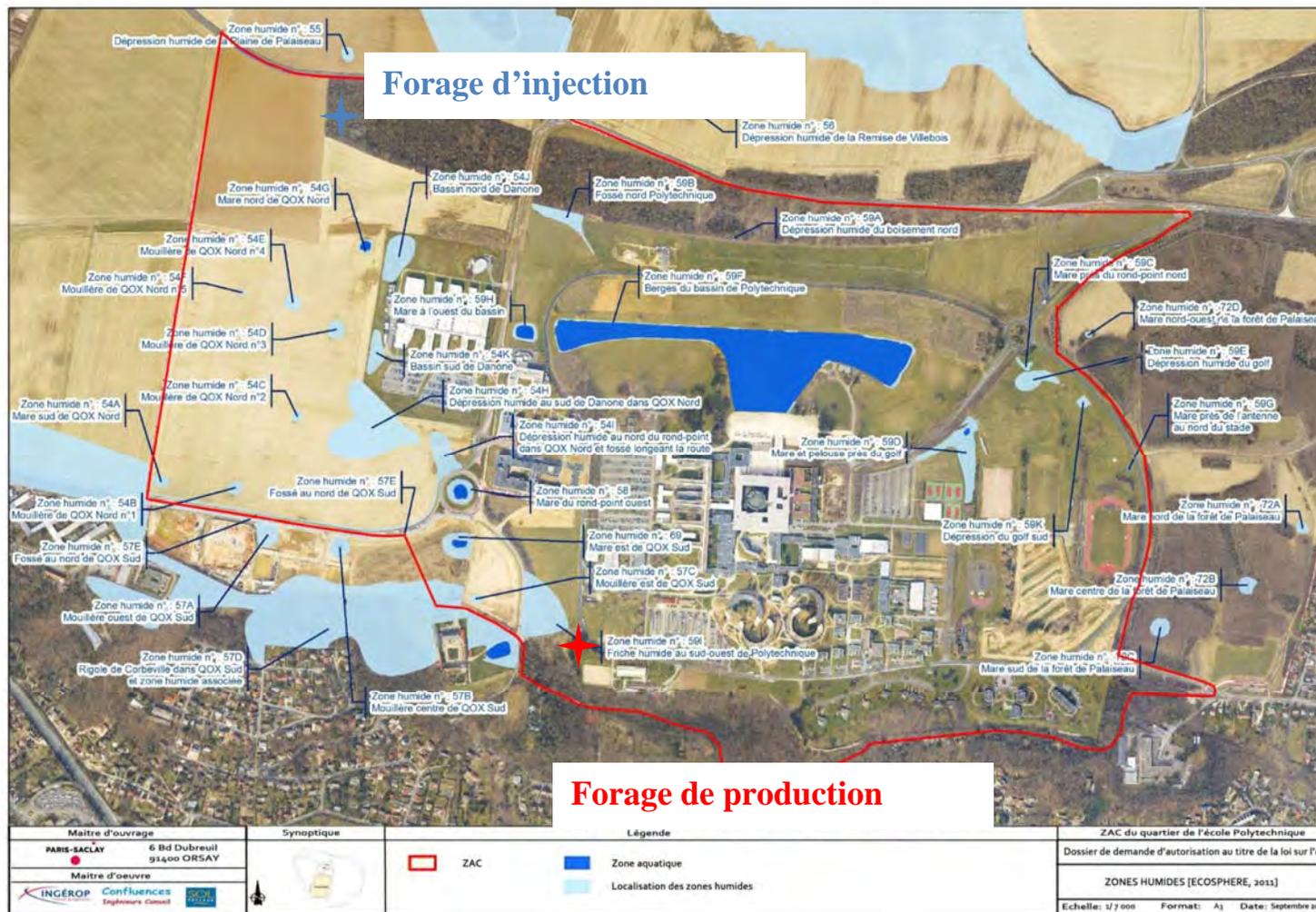


Figure 79 : Cartographie des zones humides répertoriées par ECOSPHERE

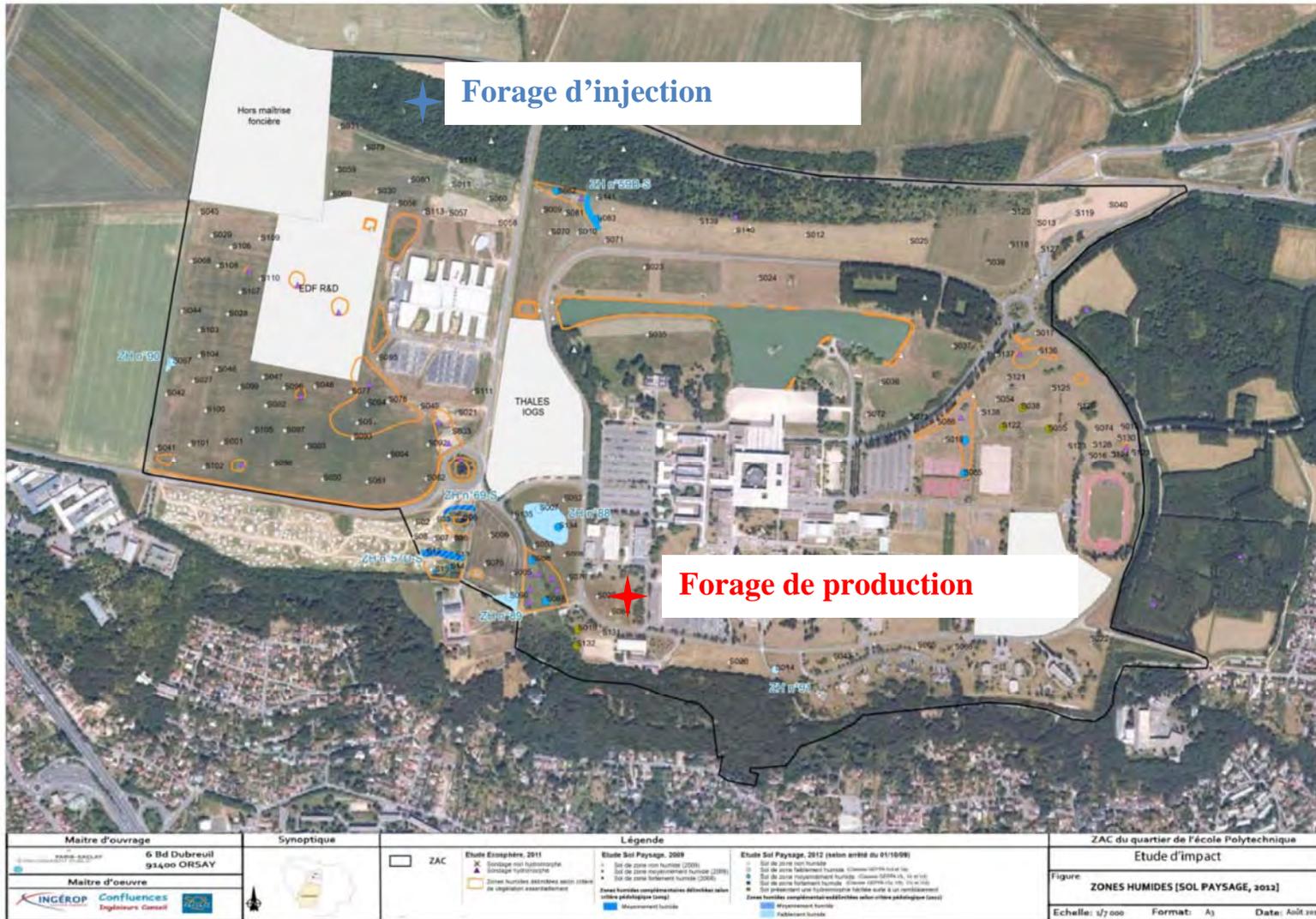


Figure 80 : Cartographie des zones humides répertoriées par SOL PAYSAGE



6.2.4.8 Faune

L'inventaire de la faune rencontrée sur la ZAC du quartier l'Ecole polytechnique est résumé dans le tableau suivant :

Type de faune	Nombre d'espèces	Commentaire
Mammifères	17	Essentiellement des espèces de chauve-souris
Oiseaux	20	34% du peuplement avifaunistique régional
Amphibiens	7	3 espèces peu fréquentes
Odonates	15	
Lépidoptères	17	Espèces banales
Orthoptères	22	3 espèces peu fréquentes

Avec les résultats des prospections précédentes complétées par les données bibliographiques, on peut considérer que la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique présente de nombreuses zones dont l'intérêt faunistique varie de fort à moyen (voir carte ci-dessous).

Les chantiers de forage ne sont pas situés dans une zone présentant un intérêt faunistique majeur. Le site d'injection se situera à proximité d'un axe de déplacement des chiroptères. Des mesures spécifiques seront prises pour ne pas les effrayer (voir plus bas).

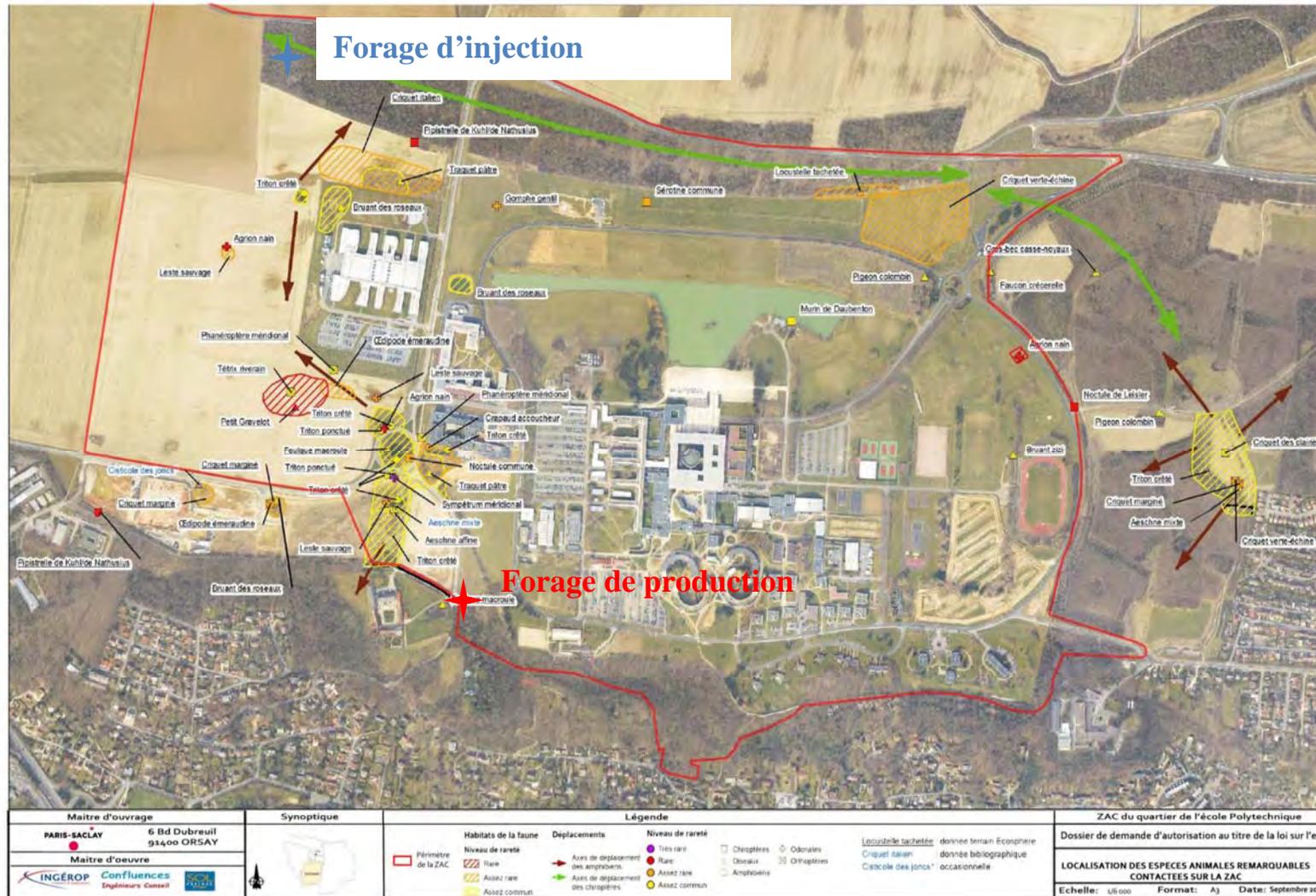


Figure 81 : Localisation de la faune remarquable sur la ZAC de l'École polytechnique



6.2.4.9 Flore

Au total, 277 espèces végétales ont été recensées sur la ZAC, parmi lesquelles 246 sont autochtones. Il s'agit d'une diversité floristique moyenne, compte tenu de la surface étudiée (environ 270 ha), qui s'explique notamment par l'importance des surfaces bâties et artificialisées.

La diversité constatée se regroupe surtout au niveau des mares et mouillères, des plans d'eau et autres zones humides, des friches prairiales et des boisements.

Aucun enjeu floristique n'est constaté au niveau des sites de forage.

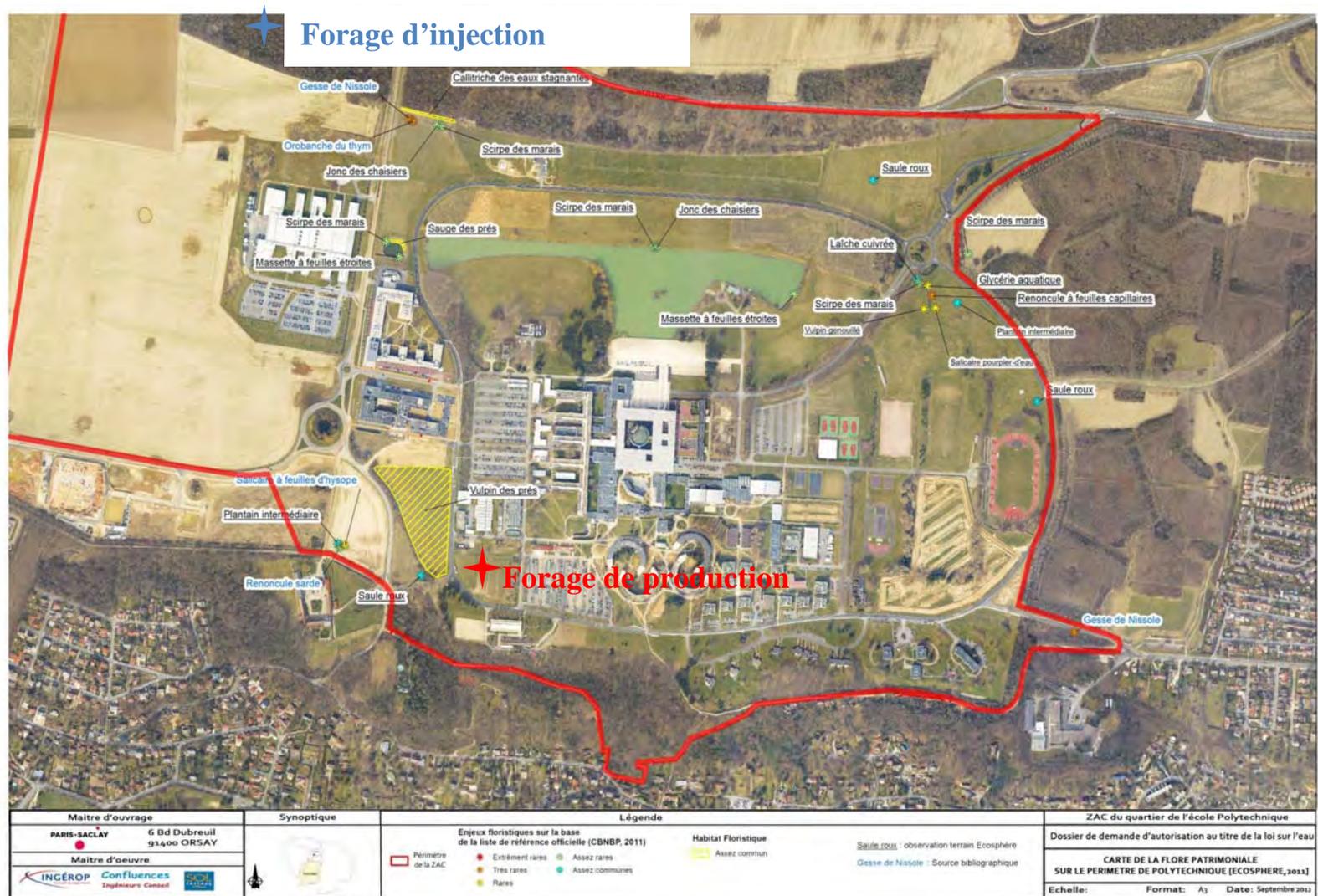


Figure 82 : Localisation de la flore patrimoniale de la ZAC de l'Ecole polytechnique



6.2.4.10 Parcs naturels

La ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique n'est pas située dans le périmètre d'un parc naturel.

6.2.4.11 Réserves naturelles

Une réserve naturelle est un territoire protégé pour préserver un patrimoine naturel remarquable et menacé, animal ou végétal, minéral ou fossile.

Seules deux réserves ont été recensées à environ 4 km de la ZAC et ne concernent donc pas les forages.

Nom	Statut	Surface (ha)
Etang Vieux de Saclay	RN Conventionnelle	51,41
Bassin de Saulx-les-Chartreux (en plaine)	RN	44,05

Tableau 24 : Réserves naturelles proches de la ZAC

6.2.4.12 Espace Naturel sensible

Le terme d'Espace Naturel Sensible est issu de la loi du 18 juillet 1985 aujourd'hui codifié aux articles L142-1 à L142-13 du Code de l'Urbanisme. Il confère au département la compétence pour préserver la qualité des milieux naturels, assurer leur sauvegarde, et les valoriser (ouverture au public...).

Dans les alentours du périmètre d'étude, le Conseil Général du 91 a inscrit :

- Le coteau, espace remarquable et fragile, dont une partie située au sud de la ZAC,
- le « boisement de la Croix de Villebois », situé au sein du périmètre de ZAC,
- le Bois de la Martinière.

Le site du forage d'injection est situé dans l'emprise du boisement de la Croix de Villebois. Toutefois, ces espaces sont affectés d'une priorité II pour lequel il n'a pas été mis en place de zone de préemption.

Le site du forage de production n'est pas concerné.

6.2.4.13 Sites inscrits ou classés

La loi du 02 mai 1930 intégrée depuis dans les articles L341-1 à L.341-22 du Code de l'Environnement permet de préserver des espaces du territoire français qui présentent un intérêt général du point de vue scientifique, pittoresque et artistique, historique ou légendaire, et le place sous le contrôle et la responsabilité de l'Etat.



Plusieurs sites aux alentours sont classés par la DRIEE en sites inscrits ou classés :

Nom	Numéro régional	Surface (ha)	Distance par rapport au projet
Site classé de la vallée de la Bièvres	2005	2 234	250 m au Nord
Site classé du Domaine de Launay	6312	124	1,5 km
Site inscrit de la vallée de la Bièvres et des étangs de Saclay	5573	1 317	3 km
Site inscrit de la vallée de Chevreuse	5561	10 390	Mitoyen (pointe S.O)

Tableau 25 : Synthèse des sites classés et inscrits aux alentours du projet

Aucun de ces sites ne se trouve au sein du périmètre d'étude de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique. Les sites de forage en sont donc également exclus.

6.2.4.14 Conclusion de l'étude sur les richesses naturelles

Les sites de forage ne font l'objet d'aucune protection réglementaire : ils ne sont inclus dans aucun site classé ou inscrit, ni au sein d'une ZNIEFF ou d'une zone naturelle sensible.

6.2.5 Patrimoine culturel

A l'exception des équipements sportifs, très nombreux sur le plateau de Saclay, les autres types d'équipements se situent principalement dans les vallées.

De par sa position géographique, le plateau de Saclay jouit des équipements des pôles urbains voisins importants, tels que Massy (opéra de Massy-Palaiseau (800 places), Versailles et Saint-Quentin-en-Yvelines (multiplexe cinéma)), et ceux de la capitale.

A Palaiseau, on recense au niveau des équipements culturels : une médiathèque, 3 bibliothèques, une école de musique et de danse, 2 théâtres, un cinéma, 4 salles des fêtes, plusieurs espaces publics numériques, le musée du Hurepoix. Ils sont tous situés dans la vallée, dans les cœurs de quartier.

6.2.6 Qualité du sol

6.2.6.1 Géotechnique

6.2.6.1.1 Problématique liée aux argiles

Le Département de l'Essonne est particulièrement touché par l'aléa de retrait-gonflement des sols argileux.

D'après le plan de zonage des aléas liés au retrait-gonflement des argiles établi par la BRGM, les deux sites de forage géothermique se situent en zone d'aléa moyen.

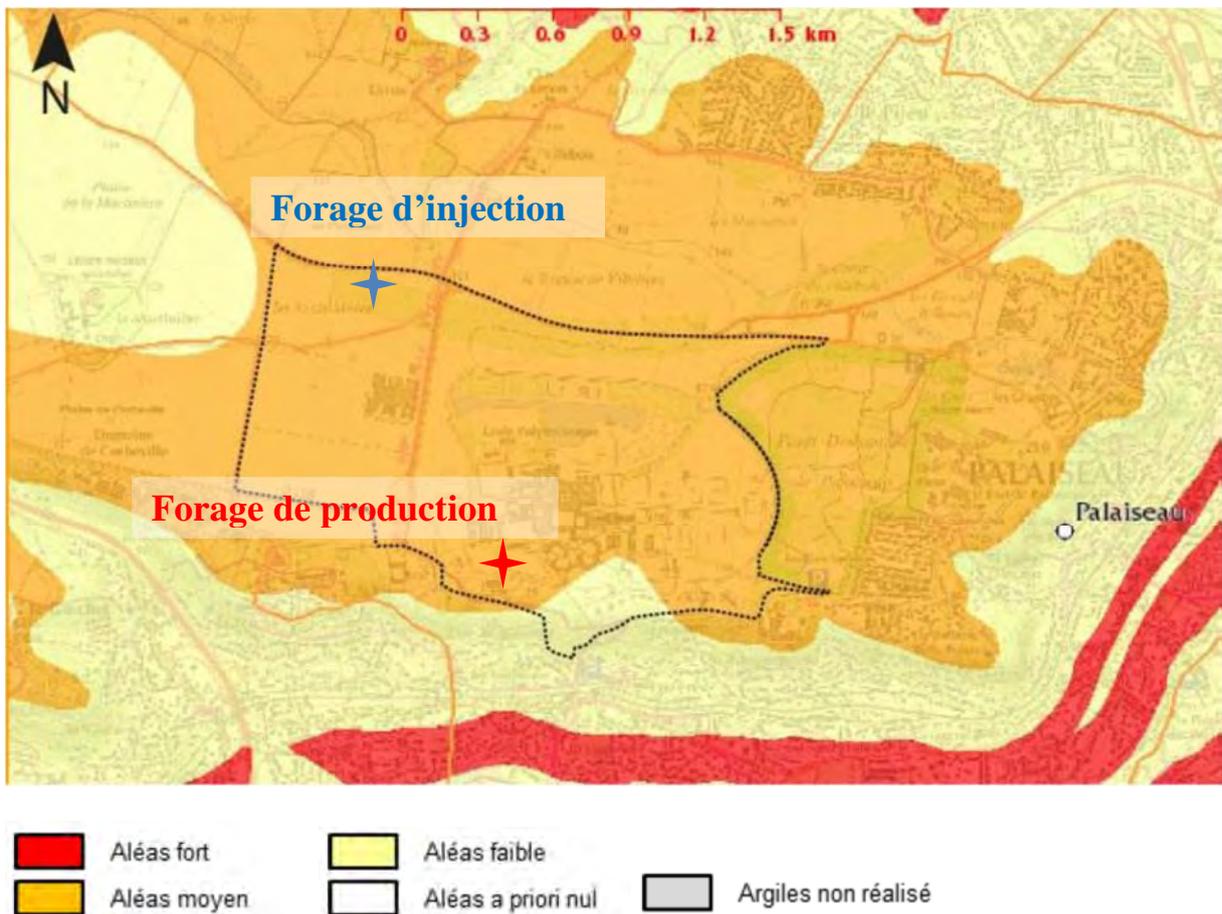


Figure 83 : Cartographie des aléas liés au retrait-gonflement des argiles du BRGM



6.2.6.2 Cavités souterraines

Il existe aussi ponctuellement un risque lié à l'effondrement de cavités souterraines (marnières ou anciennes carrières abandonnées) ou aux glissements de terrain et éboulements.

D'après les cartographies du BRGM, le secteur d'étude de la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique ne compte pas de cavités souterraines abandonnées et ne fait pas l'objet d'un inventaire minier.

6.2.6.3 Pollution des sols

Dans le périmètre de la future ZAC, des relevés ont été réalisés sur le site de l'Ecole polytechnique, en septembre 2008 par le cabinet Veritas. L'étude de TESORA en Mai 2012 synthétise les études réalisées et complète le diagnostic.

Aucun indice de pollution (odeur, couleur suspecte), n'a été mis en évidence au cours de la réalisation des sondages. Les arrivées d'eau ont été détectées dès 0,5 mètres de profondeur.

Au regard des résultats d'analyses, il apparaît que :

- Les métaux respectent la gamme des valeurs des fonds géochimiques établis par L'INRA pour des sols dits ordinaires (hors anomalie géologique),
- Les familles de composés listés ci-dessous n'ont pas été détectées : Acrylates, Solvants polaires, Alcools, Hydrocarbures volatils (C6-C10), Solvants chlorés, Solvants aromatiques,
- A proximité des cuves de carburants du service auto, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ont été détectés. Leurs concentrations sont toutefois inférieures au seuil du mg/kg.
- Des hydrocarbures (HTC) ont été détectés à proximité de cuve de fioul dans le secteur de la centrale thermique entre 20 et 29 mg/kg.

En conclusion, suite aux mesures les sites de forage ne sont pas touchés par une pollution constatée des sols.

Les sites de forage ne présentent pas de pollution des sols avérée.

6.2.7 Qualité de l'air

6.2.7.1 Réglementation

3 documents principaux régissent la qualité de l'air sur la zone :

1. Le PRQA (Plan Régional de la Qualité de l'air)

L'élaboration de Plans Régionaux pour la Qualité de l'Air (PRQA) a été rendue obligatoire par la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE) du 30 décembre 1996 et précisée par le décret 98-362 du 6 mai 1998, codifié dans les articles R222-1 à R222-12 du Code de l'Environnement. Le PRQA consiste notamment à fixer les orientations et recommandations permettant de prévenir ou de réduire la pollution atmosphérique afin d'atteindre, a minima, les objectifs de la qualité de l'air prévus par la réglementation en vigueur.



2. Le Projet SRCAE (Schéma Régional du Climat, de l’Air et de l’Energie)

Le SRCAE a fait l’objet d’une procédure d’enquête publique. Ce schéma décline différents objectifs par thématique et y associe des orientations.

3. Le PPA (Plan de Protection Atmosphère)

La loi sur l’air et l’utilisation rationnelle de l’énergie (intégrée au Code de l’Environnement) définit des outils de planification pour la maîtrise de la qualité de l’air à l’échelle d’une zone ou d’une région : ce sont les Plans de Protection de l’Atmosphère (Articles L 222-4 et L222-5).

Le plan de protection de l’atmosphère a pour objet, dans un délai qu’il fixe, de ramener à l’intérieur de la zone la concentration en polluants dans l’atmosphère à un niveau inférieur aux valeurs limites et de définir les modalités de la procédure d’alerte.

6.2.7.2 Qualité de l’air en Ile-de-France

L’association Loi 1901 AIRPARIF qui gère le réseau de surveillance de la qualité de l’air en région Ile-de-France, exploite environ 70 stations de mesures implantées en fonction des objectifs de surveillance de la pollution de fond, la pollution de proximité et la pollution de zones fortement fréquentées par le public.

Les polluants généralement mesurés sont :

- Dioxyde de soufre (SO₂),
- Fumées noires,
- Monoxyde d’azote (NO),
- Dioxyde d’azote (NO₂),
- Ozone (O₃).

6.2.7.3 Qualité de l’air dans la zone d’étude

Les données de qualité de l’air dont nous disposons à proximité de la zone d’étude proviennent de l’association AIRPARIF. Les stations de mesures (qui ne mesurent pas tous les polluants) les plus proches du secteur d’étude sont :

- En Hauts-de-Seine : Issy-les-Moulineaux (NO, NO₂, SO₂, fumées noires),
- Dans les Yvelines : Versailles (NO₂, NO),
- Dans l’Essonne : Les Ulis (Ozone).

Ces stations permettent une mesure d’ambiance générale de la pollution périurbaine de fond. D’après AIRPARIF, le nord-ouest du département de l’Essonne bénéficie d’une bonne qualité de l’air.



Polluants généraux

En 2008, les objectifs de qualité de l'air en milieu urbain concernant le NO₂, le benzène, les PM10 et le CO sont respectés. Seuls les oxydes d'azote totaux (NO_x) dépassent les valeurs limites de protection de la végétation (30 µg/m³). Les indices globaux de qualité de l'air sur la zone d'étude montrent qu'elle est satisfaisante.

Pollution à l'Ozone (O₃)

Les relevés horaires aux Ulis concernant la concentration moyenne horaire d'ozone montrent des dépassements du seuil d'information (180 µg/m³) aux moments de fortes chaleurs en été. Ces dépassements sont ponctuels et les plus importants concernent les étés 2003 et 2006, ils correspondent aux périodes de canicule.

Pollution au dioxyde d'azote (NO₂) et benzène

Des dépassements des normes sont fréquents à proximité de trafic, notamment vis-à-vis du NO₂ (la valeur limite réglementaire pour le dioxyde d'azote est de 40 µg/m³).

En milieu urbain et périurbain, les valeurs s'échelonnent entre 27 et 42 µg/m³ avec les valeurs les plus fortes relevées en centre-ville de Saclay (40 µg/m³) du fait d'axes majeurs de circulation.

Les points installés en bordure de la RD36 et de la RN118 dépassent la valeur limite pour la protection de la santé. Dans le cadre de l'étude d'impact de la RD36 de Châteaufort dans les Yvelines à Palaiseau dans l'Essonne, une campagne de mesures a porté sur le NO₂ et le benzène (caractéristiques de la pollution routière). A proximité de la RD36, le niveau moyen NO₂ avoisine 52 µg/m³.

Concernant les valeurs de concentration de benzène, elles restent bien inférieures à la valeur limite de protection de la santé fixée à 7 µg/m³ et respectent l'objectif de qualité fixé à 2 µg/m³.

Un diagnostic environnemental mené sur le site de Polytechnique par VERITAS en octobre 2008 montre une pollution de l'air faible vis-à-vis des polluants basiques, mais des émissions de carbones importantes liées principalement aux déplacements et à l'énergie interne des bâtiments.

En raison des caractéristiques météorologiques locales et du peu d'activités industrielles dans le secteur d'étude, la qualité de l'air est satisfaisante sur la zone d'étude.

6.2.8 *Qualité de la ressource en eau*

6.2.8.1 *Les eaux superficielles*

Les cours d'eau

Des stations de mesure permettent le suivi de la qualité de l'Yvette et de la Bièvres par la DRIEE-IF.

L'état écologique est moyen pour les deux rivières, principalement en raison de polluants (Cuivre, Zinc), de polluants, de nutriments et d'un mauvais bilan de l'oxygène.



Les résultats montrent également un mauvais état chimique sur l'ensemble de la zone d'étude, souvent lié aux HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) et au DEHP (Di 2-éthylhexyl-phtalate).

Cependant, la qualité de l'eau est en cours d'amélioration, notamment grâce à l'impulsion donnée par le Parc Naturel Régional de la Haute-Vallée de Chevreuse.

Les rigoles

Un suivi de la qualité des eaux est effectué depuis 2009 par le SYB sur son territoire.

Les résultats des campagnes effectuées en 2011 sur 9 stations de mesure sont les suivants :

- Concernant la qualité physico-chimique, on constate un non-respect du « bon état écologique » sur toutes les stations tel que défini par la DCE. Les rigoles du plateau de Saclay présentent une qualité physicochimique globalement dégradée. Le bilan en oxygène est le principal facteur déclassant (présence de matières organiques et oxydables (MOOX)).
- Concernant la qualité biologique, toutes les stations sont en qualité mauvaise (notes IBGN). L'analyse confirme que les rigoles du plateau de Saclay subissent des pressions induisant une charge organique élevée dans le milieu. Les notes de l'IBD révèlent toutefois que la rigole de Corbeville est de bonne qualité biologique et la rigole de Granges de qualité moyenne. De plus, les résultats sont à nuancer du fait que les peuplements de diatomées observés attestent d'une contamination modérée et ponctuelle en matières d'origine organique et du fait que le taxon majoritaire correspond à une espèce cosmopolite largement répandue dans les cours d'eau français.

En conclusion, le bilan qualitatif effectué en 2011 montre un état fonctionnel dégradé des rigoles du plateau de Saclay. Elles subissent de nombreuses pressions anthropiques d'origines agricoles et domestiques.

Néanmoins, du fait de leur position éloignée de ces rigoles, les forages n'ont pas d'impact sur la qualité de l'eau des rigoles.

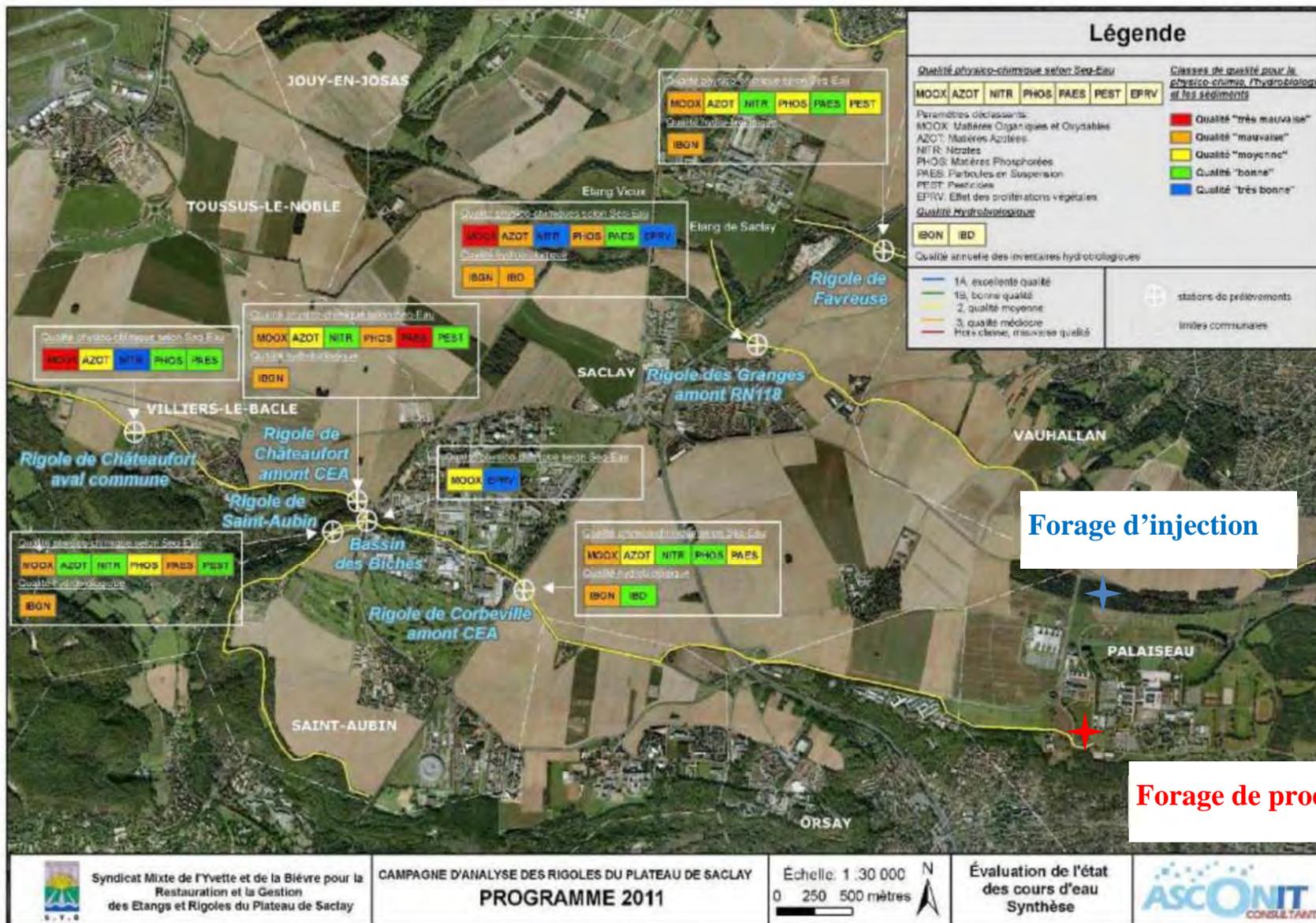


Figure 84. Résultats de mesure de qualité de l'eau sur les rigoles du plateau de Saclay en 2011(Asconit Consultants)



6.2.8.2 *Les eaux souterraines*

Cette partie vient compléter celle du paragraphe 4.3 sur la justification du forage à l'Albien.

Les limites naturelles du plateau définissent un système aquifère qui lui est propre, constitué de deux nappes :

- Une nappe située dans les formations superficielles (limons des plateaux, sables de Lozère et argiles à meulière de Montmorency),
- Une nappe située au niveau des sables et grès de Fontainebleau.

Plus en profondeur, on trouve l'aquifère du Lutétien qui peut potentiellement être productif (20 à 40 m³/h) puis l'Albien, nappe visée par le projet.

La nappe superficielle

Elle est contenue dans les formations de surface (limons des plateaux, sables de Lozère et argiles à meulière de Montmorency). Il s'agit en réalité d'un ensemble de « lentilles aquifères perchées » en discontinuité hydraulique les unes des autres, ce qui va à l'encontre de la définition exacte d'une nappe. Il faut donc l'envisager comme un milieu discontinu, d'épaisseur variable, comportant localement des massifs de meulière compacte ou seulement des fragments, des lentilles argileuses imperméables et des poches sableuses.

La nappe superficielle est fortement et irrégulièrement minéralisée, preuve supplémentaire de son hétérogénéité et de sa mauvaise circulation latérale. Le TH moyen (titre hydrotimétrique ou dureté de l'eau = teneur en ions calcium + magnésium) de la nappe s'établit nettement au-dessus de 40°f, ce qui correspond à une eau très dure.

Ce taux important est vraisemblablement imputable aux limons puisque les eaux de drainage elles-mêmes sont fortement chargées.

La nappe phréatique était exploitée autrefois pour des besoins domestiques (fermes, habitations). Une enquête réalisée en 1957 avait permis de recenser une quarantaine de puits sur le plateau (BRGM).

Il semble que la plupart d'entre eux exploitaient les limons, sables et argiles situés au-dessus de l'horizon des meulières. La quasi-totalité des puits existants sont actuellement inexploités. Ainsi, la nappe des formations supérieures ne représente qu'une ressource marginale aujourd'hui quasiment inexploitée.

La nappe des sables de Fontainebleau

La formation des sables de Fontainebleau est la plus épaisse des couches géologiques du plateau. Elle constitue également la nappe principale de son système aquifère.

Cette nappe est isolée par deux systèmes peu perméables :

- L'Argile à Meulière sus-jacent,
- Les Marnes à huîtres, l'Argile verte et les Marnes supragypseuses sous-jacents.

La ligne de partage des eaux souterraines coupe le plateau dans un axe nord-est sud-ouest. L'écoulement principal de la nappe s'effectue du nord-est vers le sud-ouest bien qu'il y ait convergence rapide vers les rivières dès que l'on s'approche des bords du plateau. Cette influence se manifeste différemment sur la Bièvre et sur l'Yvette :



- L'écoulement au nord vers l'amont de la Bièvre s'effectue dans la continuité hydraulique de la nappe des Sables de Fontainebleau puisqu'elle est en contact direct avec la nappe alluviale de la rivière et lui sert même de support.
- Le transfert vers l'Yvette est indirect puisque la nappe n'est pas en contact direct avec la rivière. Celle-ci repose en effet en contrebas, sur les formations imperméables de base (marnes à huître ou marnes vertes). Elle se déverse donc depuis les coteaux, au contact des marnes, par l'intermédiaire d'une série de sources localisées en moyenne à 100 m NGF.

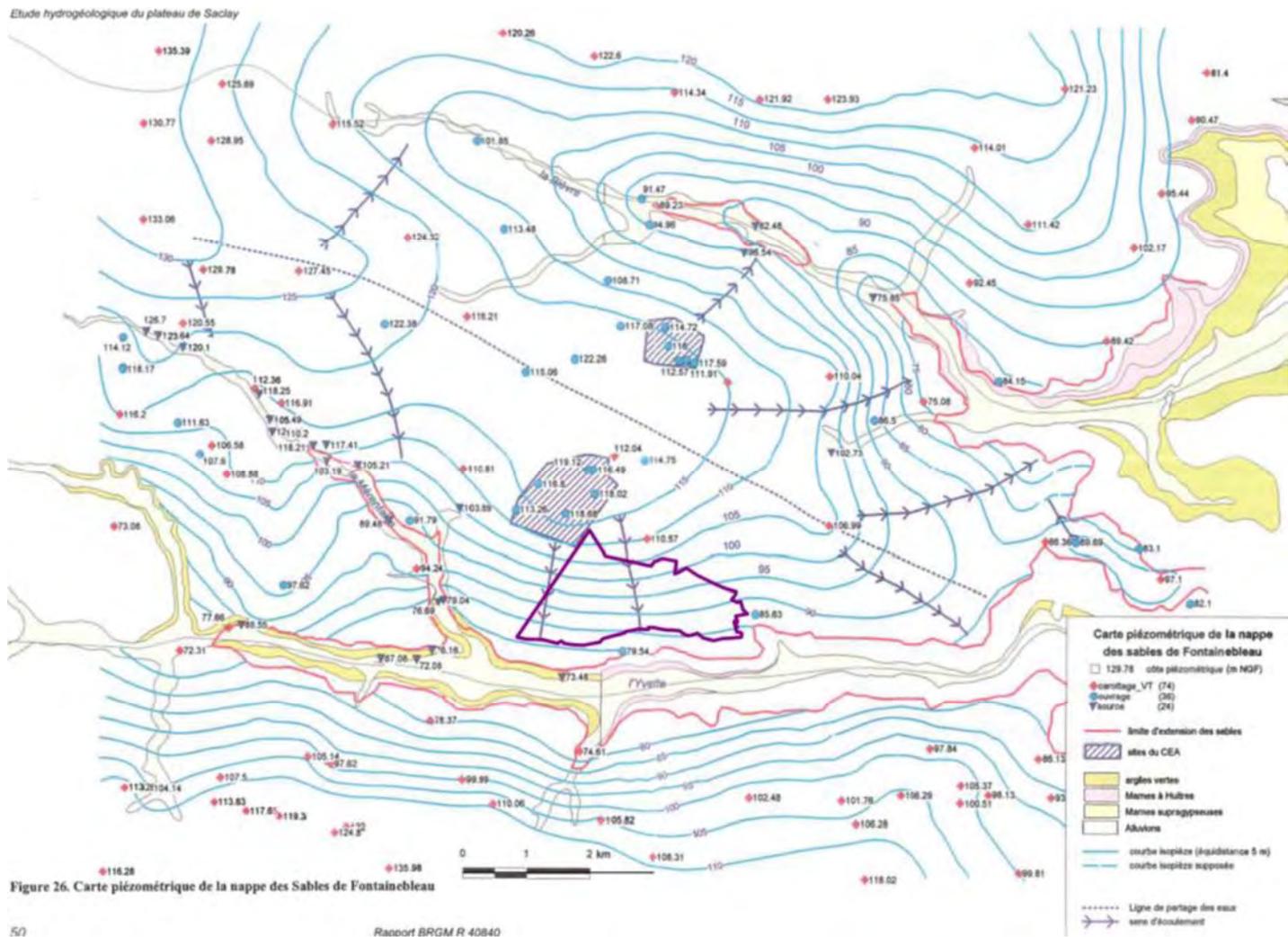


Figure 85 : Piézométrie de la nappe du Fontainebleau



La nappe des Sables de Fontainebleau est alimentée de deux manières principales :

- Par infiltration des eaux superficielles pour un peu plus de la moitié,
- A environ 40 % par infiltration directe des eaux de pluies au niveau des affleurements de la formation sur les coteaux.

Localement, on peut ajouter deux autres sources d'alimentation : les étangs de Saclay et un puits filtrant au CEA (bâtiment 114) favorisant l'infiltration des eaux de surface.

Une estimation du débit d'alimentation de la nappe sur la base des mesures de débit des cours d'eau qui la drainent fait état d'environ 2 L/s/km².

Etant donné la nature de la formation aquifère (sables siliceux homogènes), les eaux de la nappe sont alcalines, très chargées et irrégulièrement minéralisées. Le TH des points d'eau étudiés lors de l'enquête de terrain réalisée en 1958 par BURGEAP varie entre 15 et 48°f avec une moyenne portant sur 22 points d'eau de 31,6°f.

Les résultats de l'analyse des eaux du Centre d'Essai des Propulseurs (fourni à BURGEAP en 1994) confirment la qualité correcte de cette eau pour la consommation humaine, si ce n'est un léger goût de vase à mettre peut-être en relation avec les fuites probables des étangs de Saclay vers la nappe.

La nappe du Lutétien

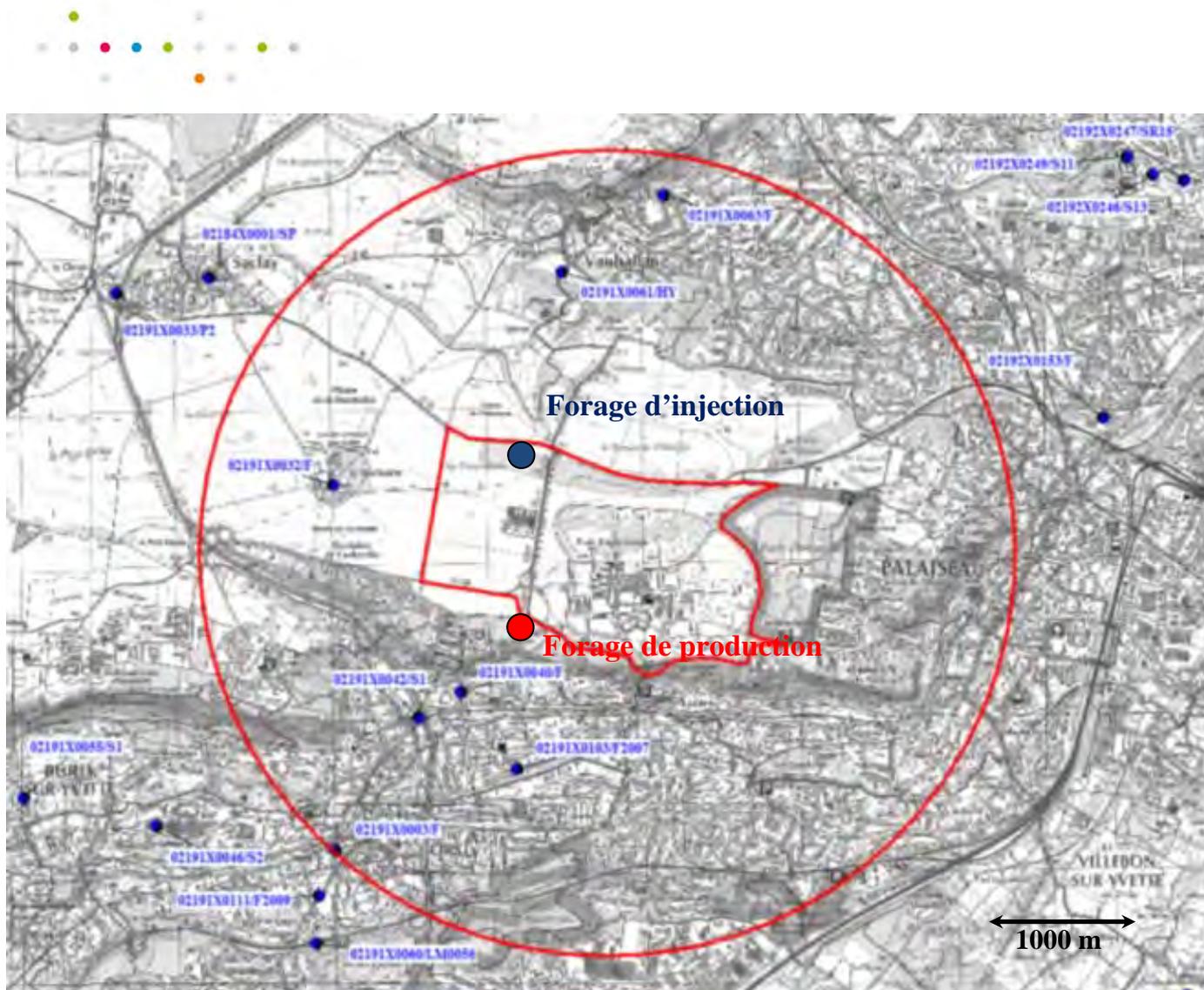
Les données piézométriques recueillies sont sommaires et anciennes (Atlas des nappes aquifères de la région parisienne de 1970). D'après ces données, la nappe serait captive. D'après ces données, la nappe du Lutétien s'écoulerait globalement d'ouest en est (soit en direction de la fosse de Draveil) avec un gradient moyen de l'ordre de 0,5%.

Cette nappe n'est pas ou peu reconnue à proximité de la zone d'étude du fait de l'absence de forages s'alimentant dans cette nappe.

A partir des données bibliographiques disponibles, les eaux du Lutétien seraient généralement très minéralisées et corrosives. Par ailleurs, les eaux peuvent localement être basiques. En régime non influencé, la température de l'eau est comprise entre 10 et 15°C.

Les forages en eau potable

La carte suivante place les forages présents à proximité de la ZAC de l'Ecole polytechnique. Les forages du doublet à l'Albien ne sont pas situés à proximité d'un forage existant.



Code BSS	Commune	Adresse	Profondeur	Longitude	Latitude
02191X0061/HY	VAUHALLAN	SOURCE DU MONASTERE	0	2.2041	48.7313
02191X0003/F	ORSAY	GRUE DE L'YVETTE	655.75	2.18436	48.6977
02191X0040/F	ORSAY	LOTISSEMENT DE LA TROCHE	143.4	2.19534	48.7069
02191X0063/F	VAUHALLAN	75 GRANDE RUE	15.4	2.21306	48.7358
02192X0153/F	PALaiseAU	1 RUE PAUL DOUMER	80	2.25136	48.7228
02191X0032/F	SACLAY	LA MARTINIERE - CENTRE DE RECHERCHES IONOPHERIQUES	50	2.18416	48.7189
02191X0033/P2	SACLAY		43.4	2.16523	48.73
02191X0103/F2007	ORSAY	17 RUE CORNEILLE	0	2.20017	48.7024
02191X0111/F2009	ORSAY	7, rue des Hucherles	92	2.1829	48.695
02192X0246/S13	MASSY	A L'EST DE L'ALLEE DE VILGENIS	20	2.25575	48.737
02184X0001/SP	SACLAY	CEA	93	2.17338	48.7309
02192X0247/SR15	MASSY	LE LONG DE L'ANCIEN BRAS SUD DE LA BIEVRE	25	2.25847	48.7366
02191X0060/LM0056	ORSAY		0	2.18275	48.6922
02191X0046/S2	BURES-SUR-Y	FACULTE DES SCIENCES ACCELERATEUR LINEAIRE	24.7	2.16873	48.6991
02191X0042/S1	ORSAY	LE GUICHET	20	2.1916	48.7053
02192X0249/S11	MASSY	A L'OUEST DE L'ALLEE DE VILGENIS	17	2.25344	48.738
02191X0055/S1	BURES-SUR-Y	RUE DE MOULON CES LA GUYONNERIE	19.2	2.15714	48.7007

Figure 86 : Localisation et inventaire des forages d'eau dans un rayon de 2 km autour du site



6.2.9 Bruit et vibration

6.2.9.1 Les textes réglementaires

Le bruit est réglementé par la loi n°92-1444 du 31 décembre 1992, qui a pour objet de lutter contre les bruits et les vibrations pouvant nuire à la santé ou porter atteinte à l'environnement (article 1) et par un ensemble de mesures.

Des décrets d'application de cette loi ont été publiés concernant notamment le bruit des infrastructures de transport terrestre, principales sources de bruit sur la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique. Ainsi, l'arrêté du 30.05.1996, en application des dispositions du décret n°95- 22 du 09.01.1995, a pour objet :

- De déterminer, en fonction des niveaux sonores de référence diurnes et nocturnes, les 5 catégories dans lesquelles sont classées les infrastructures de transport terrestre recensées ;
- de fixer la largeur maximale des secteurs affectés par le bruit situés de part et d'autre de ces infrastructures ;
- de déterminer, en vue d'assurer la protection des occupants des bâtiments d'habitation à construire dans ces secteurs, l'isolement acoustique minimal des façades des pièces principales et cuisines contre les bruits des infrastructures de transports terrestres.

Sur la base de ce classement sont déterminés, après consultation des communes, les secteurs affectés par le bruit au voisinage de ces infrastructures, les niveaux sonores à prendre en compte pour la construction de bâtiments ainsi que les prescriptions techniques de nature à atténuer l'exposition des occupants à ces nuisances.

Tableau 26 : Classement des voies de circulation bordant le secteur d'étude par arrêté préfectoral du 20 mai 2003

Infrastructure	Catégorie	Largeur des secteurs affectés par le bruit (m)
RD128	4	30
RD36	4	30

6.2.9.2 Environnement sonore du secteur

Dans le cadre de l'élaboration du Plan Municipal de lutte contre le Bruit, les nuisances sonores liées à certaines activités économiques ont été mentionnées sur Palaiseau. Elles concernent en particulier l'ONERA, qui reste éloigné de notre secteur et ne le touche donc pas.

Des mesures acoustiques ont été réalisées par le bureau d'étude Impédance en 11 emplacements spécifiques, en mars 2010 (secteur ouest) et mars 2011 (Polytechnique).

L'ambiance sonore est conditionnée par les voies de circulation extérieures (RD 36 et RD128).

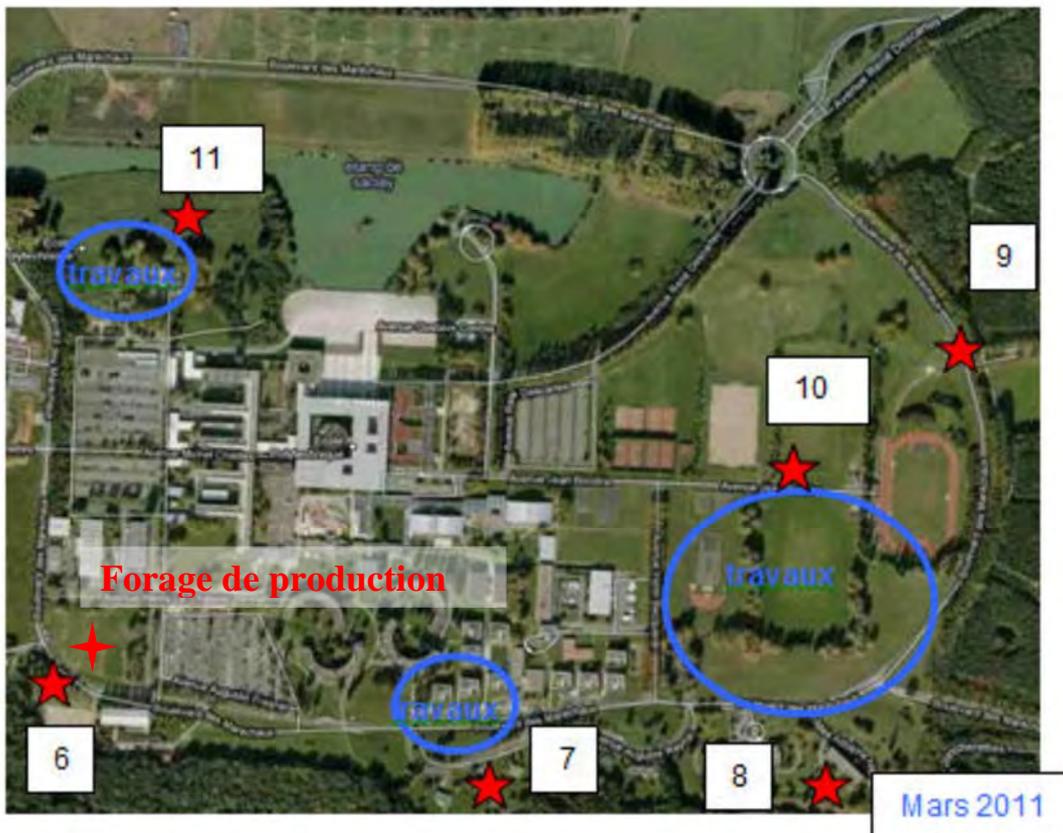
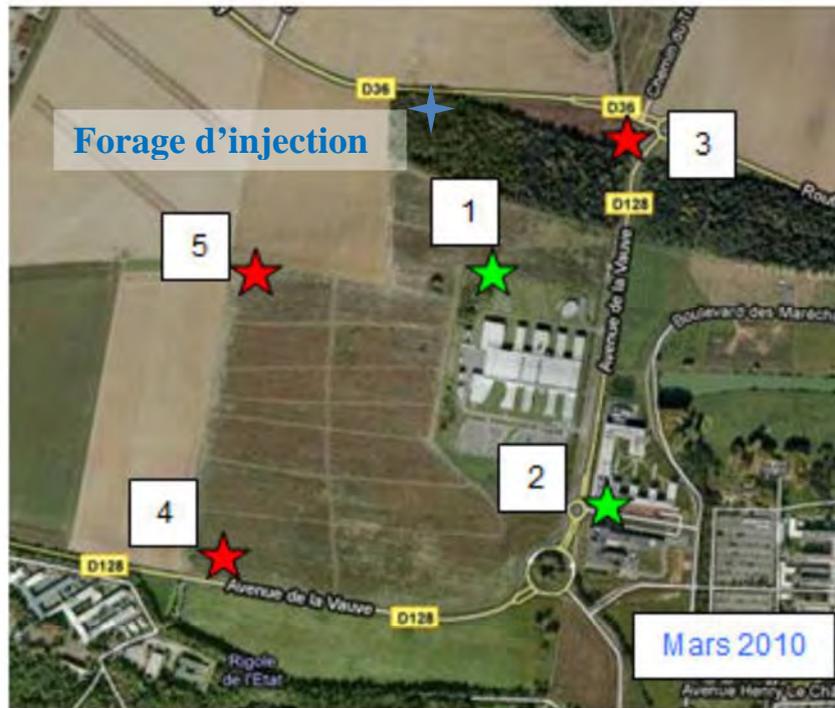


Figure 87 : Implantation des points de mesures fixes (verts) et ponctuels (rouges)



Les résultats des mesures sont présentés ci-dessous, exprimés en dB(A).

Tableau 27 : Points de mesures fixes 24h

Point de mesure	Emplacement	L _{Aeq} mesuré	
		L _{Aeq} (6h-22h)	L _{Aeq} (22h-6h)
1	Dans l'enceinte du Groupe Danone	50	40
2	Dans l'Institut d'Optique, près de la RD128	56	47

Tableau 28 : Points de prélèvements entre 30 minutes et 1 heure

Point de mesure	Emplacement	L _{Aeq} mesuré
3	Au croisement entre la RD 36 et l'avenue de la Vauve	61
4	Au croisement entre l'avenue de la Vauve et le chemin du Guichet	56
5	En bordure de propriété côté Est	48
6	Près du Boulevard des Maréchaux et du centre équestre	50
7	Près de l'Avenue Auguste Raynal	52
8	Près de l'Allée Adolphe Niel	53
9	Au croisement du Boulevard des Maréchaux et de la Forêt de Palaiseau	59
10	Au croisement de l'Avenue Jean Borotra et de l'Avenue Henri Becquerel	55
11	Entre de l'Etang de Saclay et l'Avenue Augustin Fresnel	53

Une modélisation acoustique est réalisée à l'aide du logiciel de simulation tridimensionnel Predictor®. Elle est validée grâce aux mesures réalisées sur le terrain. Des cartes de bruit LA_{eq} (6h-22h) et LA_{eq} (22h-6h) ont été réalisées, indiquant la répartition des niveaux sonores calculés en situation actuelle à une hauteur constante de 4 mètres par rapport au sol, en période diurne, puis en période nocturne.

Cette répartition est représentative du bruit généré par les voies de communication routière (contribution sonores principales sur le site).

Le modèle numérique permet de montrer que le niveau sonore ambiant équivalent au niveau du forage de production est calme (entre 40 et 50 dB(A) de jour et entre 30 et 40 dB(A) de nuit). Pour le forage d'injection, le modèle montre qu'en raison de la proximité de la RD36, le niveau



sonore ambiant est plus bruyant de jour (entre 55 et 60 dB(A)) et plutôt calme de nuit (entre 45 et 50 dB(A)).



Figure 88 : Carte de bruit de la situation actuelle sur la période 6h-22h (hauteur 4m)

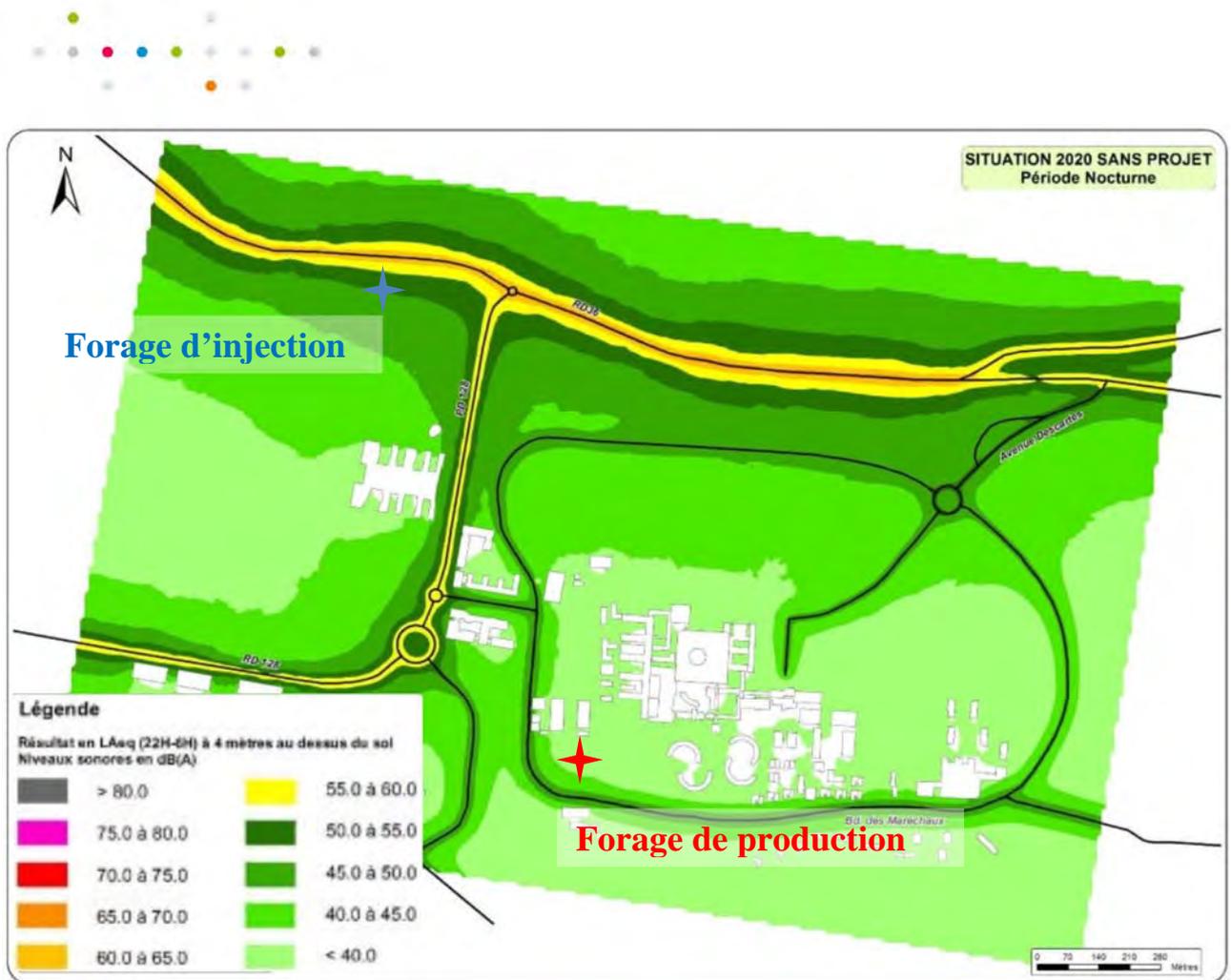


Figure 89 : Carte de bruit de la situation actuelle sur la période 22h-6h (hauteur 4m)

Ainsi, les périmètres ne subissent aujourd'hui aucune réelle nuisance sonore, les résultats étant inférieurs aux normes en vigueur.

6.2.10 Réseaux existants

- Forage de production

Peu de réseaux se trouvent à proximité du forage de production, du fait de son utilisation comme pâture à chevaux. Le plan ci-dessous récapitule ces réseaux.

Une conduite d'eaux pluviales passe à proximité du site du forage mais n'est pas implantée directement sur l'emprise de celui-ci.

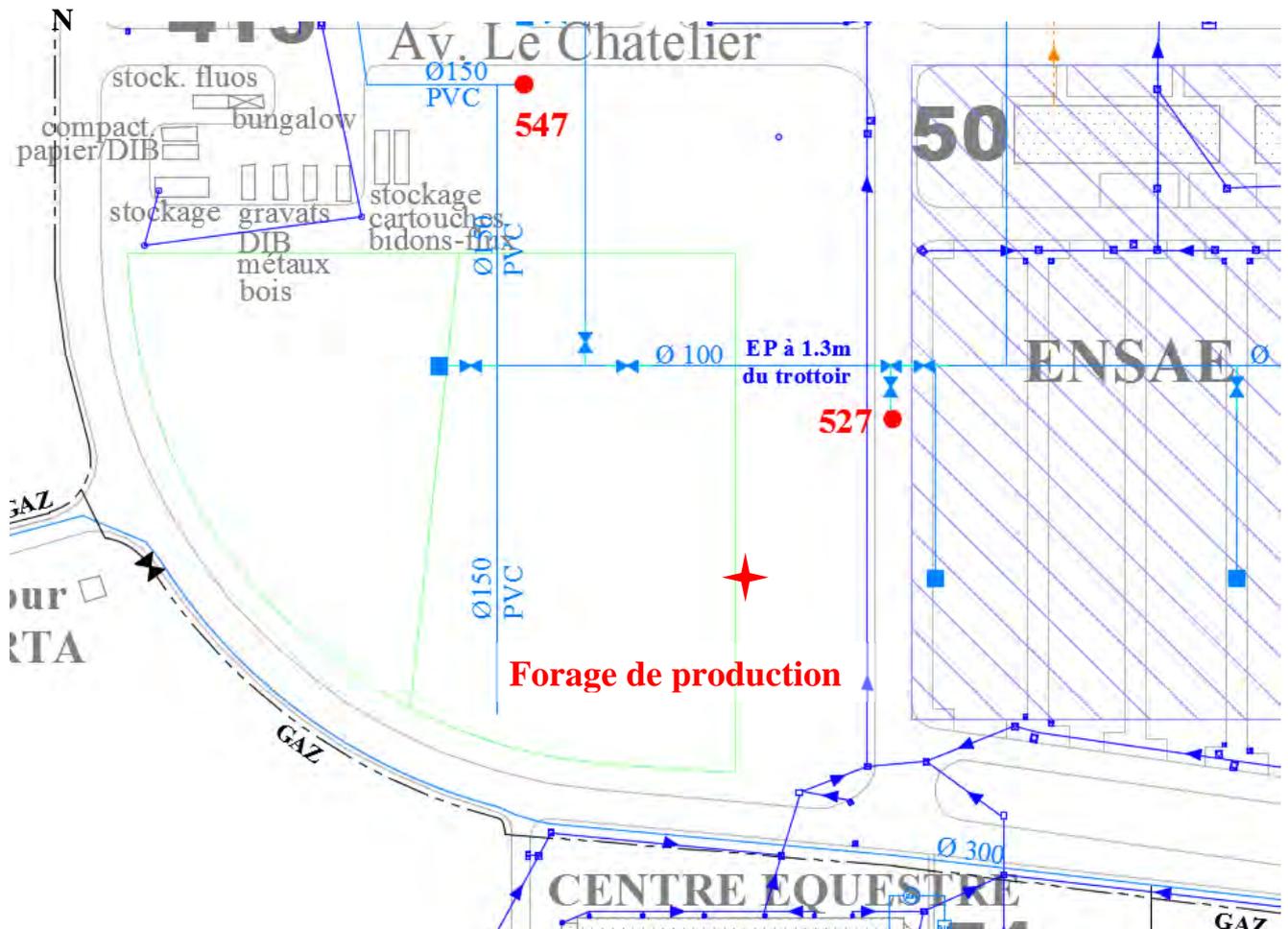


Figure 90. Plan des réseaux à proximité du forage de production

- Forage d'injection

Aucun réseau ne passe à proximité de la zone de forage. La zone est en cours d'aménagement.



6.3 Description des impacts et mesures envisagées pour compenser ces impacts

Cette partie traite les impacts qu'entraîne le projet sur le milieu naturel, urbain, et physique, ainsi que les mesures envisagées pour compenser de tels impacts.

Ces derniers sont évalués selon les différents paramètres étudiés dans le chapitre précédent, "Etat initial du site et de son environnement". Les impacts sont décrits en deux temps :

- Les impacts temporaires autrement dit les impacts générés lors de la phase de recherche et de travaux de forage,
- Les impacts permanents liés à l'exploitation du doublet de forages.

Pour rappel, les travaux de forage se déroulent en plusieurs étapes pour une durée totale de 2 à 3 mois environ incluant:

- La préparation du site de forage pendant environ 1 mois,
- La réalisation des forages proprement dit pendant environ 1 mois,
- Les essais de production pendant 15 jours,
- La remise en état des lieux après les travaux,
- La phase d'exploitation et de suivi des forages.

La phase de travaux de forage nécessite un fonctionnement continu de jour comme de nuit. Pour cela, trois équipes (8 heures chacune) se relaient 24 heures sur 24 pendant toute la durée des travaux.

6.3.1 Impacts sur le contexte socio-économique

6.3.1.1 En phase de travaux

La période de chantier ne perturbera pas le dynamisme social et économique de la ZAC.

6.3.1.2 En phase d'exploitation

Le projet d'alimentation en chauffage par géothermie a un impact positif sur le contexte socio-économique de la ZAC en limitant les coûts d'énergie via des ressources renouvelables. La création d'un doublet de forages permettra d'acquérir cette production de chaleur par géothermie pour l'alimentation de la ZAC.

6.3.2 Impacts sur les personnes

6.3.2.1 En phase de travaux

Une information de la population sera réalisée pour expliquer les travaux aux riverains et aux entreprises avoisinantes en particulier.

Pour limiter les impacts engendrés par les travaux de forage vis-à-vis des personnes, des mesures de sécurité seront mises en place:

- Une clôture sera mise en place autour des chantiers,



- Une signalisation sera installée pour sécuriser le passage des piétons à proximité des chantiers,
- Les chantiers seront interdits au public.

Pour le personnel sur le site seront aménagés :

- Une voie d'accès éclairée et sécurisée pour les piétons,
- un accès pour les véhicules de sécurité (ambulance, police...) visible de jour comme de nuit,
- un accès pour les véhicules utilitaires.

Un coordinateur de santé et sécurité sera désigné pour cette opération.

Enfin, les entreprises présentes sur les chantiers devront réaliser un Plan Particulier de Sécurité de Prévention et de Santé (PPSPS). Ce plan identifie les risques et les moyens de prévention. Il reprendra en partie les modalités exposées dans la partie 7 de ce document.

6.3.2.2 En phase d'exploitation

Les têtes de forages seront placées dans des caves enterrées. Afin d'en assurer la parfaite étanchéité, les trappes d'accès seront cadenassées et mises sous alarme.

6.3.3 Impacts sur la circulation

6.3.3.1 En phase de travaux

L'accès aux chantiers est assuré par la voirie existante. La circulation des camions d'approvisionnement des chantiers aura un impact sur la circulation routière et les infrastructures.

La figure ci-dessous présente les trajets empruntés par les camions pendant la phase chantier.



Le nombre de camions nécessaire au chantier reste faible et n'implique pas une augmentation notable du trafic routier comme le montre le tableau ci-dessous :



Activité sur le chantier	Estimation du nombre de camions
Amenée de l'appareil de forage	60 camions / 7 jours
Livraison du tubage pour les puits	60 camions / 12 jours
En cours de forage	3 camions / jour pour le traitement des effluents, soit 132 camions
Pendant les opérations de tubage, cimentations et diagraphies	30 camions / 12 jours
Repli de l'appareil de forage	60 camions / 7 jours
Nombre total de camions en phase chantier	342 camions

Tableau 29 : Estimation du nombre de camions desservant le site selon les périodes de travaux

Il sera fait en sorte que cette circulation de camion gêne le moins possible la circulation sur la ZAC du quartier de l'Ecole polytechnique :

- Le planning d'approvisionnement sera échelonné,
- Une signalisation adaptée sera installée sur les routes ou les chemins existants pour signaler les accès chantier et guider les camions selon les itinéraires préférentiels.

De plus, des contrôles seront effectués à l'égard de stationnements de véhicules aux abords des chantiers.

Les véhicules seront lavés avant tout passage sur les routes pour éviter de salir ces dernières. Ainsi, un système de nettoyage des roues sera installé en tout temps et sera renforcé en période de pluie.

De plus, quand cela sera nécessaire, les camions seront couverts afin d'éviter la dispersion de poussière dans l'air.

6.3.3.2 En phase d'exploitation

L'exploitation des forages géothermiques n'entraînera aucun impact sur la circulation, à l'exception des rares fois où des travaux de maintenance devront être réalisés sur les puits (voir section 4.10) :

- Les travaux de maintenance les plus fréquents sur le site seront des remplacements de pompes pour lesquels une grue de 20 tonnes et moins d'une dizaine de camions devront avoir accès au site pendant environ 15 jours.
Ces travaux auront lieu tous les 4 ou 5 ans environ et nécessiteront des modalités d'interventions particulières.
- Les opérations de réhabilitation nécessiteront des rotations de poids lourds sur le site pendant environ 1 mois (20 camions).
Ces travaux auront lieu tous les 10 ou 15 ans suivant la nécessité.

En raison de cette faible fréquence et de la durée courte des interventions, les impacts seront ponctuels pendant la phase d'exploitation et seront gérés avec les gestionnaires de voirie.

6.3.4 Impacts sur la faune et la flore

6.3.4.1 En phase de travaux

Le tableau ci-dessous récapitule les constats concernant les forages et leur impact faune-flore dans la partie 6.2 :

Type de richesse naturelle	Impact des forages	Commentaires
Milieux secs – Patrimoine arboré	Forage d'injection situé dans partie défrichée d'une zone boisée	Espace affecté d'une priorité II sans zone de préemption
Terres agricoles	Pas d'impact	-
Milieux anthropiques	Pas d'impact	-
ZNIEFF	Pas d'impact	-
Sites NATURA 2000	Pas d'impact	-
Zones humides	Pas d'impact	-
Faune	Vigilance sur le forage d'injection (passage de chiroptères)	-
Flore	Pas d'impact	-
Parc naturels	Pas d'impact	-
Réserves naturelles	Pas d'impact	-
Espace naturel sensible	Pas d'impact	-
Sites inscrites ou classés	Pas d'impact	-

En conclusion, au regard de l'éloignement des chantiers de zones d'habitat pour la faune et la flore ainsi que des zones humides, les impacts générés pendant la période de travaux seront faibles.

Au-delà de ces zones d'habitat faune-flore, certaines mesures suivantes seront prises pour minimiser au maximum les impacts potentiels au niveau local :

- Les sources lumineuses assurant l'éclairage des chantiers seront systématiquement dirigées vers l'intérieur du chantier et essentiellement vers la plateforme de forage afin d'éviter au maximum la gêne des chiroptères notamment à proximité du forage d'injection,
- Des protections seront mises en place autour des arbres qui pourraient être présents sur les sites de forage,
- Les abords des chantiers seront protégés par :
 - La réalisation d'une clôture autour des chantiers,
 - La réalisation d'un merlon ou d'un fossé périphérique pour contenir les eaux de ruissellement sur le chantier,
 - Le traitement des eaux avant rejet.
- Les sites de forages seront remis en état à l'issue des travaux (à l'exception des dalles béton autour des caves de forages),



6.3.4.2 *En phase d'exploitation*

Pendant l'exploitation du doublet, l'impact sera nul sur la faune et la flore puisque les équipements seront enterrés.

Il ne restera sur les sites de forage qu'une dalle de béton autour des puits.

6.3.5 *Impacts sur le sol*

6.3.5.1 *En phase de travaux*

La pollution des sols sera contrôlée et endiguée par les équipements installés sur les plateformes :

- La plateforme de forage sera étanche,
- Le réseau de caniveau réalisé autour des plateformes de chantier, le traitement des eaux avant relargage et les bacs de rétention permettront d'éviter toute pollution du sol au droit des sites de forage (voir partie suivante),
- Les fluides polluants seront stockés sur des bacs de rétention permettant en cas de fuite la récupération de la totalité du volume,
- Après travaux, l'ensemble des sites sera repris et rendu carrossable pour les opérations d'entretien.

En ce qui concerne l'aléa de retrait – gonflement des argiles, les puits seront cimentés et cette opération sera suivie par diagraphie pendant la phase travaux. Les argiles seront ainsi protégées de l'eau de l'Albien transitant par les forages.

6.3.5.2 *En phase d'exploitation*

La phase d'exploitation d'impliquera pas d'impact sur la pollution des sols.

L'étanchéité des forages sera suivie pour assurer le non-contact avec les argiles du sous-sol.

6.3.6 *Impacts sur la ressource en eau*

Du fait de la nature du projet, la maîtrise de l'impact sur la ressource en eau représente un enjeu majeur du projet.

6.3.6.1 *En phase de travaux*

6.3.6.1.1 *Sur les eaux superficielles*

Divers facteurs ont été identifiés comme pouvant entraîner des pollutions sur la ressource en eau superficielle :

- **Boues de forage**
Elles constituent le fluide de forage qui permet notamment de remonter les cuttings à la surface (cf chapitres 5.4 à 5.6). Elles seront stockées dans des bacs étanches et circuleront en circuit fermé ce qui limitera les volumes et les rejets.
- **Eaux de ruissellement**
Il s'agit des eaux de pluie et des eaux utilisées pour le lavage des outils de chantier. Les eaux de ruissellement des sites seront récupérées par le biais d'un réseau de caniveaux après passage dans un décanteur/déshuileur. Les effluents issus du déshuilage



seront évacués par camion-citerne et envoyés dans un centre de traitement adapté selon la réglementation en vigueur.

La plateforme sera étanche et les sites seront ceinturés d'un merlon ou d'un fossé de telle sorte qu'aucune eau de ruissellement ne puisse s'échapper.

- **Stockage de produits polluants**

Les citernes de carburants et les barils d'huile seront stockés dans des bacs étanches de rétention permettant, en cas de fuite, de recueillir la totalité du volume de ces citernes. D'autre part, des protecteurs imperméables seront mis en place sous les moteurs et les organes hydrauliques et les produits de vidange seront évacués dans un site de traitement adéquat.

- **Les eaux géothermales**

Il s'agit des eaux d'exhaure pompées lors des essais de productivité des forages.

Lors des essais de productivité, les eaux géothermales seront stockées dans des bacs étanches avant rejet au réseau d'assainissement aux conditions fixées par la gestion de ce réseau par les services de la Police de l'eau.

Notamment, ces eaux devront entre autres:

→ Etre neutralisées à un pH compris entre 5,5 et 8,5, spécialement à l'issu des opérations de développement par acide,

→ Etre refroidies à une température inférieure ou égale à 30 °C,

→ Etre décantées afin de ne pas encrasser le réseau exutoire.

Toutefois, la qualité de l'eau de l'Albien telle qu'elle ressort des mesures réalisées sur les forages existants (forage d'Orsay en particulier) montre qu'elle n'est pas de nature à porter atteinte à l'environnement et qu'elle remplit les conditions citées ci-dessus.

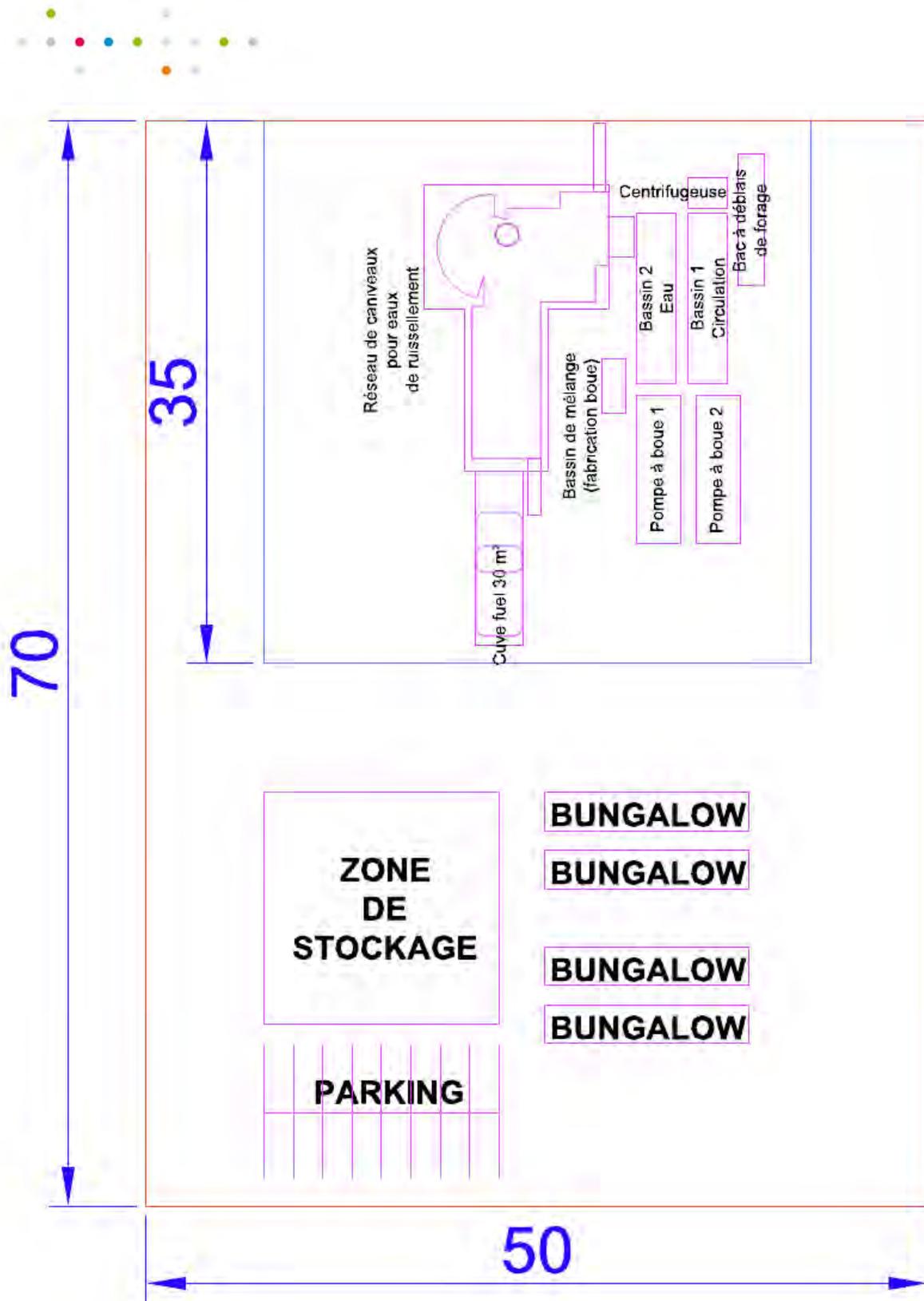


Figure 91 : Organisation du chantier vis-à-vis des boues et des eaux géothermales et de ruissellement



6.3.6.1.2 Sur les eaux souterraines

Afin d'éviter toute contamination des nappes traversées lors du forage et la mise en communication de plusieurs nappes entre elles, un certain nombre de mesures seront prises pendant la réalisation des forages. A noter que ces mesures permettent également de remplir la condition de non-pollution des sols :

- La mise en place d'un double tubage cimenté sur les 200 premiers mètres environ, jusqu'au sommet de la craie permettra de masquer les aquifères superficiels en évitant le mélange des nappes et la contamination de la nappe de l'Albien par des eaux souterraines de mauvaise qualité,
- Le type de ciment et la méthodologie de cimentation seront adaptés aux terrains traversés. De plus, les cimentations des tubages seront contrôlées afin d'en vérifier la qualité (CBL/VDL,USIT),
- La boue de forage est constituée d'eau du réseau d'eau potable, d'argile naturelle et d'additif biodégradable. La composition de la boue et sa densité sont adaptées en fonction du terrain traversé pour assurer le maintien des parois du forage par création d'un cake, tout en limitant l'infiltration dans le terrain.
Il peut arriver, en cas de traversée d'un terrain particulièrement perméable, que la boue s'infilte totalement dans le terrain, on parle alors de perte totale, la boue et les cuttings n'arrivant plus jusqu'en surface. Dans ce cas de figure, pour limiter la consommation de boue et son injection dans le terrain, le forage sera poursuivi à l'eau de ville,
- Les outils de forage seront scrupuleusement désinfectés avant le forage de l'aquifère de l'Albien afin d'éviter l'introduction d'une pollution bactérienne dans la nappe. D'une manière générale, tous les organes entrant en contact avec l'eau de l'Albien (pompe, colonne d'exhaure, appareils de diagraphie,...) seront désinfectés par pulvérisation ou trempage avant leur descente dans le forage,
- Afin d'éviter que l'eau de ruissellement potentiellement polluée ne puisse s'introduire dans les forages en cours de forage, elle sera canalisée par un réseau de caniveau.

De plus, les différents tubages permettront d'éviter la mise en communication des aquifères superficiels entre eux et d'éviter le risque de contamination de l'Albien/Néocomien par les aquifères tertiaires plus vulnérables aux polluants anthropiques.



6.3.6.2 *En phase d'exploitation*

6.3.6.2.1 *Sur les eaux superficielles*

Il existe plusieurs risques sur les eaux superficielles au cours de la phase d'exploitation des forages.

- **Risques liés aux produits polluants lors des opérations de maintenance**
Le stockage des barils d'huiles et des citernes de carburant se fera dans des bacs de rétentions. De plus, des protections imperméables seront mises en place sous les machines.
- **Risques liés au rejet d'eaux géothermales**
Durant la phase d'exploitation des forages, le rejet d'eau géothermale dans le réseau d'assainissement sera limité aux interventions de maintenance. Ces rejets seront évacués dans le réseau dans des conditions fixées par la gestion de ce dernier.
Les conditions minimales de rejet seront celles expliquées dans le paragraphe précédent.
- **Risques liés aux produits inhibiteurs de corrosion**
Aucun produit de ce type ne sera utilisé.

6.3.6.2.2 *Sur les eaux souterraines*

La préservation de la nappe de l'Albien constitue le principal impact possible du double de forage de l'Ecole Polytechnique. Plusieurs documents traitent de ce risque avec la description des méthodes à mettre en œuvre pour le maîtriser.

Les deux paragraphes suivants s'attachent à décrire les obligations fixées par le SDAGE et le SAGE. Le suivant traite des moyens mis en œuvre par l'exploitant pour remplir des objectifs.

6.3.6.2.2.1 *Compatibilité avec la Loi sur l'Eau et le SDAGE du bassin Sud- Normandie*

La Loi sur l'Eau du 21 février 1996 fixe le cadre réglementaire relatif à la collecte, l'évacuation, des eaux pluviales et usées, et le traitement des eaux domestiques. Elle a été révisée le 30 décembre 2006 en application de la directive européenne du 23 octobre 2000.

Cette révision a deux objectifs:

- Donner les outils à l'administration, aux collectivités territoriales et aux acteurs de l'eau en général pour reconquérir la qualité des eaux et atteindre en 2015 les objectifs de bon état écologique fixés par la Directive Cadre Européenne (DCE) du 22 décembre 2000, et retrouver une meilleure adéquation entre ressources en eau et besoins dans une perspective de développement durable des activités économiques utilisatrices d'eau et en favorisant le dialogue au plus près du terrain,
- Donner aux collectivités territoriales les moyens d'adapter les services publics d'eau potable et d'assainissement aux nouveaux enjeux en termes de transparence vis-à-vis des usagers, de solidarité en faveur des plus démunis et d'efficacité environnementale.

Le SDAGE du bassin Seine Normandie adopté le 29 octobre 2009 propose 10 objectifs:

- 1) Diminuer les pollutions ponctuelles des milieux par des polluants classiques,
- 2) Diminuer les pollutions diffuses des milieux aquatiques,



- 3) Réduire les pollutions des milieux aquatiques par les substances dangereuses,
- 4) Réduire les pollutions microbiologiques de milieux,
- 5) Protéger les captages d'eau pour l'alimentation en eau potable actuelle et future,
- 6) Protéger et restaurer les milieux aquatiques humides,
- 7) Gérer la rareté de la ressource en eau,
- 8) Limiter et prévenir les risques d'inondation,
- 9) Acquérir et partager les connaissances,
- 10) Développer la gouvernance et l'analyse économique.

Les défis 1, 3, 5, et 7, concernés par le projet du doublet de forages géothermiques de la ZAC, sont explicités dans les paragraphes qui suivent.

1) Ce premier défi comporte deux aspects majeurs: la réduction des pollutions ponctuelles classiques et la maîtrise des rejets par temps de pluie. Concernant la réduction des apports de matières polluantes classiques dans les milieux naturels, les actions consistent à ajuster le niveau des rejets pour respecter les objectifs de bon état écologique des eaux.

Les dispositions visent à l'amélioration des réseaux d'assainissement, des traitements des boues des stations d'épuration. Par rapport à la maîtrise des rejets par temps de pluies, le SDAGE cherche à renforcer la prise en compte de la gestion des eaux pluviales pour les collectivités.

3) Un double objectif est assigné au SDAGE: réduire fortement l'introduction de certaines substances dans le milieu naturel et respecter les objectifs de qualité chimique des eaux. Pour réaliser ce double objectif, une bonne connaissance des sources de pollution, des émetteurs et du comportement des polluants dans le milieu naturel est donc indispensable.

Par ailleurs, le SDAGE encourage à:

- Réduire voire supprimer les substances dangereuses dans les rejets des industries et les rejets des villes.
- Mettre en œuvre des solutions palliatives, en cas d'impossibilité de réduction à la source, permettant de réduire voire de supprimer les flux de substances toxiques vers le milieu naturel.

5) Le SDAGE recommande de concentrer en priorité les actions sur les bassins d'alimentation de captage d'eau souterraine destinée à la consommation. Ces actions ciblées exigent de déterminer et classer les captages d'alimentation en eau potable en fonction de la qualité de l'eau brute. Ainsi, pour chaque captage, un niveau de programme d'action sera défini et mis en œuvre par les collectivités responsables de la distribution de l'eau.

A l'échelle des zones de protection, le SDAGE préconise de réglementer les rejets dans les périmètres rapprochés de captage et de développer les programmes préventifs de maîtrise et de l'usage des sols en concertation avec les collectivités territoriales et les acteurs locaux.

7) L'objectif poursuivi est de garantir des niveaux suffisants dans les nappes et des débits minimaux dans les rivières permettant la survie des espèces aquatiques et le maintien d'usages prioritaires comme l'alimentation en eau potable.

Même si le bassin Seine-Normandie n'est pas sujet à des déficits chroniques importants, certaines nappes connaissent des tensions du fait de leur surexploitation. Sur ces dernières, il convient de:

- Définir les volumes maximaux prélevables pour les masses d'eau ou parties de masses d'eaux souterraines,
- Améliorer la gestion de crise lors des étiages sévères afin d'anticiper d'éventuelles conséquences de sécheresses.



D'un point de vue réglementaire, le SDAGE expose trois dispositions relatives aux forages listées ci-dessous:

- **La disposition 42** qui définit la nappe de l'Albien-Néocomien captif comme une zone protégée, c'est-à-dire, une zone réservée à l'alimentation future en eau potable. Les mesures de gestion spécifique concernant ces masses d'eau souterraines sont définies dans la disposition 114.
- **La disposition 114** qui définit les modalités de gestion de la masse d'eau souterraine de l'Albien-Néocomien captif.

La nappe de l'Albien et la nappe sous-jacente du Néocomien ne doivent pas être exploitées puisqu'elles représentent une ressource stratégique pour l'alimentation en eau potable.

La masse d'eau de l'Albien-Néocomien captif est une ressource stratégique pour l'alimentation en eau potable de secours. A l'intérieur du périmètre tel que défini sur la figure 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 ultime secours (voir par ailleurs). Les prescriptions suivantes sont applicables aux prélèvements :

- Pour permettre une meilleure répartition des forages afin d'assurer la fonction de secours, le volume annuel prélevable dans le système aquifère de l'Albien et du Néocomien est fixé à 29 millions de m³ compte tenu des rabattements acceptables induits par une augmentation des prélèvements en routine,
- L'instruction des demandes de nouveaux prélèvements par l'autorité compétente se fait en lien avec les services du préfet coordonnateur de bassin, compte tenu de la nécessité d'une coordination et d'une planification de la ressource en eau au niveau interrégional. La répartition intradépartementale des nouveaux forages peut être adaptée par département lorsqu'un plan de secours permet d'atteindre les objectifs d'alimentation en eau de secours ultime de manière satisfaisante. Les plans de secours et la répartition proposée des forages sont soumis à l'avis du préfet coordonnateur de bassin.
- Le niveau des pompes des forages actuels et futurs doit être tel que l'ouvrage soit opérationnel à tout moment pour faire face à une alimentation de secours, pendant une durée de trois mois, au débit de 150 m³/h ou à défaut de pouvoir atteindre ce débit, au débit maximal exploitable connu lors des essais de pompage. Les forages actuels et futurs exploitant ces nappes doivent impérativement pouvoir être raccordés sous 24 heures aux dispositifs de distribution d'eau potable de secours ultimes quels qu'ils soient. Les plans départementaux de secours définissent au cas par cas le détail des raccordements des forages de secours aux dispositifs de distribution de crise.
- Le modèle de gestion des nappes de l'Albien et du Néocomien construit pour élaborer les présentes prescriptions est mis à jour régulièrement en fonction des données acquises (nouveaux forages réalisés, évolution des prélèvements et de la piézométrie notamment).

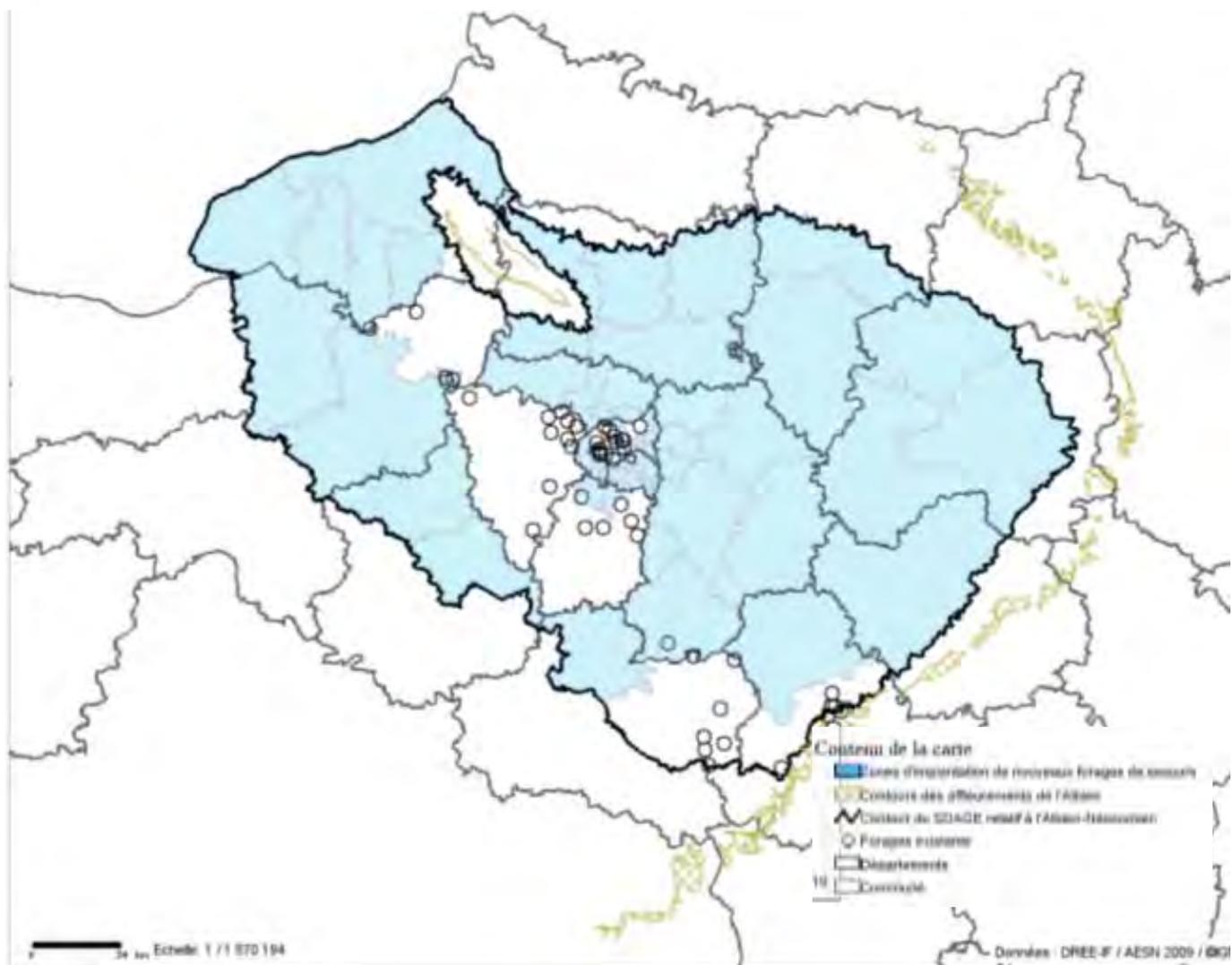


Figure 92 : Contours et prescriptions du SDAGE AESN relatifs à la nappe de l'Albien/Néocomien



- **La disposition 130** qui demande la maîtrise des impacts des sondages, des forages et des ouvrages géothermiques. Cette disposition stipule que tout ouvrage dans le sous-sol, y compris les ouvrages de géothermie, quelle que soit sa profondeur et son usage, doit être réalisé, exploité et abandonné dans les règles de l'art et répondre aux contraintes réglementaires existantes, afin de préserver la ressource en eau. L'objectif est de garantir l'absence d'introduction de polluants et de préserver l'isolation des nappes traversées entre elles, et vis-à-vis des inondations et des ruissellements de surface.

6.3.6.3 SAGE concernés

Le Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau est un document de planification de la gestion de l'eau à l'échelle d'une unité hydrographique cohérente (Bassin versant, aquifère...). Il fixe des objectifs généraux d'utilisation, de mise en valeur, de protection quantitative et qualitative de la ressource en eau et il doit être compatible avec le SDAGE.

Les enjeux du SAGE sont:

- Préserver et restaurer le milieu aquatique, notamment par la reconquête de la qualité de l'eau et par la protection de la biodiversité et de la ressource en eau,
- Prévenir les risques liés à l'eau, particulièrement par la lutte contre les inondations et la mise en conformité des réseaux séparatifs,
- Améliorer le cadre de vie, par la mise en place de l'eau dans le paysage urbain, la mise en cohérence des différents usages de l'eau sur le territoire et une action d'amélioration qualitative de l'environnement,
- Valoriser la mémoire de l'eau, principalement par l'apprentissage de la culture de l'eau en milieu urbain et le développement de la mémoire des risques liés à l'eau.

Les sites de forages sont situés à la fois dans le périmètre du SAGE de l'Orge-Yvette (forage de production) et dans celui du SAGE de la Bièvre (forage d'injection).

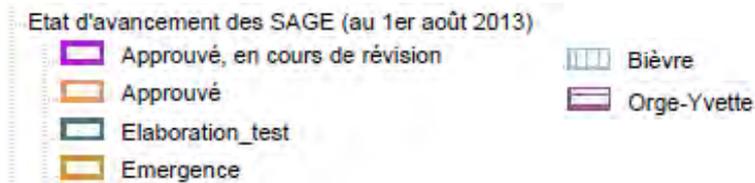
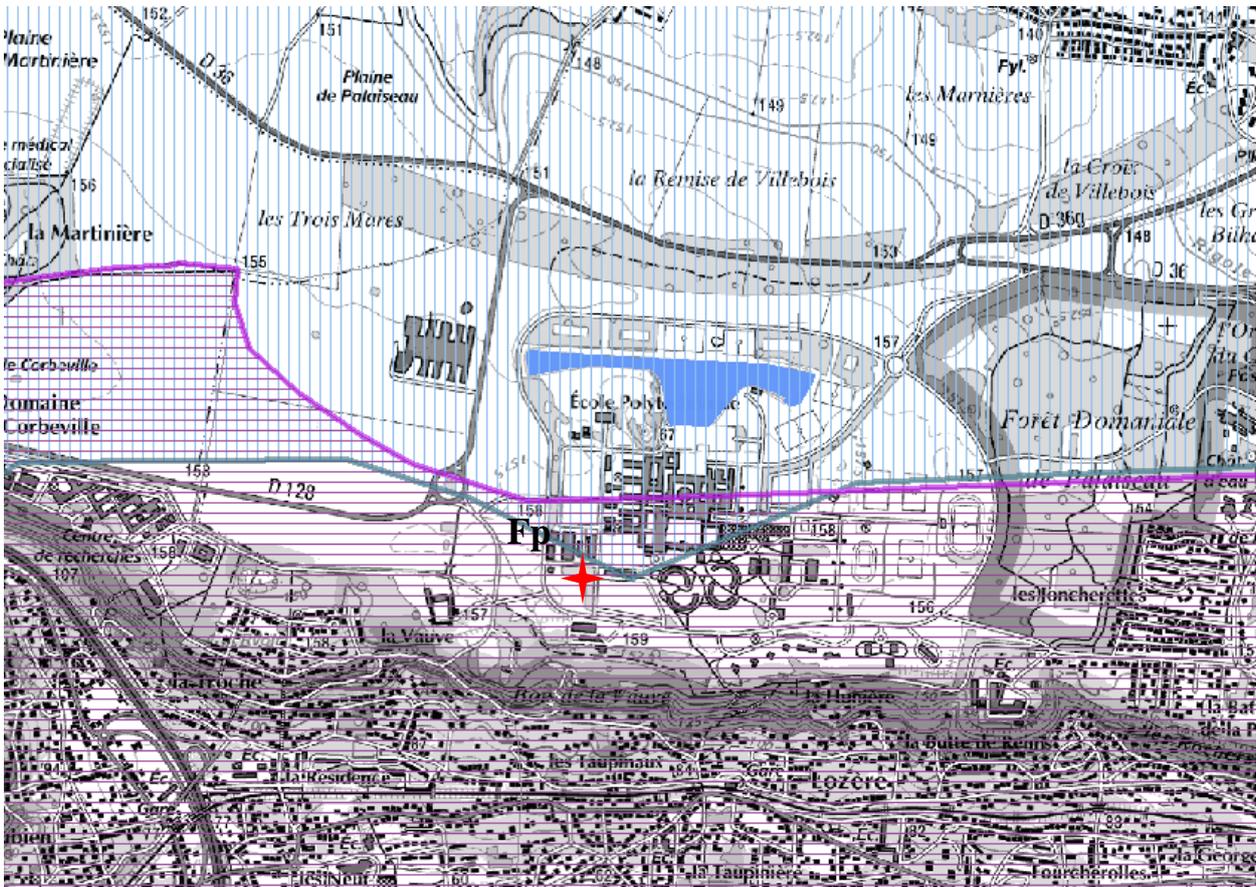


Figure 93. SAGE concernés par le projet

SAGE de l'Orge Yvette :

Le SAGE de l'Orge Yvette a été approuvé le 09 juin 2006 et révisé le 02 juillet 2014 par arrêté interpréfectoral.

Les enjeux identifiés et hiérarchisés dans le cadre de la révision du SAGE, à l'issue de l'actualisation de l'état des lieux / diagnostic, sont résumés ci-après. Les paragraphes s'appliquant au doublet géothermique sont encadrés en rouge.



ENJEU	THEME	OBJECTIF
Qualité des eaux	Macropolluants (nitrates, phosphore, matières organiques)	Atteindre le bon état (ou le bon potentiel) écologique
	Pesticides	Atteindre le bon état chimique (seuils fixés pour les pesticides figurant dans la liste des substances prioritaires) Satisfaire les usages, la production d'eau potable en particulier (pour tous les pesticides et par rapport aux normes eaux brutes/eaux traitées)
	Substances prioritaires	Respecter le bon état chimique des eaux et les normes fixées sur les « polluants spécifiques de l'état écologique » (visant particulièrement certains métaux et pesticides)
	Pollutions accidentelles	Satisfaire les usages (eau potable) et éviter toute dégradation des milieux aquatiques par les pollutions accidentelles
	Pollutions liées aux eaux pluviales	Respecter le bon état chimique des eaux Respecter les normes particulières fixées sur les « polluants spécifiques de l'état écologique » (visant certains métaux et pesticides)
	Qualité des eaux souterraines	Atteindre le bon état physico-chimique et chimique (nitrates, pesticides, micropolluants)



ENJEU	THEME	OBJECTIF
Qualité des milieux aquatiques	Hydromorphologie des cours d'eau et continuité écologique	Non dégradation de l'existant (notamment dans le cadre de projets d'aménagements futurs) Atteindre le bon état ou le bon potentiel écologique sur les cours d'eau du territoire
	Zones humides	Non dégradation de l'existant (notamment dans le cadre de projets d'aménagements futurs) Restaurer les fonds de vallée et les autres milieux humides (biodiversité, qualité de l'eau, lien avec préservation des zones inondables)
	Volet communication liés aux milieux aquatiques et aux zones humides	Sensibiliser les habitants aux enjeux liés à la préservation des milieux aquatiques et humides et concilier les usages
Gestion quantitative	Impact des prélèvements et risque « hydrologie »	Améliorer les connaissances
	Inondations	Réduire la vulnérabilité dans le lit majeur et préserver la capacité d'expansion de crue des cours d'eau du bassin Entretenir la culture du risque Réduire les risques d'inondation liés aux eaux pluviales et de ruissellement (voir ci-dessous)
Gestion quantitative	Gestion des eaux pluviales	Réduire l'impact du ruissellement des eaux pluviales en zones urbanisées et au niveau des terres agricoles (en lien notamment avec les risques d'inondation)
Sécuriser l'alimentation en eau potable	Gérer durablement l'accès aux ressources stratégiques et le fonctionnement de la distribution d'eau potable	Achever la sécurisation de l'alimentation et la protection des captages <i>Améliorer la qualité des eaux brutes</i>
Organisation et concertation dans le cadre la révision du SAGE	Cohérence	Assurer la cohérence du SAGE révisé avec les programmes d'action locaux
	Volet communication du SAGE	Sensibilisation/ Communication : diffuser, faire connaître le SAGE révisé et ses dispositions/règles nouvellement introduites

Tableau 30 : Enjeux du SAGE Orge / Yvette

SAGE de la Bièvre :

Le SAGE de la Bièvre est en cours d'élaboration.

Les cinq grandes orientations pour le SAGE définies à l'issue de la réflexion menée sur la définition du périmètre en 2007, approfondie dans le porté à connaissance des services de l'État puis confirmé par l'état des lieux approuvé en 2010 sont les suivantes :

- L'amélioration de la qualité de l'eau par la réduction des pollutions ponctuelles et diffuses et la maîtrise de la pollution par temps de pluie,
- La maîtrise des ruissellements urbains et la gestion des inondations,
- Le maintien d'écoulements satisfaisants dans la rivière,
- La reconquête des milieux naturels,
- La mise en valeur de la rivière et de ses rives pour l'intégrer dans la Ville.



6.3.6.3.1 Dispositions pour répondre aux objectifs du SDAGE et des SAGE

6.3.6.3.1.1 Consommation de la ressource en eau potable

Dans le cadre de l'exploitation de la nappe de l'Albien à des fins géothermiques, seules les calories de l'eau seront utilisées. Ainsi, la totalité de l'eau prélevée au droit du forage de production sera restituée à la nappe via le forage de réinjection.

En fonctionnement courant, la boucle géothermique n'impliquera aucune consommation d'eau potable.

Le prélèvement en eau potable sera limité à la fonction d'ultime secours (voir par ailleurs). Dans le cadre du projet, il est prévu d'équiper le forage de production d'une pompe immergée dont le débit nominal sera de 200 m³/h. Ainsi, en cas de besoin, le forage de production pourra être exploité à des fins de secours pour l'alimentation en eau potable. La pompe immergée sera positionnée à -20 m NGF afin de ne pas être dénoyée en période de crise.

Ces exploitations de la ressource en eau respectent la disposition 42 du SDAGE.

L'implantation d'un nouveau puits de secours associé au projet de géothermie permettra de combler en eau de secours dans le nord-ouest du département de l'Essonne. Le forage sera raccordable au réseau de distribution du SEDIF afin d'optimiser l'alimentation de secours en cas de besoin, conformément aux modalités de la disposition 114 du SDAGE.

6.3.6.3.1.2 Installations

L'eau de l'Albien sera transportée dans le réseau primaire constitué des forages, des éléments hydrauliques situés dans les caves de forages et du réseau horizontal enterré assurant la liaison entre forages et de l'échangeur.

Afin de ne pas porter atteinte à la qualité naturelle de l'eau de la nappe de l'Albien, les précautions suivantes seront prises lors de la réalisation des forages :

- La mise en place d'un double tubage cimenté sur les 200 premiers mètres environ, jusqu'au sommet de la craie permettra de masquer les aquifères superficiels en évitant le mélange des nappes et la contamination de la nappe de l'Albien par des eaux souterraines de mauvaise qualité.
- Le type de ciment et la méthodologie de cimentation seront adaptés aux terrains traversés. De plus, les cimentations des tubages seront contrôlées afin d'en vérifier la qualité (CBL/VDL). Si nécessaires, des mesures seront prises pour assurer la bonne cimentation des tubages.
- La boue de forage est constituée d'eau du réseau d'eau potable, d'argile naturelle et d'additif biodégradable. La composition de la boue et sa densité sont adaptées en fonction du terrain traversé pour assurer le maintien des parois du forage par création d'un cake, tout en limitant l'infiltration dans le terrain.
- Les outils de forage et tous les éléments entrant en contact avec l'eau de l'Albien seront scrupuleusement désinfectés avant le forage de l'aquifère de l'Albien afin d'éviter l'introduction d'une pollution bactérienne dans la nappe.

Dans le détail, les forages seront fermés par des brides étanches, protégés dans des caves de forages enterrées et fermées. Ces caves seront placées sous alarme anti-intrusion et la pression de la boucle primaire sera contrôlée en permanence afin de permettre une détection immédiate d'une fuite. En cas de fuite, la production sera arrêtée et les puits seront isolés jusqu'à



réparation. Les différents éléments constituant la boucle géothermale permettront de s'assurer que la qualité naturelle de l'eau sera inchangée.

Ce réseau sera étanche en tout point de sorte que l'eau de l'Albien ne soit jamais en contact avec l'environnement extérieur et qu'aucune pollution ne puisse atteindre la nappe par le biais du réseau d'eau géothermal, respectant ainsi la condition de préservation des eaux souterraines du SDAGE et des SAGE.

6.3.6.3.1.3 Surveillance de l'eau de l'Albien

En phase d'exploitation, l'exploitant suivra scrupuleusement le programme réglementaire de suivi et de maintenance imposé par la DRIEE dans l'arrêté d'exploitation pour gérer le risque de pollution de la ressource et répondre ainsi à la disposition 130 du SDAGE.

Ce programme est décrit ci-après :

Suivi annuel :

Des mesures en continu seront réalisées sur la boucle géothermale :

- Températures aller et retour,
- Pressions aller et retour,
- Débits aller et retour,
- Etat de fonctionnement de la pompe de forage (tension, intensité, fréquence),
- Comptage d'énergie.

Ces mesures seront enregistrées numériquement et donneront lieu à la réalisation d'un bilan annuel qui sera transmis à la DRIEE.

Ce document consignera également l'historique des contrôles, de la maintenance et des remplacements effectués sur la boucle géothermale.

De plus, une entreprise spécialisée aura en charge le suivi et le contrôle des équipements électromécaniques à raison de 4 passages annuels.

Lors de ces 4 opérations annuelles, cette entreprise contrôlera :

- La productivité et l'injectivité des forages (niveau dynamique en fonction du débit d'exploitation),
- L'état de fonctionnement de la pompe immergée (consommations électriques, puissances, rendements),
- Le bilan thermique de l'échangeur (efficacité, pertes de charge),
- L'état des dispositifs de sécurité et de mesure : (Vannes de barrage en tête de puits, clapets anti-retour, manomètres, thermomètres),
- L'état des régulations et des sécurités électriques.

De plus, un contrôle de la sécurité des installations électrique de la boucle primaire est à programmer tous les ans.

Enfin, un suivi de la qualité de l'eau sera réalisé tous les 3 à 6 mois afin de contrôler le développement bactérien, le risque de dépôt et la potabilité. Ces résultats seront transmis à l'ARS et à la DRIEE.



Les paramètres analysés et les fréquences d'analyse seront a minima les suivants :

Paramètres analyse complète		Fréquence
- Température - pH - Conductivité - Turbidité - Sulfates - Bicarbonates - Chlorures - Manganèse - Sodium - Potassium - Nitrates - Nitrites - Ammonium - Carbone organique total - Fer - Hydrogène sulfuré - Equilibre calcocarbonique	- Magnésium - Titre alcalimétrique total - Carbonates - Calcium - Silice - Matière 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	Tous les 6 mois pendant 4 ans à une fois par an A partir de la 5 ^{ème} année, selon les résultats d'analyses obtenus
Paramètres analyse réduite		Fréquence
- Température - pH - Conductivité - Titre alcalimétrique complet	- Germes aérobies revivifiables à 22°C et 36°C - Bactéries sulfito-réductrices	Tous les 3 mois pendant 2 ans à une fois tous les 6 mois A partir de la 3 ^{ème} année, selon les résultats obtenus

Tableau 31 : Paramètres et fréquences des analyses d'eau

Ces contrôles réguliers ont pour but la détection rapide de la dégradation de l'un des éléments de la boucle géothermale (action préventive) mais également de prévenir toute dégradation de la ressource.

Inspections périodiques :

Les opérations d'inspection suivantes devront être réalisées au minimum tous les 7 ans :

- Inspection de l'état des tubages et des cimentations (caméra vidéo + CBL/VDL),
- Pompage par paliers (4x 2h avec remontée intermédiaires),
- Pompage de longue durée de 72h minimum.

En outre, une inspection caméra devra être programmée à chaque sortie de pompe.

Le rapport d'interprétation de ces résultats devra être transmis à la DRIEE.

Le suivi de cette procédure doit permettre de s'assurer du bon état des puits (tubages et cimentations) pendant leur exploitation et donc de pérenniser la protection de la ressource stratégique de l'Albien.

Par ailleurs, tous les éléments de la boucle seront désinfectés notamment à chaque opération de suivi et de maintenance.



6.3.6.3.1.4 Cumul des incidences

Pour respecter les objectifs de la disposition 130 du SDAGE, une modélisation hydrogéologique a été réalisée et a conclu au non impact piézométrique et thermique des forages à l'Albien les plus proches et notamment sur le forage AEP de la commune d'Orsay (voir partie 4.8).

6.3.7 Impacts visuels

6.3.7.1 En phase de travaux

Les sites seront clôturés par une palissade de 2,5 m de haut, ce qui limitera l'impact visuel du chantier. Seul le mât de forage sera visible de l'extérieur, la gêne ne sera que temporaire (environ 1 mois par site).

L'installation lumineuse pour le travail de nuit sera systématiquement dirigée vers l'intérieur du site et ciblée essentiellement sur le plancher de forage et le mât.



6.3.7.2 En phase d'exploitation

Comme les têtes de puits géothermales seront enterrées, le site récupèrera alors son apparence d'origine (pas d'émergence) et il n'y aura pas d'impact visuel durant la période d'exploitation.

6.3.8 Impacts sur la qualité de l'air

Il existe 3 rejets atmosphériques à même de porter atteinte à la qualité de l'air, surtout lors de la phase de travaux :

- **Les gaz de combustion** des moteurs thermiques qui concernent les engins de chantier et les groupes électrogènes. Les émissions de gaz sont essentiellement composées de CO₂, de CO, d'O₃, et des poussières,
- **Les poussières** qui sont créées par la circulation des engins de chantiers sur les chemins d'accès à tous les stades de travaux (forage, génie civil...).
- **Les gaz présents dans les fluides géothermaux** et en particulier l'hydrogène sulfuré H₂S, gaz incolore toxique qui pénètre par les voies respiratoires et nécessite certaines mesures de sécurité.

Les risques, pendant la période de travaux, liés à ce gaz dangereux pour la santé, font l'objet d'un développement dans le document de sécurité et de santé (partie 7 du document).

6.3.8.1 En phase de travaux

En relation avec l'inventaire ci-dessus, les mesures suivantes seront prises :



- **Gaz de combustion** : les machines utilisées pendant les travaux respecteront la réglementation en vigueur en ce qui concerne les gaz d'échappement. Le site est naturellement ventilé et les émissions de gaz d'échappement dues au chantier resteront négligeables par rapport aux émissions dues à la circulation routière (RN118 et RD128).
- **Poussières** : en cas de besoin, le chantier sera arrosé pour limiter l'envol de poussière. Les camions transportant des matières susceptibles de s'envoler seront systématiquement bâchés.
- **Gaz des fluides géothermaux** : les forages du même genre dans la région ont montré que les aquifères superficiels traversés et les sables de l'Albien ne sont pas susceptibles de contenir des gaz toxiques.

6.3.8.2 *En phase d'exploitation*

Aucun impact négatif n'est à prévoir sur la qualité de l'air en raison de l'absence de sulfure d'hydrogène dans la nappe de l'Albien.

L'exploitation de la géothermie va de plus permettre d'éviter l'émission de gaz à effet de serre ce qui aura un impact positif sur la qualité de l'air.

6.3.9 *Impacts liés au bruit*

6.3.9.1 *En phase de travaux*

6.3.9.1.1 *Réglementation applicable sur le chantier*

La réglementation relative au personnel est régie par le Règlement Général des Industries Extractives (RGIE).

L'article 1 du RGIE définit les termes suivants:

- **Exposition sonore quotidienne**: dose d'énergie sonore susceptible d'affecter l'ouïe d'une personne pendant sa journée d'exposition de travail,
- **Pression acoustique**: différence entre la pression de l'air au repos et la pression de l'air mise en mouvement par les vibrations de la source de bruit,
- **Pression acoustique de crête**: valeur maximale de la pression acoustique observée au cours de la journée de travail.

De plus, l'article 3 de ce règlement formule deux règles relatives à la réduction du niveau sonore:

- L'exploitant est tenu d'abaisser le niveau sonore au seuil le plus bas raisonnablement possible compte-tenu de l'état des techniques. L'exposition au bruit doit demeurer à un niveau compatible avec la santé des personnes, notamment pour 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, et de 135 dB pour le niveau de pression acoustique de crête.

L'article 4 du RGIE indique qu'une personne ne peut être affectée à une fonction de travail comportant une exposition sonore quotidienne supérieure ou égale au niveau de 85 dB (A) que



si elle a fait l'objet d'un examen préalable par le médecin du travail et si sa fiche d'aptitude, établie par le médecin à l'embauche atteste qu'elle ne présente pas de contre-indication médicale à cette fonction.

Concernant l'information du personnel, l'article 8 du RGIE atteste 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, le personnel concerné doit être informé, avec le concours du médecin du travail, soit au moyen d'une notice distribuée périodiquement, soit à l'occasion de séances d'information organisées à cette fin:

- Des risques résultant, pour son ouïe, de l'exposition au bruit,
- Des moyens pouvant être mis en œuvre pour lutter contre le bruit et contre ses effets,
- Du rôle de la surveillance médicale,
- De la fonction auditive.

Enfin, à propos de la protection individuelle, l'article 12 du RGIE précise deux règles:

- 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, des protections individuelles doivent être mis à sa disposition.
- Les protections doivent être adaptées au personnel et à ses conditions de travail. Elles doivent garantir à leurs porteurs une exposition sonore quotidienne résiduelle inférieure au niveau de 85 dB (A) et une pression acoustique de crête résiduelle inférieure au niveau de 135 dB.

6.3.9.1.2 Réglementation sur le voisinage

La réglementation relative au bruit de voisinage repose sur le décret n°2006-1099 du 31 août 2006, venu modifier le code de la santé publique (dispositions réglementaires). Ce décret présente les seuils limites de niveau de bruit de voisinage à respecter.

L'article R.1334-33 déclare que l'émergence globale, dans un lieu donné, est définie par la différence entre le niveau de bruit ambiant, comportant le bruit particulier en cause, et le niveau de bruit résiduel constitué par l'ensemble des bruits habituels extérieurs et intérieurs, correspondant à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement habituel des équipements, en l'absence du bruit particulier en cause.

Les valeurs limites de l'émergence sont de 5 dB(A) en période diurne (de 7 heures à 22 heures), et de 3 dB(A) en période nocturne (de 22 heures à 7 heures).

L'article R.1334-36 stipule que si le bruit a pour origine un chantier de travaux publics ou privés, 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, en ce qui concerne soit la réalisation de l'activité, soit l'exploitation ou l'utilisation de matériels ou d'équipements,
- L'insuffisance de précautions appropriées pour limiter ce bruit,
- Un comportement anormalement bruyant.
- Les bruits de voisinage résultants des chantiers de travaux publics ou privés, sont constitutifs d'une infraction de 5ème classe s'ils sont la conséquence d'un comportement fautif caractérisé par l'une des trois circonstances citées ci-dessus.



6.3.9.1.3 Population exposée au bruit

Les personnes exposées aux nuisances sonores sur le site lors des travaux sont :

- le personnel du chantier de forage qui disposera de protections (bouchons d'oreilles, casques antibruit...),
- les visiteurs,
- les piétons et les voisins habitant ou travaillant à côté du site.

6.3.9.1.4 Bruit généré par le chantier

L'usage des engins de chantier en cours de travaux donnera lieu à un environnement assez bruyant autour et au sein du site.

De plus, cette nuisance sonore sera renforcée par les chocs engendrés au contact des tiges et des tubes de structure métallique lors du "gerbage" et du "dégerbage" de ces dernières dans le mât. S'ajoutent des bruits de grincement et de frottement liés à la rotation de l'engin et des tiges sur le chantier.

Ainsi, les engins de chantier devront respecter les normes antibruit conformément à la circulaire relative aux bruits émis par des engins de chantier du 16 mars 1978.

6.3.9.1.5 Estimation des nuisances sonores engendrées par la machine de forage

Les impacts sonores sont essentiellement liés en phase chantier à la machine de forage.

En annexe de ce document est présentée l'étude d'impact du chantier de forage Eau de Paris Porte de Clichy. Elle montre aux abords du chantier des émergences inférieures à 70dB(A) conforme aux limites admissibles.

6.3.9.2 En phase d'exploitation

Les forages sont situés à l'écart d'habitations ou d'entreprises, ce qui minimisera d'autant la gêne potentielle liée au bruit.

Deux sources principales de bruit causées par l'exploitation des puits, au niveau de la centrale géothermique sont identifiées:

- Les transformateurs électriques,
- Les pompes de circulation.

Ces équipements seront enterrés dans les caves et seront donc inaudibles sauf éventuellement au droit de la cave.

De même, lors de la période d'exploitation, certains bruits pourront être perçus au droit des puits du fait de la circulation des fluides dans les canalisations. Ces dernières étant enterrées, aucune nuisance sonore ne sera perceptible à plus d'un mètre des têtes de forage.

Les bruits engendrés par les travaux d'entretien des puits seront ponctuels étant donnée la fréquence à laquelle ils se dérouleront. Ces bruits proviennent des engins tels que :

- Les camions,
- Les compresseurs,
- Les moteurs thermiques.



S'ajouteront les bruits issus des chocs entre les dispositifs métalliques comme cité dans le paragraphe précédent.

Ces bruits seront gérés lors des chantiers de maintenance en coordination avec les riverains.

6.3.10 Impacts sur la protection du patrimoine culturel

6.3.10.1 En phase de travaux

La période de travaux du projet n'entraînera pas d'impact puisque le site n'est soumis à aucune servitude associée à la protection du patrimoine culturel.

6.3.10.2 En phase d'exploitation

Pour la même raison, aucun impact permanent n'est retenu .

6.3.11 Impacts sur l'hygiène, la salubrité et la sécurité publique

6.3.11.1 En phase de travaux

En période de travaux la présence du personnel de chantier, ajoutée à celle des machines de forages et des véhicules lourds, engendrent divers types de rejets et de déchets tels que:

- **Les déchets ménagers (papier, détrit, ferrailles...)**
Pour assurer la propreté et l'hygiène sur le chantier, les déchets seront collectés puis enlevés régulièrement vers une déchetterie située à proximité du site. De plus, il sera exigé un tri sélectif de la part de l'entreprise de forage.
- **Les résidus de boue de forage et les déblais**
Les boues de forage, utiles à la remontée des déblais solides ainsi qu'au refroidissement et la lubrification des équipements en rotation, devront circuler, à l'air libre, dans une enceinte imperméable, à l'échelle des bacs à boues et vibrateurs.
Une fois utilisées, les boues subiront un traitement physico-chimique (par coagulation et centrifugation). Les éléments solides (déblais) seront éliminés par une centrifugeuse. Ces résidus feront l'objet d'un traitement physico-chimique de floculation, dans un premier bac (excavations prévues pour le stockage et la décantation des boues de forage), qui se traduit par une décantation des matières solides et de l'eau. La phase solide sera évacuée par camions vers un centre de traitement adapté.
L'eau, quant à elle, est envoyée dans un second bac où tout hydrocarbure flottant est piégé pour être brûlé. Ensuite, l'eau est envoyée dans un 3^{ème} bassin où elle fera l'objet d'un traitement physico-chimique secondaire la rendant apte à être rejetée au réseau.

Ce travail de traitement et de contrôle de l'eau est confié à une société spécialisée qui s'assure de la conformité avec les normes officielles et recueille les autorisations administratives de rejet (voir partie 6.3.6).

- **Les déchets spéciaux (hydrocarbures...)**
Le contact entre les produits de vidange et le milieu naturel est formellement interdit, d'où la prise de mesures spécifiques.
Les déblais qui seront accidentellement contaminés par les hydrocarbures seront évacués vers des décharges relatives à ce type de déchet.



Le stockage de tels déchets se fera impérativement au sein de bacs de rétention (vidangés fréquemment) placés sous tous les moteurs thermiques et équipements hydrauliques.

Tous ces produits seront évacués vers des centres de gestion agréés.

- **- Les eaux géothermales**

L'eau géothermale sera recueillie dans des bacs étanches afin d'éviter toute infiltration de l'eau dans le sol (voir partie « Impacts sur les sols »). L'accès aux bacs sera contrôlé pendant toute la durée des travaux. Les eaux géothermales seront rejetées au réseau d'assainissement après contrôle de leur chimie pour respecter les exigences du concessionnaire.

- **Les eaux de ruissellement**

Ces eaux, issues des eaux pluviales et des eaux utilisées pour le nettoyage des outils de chantier seront récupérées par un réseau de caniveaux, après passage par un décanteur/déshuileur. Les effluents issus de la décantation et du déshuilage seront évacués par un camion-citerne et envoyés dans un centre de traitement adapté, selon la réglementation en vigueur.

6.3.11.2 En phase d'exploitation

La phase d'exploitation n'induera pas de déchets ou d'impact sur l'hygiène.

Les opérations de maintenance seront gérées comme un chantier à part entière et seront astreintes aux mêmes contraintes que le chantier de forage.



6.4 Reprise des prescriptions de l'Anses

Le tableau suivant reprend l'ensemble des prescriptions listées dans le rapport d'expertise collective de l'Anses, intitulé « *Analyse des risques sanitaires liés à l'installation, à l'exploitation, à la maintenance et à l'abandon de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables (géothermie, capteurs solaires et éoliennes) dans les périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine* ». Dans la colonne de droite, sont indiqués les moyens de maîtrise spécifiques au projet de réseau de chaleur de Paris-Saclay.



	Opération		Danger	Moyen de maîtrise
Phase d'études	Reconnaissance sismique à l'explosif		Modification locale de l'infiltration	Pas de recours à la sismique à l'explosif
	Reconnaissance mécanique	Foration	Atteinte à la nappe	Programme de boue prévoyant l'emploi de boue bentonitique simple ou à base de Biopolymères dégradables. Programme de forage prévoyant la désinfection des outils de forage.
			Mise en communication de réservoirs aquifères souterrains indépendants	Programmes de forage, de tubage et de cimentation prévus maintenir l'isolation entre les nappes Programme validé par la DRIEE
		Boues de forage avec la technique du rotary : - création d'une fosse à boues - injection de boues lors de la foration	Infiltration et pollution de la ou des nappe(s) par les adjuvants des boues (soude, huiles minérales, polymères, polysaccharides, défloculants, résidus d'acidification, etc.) ou les microorganismes présents dans l'eau utilisée pour la préparation des boues	Programme de forage et Boue permettant de limiter et de réglementer l'emploi ou la quantité de produit polluants. Programme validé par la DRIEE.
	Abandon du forage		Mise en communication de réservoirs aquifères souterrains indépendants Contamination de la nappe par infiltration d'eaux parasites	Procédure de comblement contrôlée par la DRIEE et conforme à la norme NF X 10-999
Phase d'installation	Aménagement de la zone de chantier	Création de voies d'accès (parfois empierrées), d'aires de maintenance, de parkings, de locaux	Tassement du sol, imperméabilisation partielle Ruissellement d'eaux potentiellement contaminées	Etude géotechnique pour création de la plateforme Plateforme étanche et munie de caniveaux pour récupération des eaux de ruissellement
		Stockage de produits dangereux (hydrocarbures par exemple)	Infiltration de polluants	Stockage sur bac de rétention et sur plateforme étanche et munie de caniveaux pour récupération des eaux de ruissellement
		Assainissement des locaux de chantier	Infiltration de polluants	Mise en place de sanitaires de chantier conformément à la réglementation
	Conduite du chantier	Circulation de véhicules lourds de chantier et de transport	Tassement du sol, imperméabilisation partielle	Piste et plateforme de chantier adaptées au type de machine et aux caractéristiques géotechniques du site
		Alimentation et entretien des véhicules Utilisation de groupes électrogènes	Infiltration de polluants (hydrocarbures notamment)	Stockage sur bac de rétention et sur plateforme étanche et munie de caniveaux pour récupération des eaux de ruissellement
	Exécution de forage	Foration	Accès à la nappe	- Désinfection des outils de forage - Emploi de boue bentonitique simple ou à base de Biopolymères dégradables



		<p>Modification des caractéristiques physicochimiques de la nappe (solubilité des gaz dissous dans l'eau, pH et équilibres des composés dissous)</p> <p>Un réchauffement de la nappe s'accompagne :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de la diminution de la teneur en gaz dissous (perte de CO₂) - d'une modification de la minéralisation de l'eau due à l'augmentation de la solubilité de nombreuses substances organiques et minérales et de métaux lourds Un rejet froid pourra, à l'inverse, favoriser des processus de précipitations (risque de colmatage par précipitation de carbonates, hydroxydes de fer et de manganèse, <i>etc.</i>) <p>Ces modifications de la chimie de la nappe autour de l'ouvrage d'injection peuvent favoriser les phénomènes de corrosion (eaux minéralisées, présence de courants électriques parasites et/ou de certaines souches bactériennes) et s'accompagner de la contamination des nappes sous-jacentes (Jaudin 1988; Bonte <i>et al.</i> 2011b)</p>	<p>Suivi très rapproché de la qualité de l'eau (tous les 3 à 6 mois) et de l'état de corrosion et de colmatage des forages (tous les 7 ans)</p>
		<p>Utilisation éventuelle d'inhibiteurs de corrosion, de produits séquestrants et dispersants si l'eau est corrosive ou incrustante</p>	<p>Pas d'utilisation de ce type de produit</p>
		<p>Modification des caractéristiques microbiologiques de l'eau de la nappe liée à l'augmentation de la température de la nappe (facteur déterminant pour l'écologie des bactéries) ou l'introduction de nutriments.</p> <p>Même si les recherches n'ont pas mis en évidence le développement d'espèces pathogènes (Winters 1992) ou d'augmentation du dénombrement cellulaire, elles ont montré une modification de la flore microbienne (Sowers <i>et al.</i> 2006; Brielmann <i>et al.</i> 2009; Bonte <i>et al.</i> 2011a; Bonte <i>et al.</i> 2011b)</p>	<p>Pas de réchauffement de la nappe ce qui limite le risque de développement bactérien. Limitation de l'oxygénation par maintien en pression de la boucle géothermale. Tous les éléments descendus dans les forages sont désinfectés.</p>
		<p>Mise en communication de nappes, suite au percement des tubages dû à la corrosion</p>	<p>Eau de l'Albien peu corrosive. Suivi très régulier (7 ans) de la qualité des tubages et des cimentations.</p>
	Réhabilitation des forages	<p>Infiltration et pollution de la ou des nappes par les produits de nettoyage et de désinfection (acides, polyphosphates, désinfectants)</p>	<p>Produits éliminés par pompage et neutralisés si besoin.</p>
	Opérations de maintenance effectuées par des agents extérieurs à la production et/ou la distribution d'eau	<p>Agents peu familiarisés avec les risques liés à l'EDCH</p>	<p>Établissement de conventions entre les différents acteurs, précisant notamment leurs responsabilités respectives</p> <p>Formation des agents</p>
Phase d'abandon	Abandon du forage	<p>Mise en communication de nappes</p>	<p>Procédure de comblement contrôlée par la DRIEE et conforme à la norme NF X 10-999</p>
		<p>Contamination de la nappe par infiltration d'eaux parasites</p>	

Compatibilité du projet avec l'avis de l'ANSES sur les dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans les périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine



6.5 Chiffrage prévisionnel des mesures environnementales

Afin de visualiser précisément le chiffrage prévisionnel des mesures environnementales proposées, deux tableaux exposés ci-dessous présentent les montants pour chacune de ces mesures exprimés en €HT.

Le premier tableau affiche les montants des mesures compensatoires en phase de travaux. Ces dernières atteignent un montant total de 1 009 000 €HT pour le doublet de forage.

Le deuxième tableau affiche les montants des mesures environnementales en cours d'exploitation. Ces mesures représentent un total estimé à 43 000 €HT par an, auxquels s'ajoute le coût afférent aux opérations d'entretien qui ont lieu tous les 10 ans (13 000 € HT par intervention).



Mesures compensatoires en cours de travaux	Estimation prévisionnelle (€HT)
<p><u>1) Accès du site</u></p> <p>A) Signalisation à l'échelle du chantier vis-à-vis des usagers de la route, leur informant de la sortie d'engins de chantier au niveau des voies d'accès. Surveillance du stationnement des véhicules aux abords du chantier afin d'empêcher tout obstacle à la circulation sur les voies d'accès.</p> <p>B) Zone spécifique au sein du chantier destinée à la manœuvre des véhicules leur permettant de faire demi-tour pour réemprunter l'accès sans gêner la circulation.</p>	<p>40 000</p> <p>30 000</p>
<p><u>Eaux souterraines</u></p> <p>A) Protection de la nappe stratégique de l'Albien par mise en place d'un tube cimenté pour masquer les aquifères superficiels.</p> <p>B) Installation de tubages dont l'épaisseur de la paroi est supérieure à la norme (limitation du risque de percement).</p> <p>C) Contrôle régulier des paramètres de la boue de forage pour limiter son intrusion dans les aquifères traversés. Suivi en temps réel des volumes perdus et des venues d'eau.</p>	<p>400 000</p> <p>60 000</p> <p>20 000</p>
<p><u>2) Sols et eaux de surface</u></p> <p>A) Aménagement du site</p> <p>a) Réalisation de bassins de stockage temporaires des effluents avec bâche géotextile imperméable.</p> <p>b) Installation d'une semelle de béton imperméable au niveau de la plate-forme de forage.</p> <p>c) Mise en place d'un réseau de caniveaux pour collecter les 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 fuir accidentellement des organes moteurs de l'engin de forage.</p> <p>d) Nettoyage et remise en état du site.</p> <p>B) stockage d'hydrocarbures, de boues et produits divers</p> <p>a) Installation des bacs de rétention sous tous les contenants de liquides potentiellement polluants.</p> <p>b) Réalisation d'une zone de stockage, avec des bacs de rétention pour les produits inflammables ou potentiellement polluants, délimitée en lieu sûr, avec signalisation appropriée.</p> <p>c) Récupération et évacuation selon la réglementation liée aux carburants et huile de vidange des moteurs. Contrôle de qualité du traitement réalisé pour constater la concordance avec les contraintes chimiques.</p> <p>d) Fluides de forage (boues) confectionnés à partir d'eau douce additionné de bentonite et de polymères biodégradables.</p> <p>e) Récupération des cuttings et effluents dans un enclos dont l'étanchéité est préservée par un film polyane et coulage dallage en béton armé de 15 cm d'épaisseur.</p>	<p>4 000</p> <p>40 000</p> <p>70 000</p> <p>100 000</p> <p>12 000</p> <p>54 000</p> <p>7 000</p> <p>Sans surcoût</p> <p>20 000</p>



<p>C) Production d'eau ou de gaz géothermaux b) Contrôle des volumes des bacs à boue en permanence et mise en place de détecteurs de gaz sur le circuit de boue à la sortie du puits pour discerner instantanément toute émanation de gaz.</p>	20 000
<p><u>Impact visuel</u> Clôture et balisage (palissade de 2,5 m de hauteur)</p>	40 000
<p><u>Qualité de l'air</u> A) Arrosage possible de la plate-forme de forage au cours des périodes sèches afin de réduire l'émission et la dispersion des poussières</p>	2 000
<p><u>Bruit</u> A) Isolation, mesures de bruit, insonorisation des moteurs des groupes électrogènes et des moteurs à l'origine de bruits. B) Réalisation de caves de tête de puits fermées intégrées dans le site. C) Exécution des interventions spécialement bruyantes plutôt en journée.</p>	<p>Sans surcoût</p> <p>90 000</p> <p>Sans surcoût</p>



Mesures compensatoires en cours d'exploitation	Estimation prévisionnelle (€HT)
<p><u>Sol</u></p> <p><i>A)</i> Les caves de têtes de puits seront étanches. Les effluents liquides provenant des puits seront collectés et traités avant évacuation au réseau d'assainissement.</p> <p><i>C)</i> Au cours 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.</p> <p><i>D)</i> A la fin de chaque intervention de maintenance sur puits, la zone du chantier sera remise en état.</p>	<p>2 000€/ an</p> <p>Variable selon le volume</p> <p>Sans surcoût</p>
<p><u>Eaux de surface</u></p> <p><i>A)</i> Pendant les opérations d'entretien des puits (tous les 5 à 10 ans), une collecte de la totalité des effluents liquides sera effectuée, ainsi qu'un refroidissement et un traitement (préalablement à leur déversement) dans le réseau d'assainissement.</p> <p><i>C)</i> Dans le cas de fuite du fluide géothermal dans la cave enterrée, l'eau sera pompée au moyen d'une pompe vide cave, puis rejetée vers une bêche de rétention ou vers le réseau d'assainissement.</p>	<p>13 000 /opération</p> <p>Sans surcoût</p>
<p><u>Eaux souterraines</u></p> <p><i>A)</i> Contrôles périodiques, élaboration de mesures de grandeurs physiques, électriques, hydrodynamiques, géochimiques pour permettre d'accompagner et de contrôler l'évolution des caractéristiques des puits, du fluide géothermal, et des installations et évaluation des défauts révélateurs d'une perte d'intégrité d'un ouvrage.</p> <p><i>B)</i> Les contrôles d'intégrité par diagraphie, à l'aide d'un outil à palpeurs, représentent la seule mesure directe qui permet de détecter un percement avéré ou imminent (tous les 7 ans).</p> <p><i>D)</i> Un contrôle interne permettant le repérage anticipé des défauts de fonctionnement des puits et éventuellement de démasquer une intrusion d'eau ou une fuite d'un des puits vers l'extérieur. Des relevés de débit, température et pression (pression d'exhaure et de réinjection) seront alors effectués.</p>	<p>33 000/an</p> <p>10 000 /an</p> <p>Sans surcoût</p>



7 DOCUMENT DE SECURITE ET DE SANTE

7.1 Document de sécurité et de santé pendant les travaux

Les travaux de forage sont soumis au Règlement Général des Industries extractives (RGIE) et au Règlement de sécurité des travaux de recherche et d'exploitation par sondages des mines d'hydrocarbures liquides ou gazeux.

Le RGIE rassemble les principaux textes relatifs aux règles applicables en termes d'hygiène et de sécurité dans les mines et carrières.

Un plan de prévention constitué des plans particuliers de sécurité et de protection de la santé de chaque entreprise sera réalisé par l'exploitant pour la période de chantier et pour la période d'exploitation. Un coordinateur SPS sera nommé pour le chantier.

L'entreprise sera aussi soumise au règlement de chantier de la ZAC de l'Ecole polytechnique qui réunit toutes les modalités d'intervention au niveau sécurité et environnement d'un chantier de type VRD sur le territoire de la ZAC.

7.1.1 Protection du personnel de chantier

7.1.1.1 Information du personnel

Tout le personnel du chantier sera informé, dès son arrivée, des règles propres au chantier et aux opérations. Les procédures, par phase de travail et poste de travail, seront présentées à l'ensemble du personnel concerné avant le début de la phase ou de la prise de poste en mettant l'accent sur le respect et l'application des mesures de sécurité.

L'affichage des consignes de sécurité s'adressera en priorité au personnel présent sur le site.

Le personnel affecté au chantier devra en particulier être sensibilisé à l'obligation du port des équipements de protection individuels (casque, gants, tenue de travail, chaussures de sécurité, protections auditives, lunettes de protection, masque anti-poussières, masque à gaz).

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,
- un plan des issues de sécurité en cas de venue de sulfure d'hydrogène.

La liste des personnes et des services à contacter en cas d'accident sera également affichée sur le chantier. Cette liste devra comprendre les contacts suivants :

- les pompiers,

- 
- les services médicaux d'urgence (SAMU ou SMUR),
 - le Préfet,
 - la DRIEE,
 - les services du maître d'ouvrage,
 - les services de l'Entrepreneur.

7.1.1.2 Dispositions en cas d'accident corporel grave

En cas d'accident corporel grave sur le chantier la procédure suivante sera mise en œuvre :

- Déclenchement de la procédure d'urgence relative au site : appel des services d'urgence.
- Premiers secours prodigués par le secouriste du site. Conformément au Règlement Général des Industries Extractives (RGIE), au moins un titulaire d'un brevet de secourisme sera présent sur le chantier de forage pendant toutes les périodes d'activité.
- Interdiction de déplacer la victime sauf en cas d'urgence. La liste du personnel formé aux premiers secours est affichée sur le chantier.
- Envoi d'une personne désignée à la rencontre des secours afin de les guider jusqu'à la victime.

7.1.1.3 Protection contre l'explosion

Les risques d'explosion sur un tel chantier sont de plusieurs types :

- Fuite d'acétylène : pour limiter ce risque, le matériel sera régulièrement contrôlé, le stockage se fera dans une zone bien ventilée et un extincteur devra être présent à proximité à chaque utilisation,
- Rupture d'une canalisation haute pression en hiver : pour limiter ce risque en hiver, des précautions seront prises pour éviter le gel des canalisations (calorifugeage, saumure).

7.1.1.4 Protection contre l'incendie

Pour réduire le risque d'incendie sur le chantier, les mesures suivantes devront être appliquées :

- Le stockage des carburants devra se faire dans une zone séparée et des extincteurs devront être placés à proximité des stockages,
- Des mesures de sécurité devront être prises pendant le remplissage des cuves de fioul,
- L'utilisation d'une masse en bronze pour limiter le risque d'étincelle lors du montage et démontage de l'appareil de forage.

Les extincteurs présents sur le chantier seront de type suivant :

- Des extincteurs à poudre polyvalente,
- Des extincteurs à poudre de carbone.

Les emplacements désignés pour ce matériel seront maintenus d'un accès facile et bien signalés.

7.1.1.5 Protection contre le bruit

Afin de respecter la réglementation en vigueur sur le bruit sur un chantier, les divers intervenants du chantier devront respecter les prescriptions légales.



Ainsi, le bruit généré par un chantier de forage est principalement dû aux moteurs des pompes et des groupes électrogènes (bruit régulier) ainsi qu'aux chocs entre des pièces mécaniques entraînant des bruits ponctuels et irréguliers. Pour quantifier les nuisances, des mesures de bruits seront faites à différents endroits du chantier pendant les phases les plus bruyantes.

Ainsi, pour limiter la nuisance sur le personnel de chantier, le port de bouchons d'oreille ou de casque anti-bruit sera rendu obligatoire. De plus, les zones les plus bruyantes seront signalées par des panneaux d'affichage.

Ces deux types de bruits seront limités par la prise en compte des mesures suivantes :

- Procédure du personnel de chantier pour limiter au maximum les chocs pendant le montage et le démontage des tiges de forage ou la mise en place des tubages,
- Insonorisation des moteurs diesel et des groupes électrogènes.

7.1.1.6 Protection contre la chute d'objet

Pour prévenir le risque de chute d'objet, les mesures suivantes seront appliquées sur le chantier pendant les travaux :

- Sensibilisation du personnel au port des EPI (casques, chaussures de sécurité, gants) et sur l'interdiction de se tenir sous la charge,
- Utilisation du matériel de levage adapté à la charge et en bon état,
- Vérification des engins et des élingues,
- Guidage lors de manutention de charges lourdes : utilisation de cordes ou de sangles de guidage, de crochets avec manille de sécurité.

7.1.1.7 Protection contre la chute de hauteur

Pendant les phases de montage et de démontage du matériel de forage et pendant la phase de forage, le personnel de chantier est amené à travailler en hauteur.

Les mesures suivantes devront être prises pour limiter le risque de chute de hauteur :

- Mise en place d'un plancher ou d'un caillebotis sur la cave de forage et d'un balisage autour,
- Mise en place d'une rambarde sur les escaliers permettant l'accès au plancher de la machine de forage,
- Mise en place d'un bardage autour du plancher de la machine de forage,
- Port d'un harnais anti-chute pour les travaux dans le mât.

7.1.1.8 Protection contre les collisions

La collision entre le personnel de chantier et les différents engins de manutention constituent un risque important.

Les mesures suivantes devront être prises pour limiter ce risque :



- Délimitation des zones de circulation des véhicules et de circulation piétonne,
- Manœuvre de recul des véhicules avec un guide,
- Matériel de chantier équipé de gyrophare et de klaxon de recul,
- Mise en place d'une signalisation sur la vitesse limite sur le chantier et sensibilisation du personnel au respect de cette limite,
- Vérification et maintenance des engins.

7.1.1.9 Protection contre l'électrocution

Le risque d'électrocution devra être géré de la façon suivante :

- Interdiction au personnel non habilité d'intervenir sur les groupes électrogènes,
- Mise en place et test des disjoncteurs pour prévenir le risque lié à un court-circuit,
- Rangement et suspension des câbles électriques si possible,
- Travail en zone sèche de préférence,
- Affichage la fiche de premiers secours aux personnes électrisées.

7.1.1.10 Encadrement des visiteurs

Tous les visiteurs autorisés à accéder au site pendant les travaux seront équipés d'un casque de protection et devront être accompagnés par un personnel du chantier. Ils resteront à l'écart des zones potentiellement les plus à risques notamment pendant les phases les plus dangereuses.

7.1.2 Sécurité des riverains

7.1.2.1 Circulation sur la voie publique et balisage

- **Circulation routière**

L'aménagement et le repli de l'appareil de forage s'effectuera par convoi exceptionnel.

En dehors des phases d'aménagement et de repli des équipements de forage, le nombre de véhicules lourds empruntant la voie d'accès à la plate-forme de forage restera limité à l'approvisionnement de consommables (fioul, tubage, ciment...) et à l'évacuation des déchets. Ce trafic, très variable en fonction des phases et de l'avancement du chantier, est décrit dans le tableau dans la partie « Impacts sur la circulation » de la partie 6.

Le trafic de véhicules légers sera induit par les rotations de personnel de l'entreprise de forage et de supervision (10 à 15 rotations par jour).

Des panneaux routiers de chantier informeront les usagers de la route de la sortie d'engins de chantier. Le stationnement des véhicules aux abords du chantier sera contrôlé de manière à ne pas créer d'entrave à la circulation sur les voies d'accès. Le raccordement du site à la route sera aménagé de sorte que les conducteurs d'engins puissent manœuvrer sans constituer d'obstacle ou de risque vis-à-vis de la circulation.

Un plan de circulation sur plateforme sera produit par l'entreprise et validé par le SPS et le MOE.

- **Circulation piétonne**



Le site sera clôturé par une palissade de chantier d'au moins de 2,5 m de hauteur pour éviter toute intrusion non autorisée. Cette palissade portera des panneaux avec la mention « accès interdit ». De plus, le chantier fonctionnant en 3 postes 7 jours sur 7, le risque d'intrusion est limité.

Des panneaux de signalisation spécifiques à la circulation piétonne seront mis en place sur les trottoirs de part et d'autre de l'entrée du site. Ces panneaux interdiront la circulation piétonne à proximité immédiate du chantier et indiqueront la direction de la déviation.

Un plan de circulation piétonne sera produit par l'entreprise et validé par le SPS et le MOE.

7.1.2.2 Bruits liés aux travaux de forage

Les bruits susceptibles de générer une nuisance sont les mêmes que ceux listés au paragraphe 7.1.1.5.

Ces deux types de bruits seront limités par la prise en compte des mesures suivantes :

- Procédure du personnel de chantier pour limiter au maximum les chocs pendant le montage et le démontage des tiges de forage ou la mise en place des tubages,
- Insonorisation des moteurs diesel et des groupes électrogènes.

De plus, les opérations les plus bruyantes seront réalisées de jour.

7.1.3 Risque de chute du mât de forage

Une étude de résistance du mât de forage sera réalisée avant son installation. Cette étude permettra de dimensionner le haubanage du mât en fonction de la force du vent et de sa direction afin d'éviter tout risque de chute.

7.2 Document de sécurité pendant l'exploitation du doublet

Un document de sécurité sera rédigé à l'attention du maître d'ouvrage pour les phases d'exploitation.

Un sinistre sur la boucle géothermale peut être détecté de la façon suivante :

- Par les systèmes de mesure de pression sur les puits,
- Par un technicien de maintenance du site,
- Par une personne extérieure au site (promeneurs, riverains).

7.2.1 Procédure de mise en sécurité en cas de fuite sur la boucle géothermale

La pression au sein de la boucle géothermale sera contrôlée en permanence par l'exploitant ce qui permettra de détecter une éventuelle fuite.



En cas de fuite de fluide géothermal, la procédure de mise en sécurité de l'installation sera la suivante :

- Arrêt de l'exploitation du doublet et fermeture des vannes des puits,
- Diagnostic de la fuite,
- Réparation de la fuite,
- Remise en service du doublet après contrôle de la réparation.

7.2.2 Percement d'un tubage d'un forage en cours d'exploitation

Le suivi réglementaire des paramètres d'exploitation imposé par les arrêtés préfectoraux d'exploitation, la réalisation, tous les 7 ans, d'une diagraphie de contrôle de cimentation et d'une inspection vidéo des deux forages et les analyses d'eau réglementaire permettront de déceler un percement d'un tubage.

En cours d'exploitation, un changement de la qualité de l'eau pompée sur le forage de production (variation de la conductivité notamment) ou une baisse de la pression d'injection sont des indices de percement de tubage.

En cas de percement avéré mettant en péril la qualité de l'eau de l'Albien des mesures d'urgence seront mises en œuvre dans l'attente de travaux de réhabilitation ou de comblement. La méthode d'urgence la plus rapide à mettre en œuvre consiste à descendre un packer gonflable en dessous de la perforation pour isoler la nappe de l'Albien. Cette mesure peut être mise en place en 2 et 5 jours après détection du problème.

En fonction de la nature de la perforation, la réparation peut être de deux types :

- Si le tubage est en bon état général, la perforation sera comblée par injection de ciment sous pression et par collage d'un patch cylindrique en résine époxy/fibre de verre en face de la perforation,
- Si le tubage est dans un état d'oxydation avancé, il sera nécessaire de procéder au rechemisage complet de l'ouvrage par la mise en place d'un tubage de diamètre inférieur et à la cimentation de l'entrefer.

On estime à 2 semaines le temps de réparation.

Quel que soit le type de réparation, la qualité de la cimentation sera contrôlée par diagraphie CBL/VDL et une diagraphie « diamètreur » du tubage sera réalisée.



ANNEXE 1 :

RAPPORT D'ACTIVITE EPA PARIS-SACLAY

Suivre le lien suivant : http://www.epaps.fr/?attachment_id=7899



ANNEXE 2 :
PRESENTATION GENERALE D'IDEX

Voir dossier joint.



ANNEXE 3 :

PRESENTATION DIRECTION GENERALE

RESEAUX ILE DE FRANCE

IDEX

Voir dossier joint.



ANNEXE 4 :
PRESENTATION GEOFLUID

Voir dossier joint.



ANNEXE 5 :
DELIBERATION DU SEDIF

Voir dossier joint.