

Aménagement carrefour multimodal Porte de France (Saint-Genis-Pouilly)

Maîtrise d'œuvre

Avant-Projet

Etude hydrogéologique

29/10/2024

Projet	Émetteur	Phase	Domaine	Type	Numéro	Indice
CC6052	MOE	AVP	ENV	RAP	0004	A

1. Introduction	0
2. Références	3
3. Contexte du site d'étude :	6
3.1. Localisation, topographie et environnants :	6
3.2. Géologie :	8
3.3. Hydrogéologie :	19
3.4. Captages AEP :	41
3.5. Hydrographie :	42
3.6. Climatologie et météorologie :	44
3.7. Risques naturels et technologiques :	45
4. Investigations de terrain :	47
5. Description du projet :	48
6. Observations et analyse sommaire du projet :	53
6.1. Profondeurs prévues et aquifères recoupés :	53
6.2. Orientation de l'aménagement et axes d'écoulement :	53
6.3. Effet barrage et incidences sur la piézométrie locale :	54
7. Modélisation hydrodynamique et étude des incidences :	55
7.1. Définition du modèle physique :	55
7.2. Intégration du projet :	60
7.3. Résultats de la modélisation :	62
8. Conclusions et préconisations :	68
8.1. Remarques importantes :	69
9. Annexes :	71
9.1. Annexe 1 : extrait de l'arrêté préfectoral du 04/07/2024 :	71
9.2. Annexe 2 : coupe lithologique et technique du forage Géo-01 :	73
9.3. Annexe 3 : carte piézométrique et profondeur du mur de la masse d'eau FRDG517 :	74
9.4. Annexe 4 : extrait des données brutes de modélisation :	76

1. Introduction

Désignation	Observations
Maître d'ouvrage ou donneur d'ordre	Conseil Départemental de l'Ain (CD 01) INGEROP SAGE Ingénierie
Localisation du site	<p>Le site étudié est le carrefour de Porte de France, implanté sur la commune de SAINT GENIS POUILLY (01 630). Ce giratoire est implanté à l'intersection des routes départementales RD 884, RD 35 et RD 984f (route de Meyrin) avec la rue de Genève.</p> <p>Le périmètre d'étude occupe un ensemble de parcelles cadastrées ou non (sections BA, AW et AT) et s'étend sur une superficie totale d'environ 8 hectares.</p>
Contexte de l'étude	<p>AQUÉO a été sollicité par SAGE Ingénierie, dans le cadre du projet de restructuration du secteur Porte de France, à SAINT GENIS POUILLY (01).</p> <p>Le maître d'ouvrage du projet, le département de l'Ain, et son maître d'œuvre, In-gérop (co-traitance avec SAGE Ingénierie), projettent ainsi le réaménagement complet du carrefour multimodal de Porte de France.</p> <p>Le projet prévoit la suppression du rond-point giratoire actuellement existant et la mise en place d'un carrefour à feux de circulation. La création d'une voie de BHNS, ainsi que l'aménagement d'un passage souterrain en trémie pour cycles et piétons est également inscrite au programme.</p> <p><u>Dans ce cadre, notre société a été sollicitée en phase de conception pour la gestion des problématiques hydrogéologiques liées à la mise en œuvre de l'ouvrage souterrain.</u></p>
Vulnérabilité de l'environnement contraintes et enjeux	<p><u>Contexte hydrogéologique de sensibilité faible concernant les usages et enjeux sociaux / écologiques</u> : absence d'ouvrages exploités à l'aval proche (y compris AEP), alimentation limitée du Lion et drainance du Nant de l'Ecra, absence d'enjeu environnemental en aval proche, hors zone inondation, absence de zones aménagées à l'aval immédiat de la trémie, bilan quantitatif amont/aval nul en phase pérenne, emploi de matériaux inertes, ...</p> <p><u>Contexte hydrogéologique de sensibilité faible concernant la mise en œuvre technique du projet.</u> La modalité de réalisation de la trémie devra impérativement être adaptée à la nappe qu'elle intercepte, sans toutefois présenter une criticité extrême (nappe libre, recoupée partiellement, ouvrage de faible emprise et de faible profondeur, faible incidence au sens d'écoulement, etc.).</p>

**Conclusions et
préconisations**

Le présent document consiste en la synthèse des données hydrogéologiques pour constitution d'un modèle sur la zone d'étude du projet de trémie souterraine. Sa suite logique, après levé des incertitudes et complétude des données de terrain, sera la finalisation de l'étude des incidences du projet par modélisation numérique.

A ce stade de la conception :

- Nous conseillons vivement de réaliser le chantier de terrassement en période de basses eaux (entre août et octobre), en restant vigilant vis-à-vis des tendances pluviométriques ;
- L'ouvrage souterrain et les travaux de terrassement devront être conçu et prévus en prenant en compte l'impact des eaux souterraines, tant pour les aspects hydrostatiques que pour le type et la résistance chimique des matériaux employés (agressivité sur les bétons) ;
- Les ouvrages annexes du projet (réseaux, ouvrages techniques ou de visite) devront également être adaptés à ce contexte hydrogéologique (étanchéité, mise hors d'eau des appareils sensibles, événements au deçà de la côte de référence, ...), s'ils recoupent le ou les niveaux aquifères ;
- La prise en compte du contexte hydrogéologique lors de la conception des ouvrages de gestion des eaux pluviales est impérative, pour assurer une absence d'impact sur l'ouvrage souterrain.

Les informations ont montré que la nappe interceptée était très sensible à la pluviométrie du secteur et en lien avec le Nant de l'Ecra, toute modification de ces deux paramètres (accroissement des apports météoriques à l'amont, colmatage ou décolmatage du lit du cours d'eau) pourrait générer une incidence sur la trémie.

L'implantation d'éventuels ouvrages d'infiltration devra être réalisée à distance et à l'aval hydraulique de la trémie, à défaut d'étude démontrant une absence d'impact.

Il a été établi, sur la base des premières données de suivi, que les niveaux de référence établis au droit du projet étaient confirmés et valables pour ce dernier. Ainsi, la trémie recouperait donc le premier niveau de nappe (alluvions fluvioglaciales de SAINT GENIS) sur une hauteur maximale d'environ 2,3 m en période de hautes eaux.

En l'état, l'ouvrage ne présentera pas d'incidences significatives en phase pérenne sur l'écoulement et la piézométrie. Son incidence est nulle à l'amont comme à l'aval du projet, tant à l'est (Suisse) qu'à l'ouest (SAINT GENIS POUILLY).

Il n'a pas été identifié de nécessité de mesures compensatoires pour le projet en phase d'exploitation.

En phase travaux, le projet nécessitera un épuisement de fouille au sein de l'enceinte pseudo-étanche créée par un voile de soutènements (paroi moulée, pieux sécants ou similaire).



	<p><u>Les débits d'exhaure instantanés maximaux estimés pour cette fouille présentent une gamme de valeurs s'étendant de 28 à 83 m³/h, selon la perméabilité retenue pour les dépôts morainiques argileux dans lesquels sera fiché le dispositif de soutènement.</u></p> <p><u>L'ensemble de ces conclusions seront mises à jour et entérinées à l'issue du suivi continu des niveaux piézométriques actuellement réalisé par SAGE Ingénierie sur la zone de projet. Les impacts et débits d'exhaure seront ainsi affinés et mis en corrélation avec les solutions techniques retenues.</u></p>
Assurances	<p>Le bureau d'études AQUÉO est titulaire du contrat d'assurance de responsabilité civile et d'assurance décennale, souscrit auprès de la société AXA France et L'AUXILIAIRE.</p>

2. Références

Pour cette mission, l'ensemble des rapports et données d'étude transmis par le maître d'ouvrage / l'équipe de maîtrise d'œuvre ont été exploités par nos soins.

Ces documents et sources de données ainsi utilisés sont notamment listés ci-après :

Titre du document	Type de donnée	Référence	Auteur	Date de publication ¹
Estimation des niveaux caractéristiques selon les EUROCODES et DTU 14.1 et débit d'exhaure en phase chantier et définitive	Rapport d'étude hydrogéologique après suivi piézométrique	Rapport n° 34CO.19.0074-DTHY- Pièce n°3-Indice B	FONDASOL	24/02/2021
Étude géotechnique G2 phase AVP	Rapport d'étude géotechnique d'avant-projet	Rapport n° PR.34CO.19.0074 – 002 – 1ère diffusion		15/11/2019
CAHIER DE SONDAGES	Annexe au rapport d'étude géotechnique d'avant-projet	Rapport n° PR.34CO.19.0074 – 001 – 1ère diffusion		28/10/2019
COMPTE-RENDU DES INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES (2019-2020)		Rapport n° PR.34CO.19.0074 – 001 – Indice A		23/10/2020
Profil géotechnique		PR.34CO.19.0074 – 004 – 1ère diffusion		15/11/2019
Compte-rendu d'investigations	Minute investigations de terrain	PR.34CO.19.0074 – Trémie Porte de France		02/03/2022
Etude géotechnique G2 - Phase Projet	Rapport d'étude géotechnique de projet	Rapport n° PR.34CO.19.0074 – Pièce n°005 indice A		09/03/2022
Estimation du débit de mise hors d'eau et incidence du rabattement à distance du projet en phase travaux et définitive par modélisation numérique	Rapport d'étude hydrogéologique et de rabattement de nappe	Rapport n° 34CO.19.0074-DTHY- Pièce n°6 – Indice A		04/03/2022

¹ A défaut : date de transmission du document.

Compte-rendu d'investigations – Suivi piézométrique en continu	Rapport de suivi piézométrique	Rapport n° PR.34CO.19.0074-DTHY.007.0		13/04/2023
/	Données brutes de suivi piézométrique	Tableur 34CO.19.0074-DTHY.Suivi piezo		13/04/2023
Mission G5 - Prédimensionnement des ouvrages de gestion des eaux pluviales au stade PRO	Rapport d'étude de gestion des eaux pluviales	Rapport n° GPCO.20.0016-DTHY.001.0		28/12/2020
Diagnostic faune, flore, habitats naturels	Rapport d'étude et de suivi écologique	/	MOSAÏQUE ENVIRONNEMENT	03/2022
Note de pré-diagnostic du Nant de l'Ecra	Rapport de pré-étude de cours d'eau	190666	SCE	19/09/2022
ETUDE GEOTECHNIQUE DE PROJET (mission G2)	Rapport d'étude géotechnique de projet	NT1-0909116	CONFLUENCE	14/12/2009
COMPTE RENDU DE SUIVI PIEZOMETRIQUE	Rapports de suivi piézométrique	PV1-0909116 Indice 0 à indice D	CONFLUENCE	16/02/2010 à 07/10/2010
Prolongement de la ligne de tramway Rapport d'étude géotechnique Missions G11 + G12	Rapport d'étude géotechnique préalable	C/F/08/F/515/I/404	HYDROGEO-TECHNIQUE CENTRE	28/10/2008
Aménagement du rond-point de la Porte de France	Plan topographique	4190049-S248.1	SELARL MONOD et Associés	23/08/2019 et 20/11/2020
CC6052_MOE_CONC_AVP_OA_PLN_0010_A	Plan de masse et coupes AVP	/	INGEROP	08/08/2024
RPXXXXX-ST-GENIS-Porte-France-SAGE-20240614	Projet SIG : implantation des reconnaissances géotechniques	/	SAGE	06/08/2024
Plan d'implantation des reconnaissances	Plan d'implantation reconnaissances géotechniques	20240704-ST-GENIS-Implantation des sondages_A3H RP13xxx		04/07/2024
/	Minute investigations de terrain	COMPTE-RENDU SONDAGE PELLE 23_07_2024		23/07/2024
/		LOG PHOTO SC10		06/08/2024



/		LOG XTGE SC10		31/07/2024
/		PV ESSAI MATSUO1- PM17		23/07/2024
/	Rapport de relevé piézométrique	ST-GENIS-Porte-France- Fiche-releve-initial-PZ		07/06/2024

Tableau 1 : synthèse des documents et données exploités dans la présente étude

Outre ces études locales et ponctuelles, les bases de données usuelles et les sources bibliographiques classiques ont également été exploitées.

3. Contexte du site d'étude :

3.1. Localisation, topographie et environnants :

Le site étudié est le carrefour de Porte de France, implanté sur la commune de SAINT GENIS POUILLY (01 630). Ce rond-point est implanté à l'intersection des routes départementales RD 884, RD 35 et RD 984f (route de Meyrin), de la rue de Genève et de l'accès au CERN.

Le périmètre d'étude occupe un ensemble de parcelles cadastrées ou non (sections BA, AW et AT) et s'étend sur une superficie totale d'environ 8 hectares. L'assiette cadastrale complète du projet est présentée en annexe 9.1 (arrêté préfectoral du 04/07/2024 fixant l'autorisation d'accès aux parcelles privées).

La zone d'étude montre une pente moyenne faible, de l'ordre de 2 %, en direction de l'ouest (nord-ouest sur le secteur élargi). Les altitudes minimales et maximales du site sont comprises entre 442,5 et 444,5 m NGF.

Le site est implanté en bordure de l'un des sites du Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN – site de Meyrin), du golf de SAINT GENIS POUILLY et d'un ensemble de bâtiments d'usage mixte (logements collectifs, maison médicale pluridisciplinaire, Lycée international Ferney Voltaire, etc.). Un champ agricole est également observé à l'ouest (concerné néanmoins par un projet d'aménagement).

A noter que le périmètre d'étude est bordé par la frontière Suisse (canton de Genève).

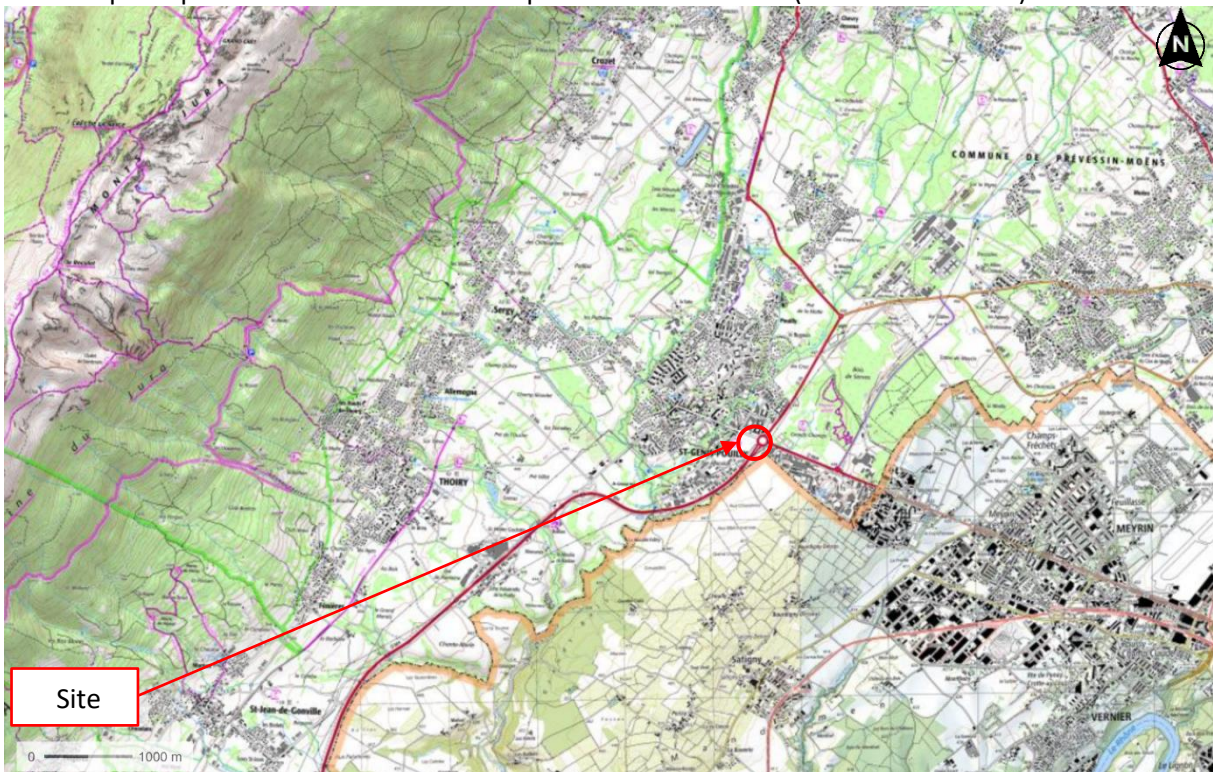


Figure 1 : Localisation générale du site sur fond de carte topographique (Géoportail, IGN)

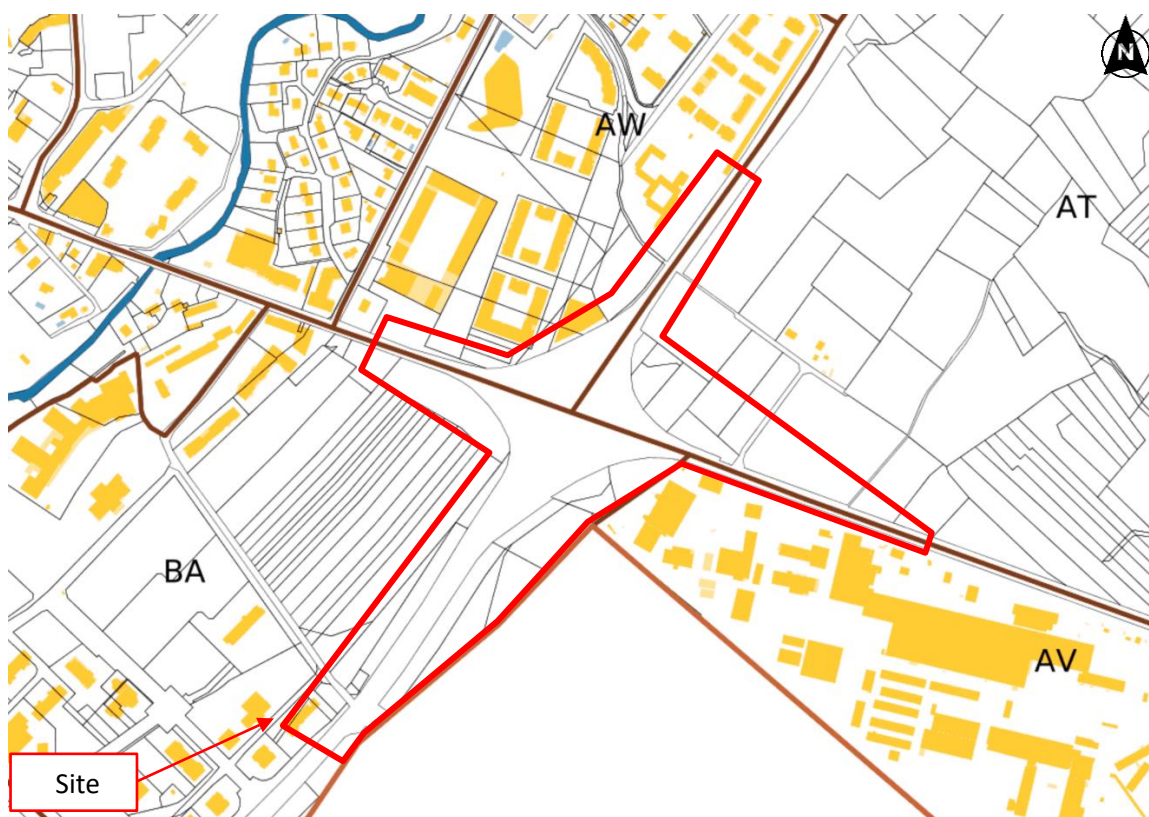


Figure 2 : Localisation de la zone d'étude sur fond de plan cadastral (cadastre.gouv.fr)



Figure 3 : Photographie aérienne du site (Géoportail, IGN)

3.2. Géologie :

3.2.1. Géologie régionale, contexte général :

A l'échelle régionale, le site se trouve au niveau de l'extrémité occidentale de la plaine molassique Genevoise.

Selon les données du BRGM disponibles sur la zone, le site s'inscrit à l'aplomb de terrains de surface notés FGy5 : la nappe de charriage fluvio-glaciaire de St-Genis, Arande, (Galets, graviers, sables, parfois blocs).

Cette nappe s'est déposée en marge du glacier du Rhône, pendant la cinquième étape de déglaciation. Le glacier s'est retiré en amont et divisé en deux langues, de part et d'autre de la colline à substrat molassique de Bernex : la langue principale au Nord, la langue de Norcier au Sud.

Cette étape ne comprend que des alluvions morainiques, glacio-lacustres et fluvio-glaciaires qui constituent la plaine alluviale caillouteuse de Saint-Genis et le fond du chenal de l'Arande, sous les limons superficiels.

Son épaisseur est plurimétrique à Saint-Genis (7,4 m au forage 4-17). Dans le chenal de l'Arande, il est difficile de l'évaluer car les alluvions y sont superposées à l'« alluvion ancienne » de même faciès (épaisseur totale 22 m au forage 1661 de Bardonnex).

Cette nappe fluvio-glaciaire recouvre une moraine limoneuse datant du würm.

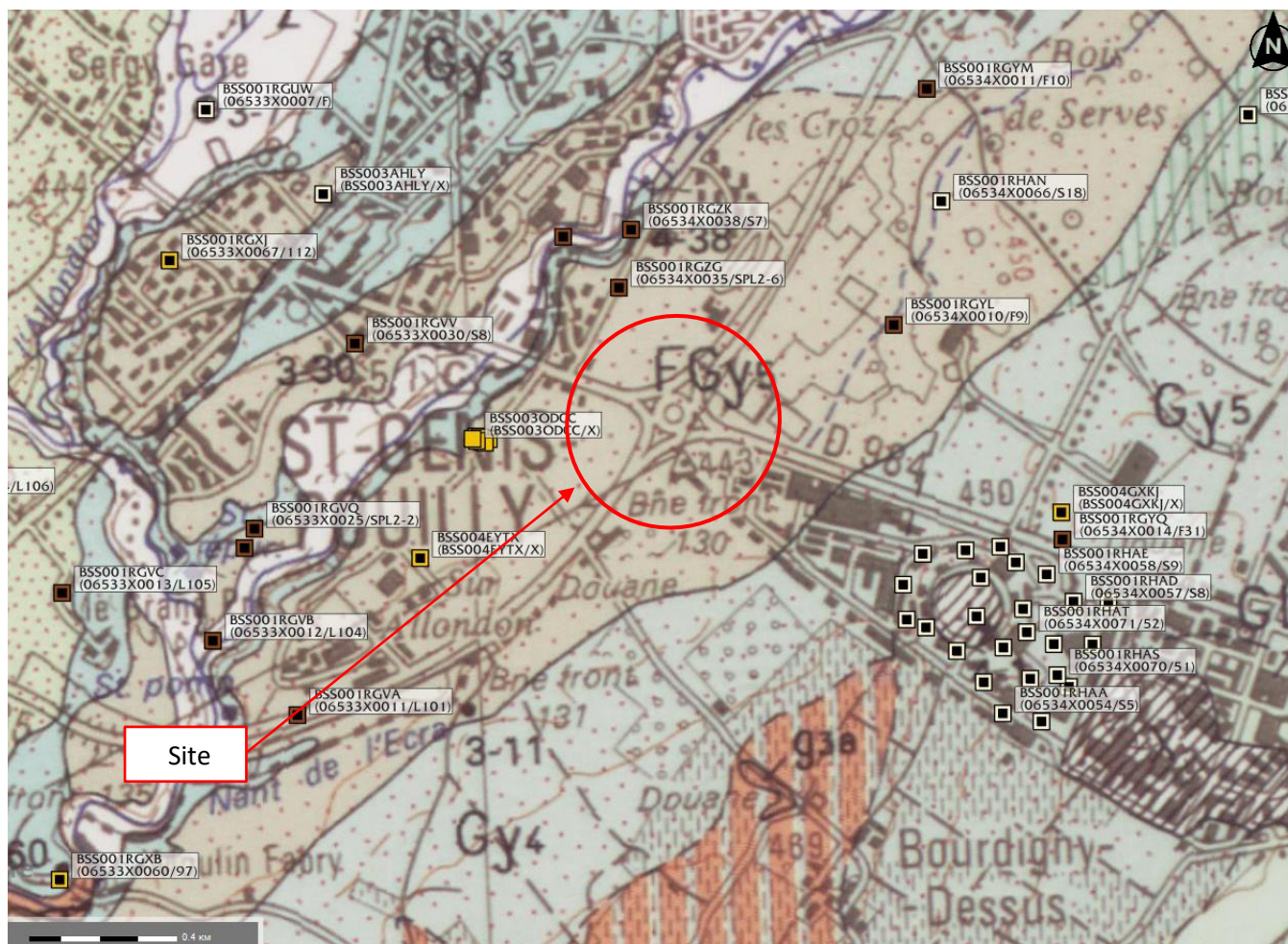


Figure 4 : Extrait de la carte géologique de SAINT JULIEN EN GENEVOIS – n°653 (Infoterre - BRGM)

Également, les cartes géologiques Suisses au 1/25 000 confirment la lithologie des formations de couverture, comme relevant de dépôts glaciolacustres récents indifférenciés (retrait würmien).

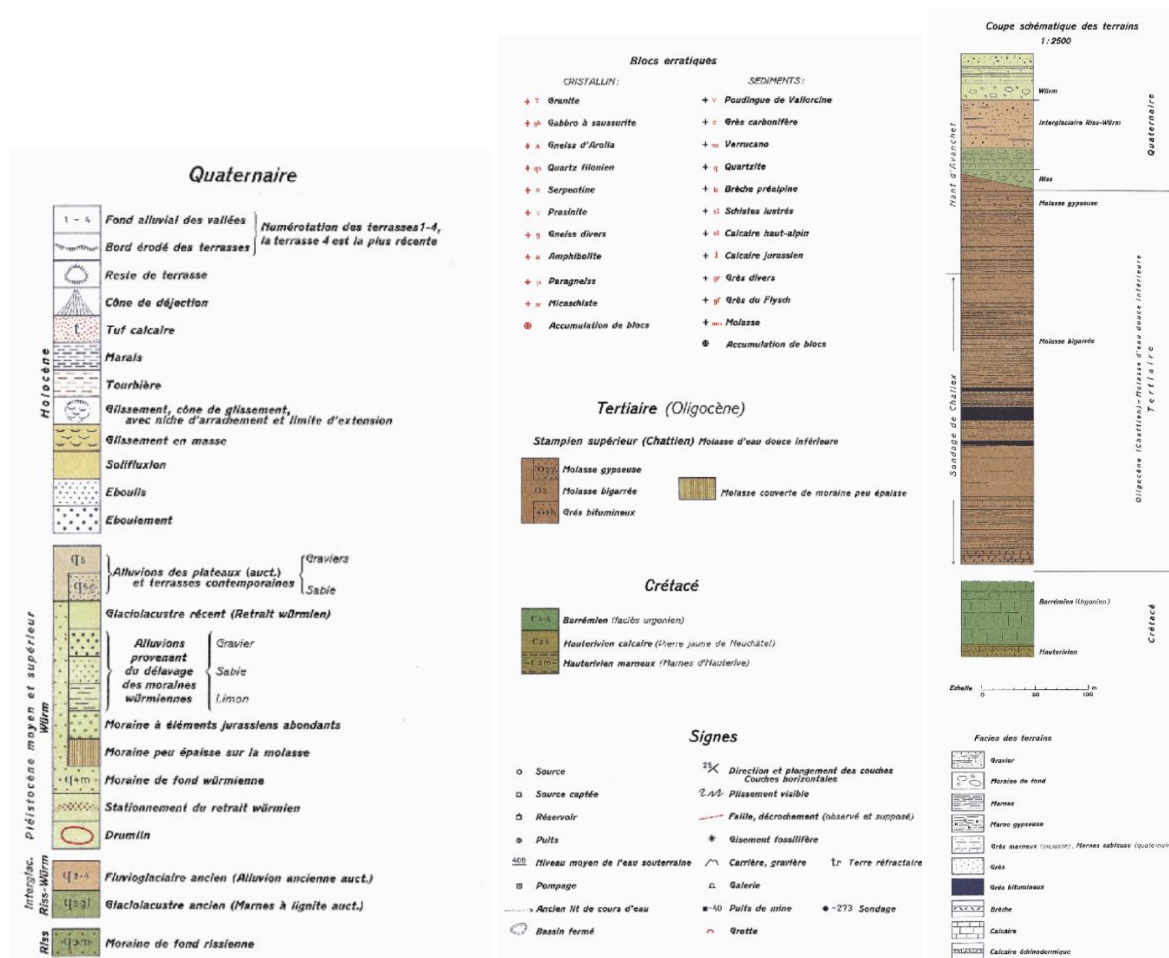
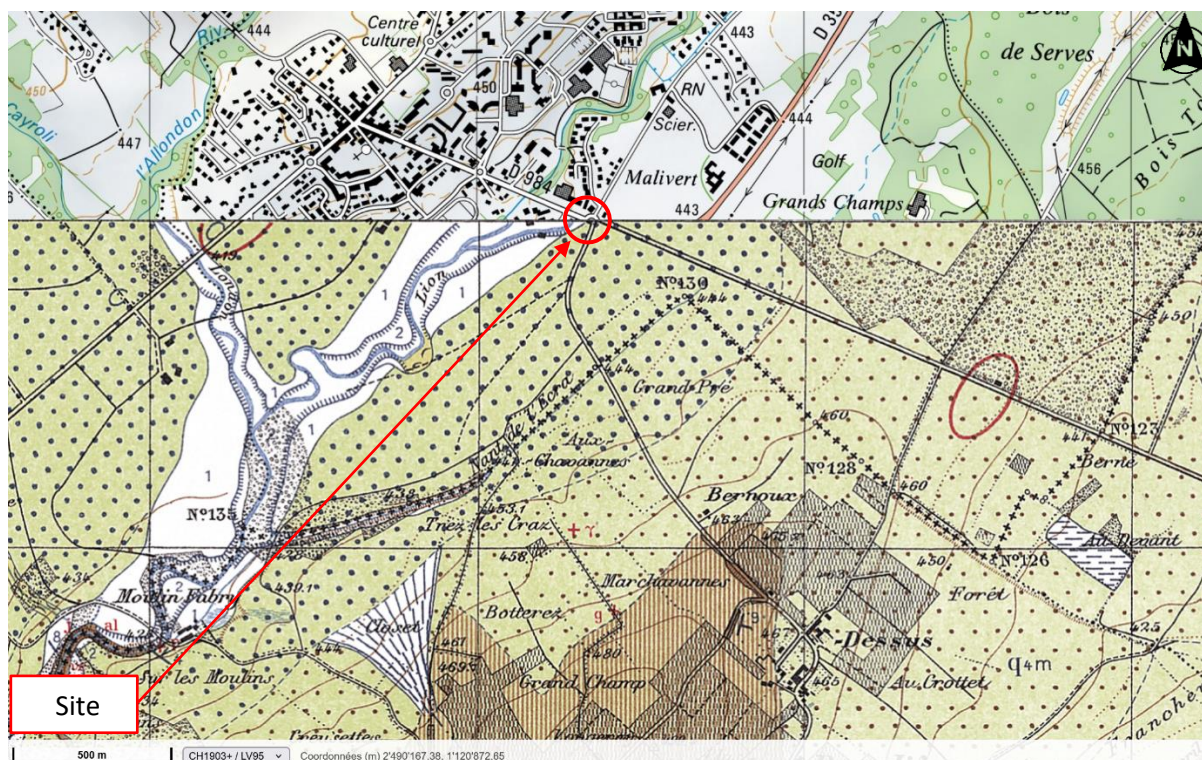


Figure 5 : Extrait de l'atlas géologique de la Suisse (Office fédéral de topographie swisstopo)

La molasse (marne et grès bariolés) sous-jacente (notée g3a) est ensuite rencontrée aux environs de 30 mètres de profondeur sur ce secteur, comme le montrent les investigations réalisées pour le CERN (sondage BSS001RGZG ci-après).

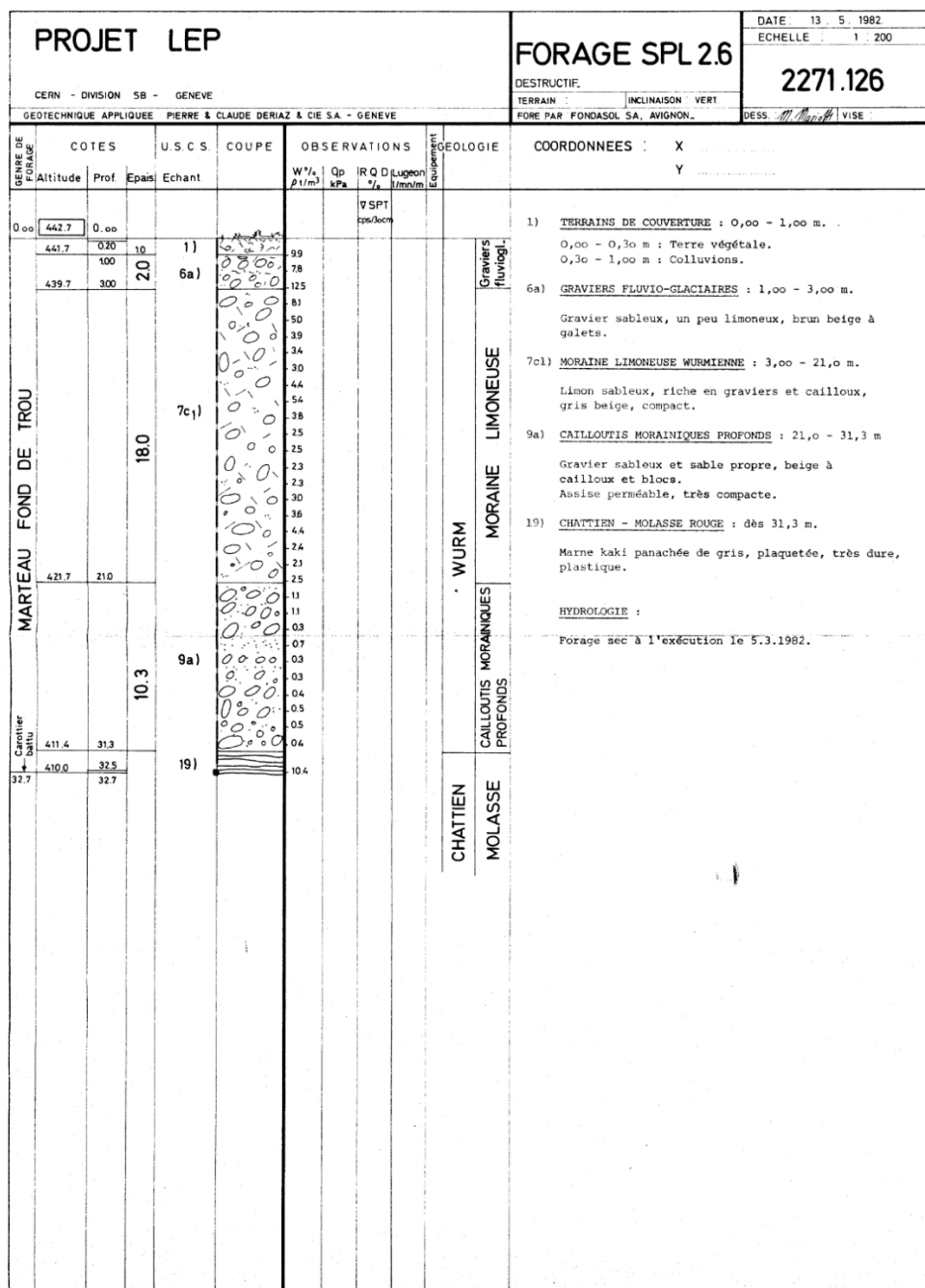
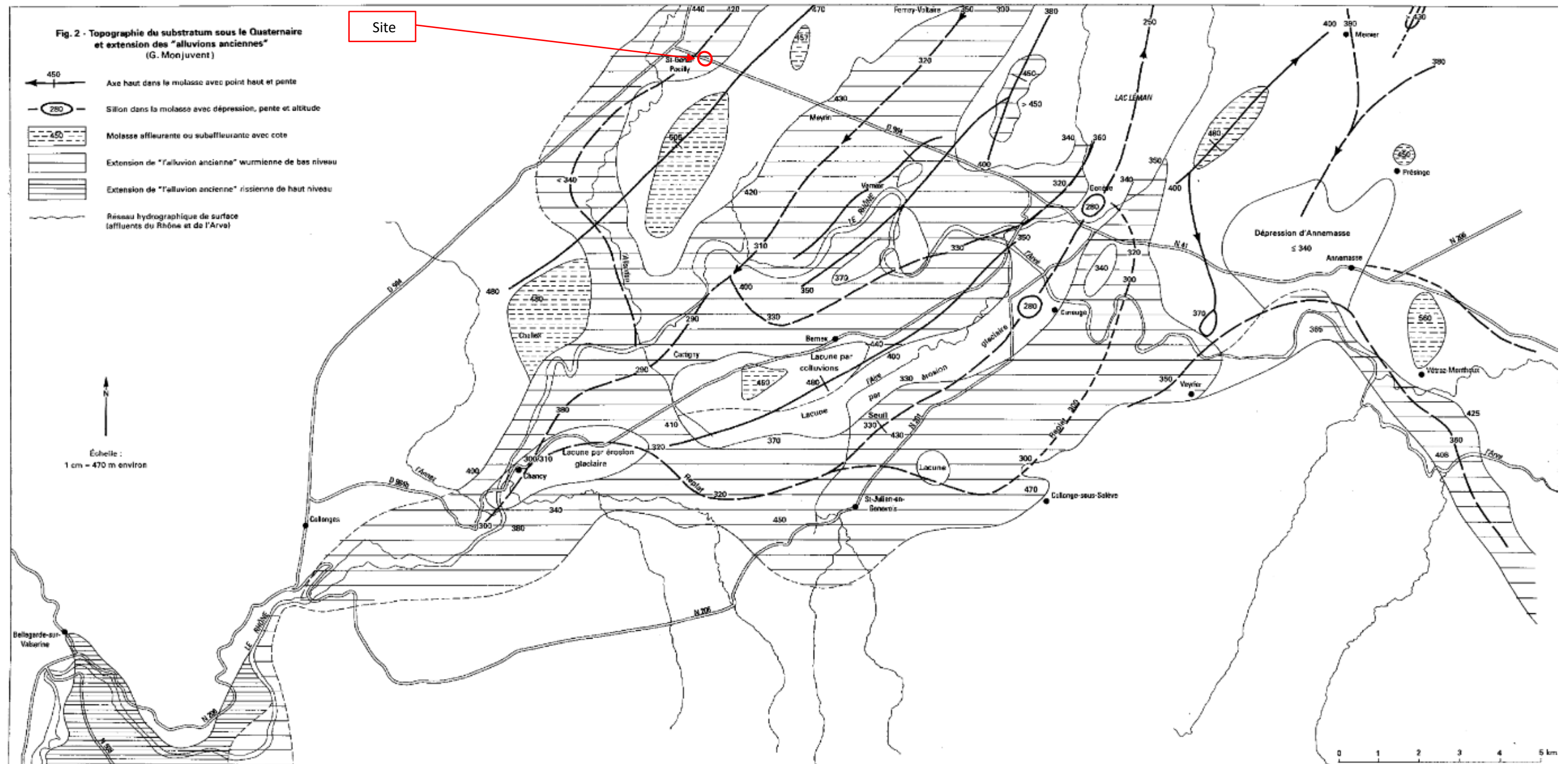


Figure 6 : Extrait de la coupe géologique de chantier du sondage BSS001RGZG voisin (Infoterre - BRGM)

On notera que le sillon de surcreusement de la molasse au niveau de SAINT GENIS POUILLY suit le même axe que lit actuel de l'Allondon / du Lion, au voisinage ouest du périmètre d'étude (« substratum » molassique < 420 m_{NGF}). Son pendage suit ensuite globalement le sens d'écoulement de ces cours d'eau (nord-est / sud-ouest).



Pour les terrains plus profonds, les données Suisses font état de nombreuses reconnaissances, en lien avec l'hydrogéologie et la géothermie. On notera spécifiquement la présence d'un sondage de reconnaissance de 745 m au voisinage proche de la zone d'étude (2,2 km au sud / sud-est), fournissant des informations sur la géologie profonde de la zone.

Sa coupe détaillée est présentée en annexe 9.2.

Les données exploitables des sondages profonds de la BSS (BRGM) ne diffèrent pas des informations fournies par ce sondage.

Ainsi, il est constaté que les formations de couverture, d'une épaisseur inférieure à quarante mètres sur ce secteur reposent sur des molasses bariolées (terrains Oligocène marno-gréseux), d'une puissance d'environ 300 mètres ; qui s'appuient elles-mêmes sur des formations calcaréo-marneuse, d'une puissance supérieure à 400 mètres.

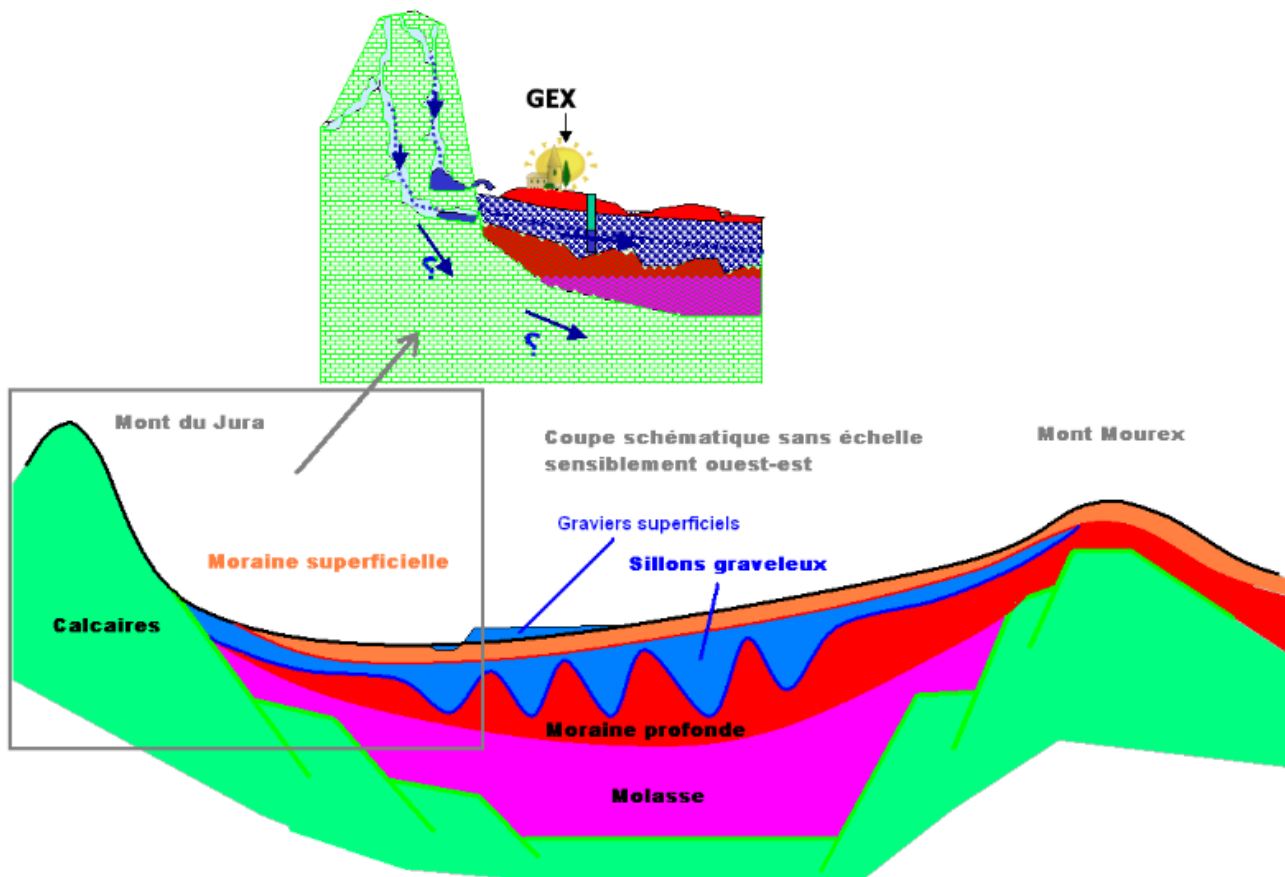


Figure 8 : Coupe géologique / hydrogéologique simplifiée du pays de Gex (CCPG / CPGF)



3.2.2. Géologie locale, contexte spécifique :

Un ensemble d'études géotechniques a été réalisé par le passé sur la zone d'étude et permet d'obtenir une bonne définition / complétude du modèle géologique issu de la bibliographie.

L'implantation des reconnaissances de terrain (pénétrètres, forages et sondages à la pelle mécanique) de SAGE Ingénierie, FONDASOL, CONFLUENCE et HYDROGEOTECHNIQUE est ainsi présentée sur le plan de la page suivante.

A noter : les rapports de CONFLUENCE et HYDROGEOTECHNIQUE ne renseignant pas de coordonnées géographiques précises pour chaque point, nous avons simplement procédé au recollement des investigations sur la base des plans d'implantation. La localisation de ces points est donc sujette à une potentielle marge d'erreur spatiale.

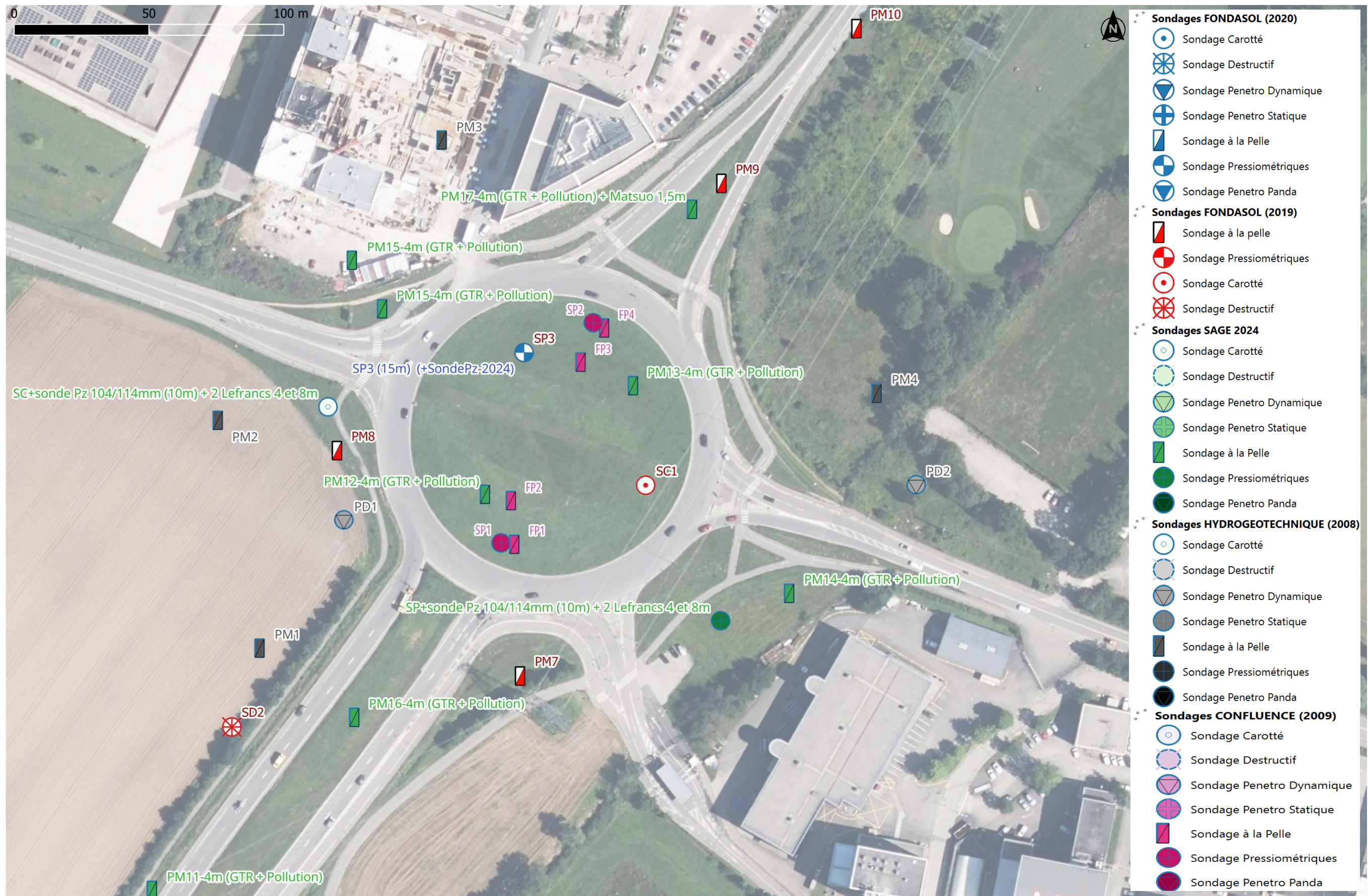


Figure 9 : Plan de synthèse des investigations géotechniques réalisées sur le périmètre d'étude

L'étude d'HYDROGEOTECHNIQUE synthétise pour ce secteur (ouest – PM1 à PM4) la lithologie suivante (selon l'ordre stratigraphique des terrains rencontrés) :

- Couche 0 et 1a : limons marrons avec parfois quelques galets et cailloux (0,4 à 0,8 m d'épaisseur) ;
- Couche 1b : limons marrons à galets et cailloux (0,3 à 0,4 m d'épaisseur) ;
- Couche 2a : sable limoneux beige à blocs, galets et cailloux (0,7 à 1,6 m d'épaisseur) ;
- Couche 2b : sable gris à blocs, graviers, galets et cailloux (1,4 à 1,8 m d'épaisseur) ;
- Couche 3 : argile grise à passées sableuses / cailloutis ponctuel (1,1 à 2,2 m d'épaisseur jusqu'en fin de sondage).

Les marnes et grés bariolés (Oligocène) n'ont pas été recoupés par les sondages (< 3,5 m/TN).

L'étude du bureau CONFLUENCE (ensemble des investigations situées au centre de la zone du projet actuel) montre la succession lithologique suivante :

- « Remblais de surface » prenant la forme d'une couche de terre végétale (0,2 m d'épaisseur) reposant sur une strate de limons marrons / beige plus ou moins graveleux (0,4 à 1,8 m d'épaisseur) ;
- Grave et graviers sableux à limoneux beiges associés au faciès FGy5 (1,0 à 4,4 m d'épaisseur) ;
- Argiles grises glacio-morainique (1,1 à 4,5 m d'épaisseur) ;
- Argiles marneuse glacio-morainique (épaisseur d'environ 7,0 m jusqu'en fin de sondage).

Les marnes et grés bariolés (Oligocène) n'ont pas été recoupés par les sondages (< 14,5 m/TN).

L'étude G2 de FONDASOL réalisée pour le projet initial de trémie routière (seuls les sondages SC1, SC5, SP3, PM7, PM8 et PM9 sont implantés au droit de la présente zone d'étude) montre la succession lithologique suivante :

- Terre végétale de couverture ;
- Remblais limono-sableux à sableux avec présence ponctuelle de graves anguleuses, d'argiles et de débris anthropiques (0,4 à 2,3 m d'épaisseur). Rencontré depuis le terrain naturel et jusqu'à 441 m_{NGF} en moyenne, sur la zone d'étude ;
- Grave sableuse avec une matrice limoneuse à argileuse (1,8 à 3,8 m d'épaisseur). Rencontré jusqu'à 438 m_{NGF} en moyenne ;
- Argiles compactes avec faciès légèrement sableux et graves subanguleuses ponctuellement (épaisseur de 10,5 à 13,8 m). Rencontré jusqu'à 423,5 m_{NGF} en moyenne et sur la zone d'étude ;
- Marnes sableuses grises à bariolées et grès oxydés ponctuellement jusqu'en fin de sondage (25 m/TN).

La coupe stratigraphique transversale suivante avait ainsi pu être produite (selon un axe orthogonal au projet actuel) :

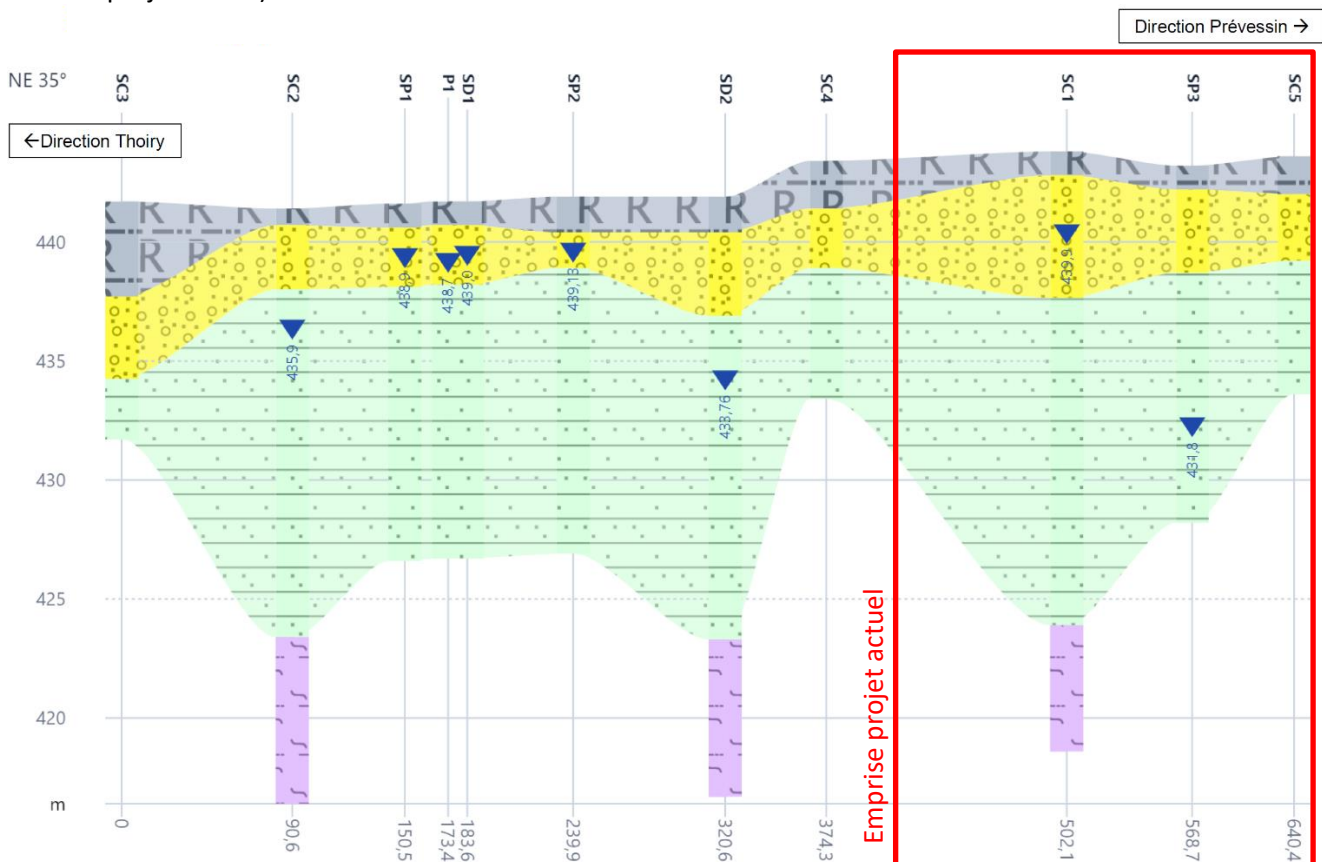


Figure 10 : Profil stratigraphique nord-est / sud-ouest établi en G2 PRO (FONDASOL)

A ce jour, les dernières reconnaissances de SAGE Ingénierie, menées dans le cadre de l'étude géotechnique pour le présent projet montrent les terrains suivants :

- Terre végétale de couverture ;
- Limons sableux à sablo-graveleux sur la moitié des sondages (0,9 à 2,2 m d'épaisseur) ;
- Grave sableuse roulée à matrice limoneuse plus ou moins présente (1,3 à 3,3 m d'épaisseur) ; Observation de passées sableuses ponctuellement (sondages nord-ouest), après 3,1 m/TN ;
- Sable fin à moyen, compact, gris et légèrement limoneux avec présence de cailloutis (6,0 à 10 m/TN) puis passée franchement graveleuse en fin de sondage carotté.

L'ensemble des investigations menées se montre donc homogène et fait état de lithologies cohérentes pour l'ensemble des études réalisées : limons de couverture (2 m), grave sablo-limoneuse (5 m) puis argiles ou argiles sablo-graveleuses sur environ 10 à 15 mètres (marnes et grès bariolés à une profondeur supérieure à 20 mètres/TN).

Il convient également de noter une hétérogénéité de faciès marquée suivant le secteur investigué (y compris à des échelles décamétriques), avec des passées caillouteuses / sableuses locales non négligeables.

3.3. Hydrogéologie :

3.3.1. Hydrogéologie régionale :

La masse d'eau de premier niveau (concernée par le projet) correspond au Domaine sédimentaire du Genevois et du Pays de Gex (formations graveleuses sur molasse et/ou moraines peu perméables) (FR DG 517). Cette masse d'eau est de type « imperméable, localement aquifère » et se montre majoritairement affleurante (surface totale de 296 km²).

Emprise et caractéristiques générales :

Géographiquement, la masse d'eau correspond à la plaine de Gex et du Genevois.

Elle s'étend de la frontière franco-helvétique du lac Léman à la Grande Côte de Bonmont au nord jusqu'au pays des Usses au sud.

La masse d'eau se prolonge, à l'ouest, au versant oriental du Mont Jura et, à l'est, à la bordure occidentale du Mont Salève et au cours d'eau de l'Arve.

La formation molassique est présente au niveau de la dépression séparant les Alpes du Jura. Elle est constituée par une alternance de matériaux gréseux et marneux pouvant atteindre des épaisseurs importantes (jusqu'à 100 m). Cette molasse tertiaire dans le domaine spécifié n'est pas aquifère, sauf très localement sur une tranche de 1 à 2 m de puissance au contact du Quaternaire (frange d'al-tération assimilable aux formations quaternaires qui la surmontent).

Elle est recouverte par des dépôts quaternaires pouvant atteindre une épaisseur importante au niveau de sillons profonds creusés dans la molasse. Ces sillons ont été remplis par deux couches morainiques entre lesquelles sont présentes des alluvions fluviales et fluvio-glaciaires (sables, graviers, galets et blocs). Les couches morainiques peuvent comprendre aussi des interstades avec des matériaux fluvio-glaciaires. La moraine inférieure est attribuée au Riss tandis que la moraine supérieure est attribuée au Würm. Les alluvions présentes entre ces deux moraines sont souvent appelées « alluvions anciennes » (sillons fluvio-glaciaires) par opposition aux alluvions récentes des vallées actuelles du Rhône et de l'Arve. Ces alluvions fluvio-glaciaires sont les principaux aquifères du secteur. Elles font l'objet de masses d'eau à part entière (FRDG231 et FRDG235).

Cette molasse très aquifère repose sur les terrains secondaires (formations jurassiques et crétacées).

A part les sillons fluvio-glaciaires, les magasins aquifères de la masse d'eau sont les alluvions fluviales, principalement les alluvions du Rhône et, dans une moindre mesure, les couches morainiques.

La nappe alluviale du Rhône constitue un système aquifère particulier dont les caractéristiques et le fonctionnement dépendent fortement des anciens tracés du fleuve. Ces alluvions récentes et terrasses fluviales sont classées en trois terrasses à 370, 360 et 340 m_{NGF}. Elles ont particulièrement été étudiées dans la zone de Pougny. Les alluvions récentes du Rhône présentent deux niveaux graveleux aquifères : l'un superficiel de 0 à 15 mètres d'épaisseur et l'autre, plus profond, entre 20 et 35 mètres de profondeur.

Les couches morainiques les plus détritiques peuvent accueillir des aquifères locaux. Elles sont souvent perchées et très sensibles aux étiages.

Interfaces et relations avec les autres masses d'eau :

Les limites géologiques de cette masse d'eau sont les suivantes :

- Limite nord : Frontière franco-helvétique ;
- Limite est : Lac Léman – drainage ;
- Limite ouest : Calcaires et marnes jurassiques - Haute Chaine du Jura, Pays de Gex et Ht Bugey - BV Ht Rhône (FRDG148) – alimentation ;
- Limites sud et est : Formations variées de l'Avant-Pays savoyard dans le BV du Rhône (FRDG511) - aucune relation
- Toit de la masse d'eau : non concerné
- Substratum de la masse d'eau : Calcaires jurassiques sous couverture du Pays de Gex (FRDG208) - drainage possible.

Masses d'eau présentes sur la masse d'eau :

- Formations fluvio-glaciaires nappe profonde du Genevois (FRDG235) – drainage ;
- Formations fluvio-glaciaires nappe du Pays de Gex (FRDG231) – drainage.

Recharge, alimentation et exutoires :

L'alimentation des aquifères présents sur cette masse d'eau provient des apports des versants calcaires du Mont Jura, des précipitations sur l'impluvium et des apports très localisés de certains cours d'eau (l'Allondon, la Thoiry, le Lion, ect). La pluie efficace est de l'ordre de 800 mm/an.

Les débits spécifiques (Qs) des cours d'eau à l'étiage (août) sont les suivants :

- Qs (Allondon) = 6,5 l/s/km² à Saint-Genis-Pouilly (01) ;
- Qs (Allondon) = 36,3 l/s/km² à Echenevex (01) ;
- Qs (Aire) = 2,4 l/s/km² à Saint Julien en Genevois (01).

Les exutoires principaux des aquifères présents sur cette masse d'eau sont les sillons fluvio-glaciaires et les cours d'eau (dont le Rhône in fine).

Piézométrie et hydrodynamique :

Globalement, les eaux souterraines contenues dans les aquifères alluviaux s'écoulent dans le même sens que le réseau hydrographique associé.

Une carte piézométrique du secteur est disponible auprès de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée. Celle-ci est présentée en annexe 9.3 et montre un niveau de nappe situé entre 450 m_{NGF} à l'amont du site et 425 m_{NGF} à l'aval (sillon jouant le rôle d'exutoire au droit du lit du Lion). L'écoulement serait ainsi orienté de l'est / sud-est en direction de l'ouest/nord-ouest.

La butte molassique sur laquelle est implantée le site mitoyen du CERN fait office de « ligne de partage » locale des eaux souterraines, entre le versant est (site) et le versant ouest (MEYRIN).

Le battement moyen de la nappe est de 1 mètre sur les 5 bassins versants. Les forts battements se trouvent en pied de butte molassique (Peissy-Chouilly battement de 2 à 4 mètres) et en pied de versants calcaires (battements de 3 à 6 m vers Mont Mourey, Mont du Jura).

Les caractéristiques hydrodynamiques des formations « aquifères » présentes sont citées ci-après :

- Pour les alluvions récentes du Rhône
 - Perméabilité : 2 à 5.10⁻³ m/s
 - Transmissivité : 3 à 6,5.10⁻² m²/s
- Pour les moraines / la molasse altérée :
 - Perméabilité : 0,1 à 10.10⁻⁵ m/s

Vulnérabilité et enjeux :

La couverture de la masse d'eau est spatialement très hétérogène - de nature argilo-limoneuse (épaisseur de 0,2 à 1,5 m).

De même, la zone non-saturée (épaisseur moyenne comprise entre 5 et 20 mètres, perméabilité de l'ordre de 10⁻⁶ à 10⁻⁸ m/s pour les lentilles argileuses) se montre spatialement très hétérogène - de nature graveleuse à argilo-limoneuse et d'épaisseur variable (comprise entre 0 et 30 m).

La vulnérabilité de la masse d'eau est donc très variable spatialement, élevée au niveau des alluvions récentes, notamment au niveau des alluvions du Rhône (couverture inexistante) et faible sur les autres aquifères de la masse d'eau, selon les épaisseurs et qualités de recouvrement.

L'intérêt écologique de la masse d'eau est faible. A noter la présence de quelques zones protégées mais d'affluence peu significative.

Les réservoirs sont exploités quasi-exclusivement pour l'alimentation en eau potable (nombreux ouvrages AEP). L'utilisation de la ressource en eau pour des fins utilisations industrielles reste faible. Tandis que les utilisations agricoles (connues) sont quasi inexistantes.

Répartition de l'utilisation : AEP : 95 % ; Industriel : 4 % ; Irrigation : 1 %

Les champs de captage AEP de Pougny (pour la CCPGex) et le futur champ de captage AEP de Matilly (pour la CCGenevois) qui captent les alluvions du Rhône contribueront à terme à environ 50% de l'AEP de ces deux collectivités.

L'état quantitatif et chimique de la masse d'eau souterraine sont considérés comme bons (période 2006-2011).

Les dernières données de suivi de l'agence de l'Eau Rhône Méditerranée sur la commune de POU-GNY (exutoire de la masse d'eau) sont également du même ordre :

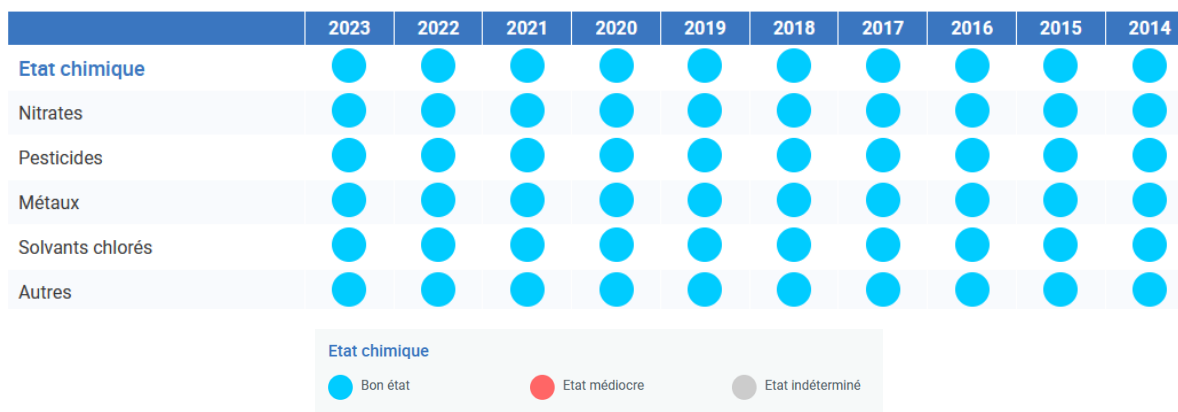


Figure 11 : Etat chimique de la masse d'eau FRDG517 au puits de POU-GNY (SIE AE RM – Eau France)

Enfin, la notice de la carte géologique de SAINT JULIEN EN GENEVOIS relève que dans le bassin Genevois, l'extension des nappes souterraines principales est dictée par la morphologie du toit de la molasse à la fin du Tertiaire. En particulier, les nappes d'eau sont contrôlées par la géométrie des sillons : les anciens talwegs peuvent atteindre la cote 300 m. Les nappes ont des axes sud-ouest / nord-est sauf celle de l'Allondon qui est nord-ouest / sud-est (voir schéma ci-après).

Dans la topographie, les sillons sont peu marqués, étant presque entièrement comblés par les formations glaciaires quaternaires.

Les aquifères les plus productifs sont des graviers sableux à lentilles de sable, limons et argiles à blocs. Localement, ils comportent des niveaux à ciment de calcite donnant des bancs de poudingues. La perméabilité de Darcy est ainsi très variable : en moyenne elle s'élève à $1 \text{ à } 2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ mais peut atteindre $5 \cdot 10^{-7}$ à $3 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$.

Depuis le siècle passé la formation aquifère est dénommée « alluvion ancienne » bien qu'on y trouve de nombreux cailloux striés d'origine glaciaire. Ce n'est donc pas une véritable formation fluviale. Elle est généralement recouverte par des argiles qui diminuent l'infiltration efficace des eaux météoriques, mais présentent l'avantage d'une protection naturelle, en cas de fuites de produits pétroliers ou de pesticides agricoles.

La nappe de l'Allondon débute à la confluence de l'Allemogne (aval proche du site). En aval, la rivière alimente la nappe à travers les alluvions récentes reposant sur l'« alluvion ancienne ». La nappe n'est exploitée qu'en période sèche, par le puits de Russin.

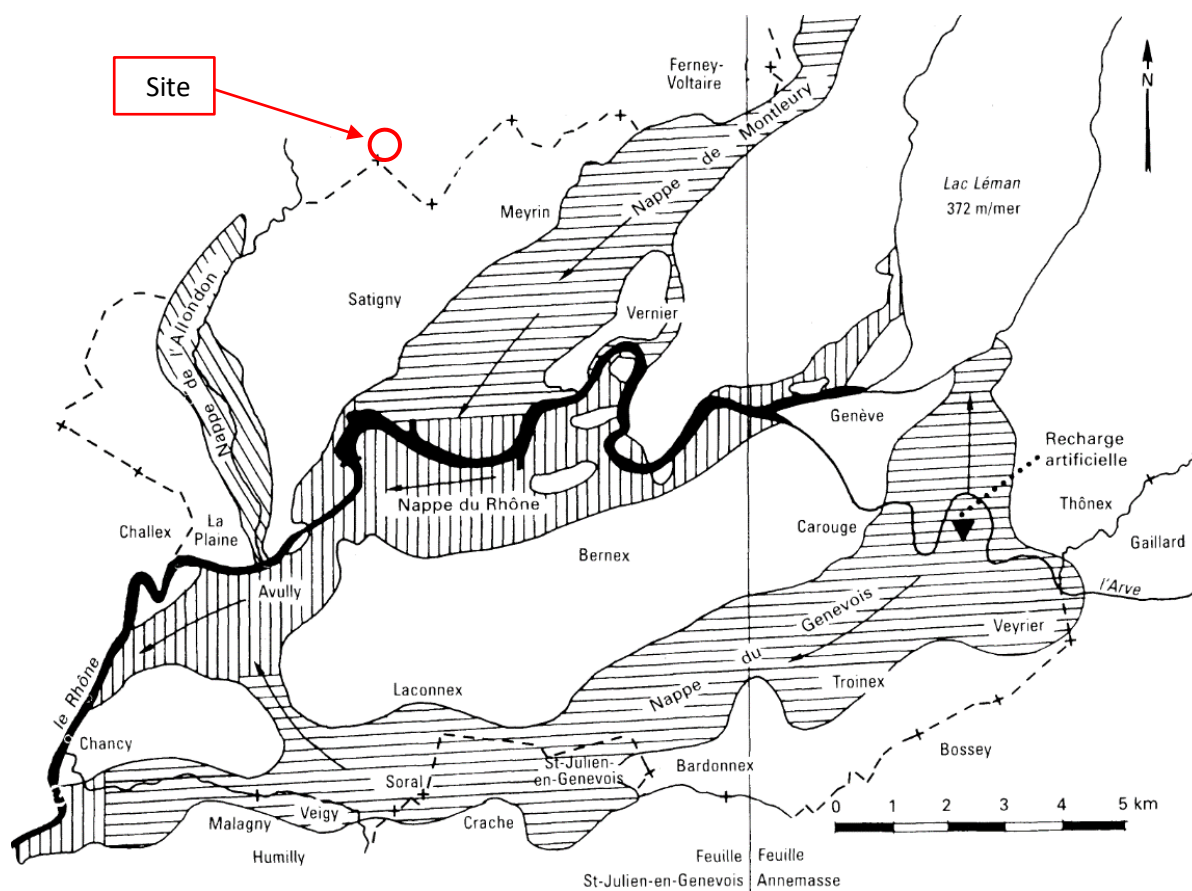


Figure 12 : Schéma du fonctionnement hydrogéologique régional (notice de la carte géologique n°653 – BRGM)

3.3.2. Hydrogéologie locale :

Selon les informations recensées au sein de la Base de données sur le Sous-Sol - eaux souterraines, quatre ouvrages sont référencés dans un rayon de 1 500 mètres autour du site ; tous à l'ouest de la zone d'étude.

Les données disponibles dans la BSS Eau du BRGM sont présentées ci-après :

Code BSS Eau	Profondeur de l'ouvrage (m/TN)	Niveau piézométrique statique (m _{NGF})	Date du relevé	Remarques
BSS001RGUW	14,0	438,6 (1,4 m/TN)	12/12/1967	Ouest du site proche bourg de SAINT GENIS
BSS001RGVP	60,5	425,4 (1,5 m/TN)	23/09/1981	Sud-ouest du site Sondage SPL2-1 CERN Crépine : 1,6 - 11,0 m/TN
BSS001RGVQ	66,5	427,9 (1,6 m/TN)	12/10/1981	Sud-ouest du site Sondage SPL2-2 CERN Crépine : 1,6 – 21,8 m/TN
BSS001RGZF	37,0	Sec à la foration 408,3 (32,4 m/TN) 408,2 (32,5 m/TN)	02/04/1982 14/04/1982 10/05/1982	Nord-ouest du site Sondage SPL2-5 CERN Crépine : 10,0 – 37,0 m/TN

Tableau 2 : ouvrages de la BSS Eau recensé dans un rayon de 1 500 m autour du site (Infoterre, BRGM)

Les ouvrages disposant de données montrent un premier niveau de nappe très proche, situé autour de 1,5 m/TN (soit 441,0 à 443,0 m_{NGF} au droit du site, par extrapolation). Aucun n'est référencé comme ouvrage de pompage exploité.

Ce premier niveau d'eau semble être lié à l'interface entre les terrains de surface limoneux et les moraines plus argileuses sous-jacentes.

De la même manière, le seul niveau d'eau répertorié en « profondeur » fait écho à l'interface entre la moraine würmienne et les marnes et grès bariolés du Chattien.

Ces données bibliographiques sont donc cohérentes avec les cartes piézométrique disponibles (voir paragraphe précédent), mais demeurent néanmoins trop partielles et ponctuelles pour apporter plus de précisions sur le sens d'écoulement ou les niveaux de nappe au droit du site.

A noter que de nombreux autres ouvrages existent mais ne sont pas référencés comme points d'eau (BSS sous-sol). Ces sondages montrent dans leur très large majorité une absence d'eau (sec ou humidité uniquement), y compris les sondages menés au droit du site du CERN, voisin de la zone d'étude. Ces sondages ont été réalisés en grande partie dans les argiles (moraine) ou dans la molasse sous-jacente.

Enfin, il est à noter la présence d'un point d'eau montrant une chronique de suivi longue, au voisinage éloigné du site (commune de PERON).

Ainsi, le piézomètre BSS001RGXM présente les niveaux piézométriques rencontrés sur la période du 31/10/1995 au 21/08/2024. Son évolution est présentée sur le graphique ci-après :

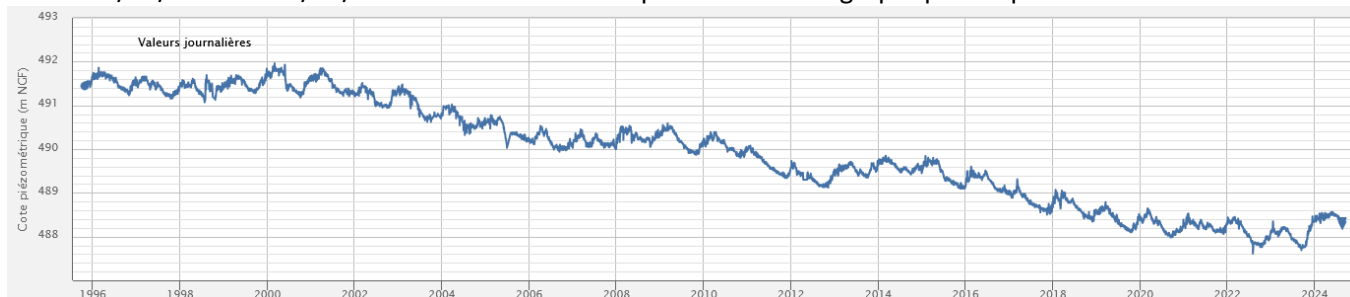


Figure 13 : Evolution de la cote piézométrique dans l'ouvrage BSS001RGXM (SIE, ADES)

Outre une baisse généralisée (- 3,5 m) du niveau au fil du temps (prélèvements trop importants, climatologie défavorable ?) et surtout depuis 2002 ; on peut observer des battements intersaisonniers inférieurs à un mètre et majoritairement de l'ordre de +/- 0,5 à 0,8 m.

On observe également que les périodes de basses eaux ont généralement lieu entre août et octobre tandis que les périodes de hautes eaux portent sur la période de février à mai.

Ceci est cohérent avec les données bibliographiques « régionales ».

N.B. : ces informations restent à considérer avec précaution pour la zone d'étude, attendu l'éloignement du point de mesure par rapport au site (7,2 km), sa position plus proche du versant Jurassien et l'incertitude sur son rattachement à la masse d'eau FRDG231 ou FRDG517 (à la limite entre les deux masses d'eau).

Un autre point de suivi (BSS001QCDZ) est répertorié à 10,2 km au nord du périmètre d'étude (commune de GEX) mais ses fortes variations de niveau au fil du temps (+/- 30 mètres) comme interannuelles (+/- 3 à 6 m) témoignent d'une forte influence anthropique (surexploitation confirmée dans le rapport d'étude d'opportunité de la CCG) et d'une influence marquée des apports karstiques Juras-siens. Il ne sera pas conservé comme digne d'intérêt pour la présente étude.



INGÉROP
Inventons demain

5

SAGE

Actierra
au service du vivant

Lee Sormea

3.3.3. Données d'études hydrogéologiques locales :

De la même manière que la géologie, les eaux souterraines ont fait l'objet d'investigations de terrain au droit de la zone d'étude.

Les études de SAGE Ingénierie, FONDASOL, CONFLUENCE et HYDROGEOTECHNIQUE (se référer au paragraphe 3.2.2) ont ainsi permis de montrer les éléments suivants :

- Les investigations de la société HYDROGEOTECHNIQUE n'ont pas inclus la pose d'ouvrages en nappe (piézomètres ou puits). Seuls les sondages réalisés à la pelle mécanique ont permis la réalisation d'observations hydrogéologiques visuelles et ponctuelles.

Ainsi, les fouilles réalisées sur la zone d'étude (PM3 et PM4) ont montré la présence de venues d'eau à des profondeurs de 3,4 et 2,0 m/TN, dans les sables à galets / graviers situés sous la couche de couverture ;

- Les investigations de CONFLUENCE ont permis d'approfondir les connaissances sur les eaux souterraines du site, avec la pose d'un ouvrage en nappe (piézomètre SP2) et son suivi, ainsi que la réalisation de fouilles à la pelle mécanique. SP2 est implanté au centre du rond-point giratoire.

Aucune des fouilles, réalisées à la pelle mécanique jusqu'à la profondeur maximale de 2,9 m/TN (440,6 m/TN), n'a montré la présence de venues d'eau.

Les niveaux relevés dans le piézomètre SP2 sont les suivants² :

Date	Profondeur des eaux souterraines (m/TN)	Côte altimétrique des eaux souterraines (m _{NGF})
04/12/2009	3,29	440,41
11/02/2010	2,87	440,83
01/04/2010	3,08	440,62
26/04/2010	3,15	440,55
07/06/2010	3,26	440,44
09/08/2010	3,26	440,44
06/10/2010	3,62	440,08

Tableau 3 : synthèse des relevés piézométriques effectués par CONFLUENCE dans le piézomètre SP2

Le battement de nappe sur cette chronique serait faible, de l'ordre de 0,75 m. Les hautes eaux sont observées en fin d'hiver et les basses eaux à l'automne.

N.B. : ces données sont à considérer avec la plus grande prudence car le suivi annuel de l'ouvrage a été réalisé uniquement de manière ponctuelle et selon une fréquence bimestrielle (absence de suivi en continu). Par conséquent, il n'est pas à écarter la possibilité de l'absence de relevé des minimas / maximas « réels » sur cette chronique.

² Le niveau mesuré à date de la foration n'a pas été conservé (non représentatif bien que cohérent).

- Les investigations de terrain de FONDASOL ont porté sur la réalisation de sondages à la pelle mécanique, ainsi que la pose d'ouvrages en nappe crépinés selon différentes tranches (1 puits de pompage : P1, ainsi que 7 piézomètres : SP1, SD1, SP2, SP3, SC1, SC2 et SD2).

Ces ouvrages ont fait l'objet d'essais hydrodynamiques, ainsi que d'un suivi piézométrique automatique, continu sur les périodes 02/2020 - 01/2021 et 02/2022 - 03/2023.

Les fouilles réalisées à la pelle mécanique du 10 au 26 septembre 2019 sur la zone d'étude (PM7 à PM10) et jusqu'à une profondeur de 2,6 m/TN se sont montrées intégralement sèches.

Seul le sondage PM4 a montré la présence de venues d'eau à 2,45 m/TN (438,45 m_{NGF}).

Les données de FONDASOL montrent la présence de deux « nappes » au droit de la zone d'étude (voire 3 en considérant que le premier aquifère peut devenir semi-captif à captif localement) :

- une nappe de surface, dans les graves sableuses rencontrées sous les terrains de couverture. Les côtes relevées dans les différents ouvrages pour ce niveau de nappe sont comprises entre 438 et 440 m NGF (1,5 à 2,9 m/TN) ;

Celle-ci pourrait devenir localement captive en cas de recouvrement par des limons suffisamment étanches. A noter que cette nappe est vraisemblable mais non instrumentée sur la zone du projet actuel ;

- un second niveau de nappe, plus profond et corrélé aux passées sablo-graveleuses de la moraine sous-jacente. Les côtes relevées dans les différents ouvrages (SD2 et SP3) pour ce niveau de nappe sont comprises entre 431 et 438 m NGF (4,9 à 11,4 m/TN).

A noter que l'ouvrage SD2 et l'ouvrage SP3 ne sont pas crépinés sur les mêmes tranches (mise en relation des niveaux de nappe pour SP3) et l'ouvrage SP3 aurait présenté une influence anthropique durant la période de suivi (chantier avec rabattement de nappe au voisinage).

Ces deux niveaux peuvent se confondre en l'absence de couche suffisamment aquiclude les séparant (interface fluvio-glaciaire / glaciaire moins argileuse).

Le piézomètre installé par la société CONFLUENCE a également été relevé par FONDASOL entre le 05/02/2020 et le 28/09/2020, avec une profondeur de nappe comprise entre 3,13 et 3,81 m/TN (440,6 à 439,9 m_{NGF}).

Ainsi, le battement de nappe sur cette chronique (quelle que soit la nappe considérée) serait faible à moyen, de l'ordre de 1,4 à 2,1 m en fonction des ouvrages (hormis SP3, non pertinent).

L'influence de la pluviométrie est très marquée (à fortiori pour la nappe « de surface ») et les battements piézométriques sont corrélés à la montée du niveau du cours d'eau, qui serait en position d'alimentation locale. Le niveau de nappe profond suit la même tendance, avec une inertie plus marquée cependant.

Sur les deux périodes étudiées, les hautes eaux sont observées en janvier et mars, à la suite de pluies importantes. Les basses eaux quant-à-elles sont observées en octobre et septembre, de la même manière que pour les suivis précédents.

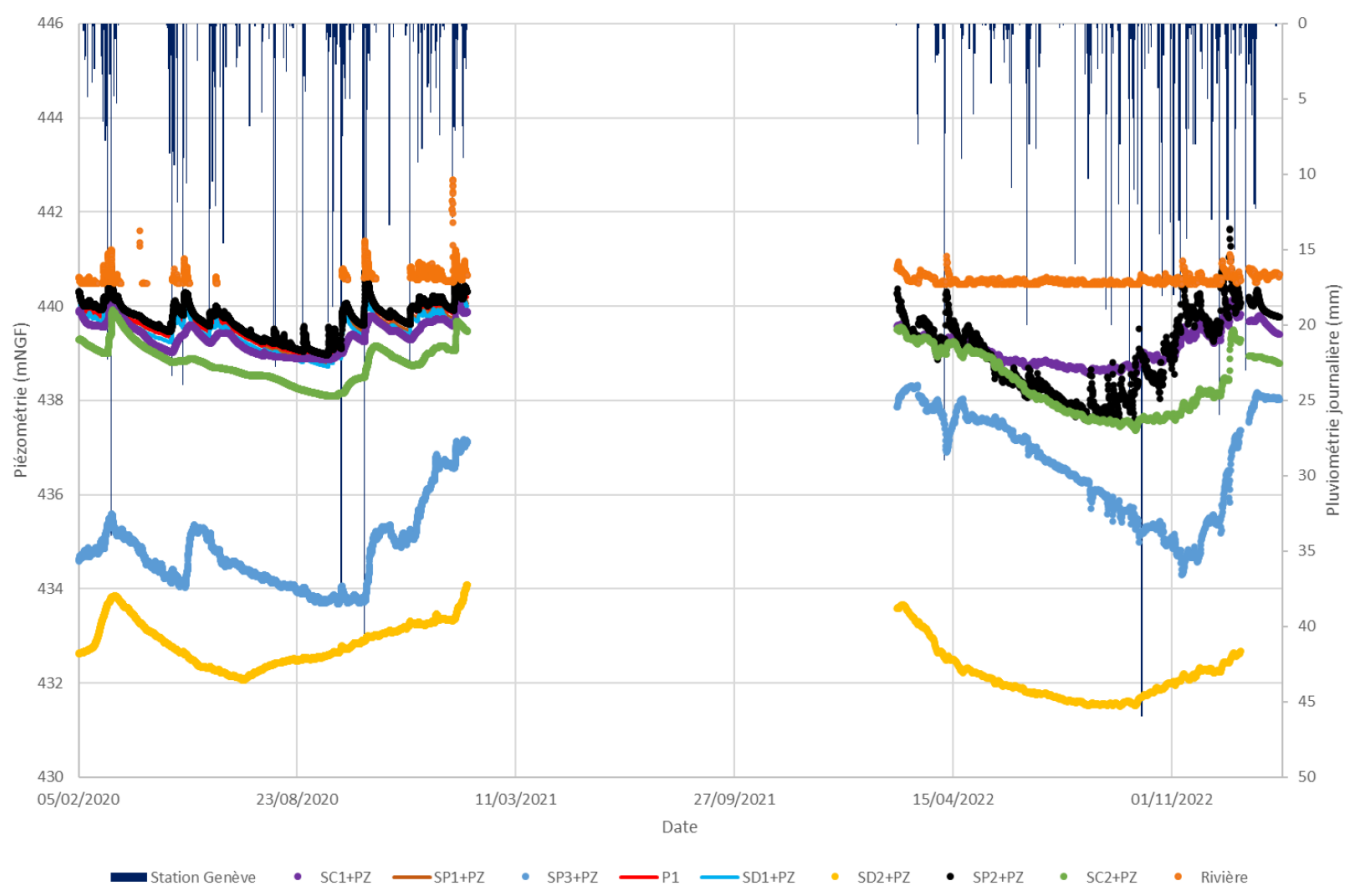


Figure 15 : Suivi piézométrique, du niveau du cours d'eau et pluviométrie sur la zone d'étude (FONDASOL)

Sur la base de ce suivi, les niveaux caractéristiques de nappe ont été déterminés selon la méthode des EUROCODES pour le projet initial et sont les suivants :

	SCI	SC2	PI	SDI	SD2	SPI	SP2	SP3	Max.
	[NGF]	[NGF]	[NGF]	[NGF]	[NGF]	[NGF]	[NGF]	[NGF]	[NGF]
TA	443.8	441.4	441.7	441.7	441.9	441.6	441.9	443.2	
EE :	441.9	441.4	441.7	441.7	435.8	441.6	441.9	441.4	441.9
EH :	441.4	441.4	441.7	441.7	435.3	441.6	441.9	440.9	441.9
EB :	440.0	439.6	440.3	440.2	433.5	440.2	440.5	437.0	440.5

Figure 16 : Niveaux de nappe de référence estimés selon les EUROCODES (FONDASOL)

Pour le centre de la zone d'étude actuelle (SC1 et SP3), il apparaît donc les niveaux de référence suivants :

- niveau accidentel EE de 441,9 m_{NGF} ;
- niveau caractéristique EH de 441,4 m_{NGF} ;
- niveau quasi-permanent EB de 440,0 m_{NGF}.

Les données de basses eaux pour SP3 n'ont pas été conservées pour la suite de l'étude, de manière sécuritaire et en lien avec la variabilité forte du niveau durant le suivi (influence anthropique).

Le sens d'écoulement de la nappe serait orienté du sud-est en direction du nord-ouest, selon un gradient de l'ordre de 2 %.

N.B. : les données étant collectées quasiment en totalité sur une même isopièze, il convient de considérer cette analyse avec précaution.



Figure 17 : Esquisse piézométrique au 05/03/2020 (FONDASOL)

Enfin, les essais de pompage réalisés au voisinage immédiat de la zone de projet actuel (sud-ouest) et des essais d'infiltration de type Matsuo (en fouille à la pelle mécanique entre 1,2 et 1,7 m/TN) ont permis de préciser les perméabilités des formations lithologiques traversées.

Celles-ci sont les suivantes :

- Remblais de couverture sablo-limoneux à sablo-graveleux : $2,0.10^{-5} < K \text{ (m/s)} < 8,0.10^{-5}$.
- Graves limono-sableuses (fluvio-glaciaire sous les limons de couverture) : $2,0.10^{-3} < K \text{ (m/s)} < 3,1.10^{-3}$.
- Argiles sablo-graveleuses (glaciaire) : $1,0.10^{-6} < K \text{ (m/s)} < 3,0.10^{-5}$.
- Argiles limono-sablo-marneuses / marnes profondes (interface molasse bariolée) : $1,0.10^{-7} < K \text{ (m/s)} < 3,0.10^{-6}$.

A noter que les mesures prises au micro-moulinet soulignent le fait que la grande majorité des venues d'eau captées par le puits de pompage (P1) est observée entre 3,1 et 4,8 m/TN (90%).

- Pour conclure, les derniers relevés en date de SAGE Ingénierie concernent les ouvrages existants sur le site d'étude (piézomètres FONDASOL), ainsi que les nouvelles investigations menées en 2024 dans le cadre de la mission G2. Leur implantation figure sur le plan présenté en page suivante.

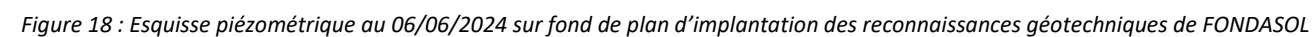
Ces investigations (pour le volet hydrogéologie) ont consisté en la réalisation de :

- 1 sondage destructif avec essais pressiométriques tous les mètres, noté SP1, réalisé à 10m/TN ;
- 1 sondage carotté, noté SC1 (également dénommé SC 2024 dans les documents SAGE), réalisé à 10 m/TN et équipé d'un tube piézométrique 104/114mm crépiné entre 3 et 10 m/TN ;
- la pose de 4 sondes automatiques de mesure placées le 30/08/2024 dans les piézomètres SC1 (2024), SC1(2019), SP3 (2019), SP2 (2019) ;
- 7 sondages à la pelle mécanique, notés PM11 à PM17 et réalisés entre 3,5 et 4,0 m/TN ;
- 1 essai MATSUO dans le sondage PM17 à 1,7 m/TN.

Par ailleurs et lors des différentes visites de site de SAGE, les niveaux d'eau ont été relevés manuellement dans les ouvrages de la zone d'étude. La synthèse des mesures piézométriques manuelles (toutes investigations confondues) figure dans les pages suivantes.

A noter que cette synthèse présente (le cas échéant) les mesures minimales et maximales relevées pour l'ensemble de la chronique de chaque prestataire.

Enfin, une esquisse piézométrique a pu être dressée par nos soins et sur cette base, pour les campagnes de mesure de 2024.



		SP3		SP2 + Pz CONFLUENCE		P1		SC1		SD1		SP2		SC2024		SD2		SC2		SP1	
		m/TN	m _{NGF}	m/TN	m _{NGF}	m/TN	m _{NGF}	m/TN	m _{NGF}	m/TN	m _{NGF}	m/TN	m _{NGF}	m/TN	m _{NGF}	m/TN	m _{NGF}	m/TN	m _{NGF}	m/TN	m _{NGF}
SAGE	06/06/2024	4,82	438,42			2,18	439,52	2,03	441,76	2,12	439,58	2,12	439,77								
	29/08/2024	6,88	436,36					4,8	438,99			2,65	439,24	4,51	438,76	9,92	432	3,55	437,89		
CONFLUENCE	11/02/2010				440,83																
	06/10/2010				440,08																
FONDASOL	08/10/2019	11,41	431,8			2,8	438,9					2,77	439,1							2,7	438,9
	23/07/2020															9,59	432,3				
	28/09/2020			3,81	439,9			4,88	438,9	2,775	438,9							3,32	438,1		
	05/02/2020	8,61	434,6	3,13	440,6	1,57	440,1	3,88	439,9	1,58	440,1	1,48	440,4			9,21	432,7	2,05	439,4	1,45	440,2
	25/01/2021			1,69	442											7,855	434				
	22/02/2022	4,97	438,2															1,9	439,5		
	Niveaux de référence																				
	EE		441,4				441,7		441,9		441,7		441,9				435,8		441,4		441,6
	EH		440,9				441,7		441,4		441,7		441,9				435,3		441,4		441,6
	EB		437				440,3		440		440,2		440,5				433,5		439,6		440,2

Tableau 4 : synthèse des relevés piézométriques manuels des différentes campagnes d'investigation, mise à jour avec les données SAGE du 29/08/2024

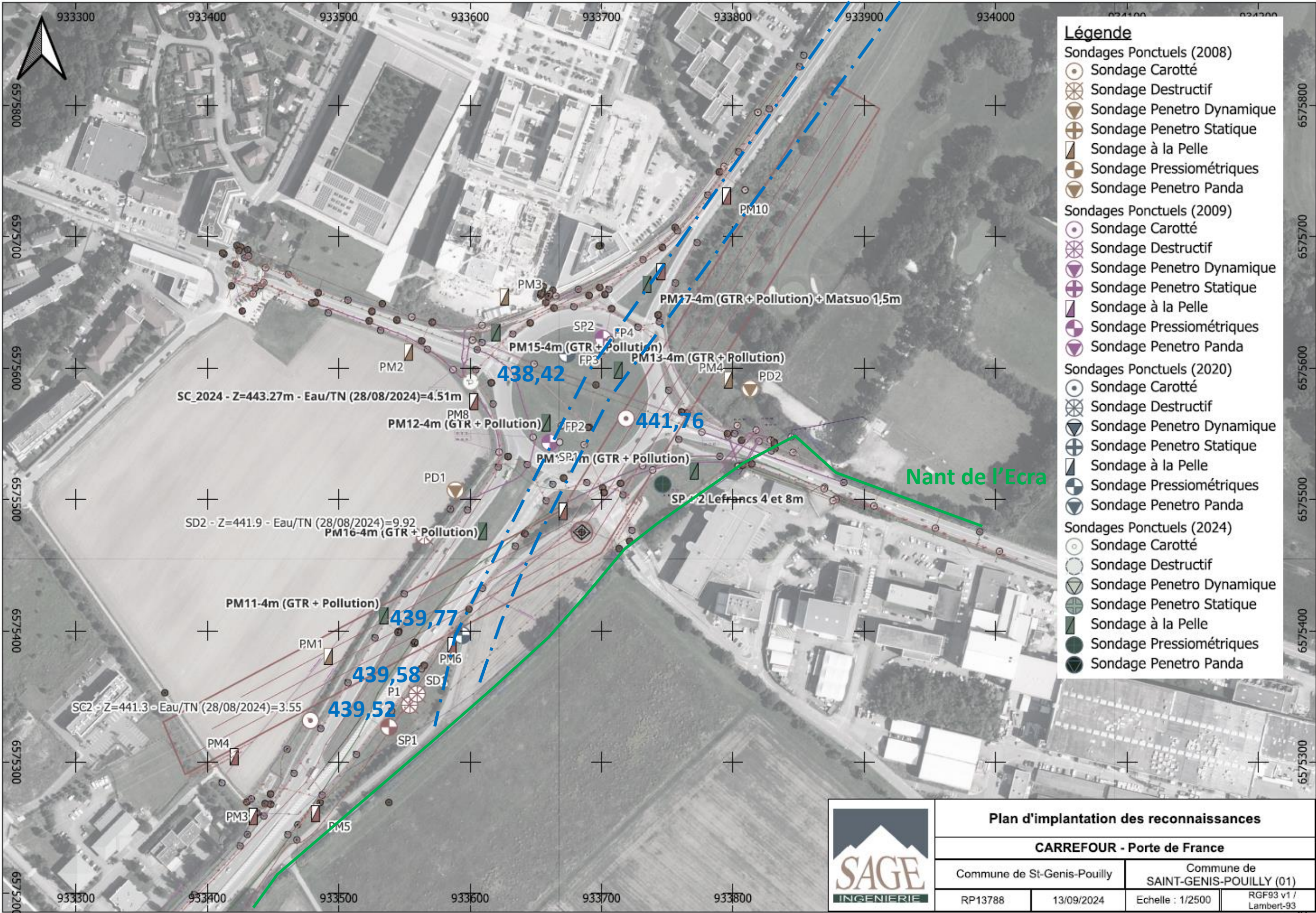


Figure 19 : Esquisse piézométrique au 06/06/2024 sur fond de plan d'implantation des reconnaissances géotechniques SAGE

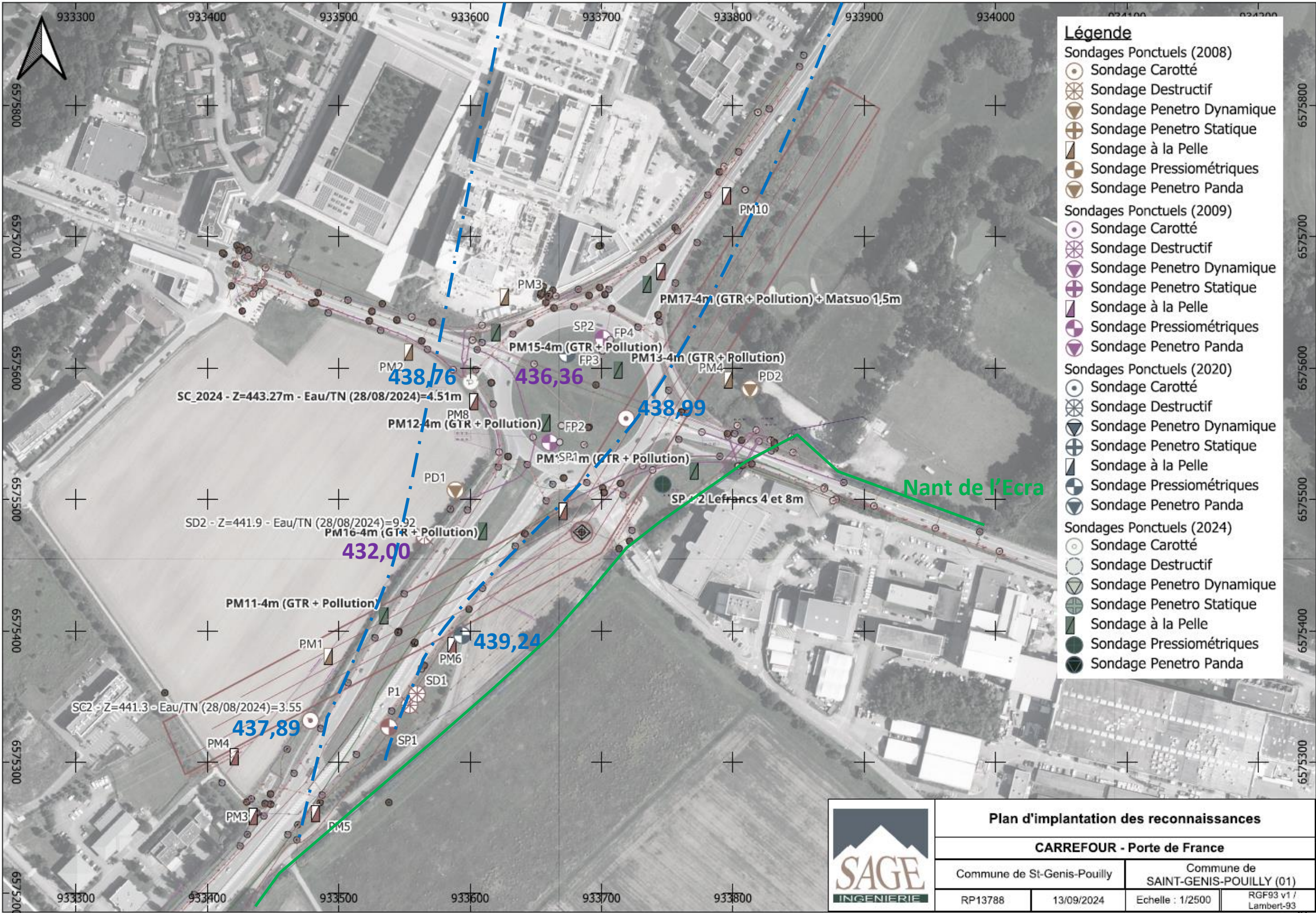


Figure 20 : Esquisse piézométrique au 29/08/2024 sur fond de plan d'implantation des reconnaissances géotechniques SAGE

Attention : concernant la première campagne de levés manuels du 06/06/2024 et de la même manière que pour l'esquisse de FONDASOL, il apparaît que les points de relevé sont quasiment tous implantés selon le même axe d'observation (axe SO/NE du projet initial de trémie routière).

Ces informations piézométriques sont donc à considérer avec prudence, et notamment l'interpolation des axes d'écoulement entre le secteur sud (P1, SP1, SD1) et le secteur nord (SC1, SP3), objet de la présente étude.

La seconde campagne de levés manuels, réalisée en août 2024 montre une meilleure répartition spatiale des points de mesure (orthogonale), une localisation plus proche du nouveau projet cyclable et une bonne cohérence dans les relevés.

A noter que les données de SD2 se montrent cohérentes avec les relevés de FONDASOL et ont vraisemblablement trait à un second niveau de nappe plus en profondeur (formation morainique, environ 10 m/TN). Ce point est donc simplement présenté à titre d'information et n'a pas été employé pour l'interpolation piézométrique de la nappe interceptée.

Également, les relevés au droit de l'ouvrage SP3 semblent montrer une hétérogénéité locale basse vis-à-vis de SC1 et SC2024.

Les chroniques de suivi de l'ancien ouvrage SC2+Pz de CONFLUENCE, au voisinage proche de SP3 (crépiné à un niveau inférieur, dans les argiles) montraient des niveaux d'eau plus élevés et cohérents pour ce secteur (environ 440 m NGF).

Par conséquent, les levés de SP3 n'ont pas été retenus dans l'interpolation en attente de levée de doute sur leur validité (absence de rabattement actif au niveau du bâtiment « maison de santé » à confirmer, étude des chroniques de suivi automatisées). Sinon il constituera, comme l'avait identifié FONDASOL, un second niveau de nappe, plus profond et semi-captif.

Sur la base de ces interpolations, on remarque un sens d'écoulement globalement cohérent avec l'esquisse de FONDASOL pour le secteur nord, objet du présent projet (sud-est vers le nord-ouest).

On observe lors de la seconde campagne (conditions d'eaux moins élevées) un cône d'alimentation prenant une forme d'éventail plus marquée, selon un axe orienté est-ouest. L'alimentation semble moins importante par le vallon de Meyrin / secteur Grand Champs, à contrario de la campagne de juin, logiquement plus influencée par les eaux de surface (Nant d'Ecras) du fait de la forte pluviométrie d'alors.

Le gradient de nappe calculé pour ces levés montre des valeurs comprises entre 2 ‰ pour le secteur du projet (SC1 – SC 2024) et 9 ‰ à 1 ‰ sur le secteur sud (SC1 – SP2). Ces hétérogénéités sont à rattacher à l'aspect localement semi-captif des niveaux aquifères.

L'ensemble de ces informations semble bien corroborer l'interprétation de FONDASOL selon laquelle SP1, SD1, P1 et SP2 seraient liés à un premier niveau de nappe intrinsèquement lié aux eaux de surface ; quand SC1, SC2 et SP3 seraient liés à un second niveau, semi-captif mais néanmoins en lien avec le premier.

Par ailleurs, les relevés de SAGE notamment effectués en juin 2024 ont permis de confirmer les niveaux de référence à retenir pour le dimensionnement du projet, en première approche (en attente du suivi piézométrique annuel en cours). En effet, les observations faites au droit de SC1 lors de la première campagne manuelle et pouvant être rattachés à des conditions d'eaux élevées sont largement cohérents avec les niveaux EE / EH estimés en ce point par FONDASOL.

Le suivi piézométrique actuellement en cours n'a pas montré d'informations divergentes ou plus contraignantes que ce qui a été identifié précédemment. La réactivité des ouvrages aux épisodes pluvieux est, une nouvelle fois bien illustrée. De la même manière, les piézomètres équipés dans le « second » aquifère (SP3) montrent un décalage temporel et une inertie vis-à-vis des autres ouvrages suivis.

Un point de suivi arrêté à la fin du mois de septembre est présenté en page suivante.

Pour conclure, les essais de perméabilité menés dans le sondage carotté SC 1 (ou SC 2024 - SAGE) et dans la fouille PM17 selon les méthodes Lefranc et Matsuo ont montré des données concordantes, y compris avec les investigations antérieures.

Ainsi, il apparaît des perméabilités mesurées dans les graves sablo-limoneuses de couverture (fluvio glaciaire) comprises entre $1,3$ et $7,2 \cdot 10^{-5}$ m/s. Également, les argiles à graves plus profondes (dépôts morainiques entre 7 et 8 m/TN) ont montré une perméabilité de $9,3 \cdot 10^{-5}$ m/s.

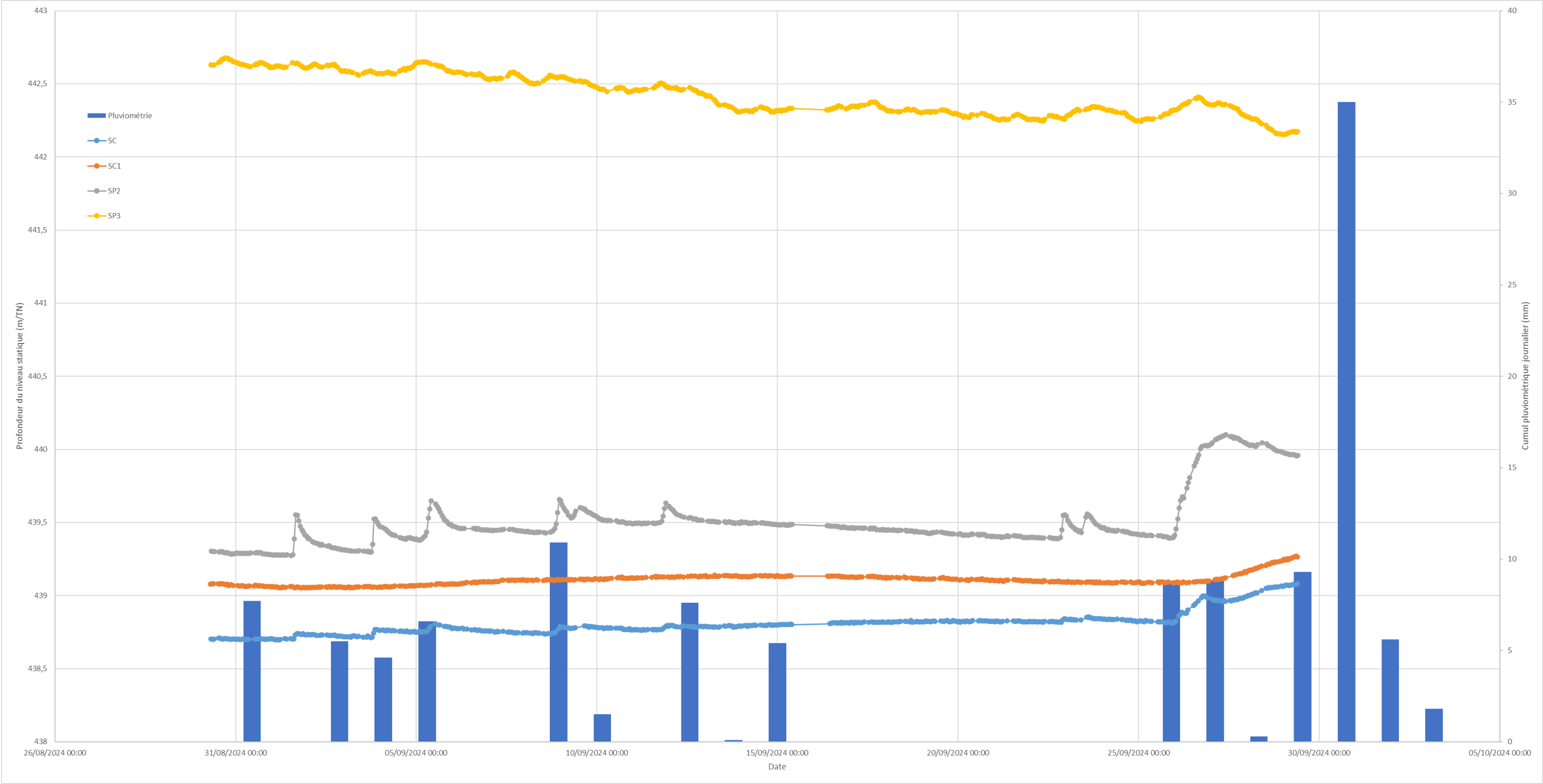


Figure 21 : Point de suivi piézométrique annuel – fin septembre 2024

3.3.4. Synthèse des connaissances hydrogéologiques, modèle retenu :

L'ensemble des données bibliographiques régionales et des études locales se montre cohérent pour la zone de projet (périodes de basses et hautes eaux, piézométrie, sens d'écoulement) et seront exploitées par nos soins pour la suite de la présente étude.

Les données les plus complètes et pertinentes pour le projet seront reprises des documents FONDASOL, produits pour le projet initial de trémie routière. Ces informations sont particulièrement riches selon l'axe de la RD884 / RD35 mais restent plus limitées selon l'axe de la RD984f (axe d'implantation du nouveau projet).

Celles-ci sont et seront complétées par les investigations de SAGE Ingénierie, spécifiques au projet actuel. Ainsi, les suivis piézométriques complémentaires (dans l'axe de la trémie mode doux projetée) permettront d'accroître la robustesse du modèle géologique et hydrogéologique.

Sur la base des éléments disponibles détaillés ci-avant et concernant la zone d'implantation du projet objet de la présente étude, il est possible d'établir la synthèse présentée en page suivante.

Caractéristique	Donnée retenue
Formations lithologiques, épaisseurs et perméabilités	<ul style="list-style-type: none"> Remblais de couverture sablo-limoneux à sablo-graveleux (épaisseur d'environ 2 m) : $2,0.10^{-5} < K \text{ (m/s)} < 8,0.10^{-5}$; Graves limono-sableuses (5 m) : $1,3.10^{-5} < K \text{ (m/s)} < 3,1.10^{-3}$; Argiles sablo-graveleuses (10 à 15 m) : $10^{-6} < K \text{ (m/s)} < 9,3.10^{-5}$; Argiles limono-sablo-marneuses (interface avec la molasse bariolée) : $10^{-7} < K \text{ (m/s)} < 3,0.10^{-6}$ Marnes et grès bariolés (dès 20 m/TN), mur de l'aquifère : $10^{-9} < K \text{ (m/s)} < 10^{-7}$
Porosité	<ul style="list-style-type: none"> 4 % pour les formations de surface (fluvio-glaciaire et moraine)
Type de nappe et régime	<ul style="list-style-type: none"> Aquifère libre, de surface dans les sables et graves. Directement sous influence du Nant de l'Ecra et des précipitations ; Aquifère semi-captif (selon les lentilles argileuses) dans les moraines et sous influence pluviométrique mais avec de l'inertie. Cet aquifère peut localement présenter un aspect cloisonné / isolé (cas de SD2).
Sens d'écoulement	Sud-est vers le nord-ouest
Gradient	De l'ordre de 1%.
Battement intersaisonnier	De 1,4 à 2,1 m
Périodes de hautes et basses eaux	<ul style="list-style-type: none"> Hautes eaux à la fin de l'hiver (entre janvier et mars) Basses eaux à l'automne (entre septembre et octobre). <p><u>Attention néanmoins très forte réactivité et influence de la pluviométrie significative (conditions fixées par le Nant de l'Ecra).</u></p>
Niveaux de référence selon les EUROCODES	<ul style="list-style-type: none"> Niveau accidentel EE de 441,9 m_{NGF} (1,9 m/TN) ; Niveau caractéristique EH de 441,4 m_{NGF} (2,4 m/TN) ; Niveau quasi-permanent EB de 440,0 m_{NGF} (3,8 m/TN).

Tableau 5 : synthèse des données hydrogéologiques connues pour la zone d'étude

3.4. Captages AEP :

Selon les informations fournies par l'Agence Régionale de la Santé (ARS), le site est localisé en dehors de tout périmètre de protection de captage d'Adduction en Eau Potable.

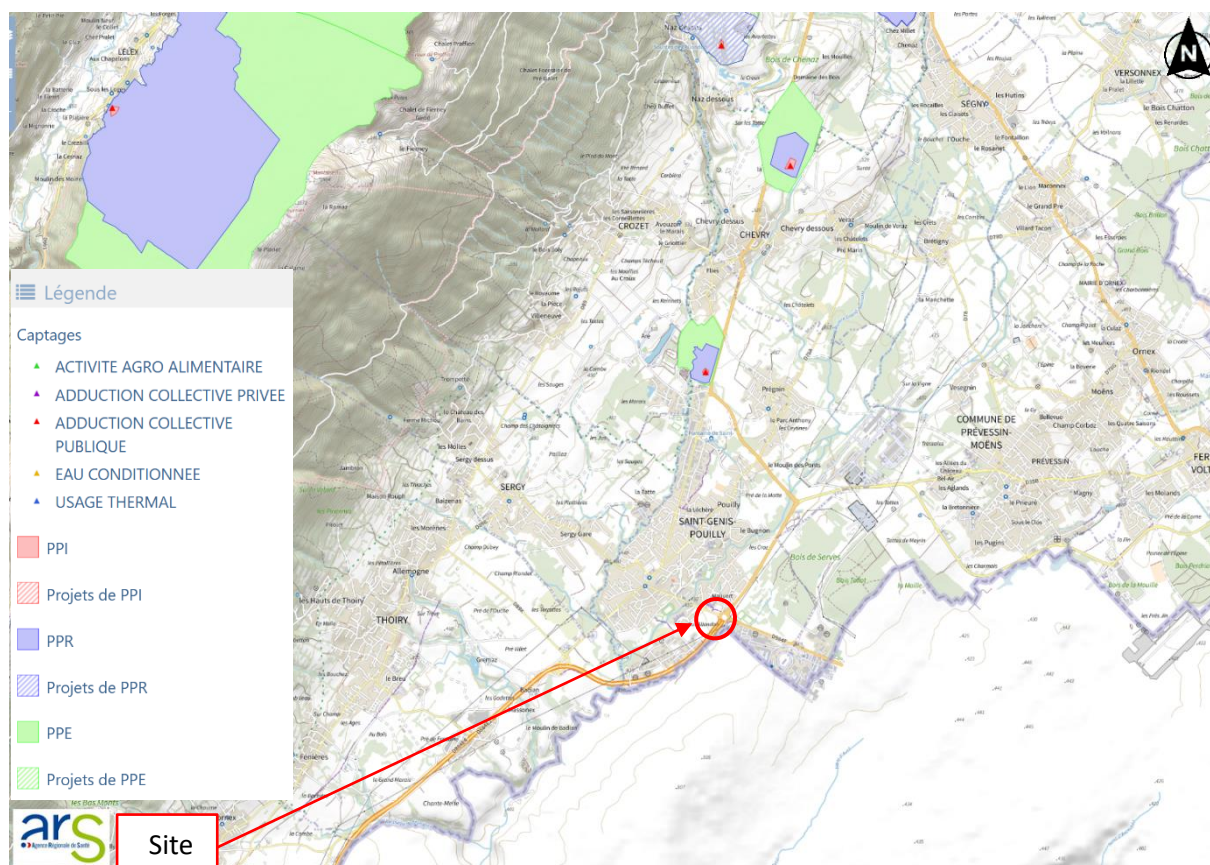


Figure 22 : Extrait de la cartographie des périmètres de protection des captages AEP (Cart'Eaux - ARS)

3.5. Hydrographie :

Le site présente une proximité remarquable avec plusieurs écoulements superficiels.

Il est en effet mitoyen du Nant de l'Ecra, un ru intermittent prenant son origine au niveau du golf de SAINT GENIS (bois de Serves), puis bordant l'est de la route départementale RD 884 (Frontière franco-Suisse) pour s'écouler ensuite en direction du sud-est, jusqu'à sa confluence avec l'Allondon.

A noter que le Nant de l'Ecra traverse la route de Meyrin (RD 984f) au droit du projet (busage). Son lit est également busé sur plusieurs sections et présente une altimétrie variant entre 442,8 m_{NGF} (amont du projet) et 441,1 m_{NGF} (aval projet).

Le Nant de l'Ecra a également fait l'objet d'un suivi du niveau en continu durant la période de suivi piézométrique de la nappe, par FONDASOL (voir 3.3.3). Il s'est notamment montré très réactif vis-à-vis des épisodes pluvieux et en assec durant l'été 2020 (collecte des eaux de ruissellement principalement).

Également, on notera la présence du Lion, un cours d'eau permanent, à environ 450 mètres à l'ouest du projet. Son fil d'eau sur cette section serait compris entre 433,8 m_{NGF} (amont) et 431,8 m_{NGF} (aval).

Le Lion est un affluent de l'Allondon, qu'il rejoint environ 1 kilomètre au sud-ouest de la zone d'étude. Son axe d'écoulement est globalement orienté nord-est / sud-ouest sur ce secteur et il drainerait les écoulements du secteur (superficiels comme sub-surfaciques).

Les cours d'eau précités sont sous influence directe des précipitations tombant au droit de leur im-pluvium (et pour le Lion, une alimentation souterraine non négligeable depuis le Jura).

Enfin, il convient de souligner le fait que tous ces écoulements sont considérés comme cours d'eau au titre de la police de l'eau, c'est-à-dire des cours d'eau sur lesquels s'applique la réglementation issue des articles L.214-1 à L.214-11 du code de l'environnement.

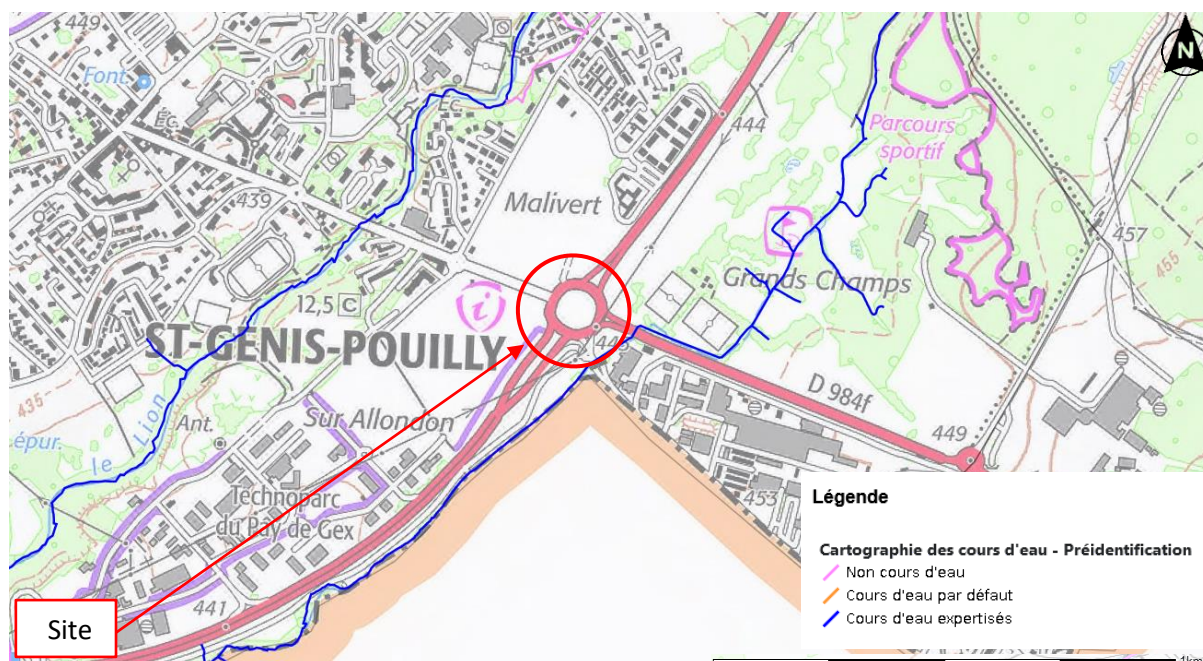


Figure 23 : Extrait de la cartographie des cours d'eau au titre de la police de l'eau (DDT 01)

3.6. Climatologie et météorologie :

Pour le site étudié et ces bassins versants, la station météorologique la plus proche et représentative est celle de GENEVE-COINTRIN (aéroport), au voisinage proche du site (environ 6 km à l'est).

On observe qu'à la suite d'une période plus sèche entre 2009 et 2011 (expliquerait les tendances piézométriques à la baisse ?), la décennie suivante a présenté une seconde période de précipitations inférieures à la moyenne interannuelle entre 2015 et 2022.

Les années 2023 et 2024 (jusqu'à cette date) se montrent quant-à-elles légèrement excédentaires par rapport à la moyenne interannuelle. Il est à noter que les mois de mai et juin 2024 sont particulièrement pluvieux en comparaison de la référence interannuelle.

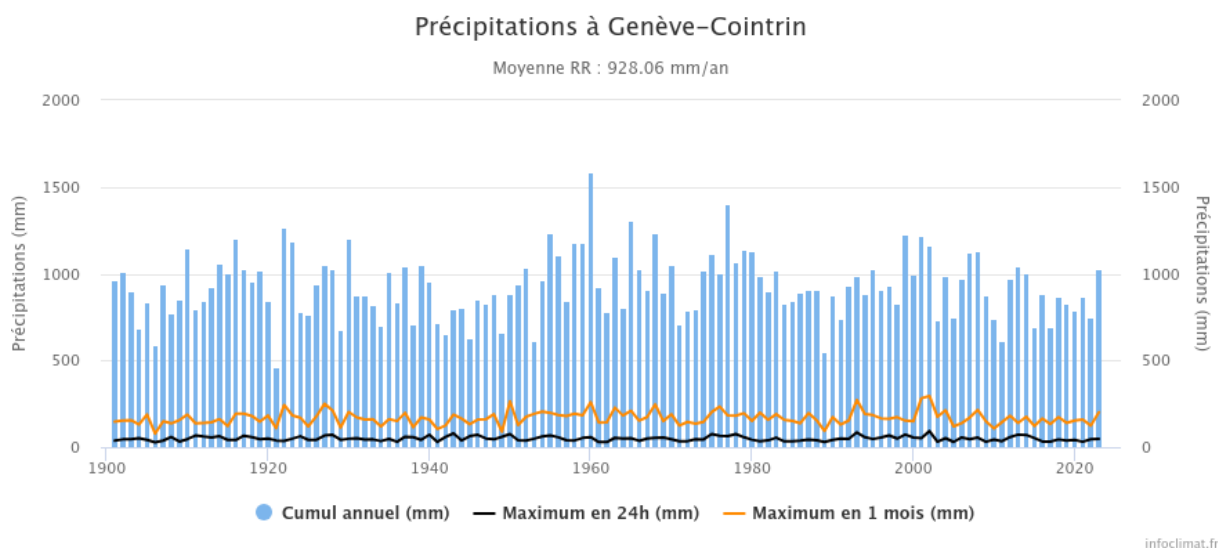


Figure 24 : Chronique des précipitations annuelles cumulées à l'aéroport de GENEVE (Infoclimat)

Concernant la pluie efficace, et sur la base d'un coefficient d'abattement standard de la pluie brute de 40 %, on obtient une Pluie efficace annuelle de 371 mm.

Cette donnée est confirmée par les données de Météo France (équation de Penman-Monteith) disponibles pour les stations météorologiques de La Pesse (39) et Bellegarde-sur-Valserine (01) qui indiquent respectivement une pluie efficace de l'ordre de 42 % et 65 % de la pluie brute annuellement.

3.7. Risques naturels et technologiques :

Selon les données de la préfecture de l'Ain disponibles à cette date, les documents relatifs aux risques pour ce site sont les suivants :

Type de document	Existant	Date d'approbation	Risque sur site	Type de risque impactant le site
Plan de Prévention des Risques naturels (I, M, m)	PPRN Inondation de l'Al-london, du Gobé et de leurs affluents	25/07/2022 (?) En cours d'élaboration	NON (voir PAC)	
Territoire à Risque important d'Inondation	NON			
Atlas des Zones Inondables	NON			
Carte des risques naturels type R111-3	NON			
Carte des aléas ou des risques	Porter à connaissance de l'aléa inondation au Pays de Gex	07/10/2021	NON	
Plan des Surfaces Submersibles	NON			
Règlement graphique / servitudes d'utilité publique du document d'urbanisme	NON			
Carte type Analyse Enjeu Risques	NON			
Plan d'Exposition aux Risques	NON			
Plan d'Indexation des Zones exposées aux risques naturels	NON			

Tableau 6 : synthèse des documents des risques et contraintes applicables au site

Par ailleurs, le site est localisé en zone de sismicité 3 (modérée), en zone de potentiel de catégorie 1 (faible) pour le radon et en zone d'exposition faible au phénomène de retrait / gonflement des argiles.

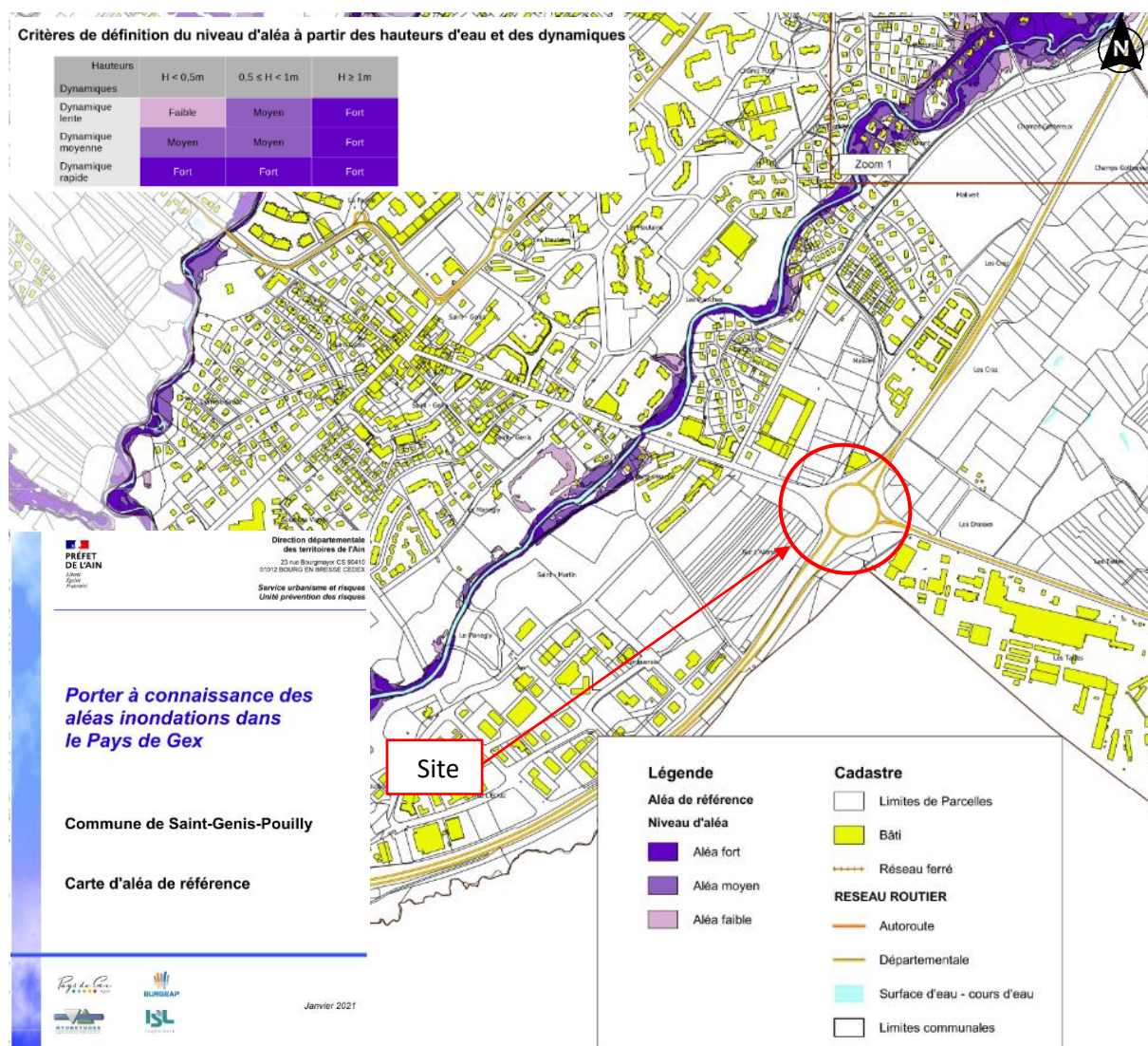


Figure 25 : Extrait de carte d'aléa inondation de référence (DDT 01)

4. Investigations de terrain :

Les premières investigations de terrain ont été réalisées par SAGE Ingénierie le 06/06/2024 et les 23, 29, 30 et 31/07/2024.

Des investigations complémentaires sont en cours (SAGE et AQUÉO), notamment le suivi en continu des niveaux piézométriques au droit de la zone d'étude et durant une année calendaire.

Cette étude sera donc actualisée à l'issue des rendus de terrain.

5. Description du projet :

AQUÉO a été sollicité par SAGE Ingénierie, dans le cadre du projet de restructuration du secteur Porte de France, à SAINT GENIS POUILLY (01).

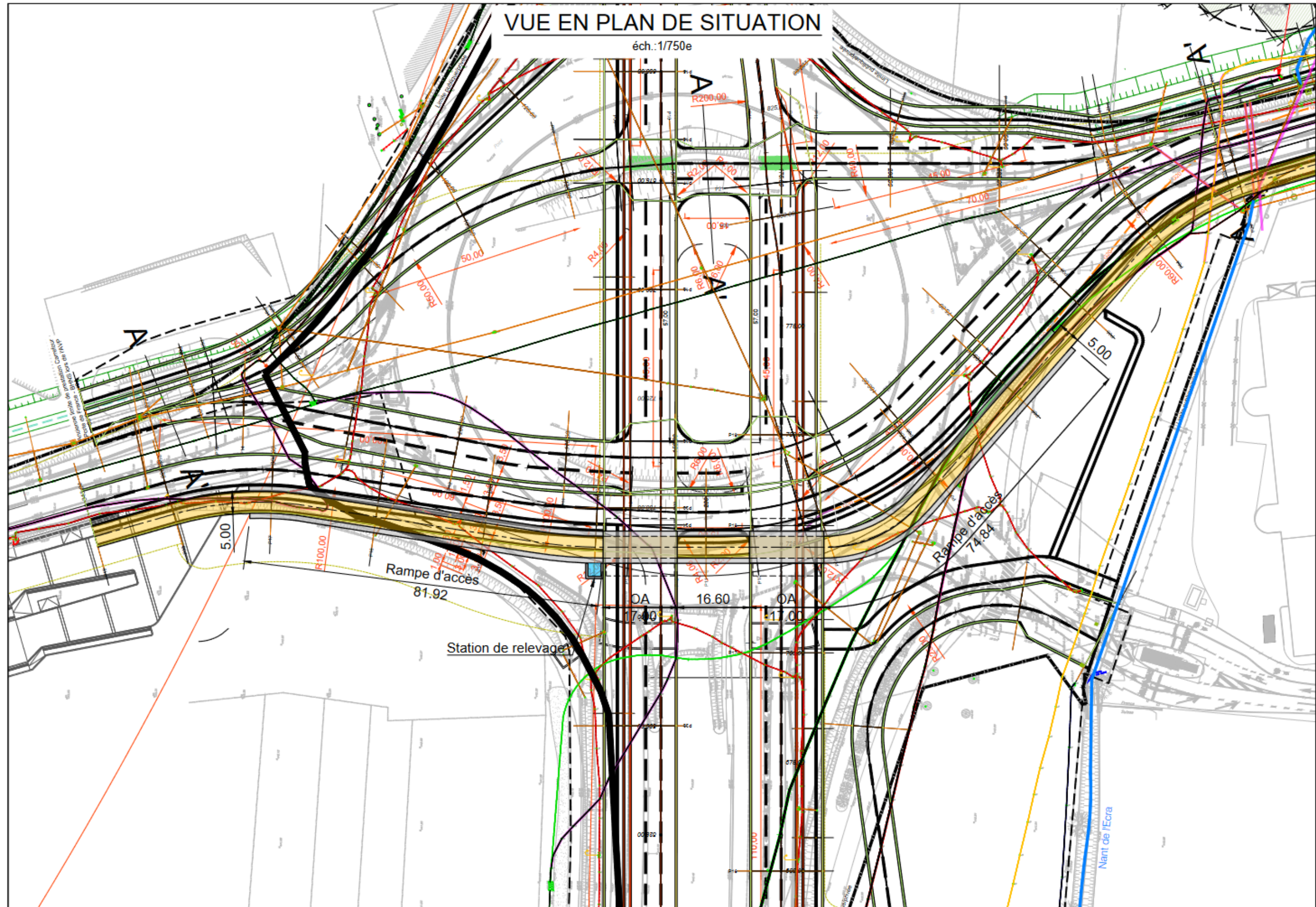
Le maître d'ouvrage du projet, le département de l'Ain, et son maître d'œuvre, Ingérop (co-traitance avec SAGE Ingénierie), projettent ainsi le réaménagement complet du carrefour multimodal de Porte de France.

Le projet prévoit la suppression du rond-point giratoire actuellement existant et la mise en place d'un carrefour à feux de circulation. La création d'une voie de BHNS, ainsi que l'aménagement d'un passage souterrain en trémie pour cycles et piétons est également inscrite au programme.

La présente étude porte spécifiquement sur le projet d'ouvrage souterrain et son interaction avec le contexte hydrogéologique du site.

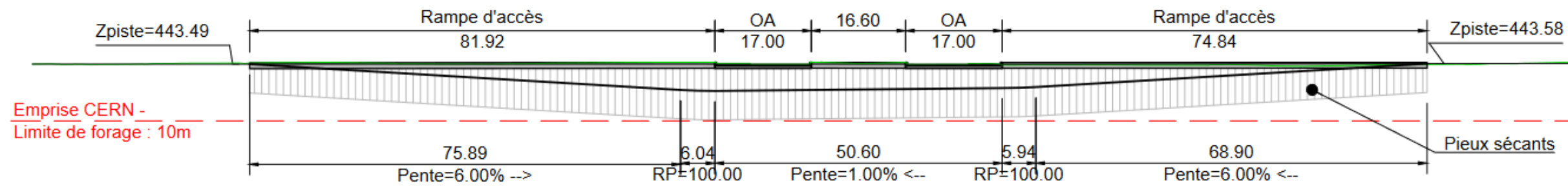
Dans les pages suivantes figurent les plans de projet communiqués par la maîtrise d'œuvre à cette date.





COUPE LONGITUDINALE

éch.:1/750e



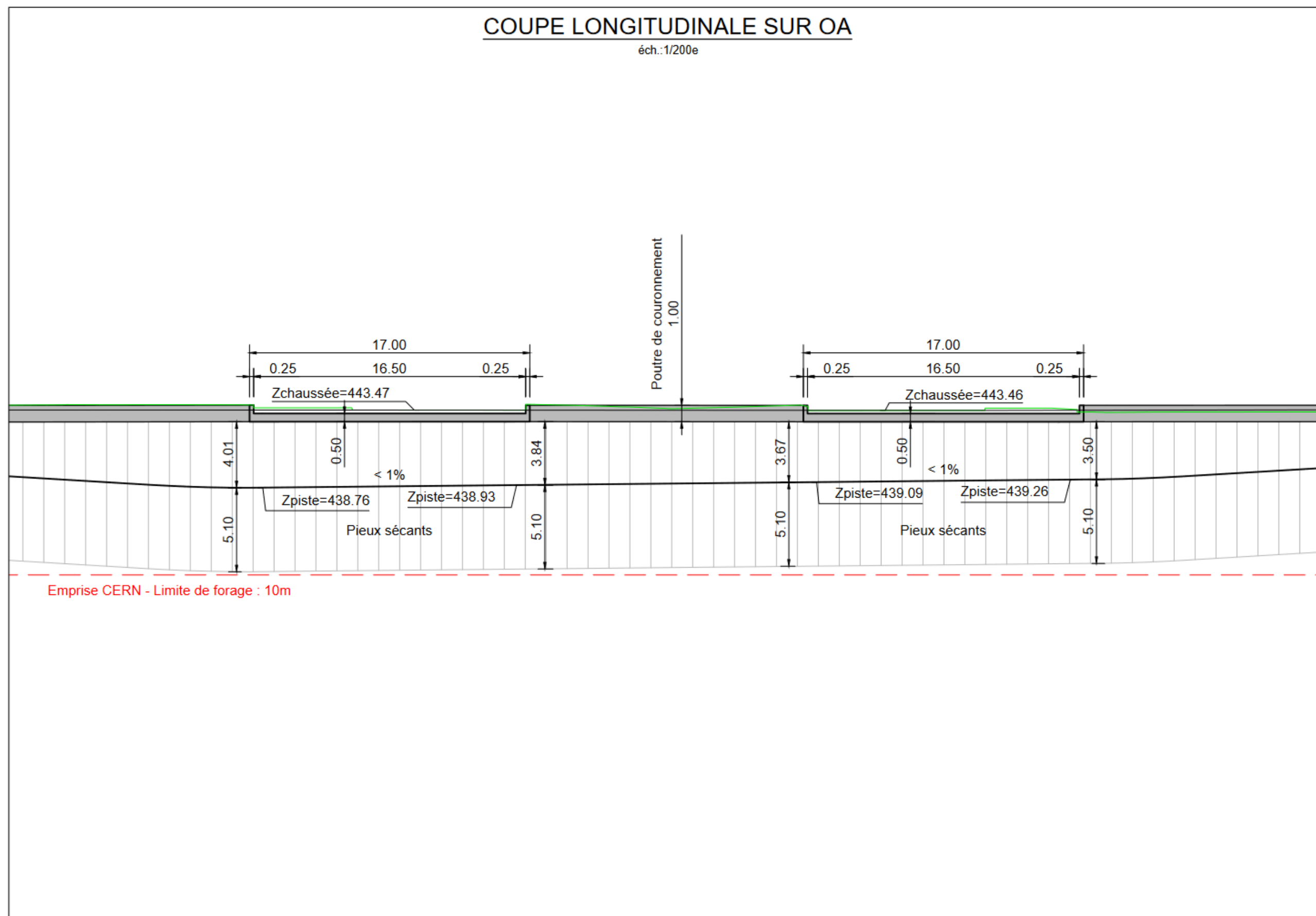


Figure 26 : vue d'insertion du projet global sur fond de photographie aérienne, plan de masse et coupes de l'aménagement

6. Observations et analyse sommaire du projet :

6.1. Profondeurs prévues et aquifères recoupés :

Au vu de la profondeur prévue pour l'aménagement en trémie (entre 3,5 et 4,0 m/TN) et en retenant l'hypothèse de travaux de terrassement nécessaires à l'ouvrage réalisés au maximum à 1,0 m sous le radier, il apparaît que le projet recoupera vraisemblablement l'aquifère de premier niveau, situé dans les graves sableuses et remblais limoneux de surface (fluvio-glaciaire).

Cet aquifère pourrait être localement en connexion avec l'aquifère de second niveau, compris dans les argiles sableuses (moraine), en cas de terrains grossiers et d'absence d'isolation entre les deux strates (SC1 au caractère plus hétérogène que SP3).

Les profondeurs et côtes altimétriques de la piste dans la trémie (438,79 m_{NGF} à 439,26 m_{NGF} aux points les plus bas) seraient ainsi inférieures aux niveaux de nappe caractéristiques calculés pour SC1 (EB : 440,0 m_{NGF} et EH : 441,4 m_{NGF}), ainsi qu'aux niveaux mesurés dans les ouvrages jusqu'à cette date.

La hauteur aquifère recoupée serait donc de l'ordre du mètre en eaux permanentes et de 2,5 à 3,0 m pour les périodes de hautes eaux ou les événements exceptionnels.

6.2. Orientation de l'aménagement et axes d'écoulement :

Au vu de la géométrie de la trémie : globalement orientée du sud-est en direction du nord-ouest, celle-ci s'intègre de manière optimale vis-à-vis de l'axe d'écoulement potentiel de la nappe sur ce secteur (ouvrage parallèle au flux).

Seul la moitié « haute » de la trémie (est) présenterait une légère incidence (nord-sud) par rapport au sens d'écoulement souterrain et pourrait ainsi générer un effet barrage légèrement supérieur à un ouvrage totalement rectiligne. Cet aspect demeure néanmoins à nuancer du fait de la plus faible profondeur de la trémie sur cette tranche (< 3,0 m/TN).



6.3. Effet barrage et incidences sur la piézométrie locale :

Lorsqu'un ouvrage souterrain intercepte tout ou partie d'un aquifère, un relèvement de la nappe est observé en amont et un abaissement à l'aval. Cet effet barrage est maximal lorsque le projet est terminé et permanent. Il s'agit donc d'un phénomène observable en phase d'exploitation.

L'effet barrage se caractérise simplement par la création d'un volume imperméable (ou peu perméable) au sens des écoulements des eaux souterraines. Ce phénomène est similaire à celui rencontré en surface, lorsqu'un cours d'eau est barré par un ouvrage perpendiculaire qui induit une forte modification des écoulements (ralentissement du flux à l'amont, accélération de la vitesse à l'aval, contournement, etc.).

L'effet barrage dépend principalement de trois paramètres :

- l'orientation de l'ouvrage souterrain par rapport au sens d'écoulement de la nappe ;
- le gradient hydraulique de la nappe, c'est à dire la pente de la surface piézométrique. Plus le gradient hydraulique sera élevé au niveau de l'ouvrage, plus l'effet barrage sera important ;
- la pénétration de l'ouvrage dans l'aquifère occulté : plus l'épaisseur d'aquifère occultée est importante et plus l'effet barrage sera fort.

L'effet barrage potentiellement généré par ce projet consisterait en une réhausse des niveaux piézométriques sur le secteur amont (route de Meyrin / est) et une baisse des niveaux piézométriques à l'aval (parcelle BA 99 / ouest). Cette influence demeure néanmoins très limitée.

Au vu des profondeurs projetées, de la hauteur et de la longueur de coupure prévue et rapporté au projet initial de trémie routière, il peut être déterminé à ce stade que la réhausse piézométrique (période de hautes eaux) à l'amont demeurera inférieure à + 0,4 m et que la baisse du niveau piézométrique derrière l'ouvrage sera inférieure à - 1,0 m.

7. Modélisation hydrodynamique et étude des incidences :

Afin d'étudier les incidences de l'ouvrage en phase pérenne et définitive, mais aussi en phase de travaux d'aménagement, il a été procédé par nos soins à la modélisation numérique du périmètre d'étude et du projet.

La simulation est réalisée à l'aide du logiciel FEFLOW. FEFLOW (Finite Element subsurface FLOW system) est un logiciel de modélisation des transferts de masse (polluants, etc.), de chaleur et les écoulements souterrains dans les matériaux poreux ou fracturés. Le programme emploie un algorithme de calcul numérique par éléments finis pour résoudre les équations d'écoulement en milieu saturé et non saturé.

Le logiciel, distribué par DHI Group, a été utilisé dans sa version actuelle (8.1).

Au préalable, l'ensemble des cartographies, traitements géographiques, analyses spatiales et calculs géographiques auront été assurés sous le logiciel de Système d'Information Géographique QGIS dans sa version actuelle (3.36 Maidenhead).

Un jeu de cartes vectorielles, d'images raster et de jeux de données géoréférencés ont ainsi été produits pour intégration ultérieure dans FEFLOW.

Également, la géométrie de l'ouvrage en projet a été intégrée sous QGIS puis géoréférencée pour être directement intégrable sous FEFLOW dans un second temps.

7.1. Définition du modèle physique :

La première étape de simulation consiste en la définition du modèle en lui-même. Il s'agit de retranscrire numériquement les caractéristiques du site étudié, ses constantes physiques principales qui peuvent influencer sur l'hydrogéologie.

Celles-ci seront donc directement reprises de la synthèse hydrogéologique menée par nos soins précédemment et présentée dans les paragraphes 3 à 6 de ce rapport. La majorité des données est issue des informations de FONDASOL à ce stade du projet (AVP).

7.1.1. Limites :

Les limites (extension) du modèle ont été établies sur la base des éléments voisins fixant des conditions hydrogéologiques fortes, à savoir :

- Le cours d'eau du Lion, qui draine le secteur et représente l'exutoire de cette masse d'eau (point bas piézométrique) ;
- Les buttes molassiques à l'est (implantation site du CERN), qui représenteraient le point haut du « substratum » et consisteraient donc en la ligne de partage locale des eaux souterraines

(haut du bassin versant hydrogéologique étudié). Cette limite amont englobe la frontière Franco-Suisse et le Nant de l'Ecra ;

- Au nord-est et au sud-ouest, aucune condition forte n'est observée et le sens d'écoulement esquissé sur la zone de projet n'indique pas de régime d'alimentation pour ces zones. Une distance arbitraire et suffisante sera donc retenue pour la simulation (500 mètres), ces bordures de modèle sont donc considérées comme étant de flux nul.

La limite haute (sommet) du modèle est logiquement le terrain naturel au droit du périmètre d'étude et la limite basse (fond) est constituée des formations molassiques sous-jacentes (marnes et grès bariolés), réputées imperméables. Cette formation molassique présente en effet une puissance totale d'environ 300 mètres et est réputée imperméable sur l'ensemble du profil.

Concernant l'emprise modélisée, celle-ci a été légèrement revue à la baisse par rapport à la modélisation réalisée initialement par FONDASOL, du fait de l'ampleur bien plus réduite du nouveau projet et en l'absence de nouvelles contraintes identifiées pour ce cas d'étude.

7.1.2. Entités hydrogéologiques :

La structure géologique du domaine d'étude a été fixée sur la base des éléments identifiés en 3.2.

Ainsi, les données ont été extraites :

- des délimitations des formations des cartes géologiques du BRGM, couplées aux altitudes du terrain au droit desdites limites (interfaces de surface entre formations) ;
- des sondages bancarisés dans la Banque de Données sur le Sous-sol (BSS) et disponibles sur la zone d'étude. Les coupes lithologiques de ces ouvrages et investigations ont été étudiées et les limites entre formations (toit des molasses / moraines) ont été relevées point par point.

Il est à noter que les profondeurs du toit des molasses ont également été augmentées de 5 mètres, afin de représenter la fracturation / dégradation de ces formations au niveau de leur toit. Ainsi, les caractéristiques physiques de la couche supérieure ont été appliquées sur cette tranche (moraine ou fluvio-glaciaire de couverture).

Enfin, les altitudes du terrain naturel pour l'ensemble des points de données ont été rectifiées sur la base des données altimétriques les plus précises disponibles à ce jour (relevé LIDAR HD de 2014 à la maille de 1 m - IGN). En effet, les relevés d'étude réalisés lors des investigations géotechniques se montrent cohérents et relativement fidèles ; au contraire des informations de la BSS, pouvant présenter des incohérences altimétriques plus ou moins importantes selon la modalité de levé (GPS / lecture carte / SIG).

Pour synthèse et rappel (§ 3.3), il a été retenu la configuration suivante :

- Formation fluvio-glaciaire sablo-graveleuse à passées localement limoneuses voire argileuses - épaisseur variable entre 0 et 7 mètres - $3,0 \cdot 10^{-4} < K \text{ (m/s)} < 3,1 \cdot 10^{-3}$. Le calage du modèle a été ensuite réalisé sur la base d'une perméabilité de $3,0 \cdot 10^{-4}$ m/s, afin de respecter le gradient d'écoulement du secteur (environ 1%). Cette valeur se montre en outre plus cohérente au vu des dernières mesures réalisées par SAGE au droit de SC 2024 (ordre de grandeur de 10^{-4} à 10^{-5} , toutes formations confondues) ;
- Formation morainique hétérogène (gravelo-sableux localement argileux) - épaisseur variable entre 5 et 33 mètres - $K \text{ (m/s)} = 3,0 \cdot 10^{-5}$;
- Formation de molasses marno-gréseuses bariolées - épaisseur supérieure à 200 mètres - $K \text{ (m/s)} = 1,0 \cdot 10^{-9}$. Cette couche est donc retenue comme de flux nul (drainance quasi-absente).

La porosité sur les deux premières strates a été retenue à raison de 4 % et l'anisotropie spatiale est classiquement fixée à $K_h = 0,1 K_v$.

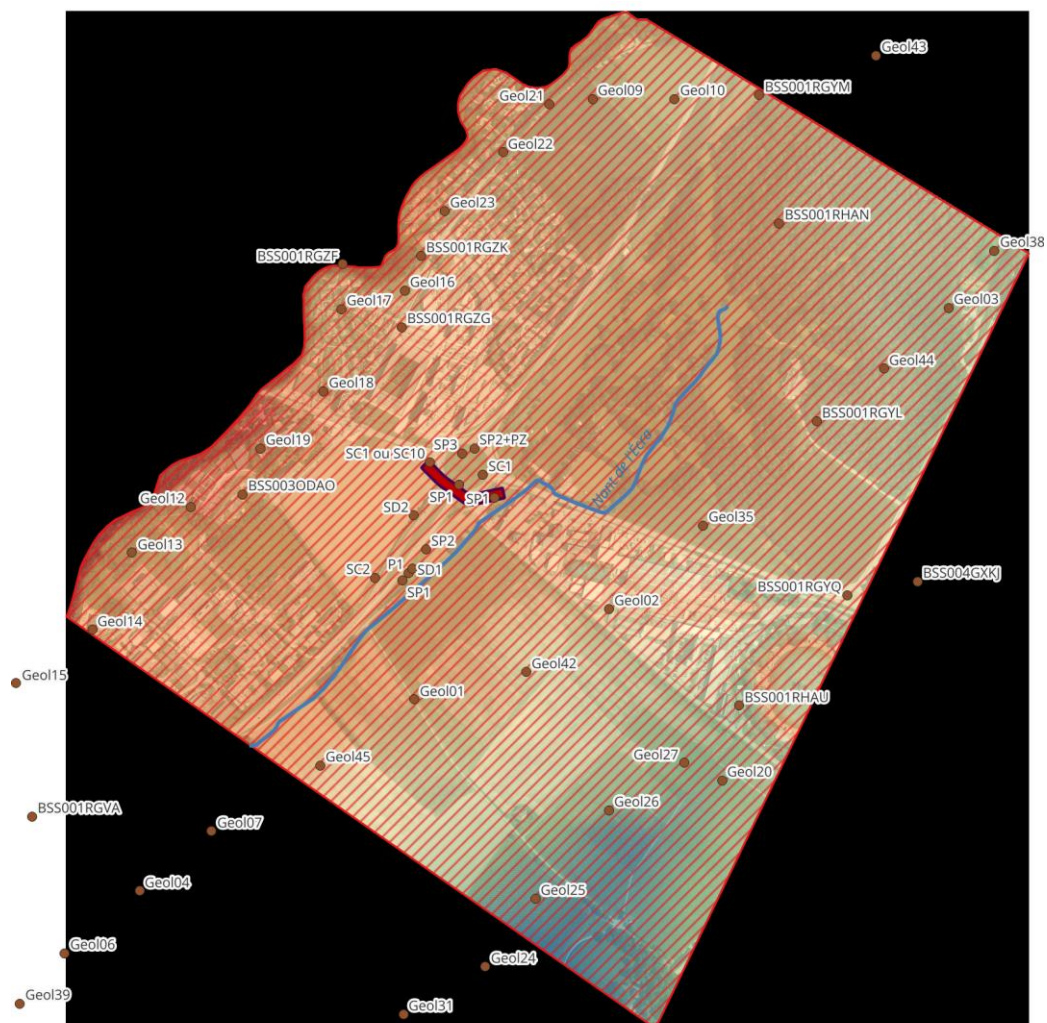


Figure 27 : vue du périmètre d'étude, des points lithologiques remarquables, de la trémie et du Nant de l'Ecre sur fond combiné : orthophotographie et MNT en pseudocouleurs (FeFlow)

7.1.3. Recharge et alimentation :

La recharge du système a été fixée sur la base des paramètres pluviométriques identifiés au 3.6. Cette recharge a été appliquée à l'ensemble des éléments du système étudié.

Au vu des limites fixées (flux nuls latéraux et sous-jacents), aucune autre recharge du système n'a été définie.

A noter que cette recharge est inférieure à celle initialement fixée par FONDASOL (600 mm/an), qui avait vraisemblablement retenu un « rendement » d'évapotranspiration plus restreint.

7.1.4. Echanges avec les masses d'eau superficielles :

Aucun plan d'eau significatif n'a été recensé sur la zone d'étude.

Deux cours d'eau sont en lien avec le système étudié : Le Lion et le Nant d'Ecrea.

Comme cela a été identifié au cours du suivi piézométrique continu précédent (FONDASOL), le Nant d'Ecrea assure une recharge active et avec peu d'inertie de l'aquifère supérieur (très bonne réactivité des piézomètres suite aux épisodes pluvieux faisant monter le niveau du cours d'eau).

Ainsi, une condition aux limites de type transfert de flux (Cauchy) a été fixée pour ce cours d'eau. La charge hydraulique imposée correspond à la côte altimétrique du terrain naturel bordant le lit du ruisseau en période de hautes eaux (affleurant). Cette côte a été fixée sur la base du MNT extrapolé des levés LIDAR précédemment évoqués.

La conductance du cours d'eau (ou coefficient RIVière, CRIV) a été fixée à $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ sur la base des données de FONDASOL. Ce paramètre, basé sur les dimensions du lit du cours d'eau (longueur, largeur, épaisseur et perméabilité) représente son colmatage, sa capacité à assurer un transfert d'eau entre la surface et le sous-sol. Il a été vérifié lors du calage du modèle en régime permanent.

Également, le Lion fixe une condition aux limites en bordure du système puisqu'il représente l'exutoire de cette masse d'eau souterraine (drainage de l'aquifère). La côte de ce dernier a été fixée sur l'altimétrie de son lit, repérée par les points bas locaux du MNT. Cette limite de charge imposée ne s'est pas vu attribuer de coefficient de conductance, du fait de l'encaissement marqué du cours d'eau et de son fonctionnement en période de hautes eaux.

7.1.5. Piézométrie :

Il a été considéré une mise en communication de l'ensemble des aquifères de surface, en l'absence de strate aquiclude continue et d'une épaisseur significative. Le mur de la nappe étudiée est seulement constitué du niveau de molasse bariolée, retrouvé en profondeur. Les « différents » aquifères sont en équilibre dynamique et libres.

L'écoulement est calculé par la loi de Darcy.

A noter que certaines nappes locales peuvent présenter une isolation relative du fait de la présence de lentilles limono-argileuses, de perméabilité bien plus réduite. Néanmoins le nombre limité de données sur le sous-sol et la forte hétérogénéité spatiale de ce dernier ne permettent pas la prise en compte de ces spécificités de petite échelle dans le modèle.

Cette hypothèse d'interconnexion de l'ensemble des écoulements d'eaux souterraines dans le volume étudié se montre conservative et sécuritaire vis-à-vis des résultats des calculs numériques.

Par ailleurs et toujours de manière sécuritaire, un niveau de hautes eaux (EH) a été retenu pour le calage du modèle et l'étude de l'impact de l'ouvrage (soit une côte de référence de 441,4 m_{NGF} au droit de SC1).

Au droit de la trémie, une charge hydraulique égale à la côte de fond des terrassements (437,76 à l'ouest et 438,09 m_{NGF} à l'est) est définie pour la phase de travaux.

Enfin, aucune influence externe n'a été imposée sur la piézométrie de la nappe (rabattement ou recharge), en l'absence d'informations pouvant indiquer le contraire.

7.2. Intégration du projet :

7.2.1. Géométrie et typologie de l'ouvrage :

Les dimensions et la typologie de la trémie sont issues des derniers échanges avec INGEROP et font état d'une enceinte étanche en phase d'exploitation, sans dispositif de rabattement (initialement envisagée, cette solution est en discussion actuellement).

La modalité constructive serait la réalisation d'un écran de soutènement (pieux sécants ou paroi moulée envisagée) continu et présentant une perméabilité équivalente à 10^{-7} m/s. Cette structure serait par la suite intégrée à l'ouvrage définitif, après excavations et mise en place du radier.

A ce stade et en l'absence d'autres informations contradictoires la côte de fond des pieux ou de la paroi étanche a été fixée à 10,0 m/TN. Celle-ci sera donc fichée dans le niveau de dépôts morainiques argilo-graveleux, de perméabilité limitée ($3,0$ à $9,3 \cdot 10^{-5}$ m/s).

Se référer au paragraphe 5 pour plus de détails et les illustrations du projet.

7.2.2. Modalités de travaux :

Il a été retenu l'hypothèse de la réalisation d'excavations jusqu'à la côte de 1,0 m sous le fond du radier de la trémie, soit une altimétrie de 437,76 à l'ouest et 438,09 m_{NGF} à l'est.

Les écrans de soutènement seraient réalisés dans un premier temps jusqu'à leur côte définitive.

La fouille correspondant à la trémie serait ensuite excavée avant revêtement des surfaces internes et étanchéification de l'ouvrage.

Les travaux d'excavation devront donc être assujettis à un rabattement de nappe en fonction de leur durée effective et des côtes de protection retenues. En effet, sur la base de la norme relative aux travaux de cuvelage (DTU 14.1 de décembre 2020) et en retenant une période de retour de 10 ans, FONDASOL a estimé le niveau de hautes eaux EH au droit de SC1 à 441,1 m_{NGF} (la côte de fond des excavations est également inférieure à la référence en basses eaux pour ce même point).

Les dispositifs d'exhaure à l'intérieur de l'enceinte de soutènement seront à dimensionner précisément en fonction de la typologie des ouvrages retenus (paroi moulée / pieux, profondeur d'ancrage) et des contraintes de chantier (niveau de risque recherché, possibilité de noyage temporaire de la fouille, etc.). Ils feront l'objet d'une étude plus poussée en phase PRO.

Ces dispositifs et les caractéristiques du soutènement devront être cohérents vis-à-vis de la nature des sols (risque de défaut de butée ou de boulangue, renard solide, etc.).

Nous recommandons par ailleurs d'assurer un suivi de l'exhaure et la réalisation de mesures de débit de drainage, pour comparaison aux données d'étude et procéder aux éventuels ajustements si nécessaire (nombre et types d'ouvrages). Les mesures de débits devront également s'accompagner de la surveillance de la présence de fine en sortie de collecteur et de l'évolution des niveaux de nappe à l'amont et à l'aval du projet.

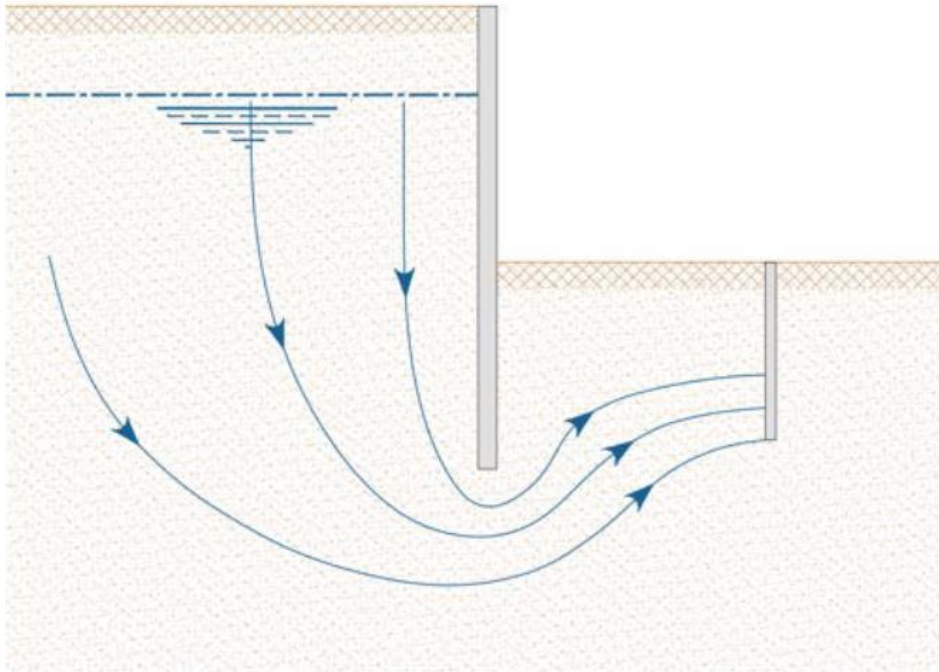


Figure 28 : exemple de dispositif de rabattement de nappe en enceinte étanche, via un puits « profond »

7.2.3. Temporalité et phasage :

La durée des travaux et leur phasage sont à définir selon les modalités constructives retenues (voir ci-avant).

7.3. Résultats de la modélisation :

7.3.1. Calage du modèle :

Les conditions aux limites décrites ci-avant (charges et flux imposés notamment à l'amont secteur CERN) et les propriétés des matériaux (perméabilités) ont été modifiées lors de l'étape de calage, afin de se rapprocher au plus possible des niveaux de hautes eaux identifiés au droit des points d'observation définis sur les ouvrages de la zone d'étude et d'un gradient de nappe de l'ordre de 1%.

La perméabilité des alluvions de tête a été modifiée à $3 \cdot 10^{-4}$ m/s, un ordre de grandeur de 10^{-3} ne produisant pas de résultats satisfaisants et s'éloignant des diverses mesures effectuées sur le terrain par SAGE et FONDASOL.

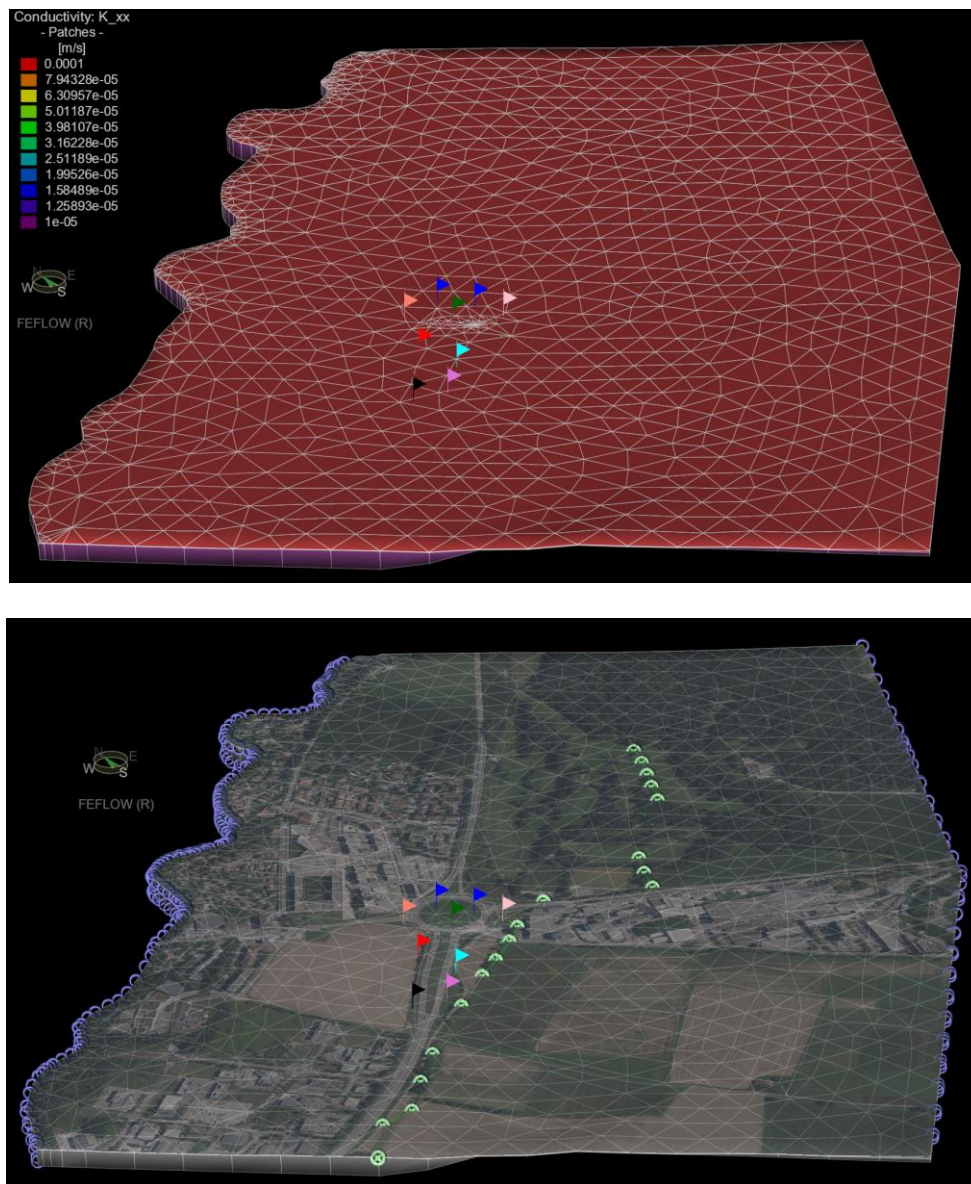


Figure 29 : perméabilités horizontales et conditions aux limites du modèle 3D, définies sous FeFlow

La sensibilité de chaque paramètre a également été évaluée sur la base de nouveaux run du modèle après assignement de nouvelles consignes, une à une. Ainsi il a notamment pu être observé l'influence majeure de la charge imposée au niveau du Nant de l'Ecra, à fortiori en comparaison de la recharge imposée en surface.

L'étape de calage permet donc de modéliser l'écoulement de la nappe au droit du site avant la mise en place du projet. La piézométrie initiale est calculée en régime permanent et définit les conditions initiales du modèle prévisionnel, qui intègre le projet.

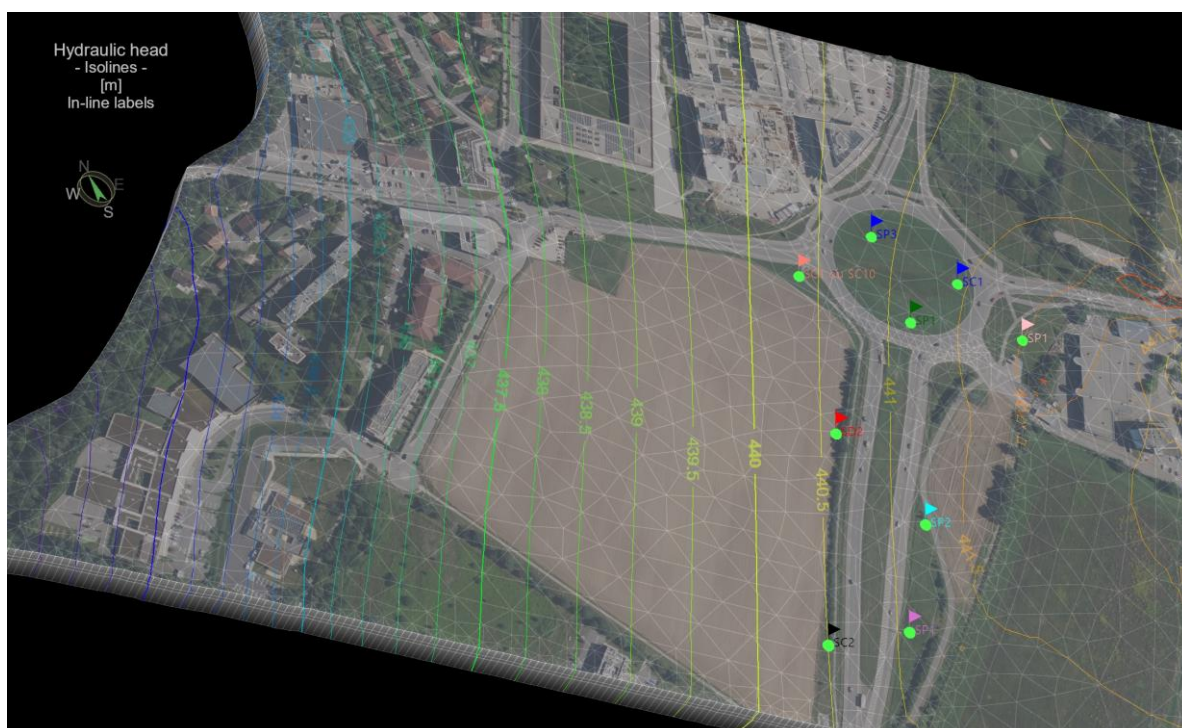


Figure 30 : piézométrie en régime permanent, après calage

7.3.2. Piézométrie et influence de l'ouvrage :

L'impact du projet sur les écoulements est calculé en régime permanent également et pour la période la plus critique (niveaux EH retenus).

L'effet barrage a été modélisé en désactivant les éléments du maillage du modèle représentant la trémie, ce qui induit une limite de flux nul pour ce volume (éléments « imperméables »).

Les calculs numériques montrent que seul un effet barrage très restreint est perceptible au droit de la trémie et à son voisinage proche. L'écoulement est légèrement infléchi sur le bord convexe de la trémie.

Ce phénomène s'observe par un décalage des isopièzes au nord et au sud de l'ouvrage d'environ 10 cm (résistance à l'écoulement locale, réhausse de la nappe). A l'aval hydraulique de l'ouvrage (extrémité ouest du rond-point), l'écoulement souterrain retrouve sa dynamique non perturbée (côte de 440,4 m_{NGF}).

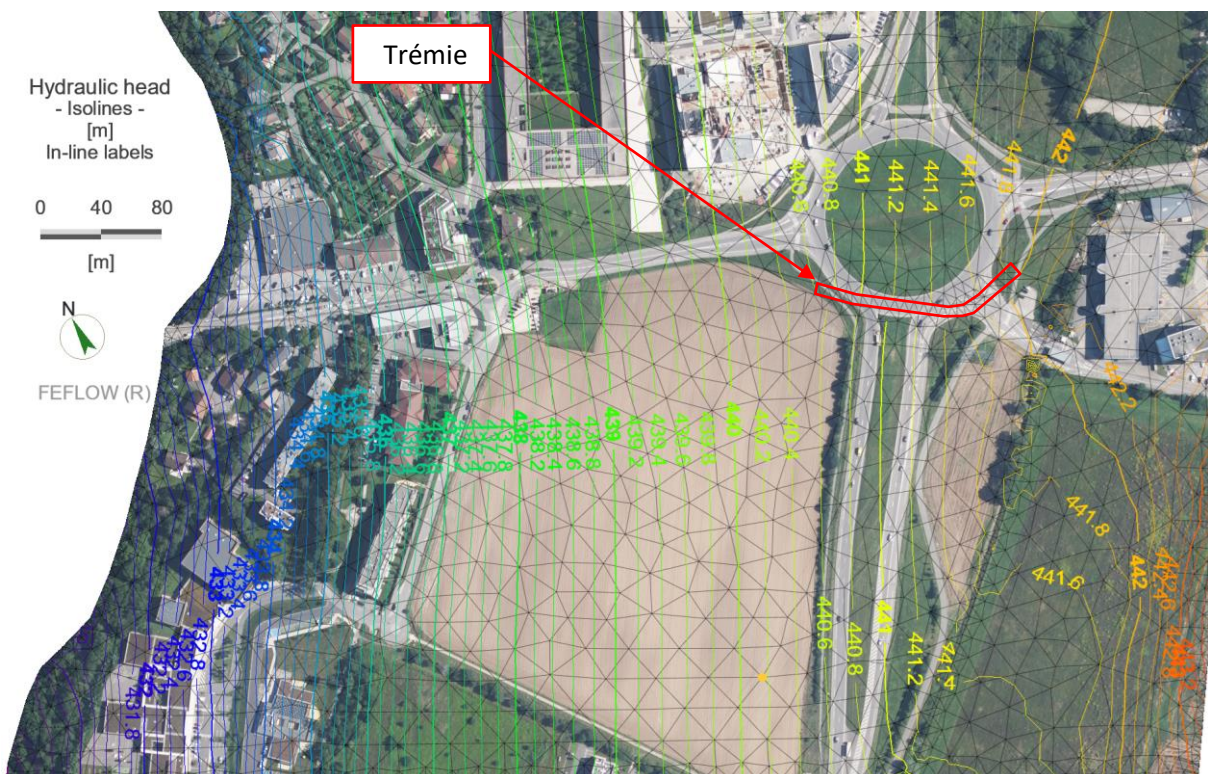


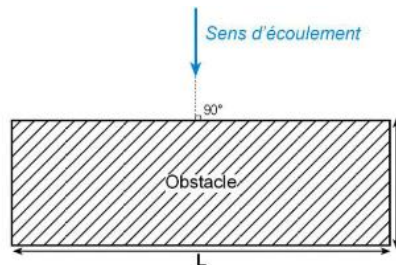
Figure 31 : piézométrie sous influence de la trémie (ouvrage étanche)

Cet impact très faible de la trémie est vraisemblablement lié :

- aux bonnes perméabilités du milieu, y compris jusqu'à la côte des molasses ;
- à la bonne relation avec le Nant de l'Ecra qui pourrait drainer les eaux de nappe résiduelles ;
- aux dimensions limitées de l'ouvrage projeté et à son orientation, comme évoqué plus tôt.

Nous avons procédé à la vérification de ce paramètre par une méthode analytique simple, afin de vérifier la cohérence du modèle sur ce paramètre.

Cette approche suppose que l'obstacle est parfaitement imperméable et d'extension verticale infinie. Cette méthode est, par conséquent, une évaluation sécuritaire de l'effet barrage.



La méthode analytique utilisée pour évaluer quantitativement l'effet barrage considère que l'exhaussement de la nappe (Δh) est proportionnel aux lignes d'écoulement interceptées ($L/2$) et au gradient (i), soit :

$$\Delta h = \frac{i \times L}{2}$$

Pour ce projet, dont le gradient de nappe est de 1 % et dont la largeur de la trémie opposée à l'écoulement représente environ 8 mètre (largeur de 5 mètres, ainsi qu'un coude côté est), l'exhaussement calculé en front d'ouvrage est donc de $\Delta h = 0,04$ m.

Cet exhaussement demeure donc cohérent avec la modélisation réalisée et reste très faible face au battement interannuel de la nappe.

L'incidence piézométrique du projet en phase pérenne est donc négligeable, sur la base des hypothèses retenues (ouvrage étanche, hauteur totale de l'écran de soutènement et de la trémie de 10 mètres, largeur de l'ouvrage de 5 mètres, orientation quasi-parallèle au flux, etc.).

7.3.3. Rabattement et débits d'exhaure en phase travaux :

Afin d'estimer le débit d'exhaure en phase chantier, deux méthodes ont été utilisées. Le système a également été étudié pour une période de hautes eaux, en l'absence d'informations contraires et de manière sécuritaire. Il est important de noter que le débit de rabattement de nappe sera logiquement plus faible pour des niveaux de nappe moyens ou d'étiage.

Dans un premier temps et pour la phase d'avant-projet, en attente de définition précise des solutions constructives de l'ouvrage il a été procédé à un calcul analytique par le biais de méthodes usuelles d'estimation des débits.

Le débit d'exhaure en fond de fouille a été calculé analytiquement par :

- la formule de Darcy :

$$Q = K \times S \times \frac{\delta H}{2 \times e}$$

Avec :

- Q = débit (m³/s) ;
- K = perméabilité verticale de la moraine argileuse³ dans laquelle sera ancrée la paroi moulée ou le rideau de pieux sécants (3 à 9.10⁻⁵ m/s) ;
- S = surface du fond de la fouille⁴ = 120 x 5 = 600 m² ;
- δH = différence de charge entre le niveau statique de la nappe et le fond de la fouille (= 441,4 – 438,09 m_{NGF}) ;
- e = épaisseur de la moraine peu perméable sous le fond de fouille⁵ = 4,5 m.

- la méthode de Davidenkoff, applicable pour une enceinte de forme rectangulaire protégée par des batardeaux :

$$Q = \frac{2 \times K \times H \times L}{\Phi_1 + \Phi_2} \times \left(1 + \frac{B}{L}\right) \left(1 - 0,3 \frac{B}{L}\right)$$

Avec :

- Q = débit (m³/s) ;
- H (m) : hauteur d'eau à rabattre ;
- K = perméabilité de la moraine argileuse⁶ dans laquelle sera ancrée la paroi moulée ou le rideau de pieux sécants (3 à 9.10⁻⁵ m/s) ;
- Φ constantes renseignées par l'abaque de Davidenkoff ;
- 2B (m) : largeur de l'enceinte ;
- L (m) : longueur de l'enceinte

³ Pour un calcul sécuritaire, les valeurs de perméabilité locales les plus faibles (de l'ordre de 10-6 m/s) identifiées par FONDASOL ont été écartées. Seules la gamme de valeurs relevées au droit du projet et/ou présentant une cohérence ont été retenues.

⁴ Longueur concernée par le rabattement estimée sur la base des plans et coupes de projet fournies à ce jour (ouvrage trapézoïdal renversé), la géométrie pourra être affinée en fonction des solutions retenues en phase PRO.

⁵ A affiner selon la géométrie finale des ouvrages.

⁶ Pour un calcul sécuritaire, les valeurs de perméabilité locales les plus faibles (de l'ordre de 10-6 m/s) identifiées par FONDASOL ont été écartées. Seules la gamme de valeurs relevées au droit du projet et/ou présentant une cohérence ont été retenues.

Ainsi, les débits de rabattement estimés sont présentés dans le tableau suivant :

Méthode	Darcy hypothèse basse	Darcy hypothèse haute	Davidenkoff hypothèse basse	Davidenkoff hypothèse haute
Débit calculé (m ³ /h)	24	72	28	83

Le débit de rabattement instantané maximal estimé par la méthode de Davidenkoff (donnée la plus contraignante) est donc de 83 m³/h sur la base de la perméabilité la plus forte mesurée lors des tests de perméabilité de SAGE, menés au droit du projet (SC 2024) dans la couche d'ancrage du soutènement (moraine argilo-graveleuse).

Il demeure néanmoins à noter que les terrains du secteur sont très hétérogènes et montrent une grande variabilité dans les perméabilités mesurées, y compris dans le même horizon ($K = 3.10^{-3}$ m/s dans l'ouvrage P1 FONDASOL et $K = 1,3$ à $7,2.10^{-5}$ m/s au droit de SC 2024 SAGE, pour la même strate de surface). La lithologie observée lors des excavations devra donc faire l'objet d'un suivi attentif et en cas de variation importante du fond de fouille par rapport au modèle théorique retenu (argiles graveleuses), des tests et une nouvelle estimation / modélisation pourront être réitérés.

Dans un second temps, le modèle numérique sera mis à jour avec les paramètres de rabattement retenus (profondeur définitive du fond de fouille et du soutènement, type de paroi retenu, type de dispositif de rabattement, niveaux de référence recalculés au droit de la zone de projet recalculés, etc.), pour confirmation et affinage des débits d'épuisement estimés de manière analytique.

Concernant l'incidence de l'épuisement de fouille sur les environnants, il est observé que la limite de charge imposée par le Nant de l'Ecra (lorsqu'en eau) constitue un front de réalimentation de la nappe qui a pour effet de stopper toute influence d'un éventuel cône de rabattement externe.

Il s'agit ici d'une première limite spatiale pour les périodes d'alimentation par ce cours d'eau, qu'on peut extrapoler aux conditions de hautes eaux de nappe. Cette limite est également imposée au modèle 3D et impose donc des conditions piézométriques fixes.

Pour les périodes d'eaux non hautes (moyennes à basse / étiage) et hors période pluvieuse (cours d'eau à sec), cette condition aux limites est plus restreinte voire annulée. Néanmoins, les débits et hauteurs de rabattement sont également et proportionnellement plus faibles dans ces conditions, a fortiori en prenant en compte la bonne perméabilité des alluvions de surface qui assurent une réalimentation rapide du toit de nappe.

Une modélisation en périodes de basses eaux pourra être envisagée si ce paramètre s'avère sensible pour ce projet, bien que peu vraisemblable au sens physique.

8. Conclusions et préconisations :

Le présent document consiste en l'étude hydrogéologique d'un projet de trémie souterraine pour modes doux, dans le cadre du renouvellement du carrefour giratoire de Porte de France, à l'entrée de la commune de SAINT GENIS POUILLY (01).

Au vu des éléments relevés à ce jour dans la synthèse, il apparaît que le contexte hydrogéologique présente une sensibilité faible concernant les usages et enjeux sociaux / écologiques (absence d'ouvrages de pompage référencés à l'aval, aucun captage AEP, alimentation limitée du Lion et drainance du Nant de l'Ecra, absence d'enjeu environnemental en aval proche du projet, absence de zones aménagées à l'aval immédiat de la trémie, bilan quantitatif amont/aval nul en phase pérenne, matériaux inertes, ...).

Le contexte hydrogéologique présente une sensibilité faible concernant la mise en œuvre technique du projet. La modalité de réalisation de la trémie devra impérativement être adaptée à la nappe qu'elle intercepte, sans toutefois présenter une criticité majeure (nappe libre, recoupée partiellement, ouvrage de faible emprise et de faible profondeur, faible incidence au sens d'écoulement, etc.).

A ce stade, il est d'ores et déjà possible de préciser quelques points de vigilance relatifs au projet, comme suivant :

- nous conseillons vivement de réaliser le chantier de terrassement en période de basses eaux (entre août et octobre), en restant vigilant vis-à-vis des tendances pluviométriques annoncées sur le long terme ;
- un dispositif de rabattement de nappe devra être mis en œuvre le temps de la mise hors d'eau de l'ouvrage. Sa modalité de mise en œuvre sera à adapter en fonction des modalités constructives / de terrassement et en fonction du planning de chantier retenu (à préciser) ;
- l'ouvrage souterrain et les travaux de terrassement devront être conçus et prévus en prenant en compte l'impact des eaux souterraines, tant pour les aspects géotechniques (hydrostatique, boulangerie, etc.) que pour le type et la résistance chimique des matériaux employés (agressivité sur les bétons) ;
- Les ouvrages annexes du projet (réseaux, ouvrages techniques ou de visite) devront également être adaptés à ce contexte hydrogéologique (étanchéité, mise hors d'eau des appareils sensibles, évènements au deçà de la cote de référence, ...), s'ils recoupent le ou les niveaux aquifères ;
- La prise en compte du contexte hydrogéologique lors de la conception des ouvrages de gestion des eaux pluviales est impérative, pour assurer une absence d'impact sur l'ouvrage souterrain.

Les informations ont montré que la nappe interceptée était très sensible à la pluviométrie du secteur et en lien avec le Nant de l'Ecra, toute modification de ces deux paramètres (accroissement des apports météoriques à l'amont, colmatage ou décolmatage du lit du cours d'eau) pourrait générer une incidence sur la trémie.

L'implantation d'éventuels ouvrages d'infiltration devra être réalisée à distance et à l'aval hydraulique de la trémie, à défaut d'étude démontrant une absence d'impact.

Il a été établi, sur la base des premières données de suivi, que les niveaux de référence établis au droit du projet (SC1 FONDASOL) étaient confirmés et valables pour ce dernier.

La trémie, sur la base des hypothèses de géométrie fournies à ce jour, recouperait donc le premier niveau de nappe (alluvions fluvio-glaciaires de SAINT GENIS) sur une hauteur maximale d'environ 2,3 m en période de hautes eaux.

L'ouvrage ne présentera pas d'incidences significatives en phase pérenne sur l'écoulement et la piézométrie (seule modification des côtes des isopièzes inférieure à 10 cm en bordure nord de la trémie). Son incidence est nulle à l'amont comme à l'aval immédiat du projet, tant à l'est (Suisse) qu'à l'ouest (SAINT GENIS POUILLY).

Il n'a pas été identifié de nécessité de mesures compensatoires pour le projet en phase d'exploitation.

En phase travaux, le projet nécessitera un épuisement de fouille au sein d'une enceinte pseudo-étanche créée par un voile de soutènements (paroi moulée, pieux sécants ou similaire).

Les débits d'exhaure instantanés maximaux estimés pour cette fouille présentent une gamme de valeurs s'étendant de 28 à **83 m³/h**, selon la gamme de perméabilités retenue pour les dépôts morainiques argileux dans lesquels sera fiché le dispositif de soutènement (3 à $9 \cdot 10^{-5}$ m/s – données FONDASOL et SAGE).

L'ensemble de ces conclusions seront mises à jour et entérinées à l'issue du suivi continu des niveaux piézométriques actuellement réalisé par SAGE Ingénierie sur la zone de projet. Les impacts et débits d'exhaure seront ainsi affinés et mis en corrélation avec les solutions techniques retenues.

8.1. Remarques importantes :

- Le présent rapport / dimensionnement se base sur les paramètres du projet présentés à ce jour par le maître d'ouvrage (typologie de surface, aires, plans de projet, terrassements envisagés, etc.).

Toute modification du projet devra faire l'objet d'un contrôle de la validité de notre rapport et de sa mise à jour si nécessaire. Le non-respect de cette règle ou de nos préconisations rend la présente étude caduque, de même que l'application des contrats d'assurance souscrits par AQUÉO.

- Des échanges avec les administrations compétentes en termes de gestion des eaux souterraines peuvent incomber au client, notamment la déclaration des ouvrages et prélèvements.

Attention de bien communiquer avec le service concerné et de bien anticiper les différentes phases du projet afin de parer à tout retard ou refus de l'autorité ;



- *Il convient de noter que les investigations de terrain demeurent ponctuelles et spatialement restreintes. En toute logique, un élément localisé peut ne pas avoir été relevé par celles-ci, malgré toutes les précautions prises.*

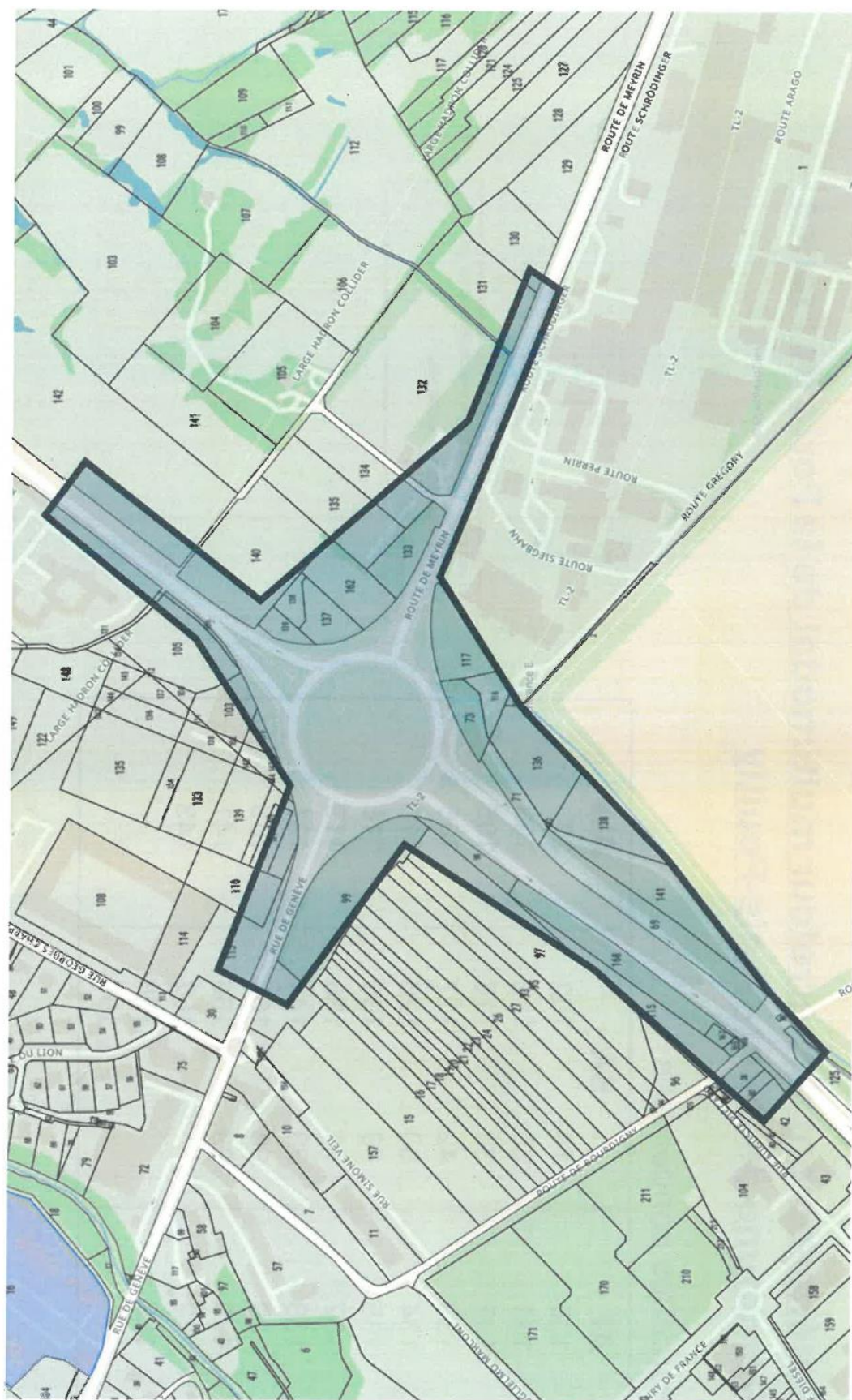
9. Annexes :

9.1. Annexe 1 : extrait de l'arrêté préfectoral du 04/07/2024 :

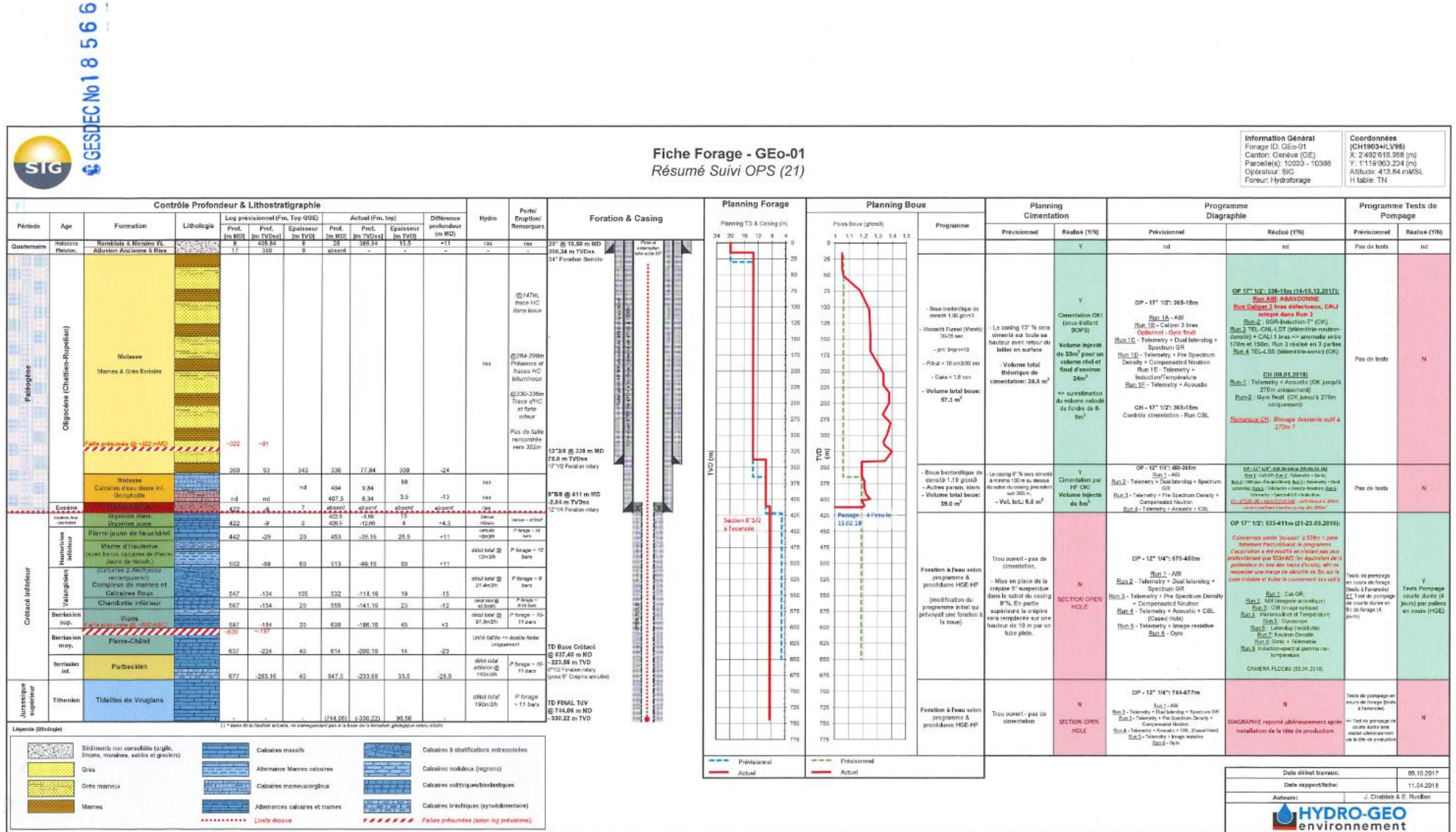
Aménagement du carrefour multimodal de la Porte de France – Commune de Saint-Genis-Pouilly

Parcelles concernées	AT	BA	AW
	130	14	27
	131	35	103
	132	38	105
	133	42	106
	134	60	115
	135	69	116
	137	71	119
	138	73	131
	139	98	140
	140	99	141
	142		143
	162		
		102	
		112	
		116	
		117	
		125	
		136	
		138	
		141	
		165	
		166	
		167	
		168	
		190	

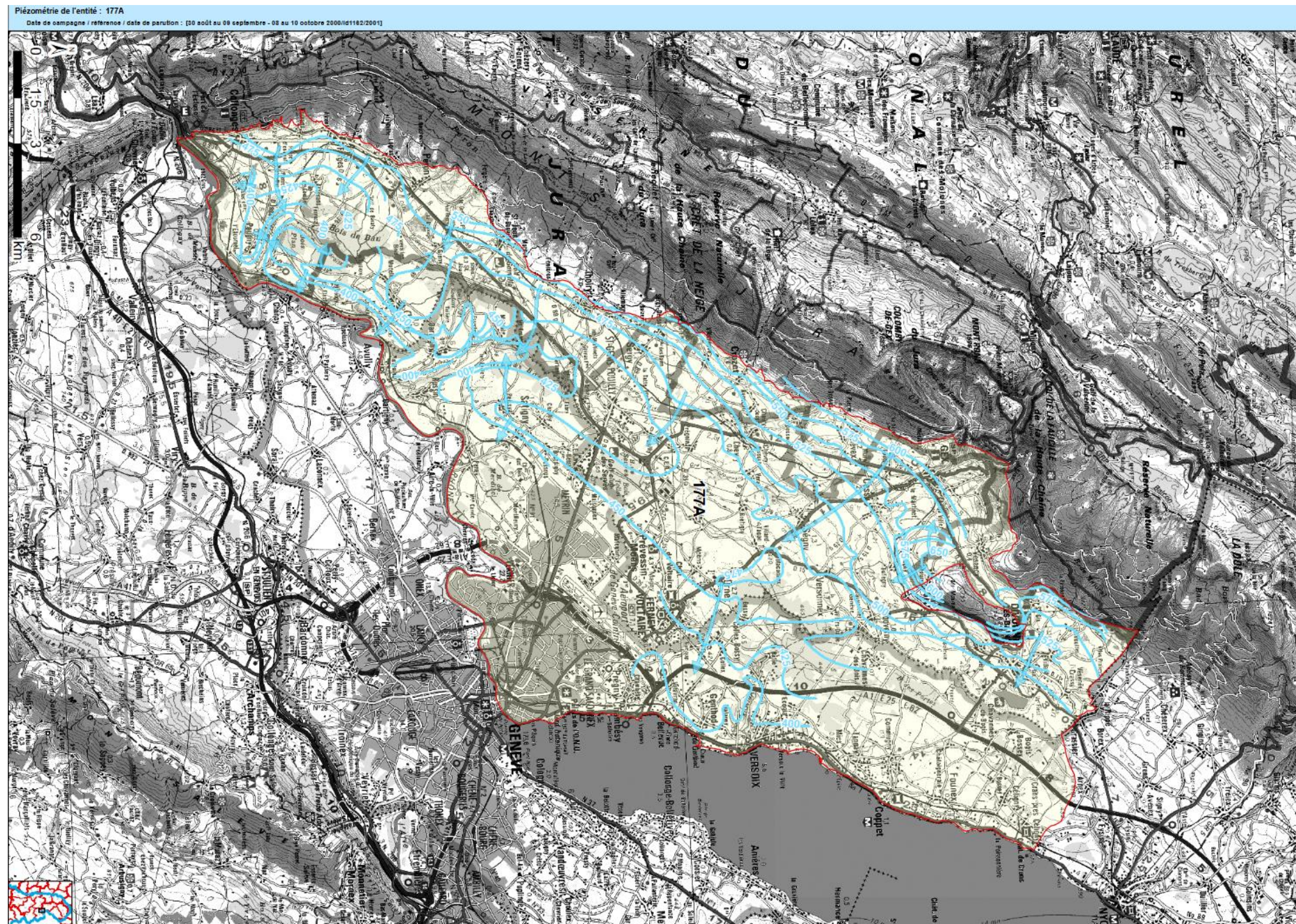
Vu pour rester annexé à l'arrêté préfectoral du 4 juillet 2024
Pour la préfète,
"adjointe au chef de bureau déléguée,
Anne-Cécile MEREAU



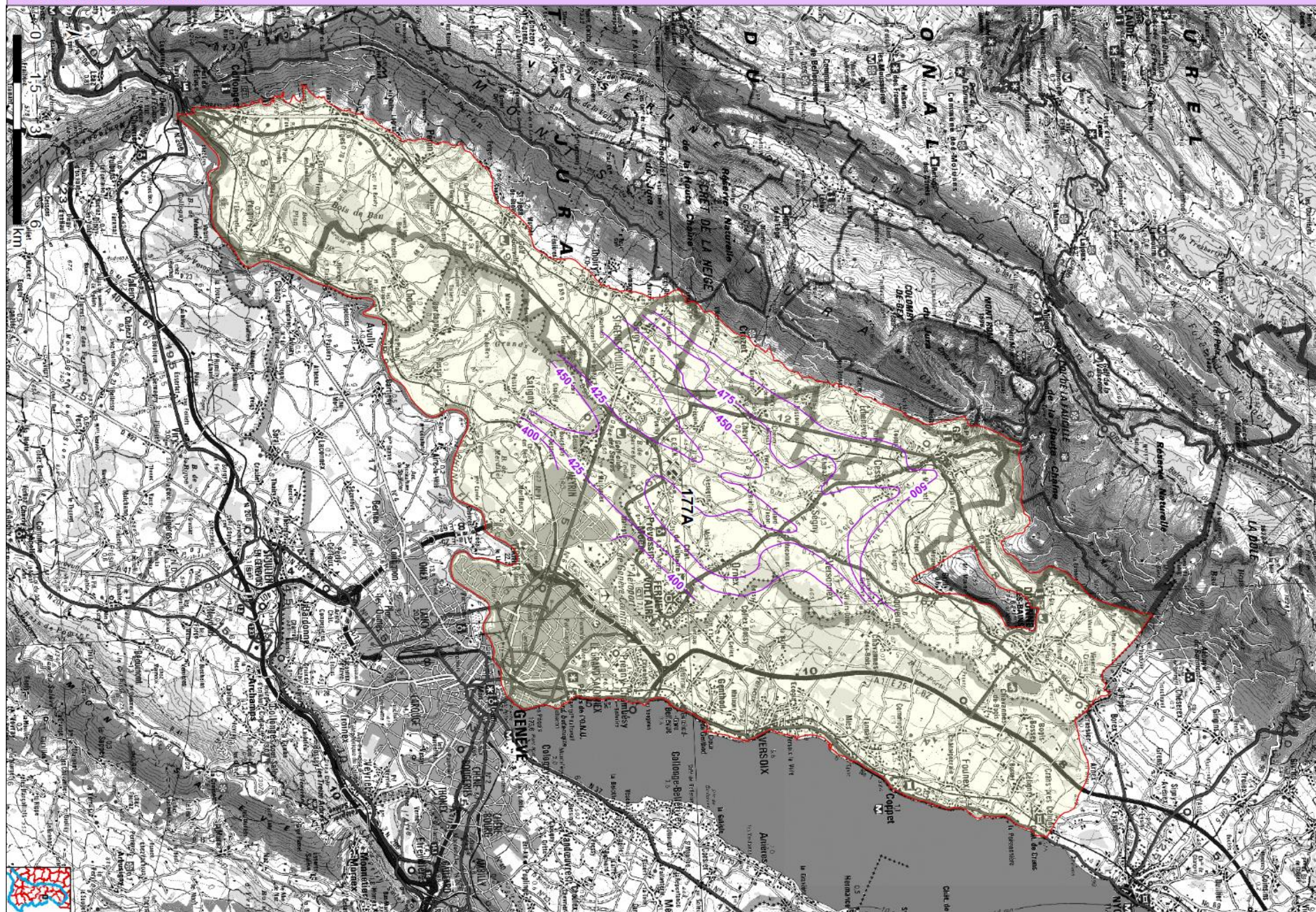
9.2. Annexe 2 : coupe lithologique et technique du forage Géo-01 :



9.3. Annexe 3 : carte piézométrique et profondeur du mur de la masse d'eau FRDG517 :



Isohypes du mur de l'entité : 177A
Référence et date de parution : id30215 1986



9.4. Annexe 4 : extrait des données brutes de modélisation :

	Géologie	Type	Perméabilité retenue (m/s)	Facteur anisotrope de perméabilité	Porosité (%)	Puissance (m)
Formation 1	Formations fluvo-glaciaires de Saint-Genis (sable graveleux)		$3,1 \cdot 10^{-3} < k < 3 \cdot 10^{-4}$	$Kh = 0,1 \times Kh$	4,00%	Variable spatialement, définie sur la base des sondages effectués et des données de la BSS
Formation 2	Moraine gravelo-limoneuse localement argileuse		$3,0 \cdot 10^{-5} < k < 9 \cdot 10^{-5}$	$Kh = 0,1 \times Kh$	4,00%	Variable spatialement, définie sur la base des sondages effectués et des données de la BSS
Formation 3	Molasse marno-gréseuse		1,00E-09	$Kh = 0,1 \times Kh$	27,00%	Variable spatialement, définie sur la base des sondages effectués et des données de la BSS
	Conditions aux limites et alimentation					
	Type					
Est	Charge imposée via une interpolation d'une côte fixe de profondeur piézométrique retranchée au modèle numérique de terrain					
Ouest	Charge imposée via une interpolation de l'altitude du lit du cours d'eau Le Lion (calculé via le modèle numérique de terrain)					
Nord et sud	Flux nul (perpendiculaire à l'écoulement)					
Centre	Charge imposée via une interpolation de l'altitude du lit du cours d'eau le Nant d'Ecras (calculé via le modèle numérique de terrain) avec intégration d'un coefficient de conductance (perméabilité) du lit du ruisseau. Ajustement à $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ s-l}$.					
Sommet	Recharge imposée à la couche supérieure à raison de 371 mm/an (40% brute)					
	Géométrie					
	Emprise (m)		Nœuds	Éléments	Couches	Altitude
	1 652 (N-S) x 1 370 (E-O)		3378	4052	2	MNT Interpolation UDAR maille 1m
Modèle						

	Point	X (L93)	Y (L93)	Z TN (m NGF)	Z fond limons sableux (m NGF)	Z fond grave sablonneuse (m NGF)	Z fond argiles sableuses (m NGF)	Z toit des moraines (m NGF)	Z toit des molasses (m NGF)
FONDASOL	SC1	933718,971	6575562,27	443,79	441,5	437,65	423,9	441,5	417,9
	SC2	933478,157	6575332,21	441,43	440,7	438	423,4	438	417
	P1	933553,495	6575342,98	441,7	440,7	439,2		439,2	
	SD1	933561,567	6575352,39	441,7	440,7	438,2		438,2	
	SD2	933564,258	6575472,13	441,91	440,4	435,7	423,3	435,7	
	SP1	933538,697	6575326,83	441,6	440,6	438,1		438,1	
	SP2	933592,51	6575395,45	441,89	440,4	438,9		438,9	417,3
CONFLUENCE	SP3	933673,23	6575610,7	443,2	442,2	438,7		438,7	
	SP1	933665,2	6575540,2	443,5		437,1			
SAGE	SP2+PZ	933700,2	6575621,8	443,7		440,7			
	SC1 ou SC10	933600,9	6575590,9	443,27	440,07				
BSS 2	SP1	933745,3	6575510,9	442					
	BSS003ODAO	933182	6575519	439,5					409,5
	BSS001RGVA	932721	6574800	436,15					410,65
	BSS004GKKJ	934690	6575324	454,35				447,75	441,35
	BSS001RHAU	934291	6575047	461					458,8
	BSS001RGYM	934343	6576415	447,6				441,2	426
	BSS001RHAN	934381	6576125	455,24				453,44	446,44
	BSS001RGYL	934258	6575806	446					423,5
	BSS001RGZF	933406	6576034	440,7				435,7	406,9
	BSS001RGZK	933581	6576052	450				449,7	409,5
BSS	BSS001RGZG	933549	6575902	442,7				439,7	411,4
	BSS001RGVA	932711,318	6574798,12	436,15				436,15	405,65
	BSS001RGYL	934465,63	6575682	444				444	426
	BSS001RGYM	934336,478	6576412,52	446				446	419,4
	BSS001RGYQ	934532,897	6575293,2	447				447	433,15
Cartes géologiques BRGM	BSS001RGZG	933537,351	6575893,22	442,7				439,7	406,4
	Geol01	933565,603	6575060,46	445				445	
	Geol02	934001,491	6575262,26	448,3				448,3	
	Geol03	934760,258	6575936,27	445,7				445,7	
	Geol04	932952,132	6574632,64	441,7				441,7	
	Geol05	934798,261	6576677,06	452,3				452,3	
	Geol06	932784,293	6574492,73	439,8				439,8	
	Geol07	933112,856	6574766,53	443,3				443,3	
	Geol08	932548,519	6574930,81	438,8				438,8	
	Geol09	933964,685	6576403,26	445,3				445,3	
	Geol10	934147,22	6576403,26	449,3				449,3	
	Geol11	934980,796	6576859,6	454,6				454,6	
	Geol12	933065,701	6575490,59	436,2				436,2	
	Geol13	932934,884	6575388,67	440,5				440,5	
	Geol14	932846,659	6575216,79	439,9				439,9	
	Geol15	932676,293	6575096,62	438,6				438,6	
	Geol16	933544,855	6575974,31	443,1				443,1	
	Geol17	933403,39	6575933,24	442,1				442,1	
	Geol18	933362,32	6575749,18	442,2				442,2	
	Geol19	933222,377	6575621,4	437,7				437,7	
	Geol20	934253,698	6574879,1	464,7				464,7	458,7
	Geol21	933867,333	6576391,09	445,1				445,1	
	Geol22	933763,897	6576284,61	444,9				444,9	
	Geol23	933633,08	6576152,28	443,9				443,9	
	Geol24	933724,347	6574462,31	476,9				476,9	470,9
	Geol25	933836,911	6574614,42	469,4				469,4	463,4
	Geol26	934001,192	6574812,17	464,5				464,5	458,5
	Geol27	934168,516	6574918,65	463,4				463,4	457,4
	Geol28	933140,236	6574185,46	472,3				472,3	466,3
	Geol29	933298,433	6574100,28	480,7				480,7	474,7
	Geol30	933404,911	6574200,68	482,4				482,4	476,4
	Geol31	933541,813	6574355,83	479,2				479,2	473,2
	Geol32	933414,038	6573911,66	498,7				498,7	493,7
	Geol33	933560,066	6573999,89	499,5				499,5	494,5
	Geol34	932924,236	6574112,45	463,2				463,2	457,2
	Geol35	934210,858	6575449,43	447,1				447,1	
	Geol36	933045,926	6574161,13	463,7				463,7	457,7
	Geol37	935234,823	6576658,81	467,4				467,4	430
	Geol38	934862,148	6576064,05	460,8				460,8	
	Geol39	932683,899	6574380,17	440,3				440,3	
	Geol40	933334,94	6573774,76	500,3				500,3	495,3
	Geol41	935316,964	6576847,43	466,8				466,8	
	Geol42	933815,33	6575122,51	450,9				450,9	
	Geol43	934597,472	6576500,61	450,1				450,1	419
	Geol44	934615,726	6575800,9	453,6				453,6	
	Geol45	933356,235	6574912,56	445,1				445,1	