



RAPPORT D'ETUDE GEOTECHNIQUE

Affaire n° DO-24-007 indice 0 du 28/05/2024

PROJET DE CONSTRUCTION D'UN IMMEUBLE DE BUREAUX

Angle avenue Pontremoli et Simone Veil

NICE

CLIENT : W-PI Projets (REFO 38236)

MISSION : G2 LIMITEE PHASE AVP

SARL au Capital de 2.000 €

TERRA ENGINEERING
SIRET 927 862 813 00015
Siège social

R.C.S Nice

3, chemin du Mascon – Nice Park – 06200 NICE
Tel : 06 14 28 24 78

Mail : contact@bet-terra.fr

SOMMAIRE

I	CONTEXTE DE L'ETUDE	3
I.1	Introduction	3
I.2	Localisation du site	3
I.3	Documents transmis	4
I.4	Caractéristiques du site	4
I.4.1	Description générale	4
I.4.2	Contexte géotechnique et hydrogéologique	4
I.4.3	Risques identifiés	5
I.5	Investigations géotechniques	5
II	SYNTHESE DES INVESTIGATIONS	7
II.1	Modèle géotechnique au stade avant-projet	7
II.2	Données hydrogéologiques	9
II.2.1	Piézométrie	9
II.2.2	Perméabilité	9
II.3	Risque sismique	10
III	PRINCIPES DE CONSTRUCTION – PHASE AVP	11
III.1	Description du projet	11
III.2	Fondations	12
III.3	Terrassement – Soutènements	13
III.4	Dispositions vis-à-vis des eaux souterraines	15
III.5	Première approche de la ZIG	16
IV	RECOMMANDATIONS GENERALES	17

ANNEXES

Annexe 1 : Extrait de la norme NF P 94-500

Annexe 2 : Plan d'implantation des sondages

Annexe 3 : Résultats des investigations géotechniques

I CONTEXTE DE L'ETUDE

I.1 Introduction

A la demande et pour le compte de la société W-PI Projets, le bureau d'études TERRA ENGINEERING a été missionné pour la réalisation d'une étude géotechnique de niveau G2 limitée à la phase Avant-Projet selon la norme NF P 94-500 de novembre 2013.

La mission est conforme au contrat n°PR-24-016 indice 0 du 06/05/2024.

I.2 Localisation du site

Le site objet de la présente étude est situé à l'angle de l'avenue Pontremoli et de l'avenue Simone Veil sur la commune de Nice (06).



I.3 Documents transmis

Les documents communiqués sont les suivants :

-  Bâtiment E1, E2, E3, E4 - Plan R+1 - GLA - établi par ATGTSM en date de décembre 2022
-  Bâtiment E1, E2, E3, E4 - Plan RDC - GLA - établi par ATGTSM en date de décembre 2022
-  Bâtiment E1, E2, E3, E4 - Plan SOUS SOL - SDP estimée - établi par ATGTSM en date de décembre 2022
-  ExtraitCadastral Pontremoli
-  NLP_20240515 parking
-  NLP_20240515
-  Vue aérienne avec limites parcelle

I.4 Caractéristiques du site

I.4.1 Description générale

La parcelle du projet est relativement plate et est actuellement occupée par un immeuble de bureau de type R+1 reposant sur un niveau de sous-sol ainsi que par des parkings extérieurs.

Le site est bordé :

- au nord par des parkings extérieurs et des immeubles de bureaux de type R+1 a priori sans sous-sol
- à l'est par l'avenue Simone Veil avec la ligne de tramway en son centre
- au sud par l'avenue Pontremoli
- à l'ouest essentiellement par des espaces verts d'une autre parcelle

I.4.2 Contexte géotechnique et hydrogéologique

Le projet est situé sur la plaine du Var en rive gauche, dans une zone présentant normalement des épaisseurs importantes de dépôts alluvionnaires hétérogènes et généralement constitués par des alternances de sables et galets intercalés par des niveaux plus fins.

Par ailleurs, le site est baigné par la nappe phréatique d'accompagnement du Var.

I.4.3 Risques identifiés

Risque	Aléa	Source et/ou Règlement
Inondation	Nul	PPR Inondation Basse Vallée du Var
Remontée de nappe	Zone potentiellement sujette au débordement de nappe – Fiabilité forte	Géorisques
Mouvement de terrain	Nul	PPR Mvt Terrain de Nice
Séisme	Zone de sismicité 4 – Aléa moyen	PPR Séisme de Nice Décret n°2010-1255 du 22/10/2010

I.5 Investigations géotechniques

Les investigations suivantes ont été réalisées :

Sondages / Essais	Nom	Profondeur
Sondage destructif avec enregistrement en continu des paramètres de forage Equipement en piézomètre ouvert	SD1+Pz	12 m
Sondage destructif avec enregistrement en continu des paramètres de forage Réalisation d'essais pressiométriques (NF EN ISO 22476-4)	SP1	18.7 m
Sondage carotté	SC1	8 m

Ces investigations ont été complétées par la réalisation de 3 essais de perméabilité en forage ouvert (norme NF EN ISO 22282-2), menés dans le sondage SP1.

Les différentes investigations ont été nivelées et implantées au moyen d'un GPS, les différentes coordonnées étant reportées sur les logs des forages.

Le plan d'implantation des investigations ainsi que les logs des sondages et essais réalisés sont présentés en annexe.

Les différents logs de sondages présentent les caractéristiques suivantes :

- **Sondages destructifs :**

- o coupe supposée des sols,
- o diagraphie des paramètres de forage enregistrés :
 - V.A. : vitesse d'avancement instantanée (m/h),
 - P.O. : pression sur l'outil (bars),
 - P.I. : pression d'injection (bars),
 - C.R. : couple de rotation (bars).

- **Sondages carottés :**

- o coupe détaillée des sols,
- o planche photographique des caisses à carottes

- **Essais pressiométriques :**

- o Module pressiométrique : E_M (MPa),
- o Pression limite : p_l (MPa),
- o Pression de fluage : p_f (MPa),
- o Rapport E_M/p_l .

II SYNTHÈSE DES INVESTIGATIONS

II.1 Modèle géotechnique au stade avant-projet

La synthèse des investigations géotechniques réalisées permettent de dégager schématiquement trois formations distinctes, sous un couvert de remblais de l'ordre de 1 à 1.5 m d'épaisseur (présence de déchets anthropiques) :

 Formation n°1 : Alluvions hétérogènes principalement constituées de sables localement limoneux à graves et galets

Base de la formation (au droit de SP1) : 13.40 m / TN soit +2.50 m NGF

Au droit du forage carotté F1, cette formation à structure très hétérogène est principalement constituée de sables moyens à sables grossiers à graviers et galets. Ces horizons sont parfois entrecoupés de lentilles limoneuses à limono-sableuses. L'on notera également des passages de galets avec peu ou pas de matrice sableuse notamment vers 7-8 m de profondeur.

En forage destructif, la traversée de cette formation s'accompagne de vitesse d'avancement assez irrégulière. Ces variations témoignent de l'hétérogénéité (de nature) de cette formation mais qui en masse présente une bonne compacité. En effet, les passages à vitesses d'avancement inférieures traduisent la rencontre d'horizons à granulométrie plutôt grossière et serrée, au contraire des pics de vitesses observés traduisant la rencontre d'horizons à structure plus fine et lâche.

Localement, l'on constate également des augmentations ponctuelles de la pression d'injection, traduisant des passages plus fins et moins perméables.

Les essais pressiométriques, réalisés dans les sondages destructifs, ont permis de retenir les caractéristiques pressiométriques suivantes :

- Pression limite (Pl) : entre 0.34 et 4.70 MPa – Moyenne $\approx$ 2.5 MPa
- Module pressiométrique (Em) : entre 2.9 et 61 MPa – Moyenne $\approx$ 20 MPa

 Formation n°2 : Alluvions fines principalement constituées de limons sableux à quelques galets et cailloutis épars

Toit de la formation (au droit de SP1) : 13.40 m / TN soit +2.50 m NGF

Base de la formation (au droit de SP1) : 17.90 m / TN soit -2.00 m NGF

La traversée de cette formation s'accompagne de vitesse d'avancement assez élevée, traduisant des horizons compressibles. De plus, l'on constate également des passages où la pression d'injection augmente traduisant la structure fine et lâche de cette formation.

Les deux essais pressiométriques réalisés dans le sondage SP1, ont permis de retenir les caractéristiques pressiométriques suivantes :

- Pression limite (Pl) : entre 0.48 et 0.52 MPa – Moyenne $\approx$ 0.50 MPa
- Module pressiométrique (Em) : entre 4.20 et 5.30 MPa – Moyenne $\approx$ 5 MPa

Ces valeurs confirment bien le caractère compressible de cette formation.

 Formation n°3 : Alluvions hétérogènes supposées (sables à sables limoneux à galets)

Toit de la formation (au droit de SP1) : 17.90 m / TN soit -2.00 m NGF

Base non reconnue (> 19 m)

Par expérience dans le secteur, sous les alluvions fines (formation n°2) l'on retrouve des dépôts alluvionnaires à dominante grossière principalement constitués de sables, sables limoneux, galets et graves.

Les caractéristiques géomécaniques de cette formation sont généralement similaires à celles de la formation n°1.

Enfin, les études et diagnostic de pollution des sols ne font pas partie de notre mission.

II.2 Données hydrogéologiques

II.2.1 Piézométrie

Les différents niveaux d'eau relevés pendant la campagne d'investigations géotechniques sont synthétisés dans le tableau suivant :

Sondage Relevés	SP1	SD1+Pz	SC1
Profondeur (m / TN)	4.50	4.20	4.70
Profondeur (m NGF)	+11.40	+11.20	+11.20

Ces niveaux d'eau correspondent à l'altitude de la nappe phréatique lors de la période de réalisation des investigations géotechniques.

Il conviendra de réaliser une étude hydrogéologique ainsi qu'un suivi piézométrique de longue durée pour statuer sur les niveaux des eaux conventionnels à considérer pour le projet (cette prestation ne fait pas partie de notre mission). La présence d'une nappe en charge contenue dans la formation n°3 n'est pas exclue (contenue par la formation n°2).

II.2.2 Perméabilité

Les essais de perméabilité ponctuels en forage ouvert (anciennement LEFRANC) réalisés au droit du forage SP1 ont conduits aux résultats suivants :

- Kh moyen vers 4.80 m = 2.8×10^{-6} m/s
- Kh moyen vers 13.90 m = 2.3×10^{-6} m/s

Un essai infructueux a été réalisé vers 9.40 m.

Nous rappelons que ces essais d'absorption ponctuels présentent un intervalle de confiance d'une puissance de 10.

Par expérience dans ce secteur, il existe une anisotropie entre les perméabilités horizontales et verticales au sein du complexe alluvionnaire hétérogène, de l'ordre de $kh = 10 \times kv$

II.3 Risque sismique

Selon le décret n°2010-1255 du 22/10/2010, la norme NF EN 1998 (EC 8) et le PPR Sismique de Nice, les principales hypothèses vis-à-vis des conditions sismiques déduites des éléments du projet et des reconnaissances effectuées dans le cadre de cette étude, sont présentées dans le tableau suivant :

Zone de sismicité	Zone 4 – Aléa Moyen
Catégorie d'importance du projet	II ($y_I = 1.0$)
Classe de sol selon PPR Séisme Nice	B1
Accélération maximale au rocher a_{gr}	1.60 m/s ²
Paramètre de sol S	B1 = 1.71
Accélération maximale de surface (a_{max})	2.74 m/s ²

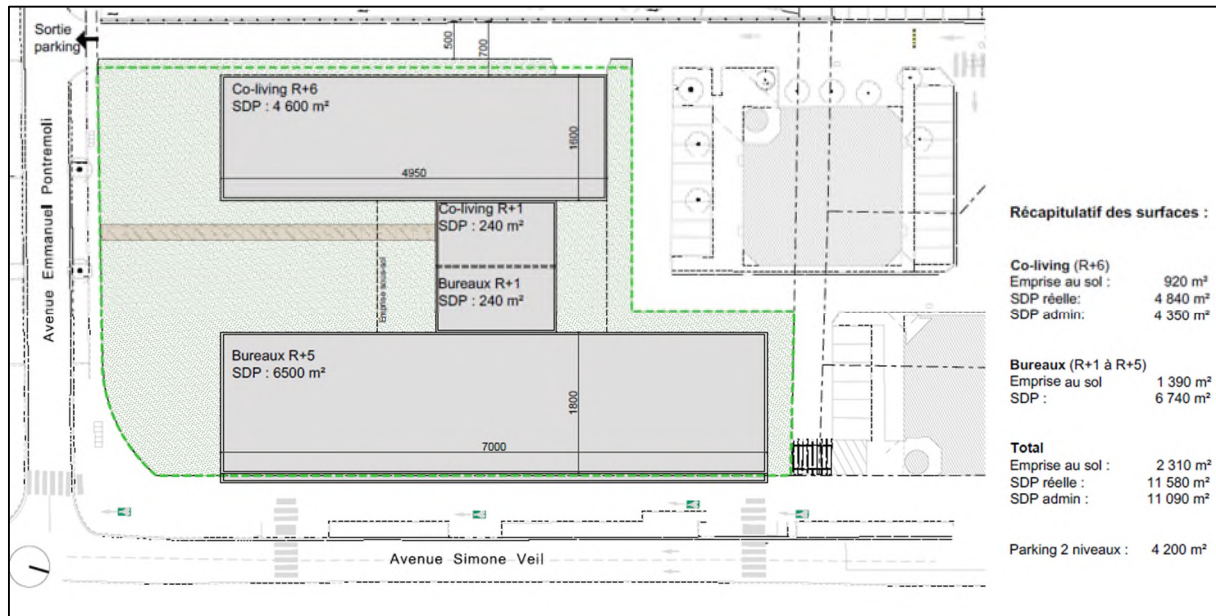
Compte-tenu de la granulométrie apparente et des caractéristiques géomécaniques assez bonnes et localement élevées des alluvions à dominante grossière (formation n°1 et n°3), nous pouvons considérer que le risque de liquéfaction dans ces horizons peut être écarté.

Il conviendra lors des phases ultérieures du projet d'analyser plus finement le potentiel de liquéfaction de la couche d'alluvions fines compressibles (formation n°2).

III PRINCIPES DE CONSTRUCTION – PHASE AVP

III.1 Description du projet

D'après les documents communiqués (cf. §I.3), le projet comporte la réalisation d'un ensemble de 3 immeubles de bureaux de type R+1, R+5 et R+6 reposant sur 2 niveaux de sous-sol commun, selon l'extrait de plan de masse (Esquisse) ci-après :



A noter que le long de l'avenue Simone Veil (façade Est), le projet prévoit à ce stade la réalisation de 2 niveaux de sous-sols à l'aplomb du sous-sol du bâtiment existant, nécessitant des adaptations d'exécution dont les principes seront décrits dans les chapitres suivants.

Enfin, la cote du niveau bas n'est pas connue à ce stade du projet, il est considéré une excavation de l'ordre de 6 m de hauteur.

III.2 Fondations

Compte-tenu de la réalisation des terrassements de l'ordre de 6 m dans le cadre du projet avec 2 niveaux de sous-sol, le fond de fouille sera constitué par les alluvions hétérogènes à dominante grossière (formation n°2) présentant des caractéristiques de compacité assez élevées mais qui restent néanmoins variables en fonction de la structure lenticulaire des terrains sous-jacents.

Au regard du contexte hydrogéologique en présence et de la forte hétérogénéité des terrains sous-jacents, il pourra être privilégié un système de fondation de type radier général épais et/ou nervuré, permettant notamment d'absorber un défaut local de portance.

Les calculs de capacité portante du radier dans le cadre de la présente ébauche dimensionnelle respectent les prescriptions de la norme NF P94-261. Les contraintes de calcul s'entendent pour une assise et des fonds de fouilles sains et non remaniés.

A ce stade, les fondations pourront être dimensionnées avec les contraintes admissibles de calcul suivantes :

- $q' \text{ ELS} = 0.40 \text{ MPa}$
- $q' \text{ ELU} = 0.65 \text{ MPa}$

En première approche, l'on pourra retenir un coefficient de réaction verticale du sol d'assise de l'ordre de 10 MPa/m (1000 T/m³).

La vérification des tassements absolus et différentiels du radier devra impérativement être effectuée lorsque les descentes de charges seront connues, en considérant le poids des terres excavées, les disparités de charge résultant des constructions de hauteurs variables et les variations de compacité des terrains sous l'emprise des fondations.

Si les déformations obtenues sont trop importantes tant pour le projet que pour son environnement, il pourra alors être nécessaire de prévoir le renforcement des couches les plus compressibles par un maillage d'inclusions rigides par exemple, notamment en vue de traiter la formation n°2 détectée jusqu'à 18 m de profondeur environ.

Le projet prévoit notamment un corps de bâtiment en R+1 reposant sur les deux niveaux d'infrastructure prévus. Une fois les niveaux des eaux conventionnels définis, le risque de soulèvement devra faire l'objet d'une analyse précise du BET Structure de l'opération. Dans ce cas, il pourra être envisagé la réalisation de micropieux/tirants travaillant à la traction et reprenant les efforts de sous-pression.

Le béton des fondations devra être résistant aux éventuelles agressions chimiques du milieu encaissant. La caractérisation de l'agressivité potentielle du milieu (sol et eau) nécessite des analyses spécifiques à réaliser lors de la phase projet.

III.3 Terrassement – Soutènements

Le projet prévoit donc la réalisation de deux niveaux de sous-sols, conduisant à des terrassements estimés de l'ordre de 6 m de hauteur depuis le terrain actuel, effectués dans des terrains alluvionnaires très hétérogènes et dont la tenue peut s'avérer particulièrement médiocre notamment lors de la rencontre de la nappe phréatique.

Les excavations devront être réalisées à l'abri d'un soutènement relativement étanche, de type paroi moulée ou pieux sécants par exemple, en retenant que le dimensionnement de cet ouvrage devra être effectué avec les caractéristiques habituelles de poussées et butées des terres, complété par des vérifications de stabilité hydraulique du fond de fouille, conformément à la norme NF P 94-282.

En l'absence d'essais spécifiques, on pourra retenir provisoirement les caractéristiques géomécaniques suivantes, qui devront être confirmées lors des phases ultérieures du projet (phase G2 PRO) :

Formation	Type de sol	γ (kN/m ³)	Angle de frottement interne ϕ'	Cohésion Court et long terme	
				Cu	C'
N°0	Remblais	20	28°	0 kPa	0 kPa
N°1	Alluvions grossières	22	35°	5 kPa	0 kPa
N°2	Alluvions fines	20	28°	5 kPa	0 kPa
N°3	Alluvions grossières	21	33°	5 kPa	0 kPa

Il convient de considérer l'exécution des travaux de fondations spéciales des parois périphériques comme des reconnaissances complémentaires à l'avancement pouvant conduire à des modifications ou adaptations du projet initial.

En phase provisoire, les efforts de poussée seront repris par des dispositifs de butonnage interne qui pourront éventuellement être vérinés pour limiter les déplacements des écrans.

En phase définitive, la reprise de la poussée des terres et de l'eau sera à assurer par les éléments de l'infrastructure de l'ouvrage qui devront être conçus et dimensionnés en conséquence.

La réalisation de ces travaux impose un suivi observationnel recommandé par les Eurocodes 7, à la fois des ouvrages en cours de construction mais aussi des avoisinants considérés dans la Zone d'Influence Géotechnique (cf. §III.5). Cette auscultation du comportement des différents ouvrages devra notamment comporter des dispositifs de suivi inclinométrique, topographique et vibratoire. Ce suivi observationnel devra permettre le cas échéant, d'adapter ou de modifier les hypothèses de dimensionnement initiales.

Les différents travaux envisagés seront réalisés au sein de dépôts alluvionnaires hétérogènes, pouvant conduire à des difficultés de foration et de scellement/bétonnage notamment pour les fondations profondes.

Compte-tenu du niveau de sous-sol existant qui, d'après les documents d'esquisse transmis, se situe en limite de propriété le long de l'avenue Simone Veil, un phasage particulier doit être envisagé pour la réalisation des soutènements étanches du projet.

En première approche, le phasage suivant pourrait être envisagé et devra être précisé dans les phases ultérieures du projet :

- Démolition de la superstructure existante
- Démolition des éléments d'infrastructure existants (plancher, poteaux etc...) hors parois enterrées, à l'appui d'un phasage précis qu'il conviendra de définir conjointement avec le BET Structure, afin d'assurer la stabilité des parois enterrées et des avoisinants
- Possibilité éventuelle de démolition des parois enterrées existantes en dehors de toute mitoyenneté et talutage provisoire selon une pente comprise entre 3H/2V et 1H/1V en fonction de la tenue des terres
- Démolition des fondations existantes inconnues à ce stade (radier ? Semelles ?)
- Remblaiement de l'infrastructure démolie
- Réalisation des parois étanches...

A noter que ce phasage considère que la nouvelle paroi étanche serait réalisée en intrados des voiles enterrés existants qui ne seront pas démolis (information non connue).

Le béton des soutènements devra être résistant aux éventuelles agressions chimiques du milieu encaissant. La caractérisation de l'agressivité potentielle du milieu (sol et eau) nécessite des analyses spécifiques à réaliser lors de la phase projet.

III.4 Dispositions vis-à-vis des eaux souterraines

Le niveau de la nappe phréatique devra être rabattu à l'intérieur de la fouille au moyen d'un pompage avec un débit résiduel qui devra être défini par l'hydrogéologue de l'opération et permettra de satisfaire aux conditions du dossier Loi sur l'eau.

Le rabattement localisé et temporaire pourra être réalisé au moyen d'un réseau de puits de pompage régulièrement espacés sous l'emprise du projet à l'intérieur de l'enceinte étanche, en vérifiant l'absence d'influence défavorable de tels travaux sur les aménagements voisins.

Un contrôle du débit de pompage et de sa régularité devra être prévu au moyen de débitmètres, complété par une vérification de l'absence d'entraînement de fines par la mise en œuvre de bacs de décantation.

Enfin, une vérification de l'absence de rabattement de nappe à l'extérieur de l'enceinte étanche devra être prévue notamment au moyen de tubes piézométriques faisant l'objet d'un suivi régulier.

Nous attirons toutefois l'attention sur les risques de débits de pompage très importants associés à un rabattement peu efficace de la nappe compte tenu de la perméabilité souvent très élevée des matériaux recoupés sous l'emprise du projet.

Dans cette hypothèse, le recours à des injections sous le fond des terrassements permettant de réduire la perméabilité en masse des terrains peut s'avérer nécessaire.

La formation n°2 (alluvions fines) peut présenter une perméabilité en masse plus faible, offrant la possibilité d'obtenir un débit réduit par le fond à la double condition de sa présence en épaisseur significative sur toute l'emprise du projet et de l'ancrage suffisant des parois étanches dans cette formation.

Lors des phases ultérieures du projet, des investigations hydrogéologiques devront être menées afin de définir les caractéristiques hydrogéologiques de cette formation.

Dans tous les cas, un test de pompage préalable sera mené une fois les parois étanches réalisées (et le bouchon injecté le cas échéant) afin de vérifier l'efficacité des dispositifs qui devront permettre un rabattement localisé à l'intérieur de la fouille et des débits en cohérence avec le Dossier Loi sur l'Eau.

L'arrêt des pompes ne pourra être entrepris qu'au moment où le poids propre de la structure permet d'équilibrer la sous-pression.

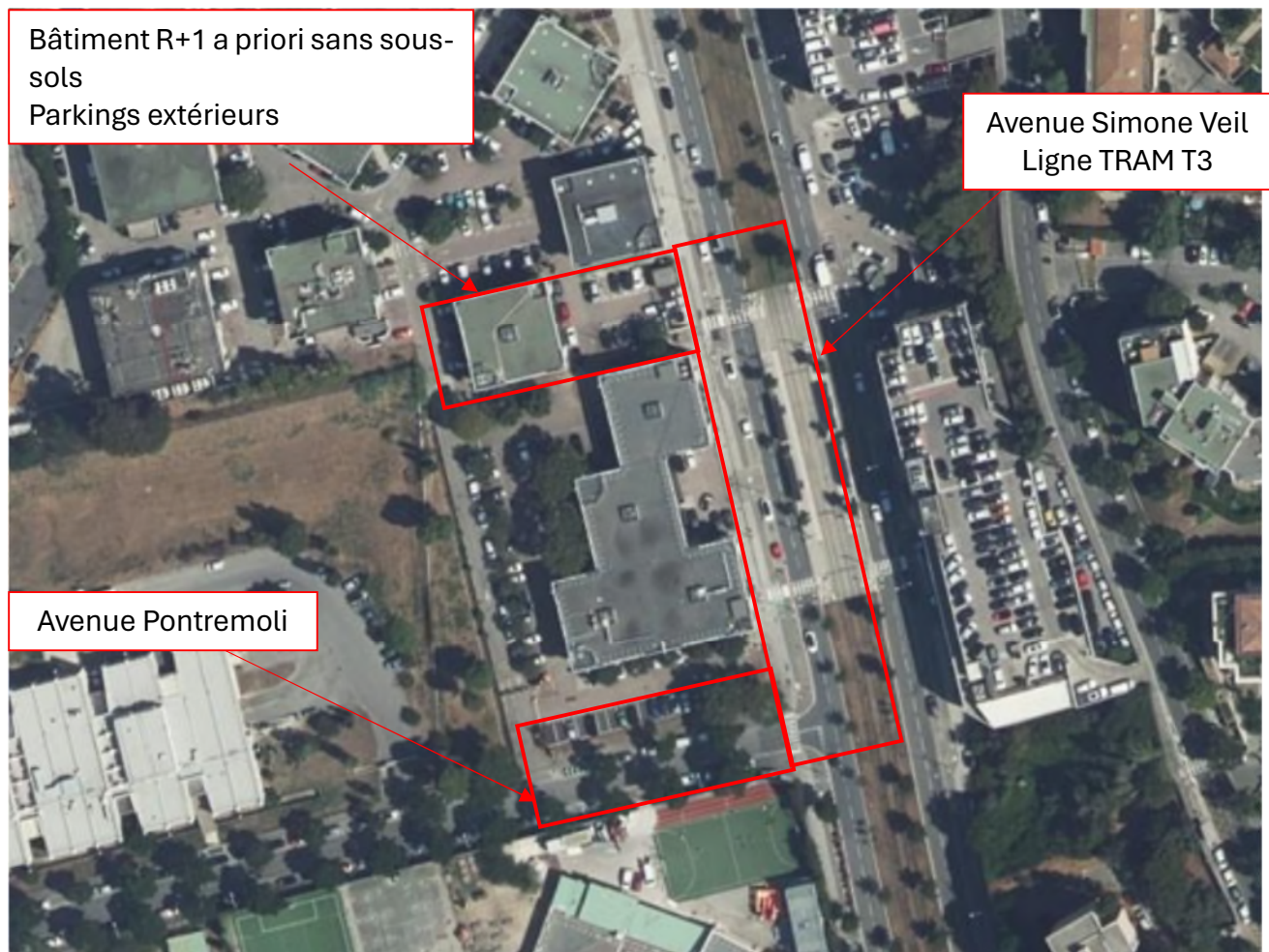
Des analyses d'agressivité des eaux devront être menées sur la nappe phréatique pour permettre de définir la classe d'exposition des bétons.

En phase définitive, les parties enterrées du projet, qui pourraient être situées sous le niveau de la nappe (Plus Hautes Eaux notamment), seront protégées par un dispositif d'étanchéité adapté (type cuvelage par exemple) et conçu pour résister aux efforts de sous-pressions hydrostatique correspondant à leur niveau d'immersion.

A ce stade, il apparaît prudent de prévoir un tel dispositif sur les 2 niveaux de sous-sols projetés.

III.5 Première approche de la ZIG

Au regard des différents éléments évoqués précédemment, il est possible de proposer en première approche la Zone d'Influence Géotechnique du projet, matérialisée sur la vue aérienne suivante :



Lors des phases ultérieures d'étude de ce projet, la ZIG sera amenée à évoluer

IV RECOMMANDATIONS GENERALES

Les préconisations du présent rapport ne sont valables que sous réserve des conditions générales des missions géotechniques fournies en annexe 1 (extrait norme NF P94-500 de novembre 2013).

Nous rappelons que cette étude a été menée dans le cadre d'une étude de conception G2 de niveau avant-projet (G2 AVP) et que conformément à la norme NF P94-500 de novembre 2013, une étude de conception de niveau projet (G2 PRO) doit être envisagée.

Nous recommandons également qu'une étude hydrogéologique soit menée afin de définir les niveaux d'eau conventionnels et établir le dossier Loi sur l'Eau pour les pompages provisoires.

Fait à Nice, le 28/05/2024

Anthony SGAMBETTERRA - Gérant

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Anthony SGAMBETTERRA", written over a horizontal line.

ANNEXE 1 : Extrait norme NF P 94-500

Missions d'ingénierie géotechnique.
Classification et spécifications.

Tableau 1 — Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Etude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

Tableau 2 — Classification des missions d'ingénierie géotechnique

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.
ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1) Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases : <u>Phase Étude de Site (ES)</u> Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site. — Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours. — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs. <u>Phase Principes Généraux de Construction (PGC)</u> Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées. — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).
ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2) Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases : <u>Phase Avant-projet (AVP)</u> Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées. — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques. <u>Phase Projet (PRO)</u> Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site. — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités. <u>Phase DCE / ACT</u> Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques. — Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel). — Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

Tableau 2 — Classification des missions d'ingénierie géotechnique (suite)

ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)

ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Étude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.

Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO)

SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

Phase Supervision du suivi d'exécution

- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

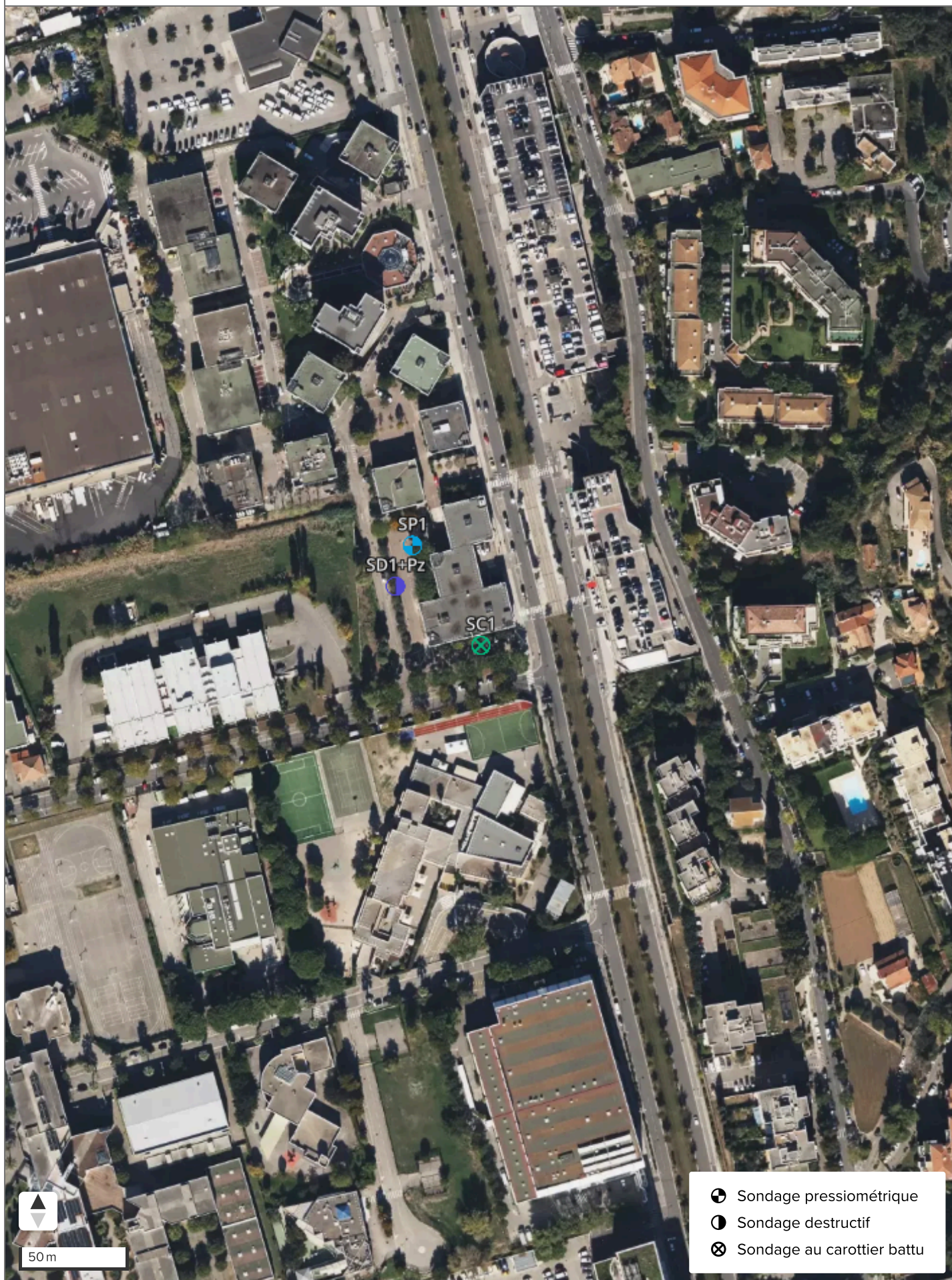
DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

ANNEXE 2 : Plan d'implantation des sondages

PLAN D'IMPLANTATION



- Sondage pressiométrique
- Sondage destructif
- ⊗ Sondage au carottier battu



PLAN D'IMPLANTATION

Précision des relevés (X / Y)	Relevé par géomètre
Mètre	Non
Système de coordonnées du projet	Nivellement
RGF93 / CC44	NGF

	WGS 84		RGF93 / CC44		
Nom	Longitude	Latitude	X	Y	Élévation [m]
SC1	7,20127	43,68707	2 038 564	3 173 858	15,9
SD1+Pz	7,20079	43,68731	2 038 524	3 173 883	15,71
SP1	7,20089	43,68748	2 038 530	3 173 902	15,89

ANNEXE 3 : Résultats des investigations géotechniques

- Sondage pressiométrique
- Sondage carotté
- Sondage destructif + Piézomètre
- Essais de perméabilité en forage ouvert

BELLO Pasqualino8 r

soilcloud.tech

RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE

Sondage	Type	Élévation	Prof. atteinte
SC1	Carotté	+15,9 m NGF	8,0 m

0,0 m



2,0 m

2,0 m



4,0 m

4,0 m



6,0 m

RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE

Sondage	Type	Élévation	Prof. atteinte
SC1	Carotté	+15,9 m NGF	8,0 m



6,0 m

8,0 m

SP1		X		Y		Système de coordonnées		Niveau d'eau													
		2 038 530		3 173 902		RGF93 / CC44		☐ Néant ☐ Non mesuré ☐ En cours de forage													
		Élévation +15,89 m		Nivellement NGF		Angle 0,0°		☐ Stabilisé ☐ Non stabilisé ☐ Sec													
Début		14/05/2024 14:00:00		Fin		16/05/2024 14:00:00		Machine		Opérateur											
								SD70.10		BELLO Pasqualino											
Élévation	Prof.	Lithologie	Descriptions	Outils	Fluides	Tubages	Niveau d'eau	Prof.	Vitesse d'avancement [m/h]	Pression de poussée [bar]	Pression d'injection [bar]	Couple de rotation [bar]	Em [MPa]	p _{lm} * [MPa]	p _{lm} * [MPa]	Em/p _{lm} *					
5,89	10		Grave caillouteuse	Tricône - en rotation - diam 66 mm	Eau	TOD90 diam 67-90 mm - rotation		10					35,6	2,79	4,17	8,5					
	11							11													
	12							12						44,1	2,94	4,69	9,4				
3,39	13		Sable limoneux					13													
	14							14						4,2	0,26	0,48	8,8				
	15							15													
	16							16						5,3	0,29	0,52	10,3				
	17																				
-2,11	18		18 m Grave sableuse																		
-2,81			18,7 m	18,7 m	18,7 m																

soilcloud.tech

SD1+PZ	X	Y	Système de coordonnées			Niveau d'eau		
	2 038 524	3 173 883	RGF93 / CC44			☐ Néant ☐ Non mesuré ☐ En cours de forage		
	Élévation	Nivellement	Angle	Azimut	Prof. atteinte	☐ Stabilisé ☐ Non stabilisé ☐ Sec		
Données	Type	Début		Fin		Machine	Opérateur	
PZO-SD1+Pz	Piézomètre ouvert	16/05/2024 15:00:00		17/05/2024 10:00:00		SD70.10	BELLO Pasqualino	

Sondage

Prof.	P	12,0 m
Diamètre	D	90,0 mm

Niveau d'eau

En cours de forage	H _w	- m
Après équipement	H _w	4,2 m

Tube

☒ PVC

Diamètre intérieur	D _i	51,0 mm
Diamètre extérieur	D _e	60,0 mm
Crépines	De	2,0 à 12,0 m
	Fente	0,5 mm

Développement ☒ Non

Bouchon de fond ☒ Oui

Hauteur hors sol H_t 0,0 m

Remblais

Ciment	De	0,2 à 1,0 m
Bouchon argile	De	1,0 à 2,0 m
Gravier calibré 2 - 4 mm	De	2,0 à 12,0 m

Protection

Tête métallique ☒ Oui

Cadenas ☒ Non

Bouche à clef ☒ Non

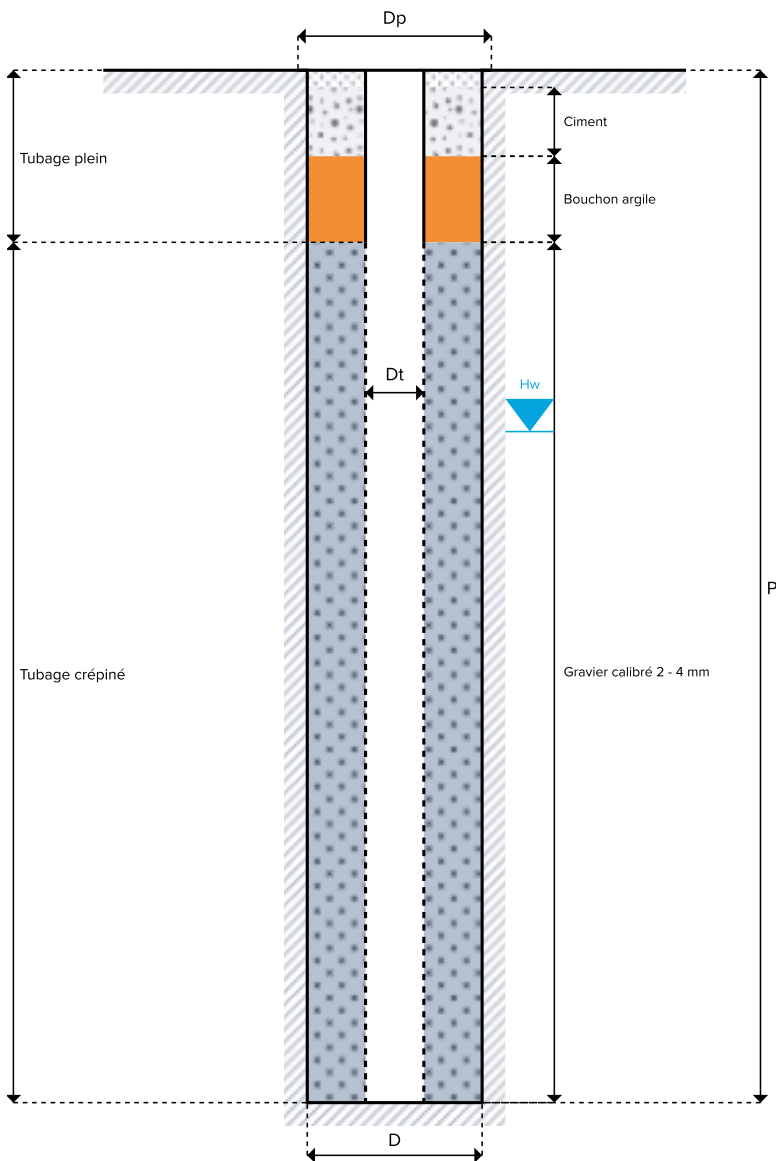
Regard béton ☒ Non

Diamètre protection D_p 110,0 mm

Hauteur hors sol H_p 0,0 m

Réception Piézomètre

Profondeur Eau - Début réception	0,0 m
Profondeur Eau - Fin réception	4,2 m
Durée réception	1,0 h

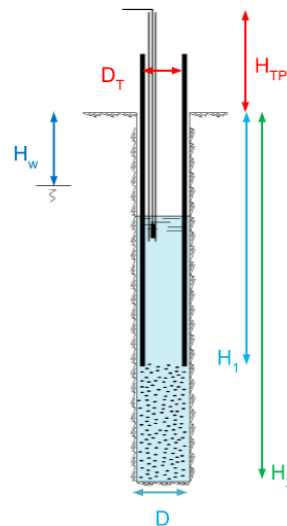
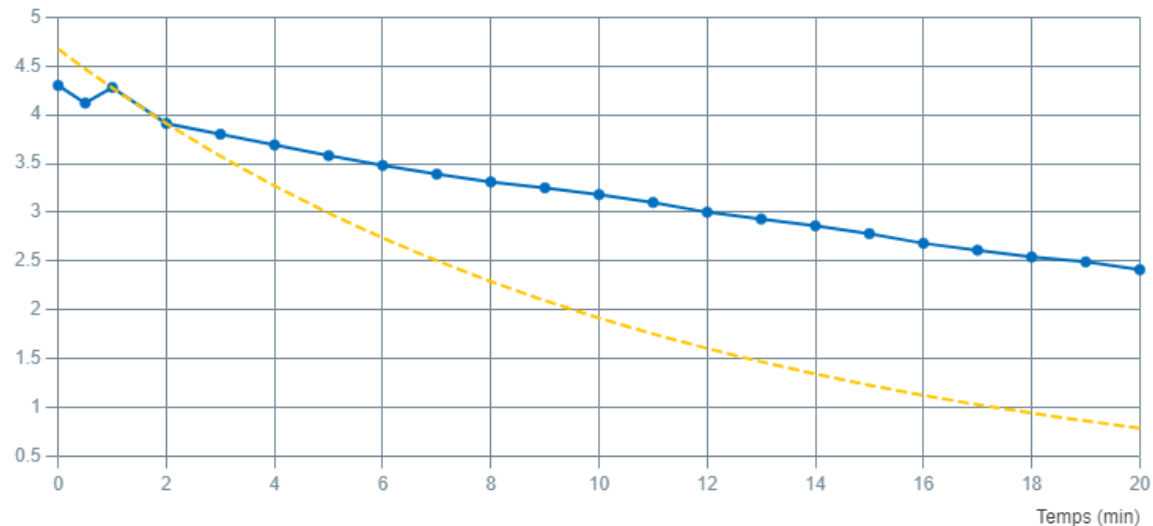


RÉFÉRENCE : PR.06GT.24.0036
NOM DU CALCUL : SP1 Lefranc - 4 m
PROJET : Opération immobilière
OUTIL : Lefranc / Nasberg v1.1
SONDAGE N° : SP1
DATE : 15/05/2024, 09h12

TYPE DE L'ESSAI : Essai sous nappe
MODE OPÉRATEUR : Injection
DIAMÈTRE INTÉRIEUR DU TUBE : 67 mm
PROFONDEUR ESSAI : de 4,30 à 5,30 m

LONGUEUR DE LA CAVITÉ D'ESSAI : L = 1,00 m
DIAMÈTRE DE LA CAVITÉ D'ESSAI : D = 0,066 m
ÉLANCEMENT DE LA CAVITÉ : L/D = 15,2
FACTEUR DE FORME : m = F/D = 27,9
PROFONDEUR DE LA NAPPE : H₀ = 2,40 m

Variation de la charge hydraulique h durant l'essai



Phase 2 : retour à l'équilibre

COEFFICIENT DE PERMÉABILITÉ : $K_L = 2,8E-6$ m/s

DURÉE CORRIGÉE min	CHARGE HYDRAULIQUE h m
0,0	4,30
0,5	4,12
1,0	4,28
2,0	3,91
3,0	3,80
4,0	3,69
5,0	3,58
6,0	3,48
7,0	3,39
8,0	3,31
9,0	3,25
10,0	3,18
11,0	3,10
12,0	3,00
13,0	2,93
14,0	2,86
15,0	2,78
16,0	2,68

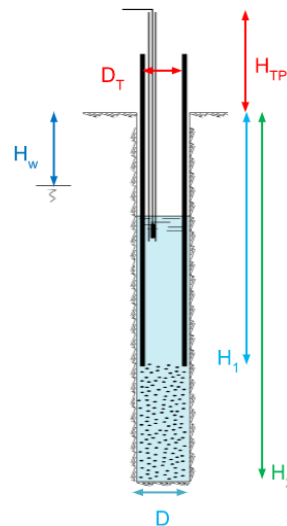
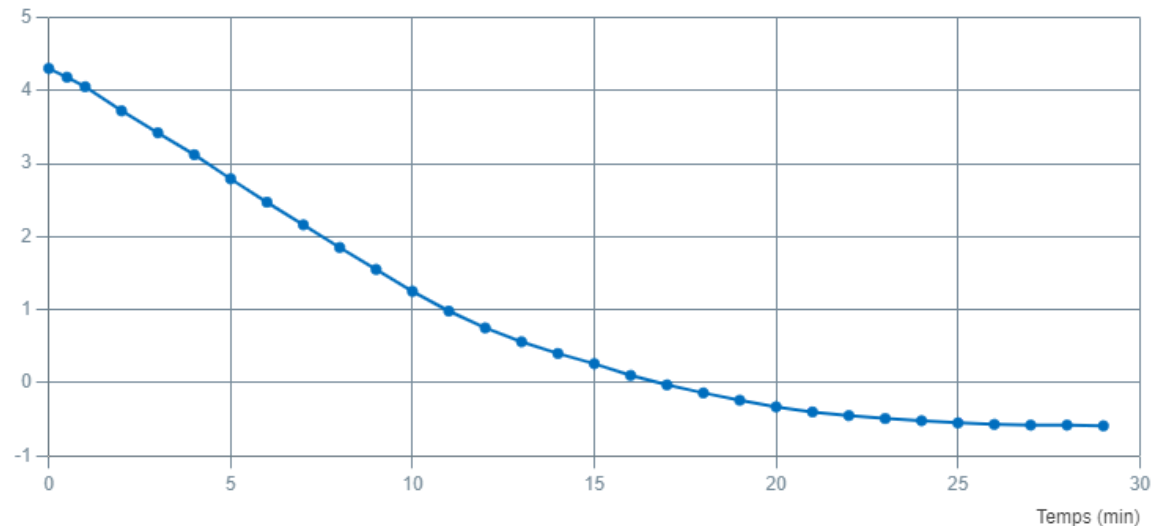
DURÉE CORRIGÉE min	CHARGE HYDRAULIQUE h m
17,0	2,61
18,0	2,54
19,0	2,49
20,0	2,41

RÉFÉRENCE : PR.06GT.24.0036
NOM DU CALCUL : SP1 Lefranc - 14 m
PROJET : Opération immobilière
OUTIL : Lefranc / Nasberg v1.1
SONDAGE N° : SP1
DATE : 16/05/2024, 09h49

TYPE DE L'ESSAI : Essai sous nappe
MODE OPÉRATEUR : Injection
DIAMÈTRE INTÉRIEUR DU TUBE : 67 mm
PROFONDEUR ESSAI : de 13,40 à 14,40 m

LONGUEUR DE LA CAVITÉ D'ESSAI : L = 1,00 m
DIAMÈTRE DE LA CAVITÉ D'ESSAI : D = 0,066 m
ÉLANCEMENT DE LA CAVITÉ : L/D = 15,2
FACTEUR DE FORME : m = F/D = 27,9
PROFONDEUR DE LA NAPPE : H₀ = 3,90 m

Variation de la charge hydraulique h durant l'essai



Phase 2 : retour à l'équilibre

COEFFICIENT DE PERMÉABILITÉ : $K_L = 2,3E-6$ m/s

DURÉE CORRIGÉE min	CHARGE HYDRAULIQUE h m
0,0	4,30
0,5	4,18
1,0	4,05
2,0	3,72
3,0	3,42
4,0	3,12
5,0	2,79
6,0	2,47
7,0	2,16
8,0	1,85
9,0	1,55
10,0	1,25
11,0	0,98
12,0	0,75
13,0	0,56
14,0	0,40
15,0	0,26
16,0	0,10

DURÉE CORRIGÉE min	CHARGE HYDRAULIQUE h m
17,0	-0,03
18,0	-0,14
19,0	-0,24
20,0	-0,33
21,0	-0,40
22,0	-0,45
23,0	-0,49
24,0	-0,52
25,0	-0,55
26,0	-0,57
27,0	-0,58
28,0	-0,58
29,0	-0,59