

Agence PACA

Centre d'Activités Concorde

Lot 14 – 11, Avenue de Rome – ZI Les Estroublans

13127 VITROLLES

Tél : 04.42.46.08.09 - Fax : 04.42.46.08.10

agence.paca@geotec.fr

1/111



Annexe 10a

**ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION
Phase Avant-Projet - G2AVP**

Parking dépôt St Pierre

Réf. GEOTEC 2020/02057/MARSE – Indice B

MARSEILLE 5^e (13)

Boulevard Jean Aicard

14 Novembre 2022

ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION

Phase Avant-Projet - G2AVP

Parking Dépôt St Pierre

Réf. GEOTEC 2020/02057/MARSE – Indice A

MARSEILLE 5^e (13)

Référence : 2020/02057/MARSE				Mission G2AVP / NPHE		
Indice	Date	Modifications Observations	Nbre pages	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par
			Texte + Annexes			
0	15/07/2020	Première émission	30 + 35	A. JACQUIN	G. FLORIS	F. KEIFLIN
A	30/09/2020	Deuxième émission – ajout étude hydrogéologique	42 + 41	A JACQUIN B JAROUSSEAU	G. FLORIS C HEUZE	F. KEIFLIN A WELLER
B	14/11/2022	Ajout campagne de sondages complémentaire	45 + 69	A.PAQUIER- KERN B.JAROUSSEAU	G. FLORIS C HEUZE	F. KEIFLIN A WELLER
C						

NB : l'indice le plus récent de la même mission, annule et remplace les indices précédents

SOMMAIRE

I.	CADRE DE L’INTERVENTION	5
I.1.	INTERVENANTS	5
I.2.	PROJET, DOCUMENTS REÇUS ET HYPOTHESES.....	5
I.3.	MISSIONS	6
II.	CONTEXTE DU SITE ET CONTENU DE LA RECONNAISSANCE	7
II.1.	LE SITE	7
II.2.	CONTENU DES RECONNAISSANCES.....	9
II.3.	IMPLANTATION ET NIVELLEMENT DES SONDAGES.....	9
III.	CADRE GEOLOGIQUE – RESULTATS DE LA RECONNAISSANCE.....	11
III.1.	NATURE ET CARACTERISTIQUES DES SOLS.....	11
III.2.	RESULTATS DES SONDAGES CAROTTES POUR RECONNAISSANCE DES FONDATIONS	12
III.3.	RISQUES NATURELS ET ANTHROPIQUES	13
III.4.	HYDROGEOLOGIE	14
III.4.1.	Contexte général.....	14
III.4.2.	Observations in situ.....	15
III.5.	CONTEXTE HYDROLOGIQUE	16
III.6.	POLLUTION.....	16
III.7.	PREMIERE APPROCHE DU MODELE GEOTECHNIQUE.....	17
IV.	NIVEAUX D’EAU CARACTERISTIQUES.....	18
IV.1.	PRINCIPES	18
IV.2.	DONNEES CLIMATIQUES	18
IV.3.	RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES ET DOCUMENTAIRES	20
IV.3.1.	Données de la BSS (BRGM)	20
IV.3.2.	Données ADES.....	22
IV.4.	ENQUETE DE VOISINAGE	23
IV.5.	SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE	25
V.	TERRASSEMENTS	27
V.1.	CONSTRAINTES DU SITE - PREAMBULE	27
V.2.	PREDIMENSIONNEMENT DU SOUTÈNEMENT : PAROIS DE PIEUX SECANTS	27
V.2.1.	Exemple de pré-dimensionnement – paroi de pieux sécants.....	28
V.2.2.	Etude à mener dans la mission G2PRO	30
V.3.	EXTRACTION	31
V.4.	SUJETIONS D’EXECUTION	31
V.5.	MISE HORS D’EAU	31
V.5.1.	Phase provisoire.....	31
V.5.2.	Phase définitive.....	32
VI.	ETUDE DES OUVRAGES GEOTECHNIQUES.....	34
VI.1.	RADIER DU PARKING	34
VI.1.1.	Principe de Fondation – niveaux d’assise	34

VI.1.2.	Contrainte limites de calcul.....	34
VI.1.3.	Tassements.....	34
VI.1.4.	Conception en phase projet.....	34
VI.1.5.	Dispositions constructives.....	34
VI.1.6.	Sujétions d'exécution.....	35
VI.1.7.	Contrôles.....	35
VI.1.8.	Précaution vis-à-vis des terrains marneux en fond de fouille	35
VI.2.	SEMELLES FICTIVES SOUS LES POTEAUX.....	36
VI.2.1.	Principe de fondation	36
VI.2.2.	Contrainte limite de calcul	36
VI.2.3.	Tassement	36
VI.2.4.	Sujétions d'exécution.....	37
VI.3.	VARIANTE ENVISAGEABLE	38
VII.	RECOMMANDATIONS POUR LA MISE AU POINT DU PROJET	39
	Conditions générales	41
	Conditions générales (SUITE).....	42
	Classification des missions d'ingénierie géotechnique	43
	Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique	44
	ANNEXES	45

I. CADRE DE L'INTERVENTION

I.1. INTERVENANTS

A la demande et pour le compte de la **RTM**, GEOTEC a réalisé la présente étude au niveau du parking du dépôt Saint Pierre, sis Boulevard Jean Aicard à MARSEILLE 5e.

Cette étude entre dans le cadre de l'accord cadre établi entre GEOTEC et la RTM.

I.2. PROJET, DOCUMENTS REÇUS ET HYPOTHESES

Les documents suivants ont été mis à la disposition de GEOTEC :

<i>Documents</i>	<i>Emetteur</i>	<i>Référence</i>	<i>Date</i>	<i>Echelle</i>	<i>Cote alt.</i>
Dossier de faisabilité du parking St Pierre bus	RTM	-	17/02/2020	-	-
Plan SS1, RDC et R+1	RTM	RTM_FAI_P LA_TZ	Mars 2020	DWG	Non
Plan topographique	RTM	8864-1	25/09/2010	1/200	Oui (m NGF)
Plan de positionnement des sondages	RTM	-	Fev 2020	-	-

Le projet prévoit la construction d'un parking de type R+1 sur un niveau de sous-sol d'une emprise d'environ 9500m².

Nous n'avons pas d'information précise quant à la cote des niveaux finis des étages. Selon les plans et coupes transmises, nous supposons :

- Un niveau fini du RDC se situant vers la cote 40.50 NGF, sensiblement au niveau du TA en partie Nord-Ouest (zone d'entrée du parking),
- Un niveau fini du SS1 se situant vers -3,70 m / RDC (selon la coupe), soit vers la cote 36.80 NGF.

Des déblais d'environ 3,50 à 5,50 m/TA sont à prévoir.

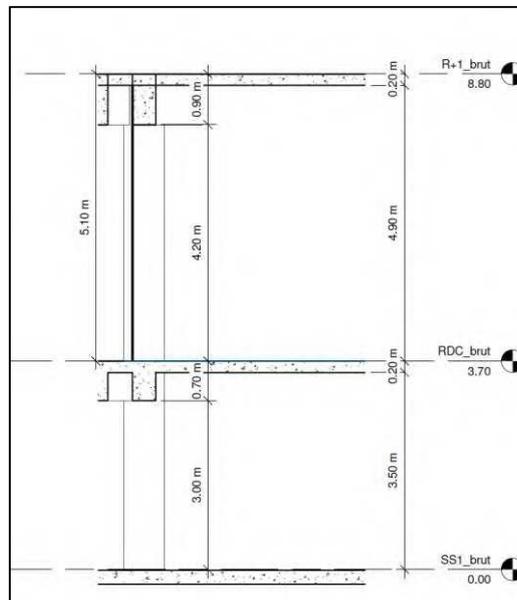


Figure 1 : Coupe A du projet

En l'absence d'informations, nous supposons que les descentes de charges à l'ELS seront limitées à :

- 300 à 1 200 kN/poteau (≈ 30 à 120 t / poteau),
- 200 à 350 kN/ml pour les murs porteurs (≈ 20 à 35 t/ml),
- 5 à 10 kN / m² pour les dallages ($\approx 0,50$ à 1 t/m²)

Ces charges devront être calculées avec précision par le BET Structures ou l'entreprise, et transmises à GEOTEC si elles diffèrent de celles prises par hypothèse.

I.3. MISSIONS

Conformément à son offre 20/02057/MARSE du 2 mars 2020, GEOTEC a reçu pour mission de réaliser l'étude géotechnique G2AVP concernant le projet de construction du parking. Cette mission intègre également une étude hydrogéologique visant à déterminer, si possible, les niveaux d'eau caractéristiques au droit du site pouvant impacter les niveaux enterrés envisagés.

De plus, conformément à son offre 20/02057/MARSE/05 du 5 Juillet 2022 GEOTEC a reçu pour mission de réaliser des sondages complémentaires sur le site, qui viennent en complément de la première campagne menée.

Dans le cadre de ses études, GEOTEC a également été missionné pour :

- La réalisation d'un diagnostic pollution objet du rapport 2020/02057/MARSE/01.

Le présent rapport constitue le compte rendu de la mission géotechnique G2AVP. Cette étude repose sur des investigations géotechniques réalisées par GEOTEC selon les termes de la norme NF P 94-500 révisée en novembre 2013, relative aux missions géotechniques.

Il est rappelé que la phase avant-projet de la mission d'étude géotechnique de conception G2 doit être complétée par les phases projet G2PRO et G2DCE/ACT puis par des missions G3 (étude et suivi de conception réalisée par le géotechnicien de l'entreprise) et G4 (géotechnique d'exécution) afin de limiter les aléas géotechniques qui peuvent apparaître en cours ou après réception des ouvrages.

GEOTEC reste à la disposition des intervenants, et notamment de l'équipe de maîtrise d'œuvre, pour l'exécution des missions complémentaires de conception G2 PRO et DCE/ACT et G4, la mission G3 étant réalisée par les entreprises de travaux.

L'exploitation et l'utilisation de ce rapport doivent respecter les « *Conditions générales* » données en fin de rapport.

Remarque : toutes les abréviations utilisées dans ce rapport sont conformes à la norme XP 94-010 hormis les suivantes :

- PHEC : plus hautes eaux connues ;
- RdC : rez de chaussée ;
- TA : terrain actuel ;
- EB : Eaux basses ;
- EH : Eaux hautes ;
- EE : Eaux exceptionnelles ;
- EC : Eaux de chantier ;
- SS : Sous-sol.

II. CONTEXTE DU SITE ET CONTENU DE LA RECONNAISSANCE

II.1. LE SITE

Le terrain objet de l'étude est situé au Boulevard Jean Aicard (13005) dans le 5eme arrondissement de Marseille (13).

L'emprise au sol du projet est d'environ 9 500 m², et correspond à une partie des parcelles cadastrales n°59 et 60 de la section OD. La zone d'étude est située dans un secteur principalement urbain et qui est actuellement occupé par le parking de bus SAINT PIERRE.

De nombreux mitoyens sont présents aux abords du site d'étude : bâtiments, voiries, ligne de tramway, etc.



Figure 2 : Plans de localisation du site d'étude

Selon le plan topographique transmis lors de la consultation, le terrain d'étude présente une légère pente vers le Sud. Son point haut se situe à la cote 42 NGF au Nord. Son point bas se situe vers la cote 40,10 m NGF au Sud.



Figure 3 : Photos du site – Source : Geotec 20/04/2020

Selon la recherche documentaire réalisée, la première photographie aérienne disponible (1923) semble mettre en évidence une occupation du site par des bâtiments (hangar ?) avec des lignes de tramway. Au vu de leur configuration, il peut s'agir de dépôt de bus, de tramway ou de métro.

La photographie aérienne de 1969 met en évidence un changement de configuration du site. Un rond-point semble être présent au sud du site.



Figure 4 : Photos aériennes de 1923 et 1969

En 1984, un nouveau réaménagement du site a été opéré par l'apparition d'un bâtiment en partie Sud du site. Entre 2003 et 2008, les bâtiments ont été démolis, et le site est occupé par un parking.



Figure 5 : Photos aériennes de 1984 et 2008

Entre 2008 et 2020, la configuration du site entre semble être identique à celle observée lors de la visite de site.

II.2. CONTENU DES RECONNAISSANCES

La campagne de reconnaissance réalisée par GEOTEC en Mars et Mai 2020 dans le cadre de la mission G2AVP a consisté en l'exécution de :

- **4 sondages pressiométriques** (*SP1 à SP4*) de 10 à 15m de profondeur ont été réalisés en diamètre 66mm en rotation (forage à l'eau). Ces sondages ont permis la réalisation d'essais pressiométriques et de mesurer les caractéristiques mécaniques des terrains.
- **6 sondages carottés** (*SC1 à SC6*) de 3 à 5 m de profondeur ont été réalisés au carottier battu 114LS jusqu'au refus puis au carottier rotatif 116 (SC4). Ces sondages ont permis de visualiser la nature des terrains et de prélever des échantillons pour analyse en laboratoire.
- **1 piézomètre** de 10ml de diamètre 52/60 mm a été installé dans le sondage SC5 qui a été poursuivi en destructif. Il est équipé d'une bouche à clef ras le sol. Cet ouvrage a fait l'objet d'un suivi mensuel sur 1 an (jusqu'en mai 2021), réalisé par GEOTEC.
- **7 essais au pénétromètre dynamique** (*P1 à P7*) ont été réalisés. Ils ont obtenu le refus entre 1,40 à 6,20 m / TA et ont permis de mesurer en continue les résistances mécaniques des terrains.
- **Des analyses de laboratoire** ont été réalisées sur des échantillons intacts prélevés en SC1 entre 0,30 et 0,80 m / TA et en SC6 entre 2,50 et 4,00 m / TA. Elles ont consisté en :
 - o 2 analyses GTR.

La campagne de reconnaissances complémentaires réalisées par GEOTEC en Juillet 2022 dans le cadre de la mission G0 d'investigations complémentaires, a consisté en l'exécution de :

- **3 sondages pressiométriques** (*SP1₂₀₂₂ à SP3₂₀₂₂*) de 15m de profondeur ont été réalisés en diamètre 66mm en rotation (forage à l'eau). Ces sondages ont permis la réalisation d'essais pressiométriques et de mesurer les caractéristiques mécaniques des terrains.
- **2 sondages carottés** (*SC1₂₀₂₂ et SC2₂₀₂₂*) de 8 m de profondeur ont été réalisés au carottier battu 114LS jusqu'au refus puis au carottier rotatif 116 (SC4). Ces sondages ont permis de visualiser la nature des terrains et de prélever des échantillons pour analyse en laboratoire, et de mettre en œuvre deux piézomètres.
- **2 piézomètres** de 8ml de diamètre 52/60 mm a été installé dans les sondages SC1₂₀₂₂ et SC2₂₀₂₂. Ils sont équipés d'une bouche à clef ras le sol..
- **2 essais de perméabilité** en forage de type **LEFRANC**, réalisés au sein des sondages SC1₂₀₂₂ et SC2₂₀₂₂ à une profondeur comprise entre 1,40 et 2,50 mm/TA. Ces essais ont permis de mesurer la perméabilité des terrains en place.
- **Des analyses de laboratoire** ont été réalisées sur des échantillons intacts prélevés en SC1₂₀₂₂ et SC2₂₀₂₂. Elles ont consisté en :
 - o 2 analyses GTR.
 - o 1 essai Proctor

II.3. IMPLANTATION ET NIVELLEMENT DES SONDAGES

La position des sondages et essais figure sur les schémas d'implantation en annexe.

L'implantation a été réalisée au mieux des conditions d'accès, en fonction de l'occupation du site le jour des sondages et au mieux de la précision des plans remis pour la campagne de reconnaissance.

L'altimétrie des points de sondage a été estimée par interpolation des indications du plan de topographique transmis. Seul l'ouvrage piézométrique pz1 a été nivelé.

Les profondeurs sont comptées par rapport au Terrain Actuel (TA).

*

* *

III. CADRE GEOLOGIQUE – RESULTATS DE LA RECONNAISSANCE

D’après la carte géologique du secteur et notre connaissance du site, nous devons nous attendre à rencontrer des conglomérats, grès, marnes et argiles du Stampien. Compte tenu de l’environnement construit du site, on s’attendra à rencontrer des remblais sur des épaisseurs variables.



Figure 6 : Extrait de la carte géologique de MARSEILLE au 1/50000ème

III.1. NATURE ET CARACTERISTIQUES DES SOLS

La campagne de reconnaissance a mis en évidence les formations suivantes :

- **De l’enrobé puis des remblais argilo-graveleux, sablo-graveleux pouvant contenir des débris anthropiques (brique, béton...).** Ils sont identifiés sur l’ensemble des sondages jusque vers 0,80 à 1,60 m / TA (cote 40.80 à 38.60 NGF).

Les caractéristiques mécaniques des remblais sont hétérogènes avec :

$$2,00 \leq R_d \leq 9,00 \text{ MPa}$$

L’analyse GTR réalisée les remblais prélevés en SC1 entre 0,30 et 0,80 m a permis d’assimiler ces terrains à un sol de classe B5.

- **Une argile plus ou moins sableuse à limoneuse beige jaunâtre** identifiée au droit de tous les sondages, jusqu’à la profondeur d’arrêt des sondages carottés (3 à 5 m / TA), jusque vers 3,40 à 5,80 m / TA (37,45 à 35,05 NGF) au droit des sondages pressiométriques et pénétrométriques.

Leurs caractéristiques mécaniques sont hétérogènes, faibles à moyennes, avec :

$$1,80 \leq E_M \leq 83,6 \text{ MPa}$$

$$0,33 \leq p_l^* \leq 3,82 \text{ MPa}$$

$$2,00 \leq R_d \leq 8,00 \text{ MPa}$$

L'analyse GTR réalisée sur des sols prélevés sur des matériaux prélevés en SC6 entre 2,80 et 3,05 m/TA, en SC1₂₀₂₂ entre 1,40 et 2,00 m/TA et en SC2₂₀₂₂ entre 3,75 et 3,95 m/TA a permis de classer ces terrains en B5 / A1 /A2 h. Ces sols changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau.

Les essais de perméabilité ont de plus montré que ces matériaux présentent une perméabilité relativement faible, de l'ordre de 4.10^{-7} m/s.

- **Une marne gris clair** rencontrée au droit des sondages pressiométriques et au droit des sondages P1, P3 et P7 uniquement, à partir de 3,50 à 5,30 m / TA et jusqu'à leur profondeur d'arrêt (10 à 15m/TA) ou de refus 4,80 à 6,20 m / TA.

Ses caractéristiques mécaniques sont excellentes avec :

$$\begin{aligned} 47,60 &\leq E_M \leq 238 \text{ MPa} \\ p_{l^*} &> 4,80 \text{ MPa} \\ 10,00 \text{ à } 20,00 &\leq R_d > 100,00 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Ces formations, mis à part les remblais (de nature anthropique), peuvent être associées à la formation du Stampien identifiée sur la carte géologique au 1/50000ème.

III.2. RESULTATS DES SONDAGES CAROTTES POUR RECONNAISSANCE DES FONDATIONS

Compte tenu de l'occupation du site, la réalisation de sondages à la pelle mécanique pour reconnaissance des fondations était impossible.

Les sondages carottés courts avaient pour but d'identifier la présence d'anciennes fondations et/ou de soubassement de l'ancien bâtiment existant au droit du site. Les coupes des sondages sont présentées en annexe et une synthèse est exposée ci-dessous.

Rappelons que les sondages ont été implanté au mieux des existants et de l'occupation du site et en fonction des réseaux.

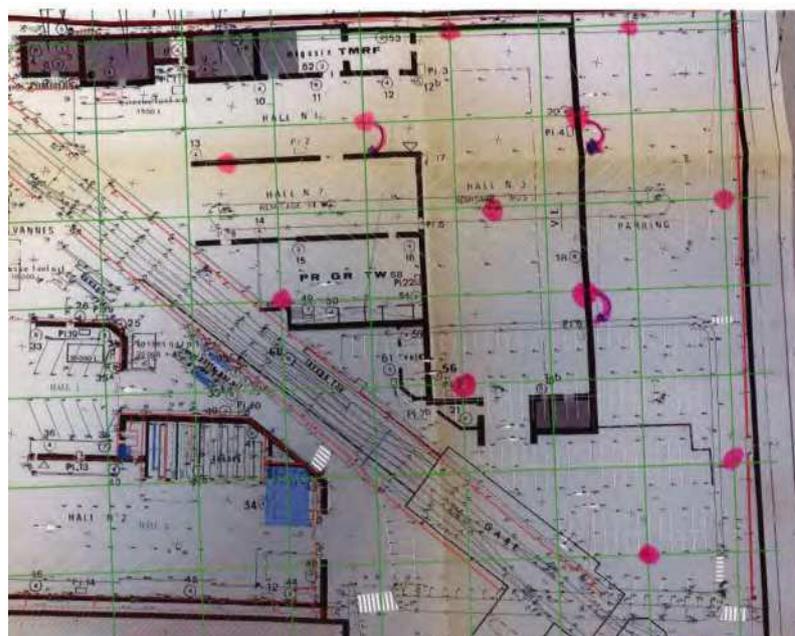


Figure 7 : Extrait du plan de soubassement prévisible de l'ancien bâti

Le sondage SC2 a mis en évidence la présence de cailloux et blocs de béton blanchâtre entre 0,76 et 1,10 m / TA.

Le sondage SC4 a mis en évidence la présence de béton entre 1,50 et 1,60 m / TA.

Les autres sondages n'ont pas mis en évidence de béton.

III.3. RISQUES NATURELS ET ANTHROPIQUES

Selon le décret n° 2010-1255 du 22/10/2010 portant sur la nouvelle délimitation des zones sismiques, la commune de MARSEILLE est inscrite en zone de sismicité 2 (faible).

Les risques suivants ont été recensés sur la commune de Marseille :

- Feu de forêt,
- Inondation,
- Inondation par submersion marine,
- Mouvement de terrain – Affaissement et effondrements liés aux cavités souterraines (hors mines),
- Mouvement de terrain – Eboulement, chutes de pierres et de blocs,
- Mouvement de terrain – Glissement de terrain,
- Mouvements de terrain – Recul du trait de côte et de falaises,
- Mouvement de terrain – Tassements différentiels,
- Mouvement de terrain miniers,
- Risque industriel,
- Transport de marchandises dangereuses.

La commune de Marseille a fait l'objet de 42 arrêtés de catastrophe naturelle, dont 5 relatifs à des éboulements, glissements et affaissements de terrain, 24 liés à des inondations et coulées de boues, 1 relatif à des mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse, 11 relatifs à des mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols et 1 pour une tempête.

Le site est placé en zone **d'aléa fort** vis-à-vis des phénomènes de retrait gonflement des formations argileuses. Rappelons que cette carte ne reste que purement indicative.



Figure 8 : Extrait de la carte de zonage de l'aléa retrait/gonflement des argiles

La zone d'étude est référencée comme potentiellement sujette aux inondations de caves, selon une fiabilité faible d'après le site infoterre.brgm.fr.

D'autre part, la zone d'étude **est située en dehors des secteurs répertoriés comme inondables pour la rivière de l'Huveaune** (PPRI approuvé par arrêté préfectoral du 24 février 2017).

Au niveau du PLU, **le secteur d'étude est inscrit en zone UEb2 et n'est concerné par aucune prescriptions particulières liées aux zones inondables.**

En fonction de l'historique précis de la zone d'étude, les épaisseurs, extensions et natures des remblais peuvent être différentes de ceux identifiés en sondages, ce qui ne peut être caractérisé. Les remblais peuvent contenir des vestiges de matériaux de construction (*réseaux, dalles béton, soubassement en béton...*) et/ou des obstacles de grandes dimensions.

Rappelons qu'un bâtiment occupait anciennement la quasi-totalité du site. Nous n'avons pas d'informations précises sur sa démolition. Selon les informations obtenues auprès du client il pourrait subsister des soubassements en béton.

La profondeur du toit des formations marneuses compactes peut varier latéralement. Il sera toujours possible de rencontrer des sur-profondeurs ou des remontées du toit de cette formation.

III.4. HYDROGEOLOGIE

III.4.1. Contexte général

Au droit du secteur d'étude, selon la carte géologique de MARSEILLE au 1/50 000^{ème} et les données fournies par le SDAGE, l'aire d'étude est concernée par la masse d'eau « Formations oligocènes de la région de Marseille », de code FRDG215.

« La masse d'eau souterraine est composée principalement de l'Oligocène supérieur. Ce sont des formations détritiques très variées, accumulées sur de très grandes puissances (environ 1000 m) dans le bassin de Marseille. Les éléments, très variés et hétérométriques, sont constitués de calcaires lacustres, conglomérats, grès, poudingues, marnes et argiles. Cet aquifère renferme plusieurs petites nappes dont la localisation coïncide avec celle des bancs conglomératiques ou des niveaux gréseux sous forme lenticulaire. Les marnes et argiles oligocènes en revanche sont pratiquement imperméables. Cette alternance de niveaux perméables et imperméables fait que la nappe se trouve parfois captive lorsque le toit est un niveau imperméable. Au droit de ces formations oligocènes du bassin de Marseille, l'aquifère renferme plusieurs petites nappes avec des écoulements globalement dirigés du nord-est vers le sud-ouest. En raison de l'hétérogénéité de l'aquifère, la ressource est limitée. »

Selon les informations issues du référentiel des masses d'eaux souterraines de 2016, la nappe s'écoulerait globalement du Nord-Est vers le Sud-Ouest à l'échelle de la masse d'eau. Le sens de circulation local n'est pas connu. Du fait de la présence de nombreux niveaux imperméables, la vulnérabilité des eaux souterraines face aux éventuelles pollutions de surface est faible à localement moyenne (hors des zones de couverture). La vitesse de circulation maximale est estimée à 12.5 m/j dans les passées les plus perméables du bassin de Marseille. La perméabilité de ces formations est très variable du fait de leur hétérogénéité et est comprise entre 10^{-4} à 10^{-8} m/s.

Seule la pose d'un réseau de 3 ouvrages piézométriques, au minimum, permettrait de déterminer la profondeur du niveau piézométrique et le sens d'écoulement des eaux souterraines au droit de la zone d'étude.

D'après l'ARS PACA, la zone d'étude ne se situe à proximité d'aucun périmètre de protection de captage AEP.

En se basant sur la carte hydrogéologique du département des Bouches du Rhône (voir carte ci-dessous), l'hydrogéologie au droit de la zone d'étude est caractérisée par des « *Nappes locales discontinues, niveaux perméables le plus souvent calcaires intercalés au sein des formations essentiellement marneuses. Points d'eau et sources en général de faible débits* ».

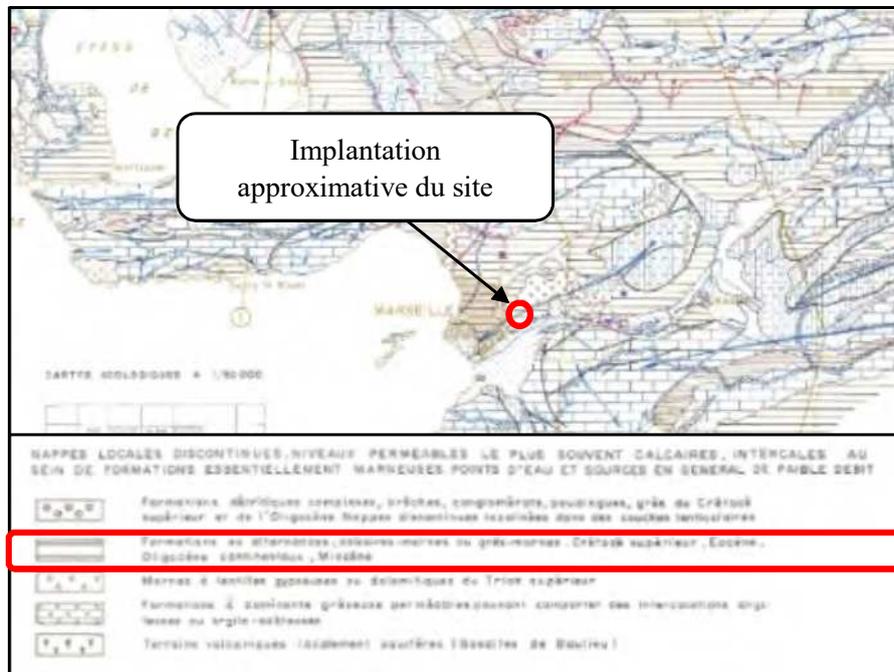


Figure 9 : Extrait de la carte hydrogéologique du département du Bouches Des Rhône au 1/200000ème

Aussi au droit du site d'étude, il est possible de rencontrer des circulations d'eaux souterraines hétérogènes au sein des passées les plus perméables (passages plus sableux) des formations hétérogènes du Stampien, constituées de calcaires, conglomérats, grès, poudingues, marnes et argiles. Ces formations sont par nature peu perméables et ne recèlent pas un véritable aquifère. On suppose que ces circulations d'eau s'écoulent globalement suivant la topographie locale (orientée vers le Sud).

Des circulations d'eau peuvent également apparaître au sein des remblais.

III.4.2. Observations in situ

Lors de notre campagne de reconnaissance géotechnique du mois de Mars à Mai 2020, la méthodologie de foration employée avec injection d'eau n'a pas permis de définir le niveau d'eau stabilisé.

Lors de nos campagnes de reconnaissance environnementale du 20 au 21 Avril 2020, des venues d'eau en sondages ont été observées au droit des sondages ST1, ST5, ST6, ST8, ST9 et ST10 à une profondeur comprise entre 4,40 et 5 m/TA.

Ces relevés ayant un caractère ponctuel et instantané, ils ne permettent pas de préciser l'amplitude des variations du niveau d'eau qui peut remonter fortement en période pluvieuse, ni l'ensemble des circulations d'eau qui peuvent se produire en période pluvieuse.

Le sondage SC5 a été équipé d'un piézomètre de diamètre 52/60mm de 10m de longueur, et crépiné de 1 à 10 m/TA. Un suivi du niveau d'eau a été réalisé entre Juin 2020 et Mai 2021 afin de connaître ses fluctuations. De plus, dans le cadre de nouvelles investigations au droit du site un relevé ponctuel a été réalisé en Février 2022. Les résultats de ce suivi sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Sondages géologiques		Relevés piézométriques												
		22/06/2020	22/07/20	19/08/20	24/09/20	23/10/20	27/11/20	22/12/21	27/01/21	23/02/21	30/03/21	21/04/21	20/05/21	11/02/22
SC5+Pz	Prof en m / capot	2,19	2,54	2,80	2,92	2,77	2,98	3,02	2,40	2,40	2,35	2,41	2,32	1,90
	Niveau nappe NGF	39,21	38,86	38,6	38,48	38,63	38,42	38,38	39,00	39,00	39,05	38,9	39,08	39,5

Le niveau d'eau au sein de cet ouvrage varie de 1.90 et 3.02 m/TA (soit entre 38.38 et 39.5 NGF) au cours de ce suivi ponctuel.

Ces relevés correspondent vraisemblablement aux circulations s'établissant au sein de la formation du Stampien.

Précisions que seule la pose d'un réseau de 3 ouvrages piézométriques, au minimum, permettrait de déterminer le sens d'écoulement des eaux souterraines au droit de la zone d'étude.

III.5. CONTEXTE HYDROLOGIQUE

Le réseau hydrographique du secteur est marqué par la présence L'Huveaune, un fleuve côtier situé à environ 1,74 km au Nord du projet. Ce cours d'eau rejoint la mer Méditerranée

Il se situe en milieu très urbanisé et anthropisé avec de nombreux aménagements hydrauliques. Les débits les plus forts sont généralement en automne. Les débits les plus faibles sont à la fin de l'hiver et en été.

III.6. POLLUTION

Lors de notre intervention, nous n'avons détecté aucun indice évident de pollution dans les sondages réalisés (c'est-à-dire sous une forme détectable visuellement ou olfactivement).

Il n'est toutefois pas impossible que le terrain soit imprégné de substances polluantes. Cependant, la recherche de polluant n'est pas l'objet d'une mission géotechnique en général ni de notre mission en particulier.

Lors de travaux de terrassement, dès lors que les terres sont évacuées hors du site, ces dernières prennent un statut de déchet. Leur valorisation ou leur élimination en dehors du site doit donc répondre aux réglementations « déchets », conformément à l'Ordonnance n° 2010-1579 du 17 décembre 2010. Suite aux arrêtés du 12/12/2014, l'installation de stockage doit valider l'acceptation des terres après réception d'une Demande d'Acceptation Préalable (DAP) généralement portée par le terrassier ou l'entreprise générale (au nom du Maître d'Ouvrage). La DAP doit intégrer des analyses chimiques en laboratoire sur les terres à excaver. GEOTEC est à la disposition des intervenants pour réaliser cette prestation qui permettra de déterminer l'exutoire approprié (ISDI – Installation de Stockage de Déchets Inertes, ISDND – Déchets Non Dangereux ou ISDD – Déchets Dangereux, voire Biocentre) et d'anticiper les éventuels surcoûts en résultant.

III.7. PREMIERE APPROCHE DU MODELE GEOTECHNIQUE

Les valeurs caractéristiques mécaniques retenues sont issues d'une estimation prudente basée sur une approche statistique des résultats et notre expérience locale.

Formation	Pression de fluage p_f^*	Pression limite p_l^*	Module pressiométrique E_M	Coefficient rhéologique α	Masse volumique humide γ_h	Cohésion c'	Angle de frottement ϕ'
	MPa	MPa	MPa		kN/m ³	kPa	°
Remblais	$\approx 0.35^{(1)}$	$\approx 0.60^{(1)}$	$\approx 5^{(1)}$	0.50	18	0	10
Argile sableuse	0,70	1,20	7,00	0,66	18	10 à 15	25 à 30
Marne gris clair	>4,80	>4,80	70,00	0,66	18	25	30 à 35

⁽¹⁾ Aucun essais pressiométriques dans les remblais, les paramètres sont estimés sur la base des pénétromètres dynamiques

*

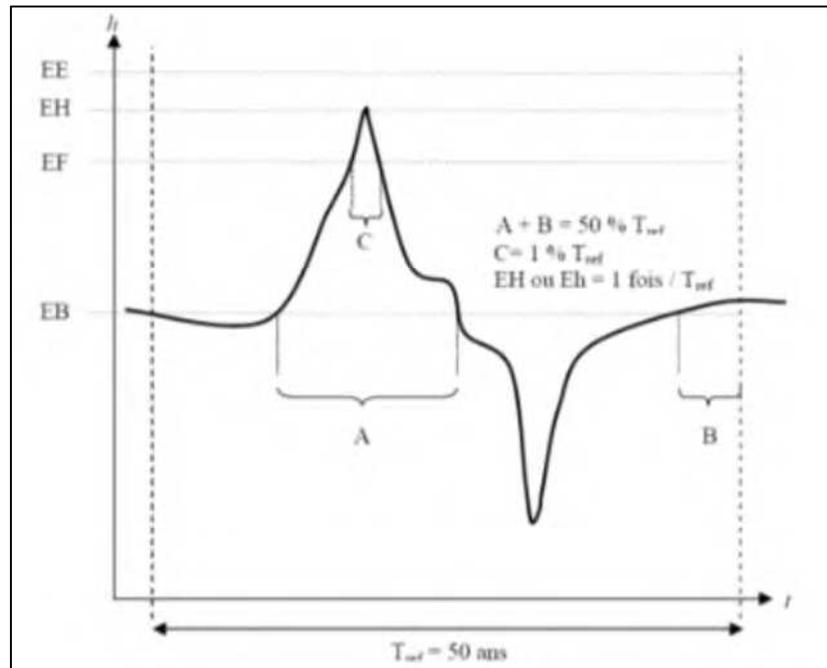
* *

IV. NIVEAUX D'EAU CARACTERISTIQUES

IV.1. PRINCIPES

Selon l'Annexe Nationale française de l'Eurocode 0 (NF EN 1990/NA classement P 06-100-1/NA), les différents niveaux d'eau sont définis par les notations et principes suivants :

Figure 10 : Représentation schématique des niveaux EH, EF et EB



IV.2. DONNEES CLIMATIQUES

La station Météo France de référence la plus proche du site d'étude est celle de MARIGNANE (réf. 13054001). Le cumul moyen annuel de précipitations y est de 515,4 mm.

Météo-France fournit par station une fiche climatologique présentant la hauteur des précipitations moyennes mensuelles pour la période de 1981 à 2010. Ci-dessous sont représentées les valeurs des précipitations en mm enregistrées à la station MARIGNANE.

Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
48	31.4	30.4	54	41.1	24.5	9.2	31	77.1	67.2	55.7	45.8	515.4

D'après le site *infoclimat.fr*, la pluviométrie enregistrée à la station citée ci-dessus est plus importante durant les mois de Septembre à Novembre. Elle est plus faible en Février/Mars et durant l'été pendant les mois de Juin à Août. Le mois le plus pluvieux étant celui de Septembre avec 77,1 mm.

Au vu de la répartition des épisodes pluvieux, on s'attend à ce que la période de hautes eaux s'établisse entre le mois de Novembre et la fin de l'hiver.

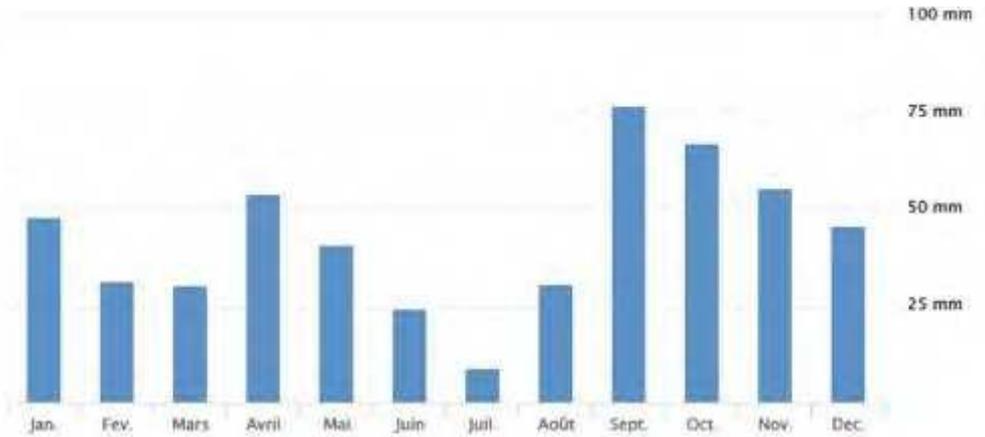
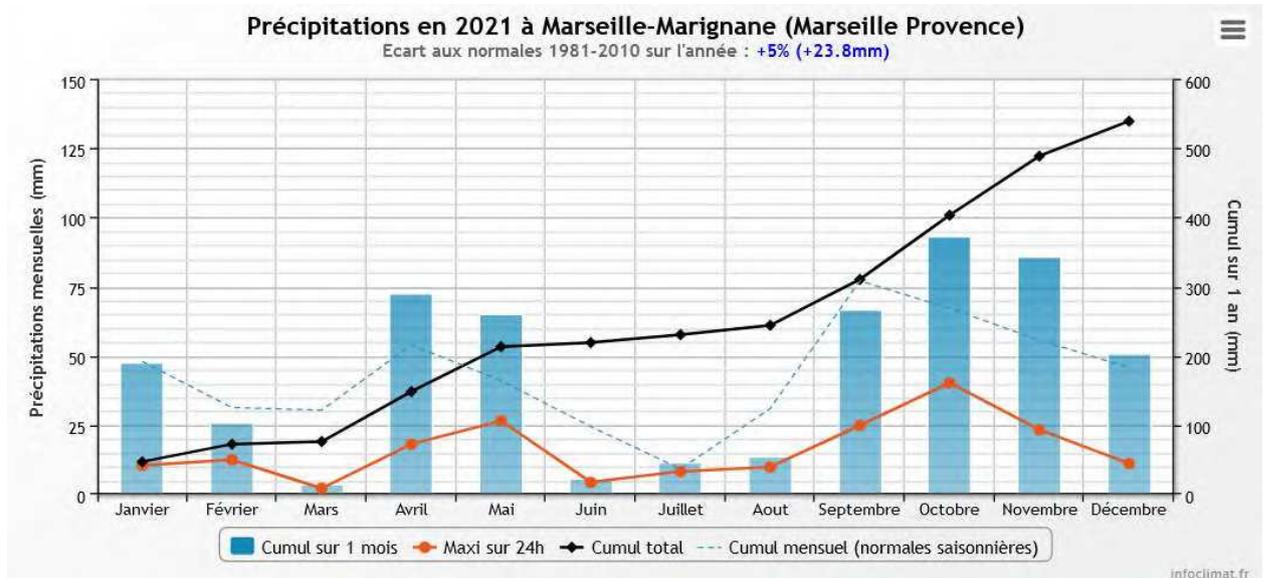
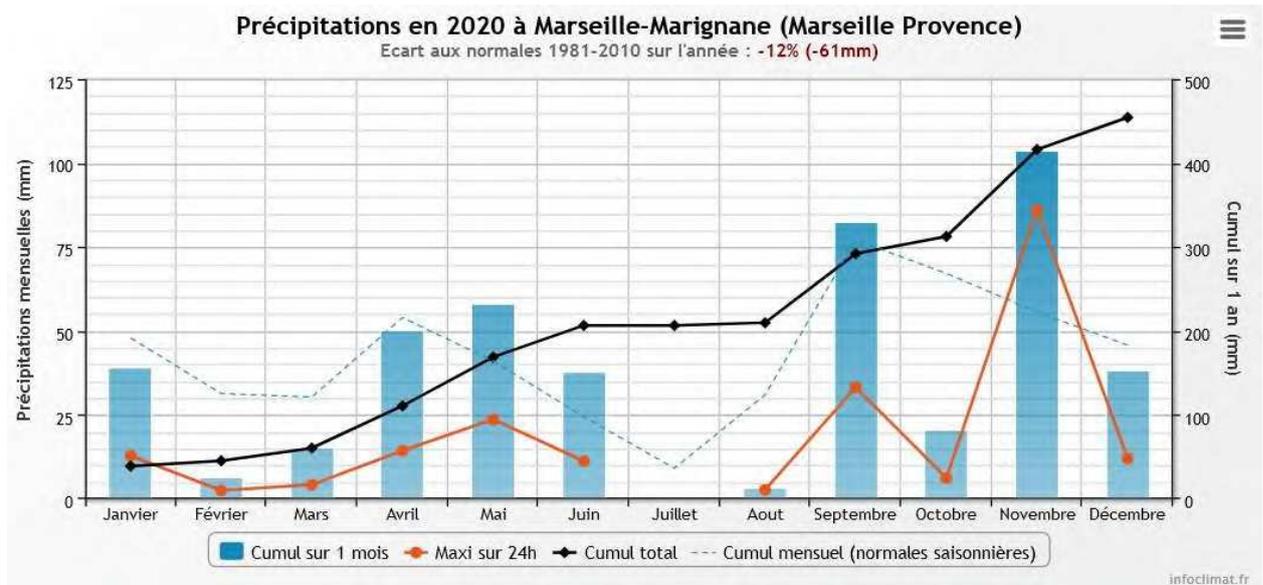


Figure 10 : Graphique des normales mensuelles à la station de MARIGNANE entre 1981 et 2010 – Météo France

Les données climatiques au cours des relevés piézométriques réalisés de Juin 2020 à Mai 2021 et de manière ponctuelle en février 2022 ont également été consultées. Le graphique ci-dessous présente les précipitations relevées à la station météorologique de MARIGNANE sur ces périodes.



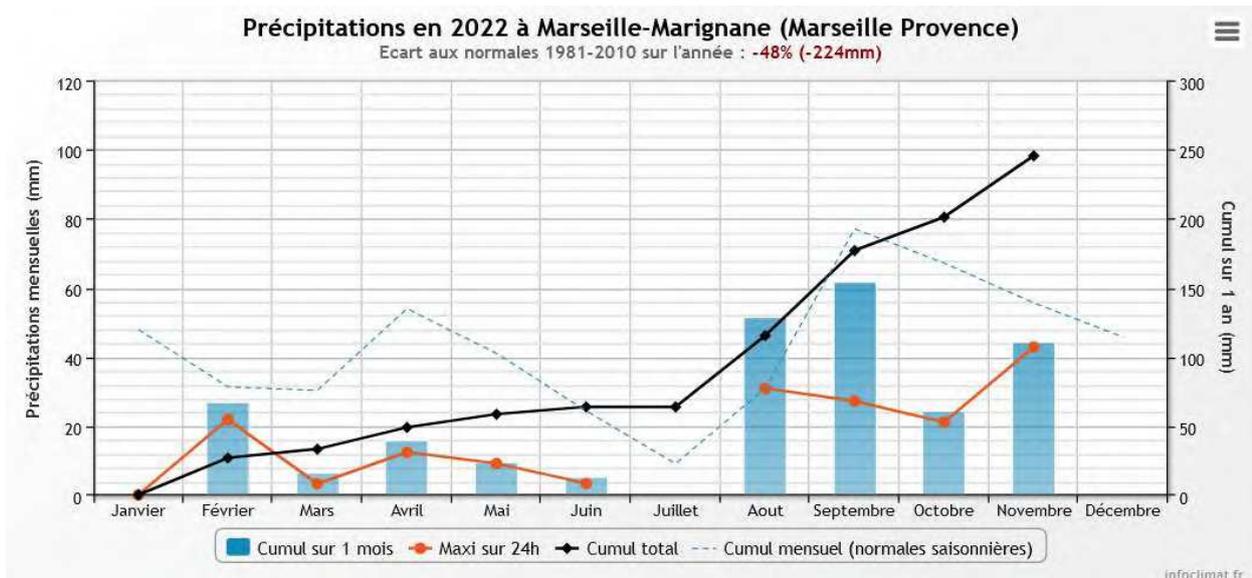


Figure 11 : Graphique des données météorologique des années 2020, 2021 et 2022 à la station de Marignane (Source : infoclimat.fr)

On note globalement sur la période du suivi des précipitations inférieures à la normale en 2020 (sauf pour le mois de Novembre) et supérieure à la normale en 2021 (sauf pour le mois de Mars). Le relevé ponctuel réalisé en Février 2022 a été effectué durant une période dans les normales de saison.

IV.3. RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES ET DOCUMENTAIRES

IV.3.1. Données de la BSS (BRGM)

La consultation de la Banque de données du Sous-Sol (BSS) a permis de mettre en évidence l'existence d'ouvrages référencés dans le secteur du projet (dans un rayon de 300 à 400 m) et implantés dans le même contexte géologique.

Les résultats de cette recherche sont synthétisés sur le plan et le tableau ci-dessous :



Figure 12 : Les points d'eau recensés dans un rayon maximale de 400 m autour du site (Source : infoterre.brgm.fr)

N° BSS	Profondeur ouvrage (m)	Z SOL (m)	Niveau Piézométrique (m)	Date de mesure	Formations aquifères	Distance par rapport au site (m)
BSS002KWLТ	6	39,4	2,10	06/11/2003	Stampien	175
BSS002KVJP	10,3	42	3,20	20/11/1973		280
BSS002KWKV	10,5	48,4	inconnu	-		225
BSS002KWLF	12	48,6	inconnu	-		215
BSS002KWMD	14,9	40,63	2,40	22/05/2002		0
BSS002KWLJ	15	44,95	inconnu	-		170
BSS002KWLH	15	43,55	inconnu	-		140
BSS002KWLГ	15	45,9	4,00	18/12/2004		180
BSS002KWKX	15	53,7	8,60	18/12/2004		275
BSS002KWKW	15	53,5	inconnu	-		275
BSS002KWKU	15	46,5	inconnu	-		207
BSS002KWKT	15	45,3	inconnu	-	128	
BSS002KVZN	15,5	42	inconnu	-	260	
BSS002KWMB	15,51	41,49	inconnu	-	Stampien	0
BSS002KWME	15,73	40,08	inconnu	-		4
BSS002KWMJ	15,8	40,4	1,98	31/05/2002		30
BSS002KWMH	15,88	39,09	inconnu	-		55
BSS002KWMG	15,92	40,44	inconnu	-		60

BSS002KWMF	16	40,08	inconnu	-		50
BSS002KVTY	22	40,14	3,30	24/10/1968		110
BSS002KVNT	60	50	inconnu	-		312

Les coupes lithologiques des ouvrages confirment la géologie du secteur, décrite précédemment.

La consultation des données BSS montre qu'il existe de nombreux ouvrages implantés à proximité du projet et captant des circulations d'eau à faible profondeur. **Ces ouvrages renseignent des niveaux d'eau souterraine compris entre 1,98 et 8,60 m/TA. L'ensemble de ces observations confirme l'existence de circulations d'eau vraisemblablement continues au sein de la frange superficielle du substratum Stampien.**

NOTA :

- 1- Des circulations d'eau souterraines peuvent potentiellement s'établir au sein des remblais superficiels.
- 2- Il est possible toutefois que certains de ces niveaux aient été relevés directement après la fin du forage et ne soient pas représentatifs de niveaux d'eau stabilisés.

IV.3.2. Données ADES

Il n'existe pas d'ouvrages répertoriés dans la base de données ADES à proximité du projet et dans un contexte similaire.

IV.4. ENQUETE DE VOISINAGE

La visite de site s’est déroulée le 19 Aout 2020. Elle a consisté en une visite de site et une collecte d’informations auprès des riverains concernant le fonctionnement hydraulique et hydrogéologique du secteur d’étude.

Si toutefois des propriétaires étaient absents, des questionnaires ont été déposés dans les boîtes aux lettres. Lors de la visite, 5 courriers ont été déposés, à ce jour aucun retour ne nous a été retourné.

Durant cette visite, nous avons pu identifier les points suivants :



Figure 13 : Localisation des observations réalisées lors de l’enquête de voisinage du 19/08/2020

Indice	Source	Observations
1	Parking RTM – Saint-Pierre	SC5+PZ : eau à 2,80 m/TA, soit 38,62 m NGF
2	Accueil parking RTM – Gérant des bâtiments RTM	Pas de niveaux enterrés. Aucun problème d’humidité, ni de remontée de nappe. Stagnation d’eau en cas de fortes précipitations.
3	Particulier	Pas de niveaux enterrés. Pas de problème d’humidité mentionné.

4	Particulier	Présence d'une cave située à environ 2 m/TA. Absence de problèmes d'humidité et de remontée de nappe.
5	Particulier	Présence d'une cave située à environ 2 m/TA. Absence de problèmes d'humidité et de remontée de nappe.
6	Particulier	Riverains vivant ici depuis 30 ans. Présence d'un puits dans son jardin, avec un niveau d'eau, selon le riverain, situé à environ 5-6 m/TA. Selon les informations recueillies, il y a une vingtaine d'années, toutes les maisons possédaient un puits. Aucun problème d'humidité.
7	Particulier	Riverains vivant ici depuis 45 ans. Présence d'un puits aujourd'hui rebouché. Absence de niveaux enterrés. Présence de traces d'humidité sur le mur extérieur de la maison (raison inconnue).

Aucun problème d'inondation ni de remonté de nappe n'a été observé, ni signalé. Des niveaux enterrés à environ 2 m/TA ont été identifiés au sein desquels aucune problématique de remontée de nappe n'a été constaté.

Enfin, d'après les informations recueillies auprès des riverains, les parcelles riveraines du projet, situées dans le même contexte géologique que le site d'étude, disposent ou disposaient d'un puits.

Ces informations recueillies semblent confirmer la présence, au droit de la zone d'étude, de circulations d'eau continues au sein des formations superficielles du Stampien.

IV.5. SYNTHÈSE HYDROGÉOLOGIQUE

Le projet prévoit la construction d'un parking au droit du parking actuel du dépôt Saint-Pierre situé Boulevard Jean Aicard à Marseille 5^{ème}. L'emprise au sol du projet est d'environ 9 500 m². Le parking sera de type R+1 sur un niveau de sous-sol, dont le niveau bas est fixé à 3,70 m/TA. **D'après les plans et coupes transmises, la cote basse du parking sera donc située vers 36,80 m NGF** (en considérant le niveau RdC vers la cote 40,50 m NGF).

D'après les campagnes de reconnaissances réalisées au droit du site, le site repose sur une épaisseur de remblais hétérogènes, puis sur les formations du Stampien constituées au droit du site d'argiles plus ou moins sableuses, puis de marnes grises, identifiées dans tous les sondages jusqu'à leur profondeur maximale d'arrêt à 15 m/TA.

Trois piézomètres, nommés SC5+PZ, SC1₂₀₂₂+PZ et SC2₂₀₂₂+PZ, d'une profondeur respective de 9,40 m/TA, 8,00 m/TA et 8,00 m/TA, ont été installés au droit du site. **Les relevés mensuels réalisés sur le piézomètre SC5+PZ, entre juin 2020 et Février 2022 varient de 1.90 et 3.02 m/TA (soit entre 38.38 et 39.5 NGF) au cours de ce suivi ponctuel.**

D'après les données bibliographiques collectées, l'écoulement des eaux souterraines au droit du site s'effectue vraisemblablement globalement vers le Sud ou le Sud-Ouest. Rappelons que GEOTEC a également été missionné pour réaliser le suivi du niveau de la nappe au sein des piézomètres SC1₂₀₂₂+PZ et SC2₂₀₂₂+PZ pendant 6 mois à raison d'une mesure par mois.

D'après les données répertoriées dans la Banque de données du Sous-Sol (BSS), de nombreux ouvrages sont implantés au sein des formations du Stampien à proximité du site d'étude. Un certain nombre de ces ouvrages renseigne des niveaux d'eau mesurés entre 1,93 et 8 m/TA, soit (d'après les cotes de la BSS) entre **36,84 et 45,1 m NGF**. D'autre part, il n'existe pas d'ouvrages ADES situés dans un contexte similaire à celui du projet.

D'après l'enquête de voisinage, il existe ou existait au droit des parcelles riveraines de nombreux puits captant les eaux souterraines contenues dans les formations du Stampien. Aussi, plusieurs niveaux enterrés (caves) ont été recensés dans le voisinage sans qu'aucun problème d'inondations ou de remontée de nappe ne soit constaté jusqu'à 2 m/TA environ.

Aussi, au vu de l'ensemble de ces éléments, des circulations d'eau souterraine vraisemblablement continues existent au droit du site. Elles s'établissent au sein du substratum stampien dans les passées les plus perméables. Elles sont alimentées principalement par l'infiltration des eaux de précipitations et soutenues par les apports de l'amont. Peu d'informations précises ont pu être collectées concernant les fluctuations du niveau des eaux souterraines, mais on estime que la variabilité saisonnière et interannuelle peut être potentiellement importante.

Les données locales disponibles et collectées ne permettent pas de définir précisément les niveaux d'eau caractéristiques au droit du site, tels que décrits à l'Eurocode 7 (données disponibles insuffisantes). Rappelons que dans ces conditions, le niveau de protection souhaité pour les ouvrages est de la responsabilité du Maître d'ouvrage et du Maître d'œuvre.

Néanmoins, au vu des éléments mis en évidence dans le cadre de la présente étude (notamment cote basse des niveaux enterrés dans le voisinage, qui n'ont, à priori, jamais été inondés, et située à 2 m/TA environ), de manière à proposer un niveau de protection pour les futures installations et compte tenu du fait que le site n'est pas répertorié en zone inondable, nous proposons de retenir le niveau des hautes eaux (sans occurrence de pluie associée) suivant :

Niveau des hautes eaux = Niveau du terrain actuel – 1m

Ainsi sur la base du plan topographique transmis, le niveau des hautes eaux est estimé entre 39 (côté Sud) et 41 (côté Nord) m NGF.

Pour rappel, il devra impérativement être validé par les responsables du projet en fonction du niveau de protection choisi.

NOTA : En phase définitive et en phase travaux, l'ouvrage projeté interférera avec les circulations d'eau souterraines. Des dispositions constructives devront être mises en place. Pour cela, des investigations complémentaires devront être menées (essais ou tests de pompage...).

Remarques importantes :

Cette cote de référence ainsi que la gestion des eaux souterraines en phase chantier et définitive doit être intégrée dans la conception du projet et notamment dans la mission géotechnique G2PRO.

Ces valeurs ne sont que des estimations basées sur l'appréciation du contexte hydrogéologique du secteur. Elles ne peuvent tenir compte des influences induites ponctuellement par la présence d'ouvrages souterrains non étanches (réseaux, par exemple) qui se situeraient à proximité. Ces ouvrages peuvent en effet modifier localement les écoulements souterrains en période de fortes pluies. Le niveau de l'eau dans les sols est donc susceptible de remonter autour de ces potentiels points d'injection.

De plus, ces valeurs ne sauraient préjuger de l'évolution des conditions climatiques sur les années à venir. Elles se basent sur les données connues, disponibles et admises au jour de rédaction du présent document.

IV.6. PERMEABILITE DES SOLS

Des essais de perméabilité de type LEFRANC ont été réalisés au sein des sondages complémentaires réalisés en 2022. Les procès-verbaux de ces sondages sont joints en annexe.

Ces essais ont permis de mesurer une perméabilité de l'ordre de 4.10^{-7} m/s au sein des argiles sablo-limoneuses de surface. Ces valeurs sont relativement faibles.

*

* *

V. TERRASSEMENTS

V.1. CONTRAINTES DU SITE - PREAMBULE

Le niveau fini du projet est prévu à la cote 36,80 NGF (cote à confirmer par le MOA), ce qui nécessite des terrassements en déblai d'environ 3,50 à 5,50 m / TA maximum. Les excavations se situent à proximité de voiries, ligne de tram et bâtiments à conserver.

Compte tenu des caractéristiques du projet et du contexte géotechnique/hydrogéologique du site, les terrassements seront réalisés à l'abri d'un mur de soutènement à minima provisoire et étanche.

Le mode d'exécution des terrassements dépendra étroitement des conditions environnementales, en particulier :

- du niveau d'assise et de la sensibilité des mitoyens pouvant nécessiter la réalisation de fouilles blindées ;
- de la présence de voirie circulée ou non à plus ou moins grande distance de la fouille et des possibilités de neutralisations partielles ou totales de celle-ci ;
- de l'espace libre disponible pour envisager éventuellement une solution talutage.

Mais de nombreux autres facteurs peuvent être déterminants pour le choix du mode d'exécution des terrassements (présence de réseaux sous chaussée, d'anciens ouvrages enterrés, etc.).

Dans le cas de mitoyens, il est recommandé :

- avant tout démarrage des travaux, de faire réaliser **un diagnostic des structures des avoisinants** par un bureau d'études structures ; il définira le cas échéant les confortements ou précautions à prendre, nécessaires à la réalisation des travaux (reprise en sous-œuvre, chaînage, contreventement etc.) ainsi que les déformations à ne pas dépasser ;
- un **référé préventif** sera établi avant le début des travaux. Il permettra de relever tous les désordres éventuels des constructions existantes ;

V.2. PREDIMENSIONNEMENT DU SOUTÈNEMENT : PAROIS DE PIEUX SECANTS

Concernant le contexte hydrogéologique, les reconnaissances ont mis en évidence la présence d'une nappe à faible profondeur au sein des argiles sableuses.

L'étanchéité des sous-sols sera assurée partiellement par une enceinte étanche de type paroi **pieux sécants qui permettra également de constituer un écran de soutènement lors des terrassements.**

Les principales venues d'eau seront dues à la nappe qui baigne les argiles sableuses.

Les différents niveaux de nappe retenues tels qu'ils résultent des éléments de l'étude hydrogéologique réalisée par GEOTEC sont les suivants :

- NPHE : entre 39 (au Sud) et 41 (au Nord) m NGF
- Niveau d'eau moyen : entre 37.5 (au Sud) et 39.5 (au Nord) m NGF

Au-delà du niveau d'eau moyen, le chantier devra être arrêté et la fouille noyée. Aussi, le Maître d'Ouvrage et le Maître d'œuvre peuvent choisir de modifier ce niveau, notamment afin de limiter les aléas et risques d'immobilisation de chantier.

La charge hydraulique sera, en période normale, de l'ordre de 2,50 m. Le débit de fuite dans les sous-sols proviendra :

- d'une part des infiltrations au travers de la paroi et de ses joints,
- d'autre part par les arrivées d'eau en fond de fouille.

Seul une campagne par essais de pompage dans des mini-puits isolés permettra d'estimer les débits d'exhaure et le dispositif de rabattement (nombre de puits, débit de pompage etc.). L'estimation des débits d'exhaure devra faire l'objet d'une étude spécifique par un hydrogéologue. La réalisation d'un essai de pompage au sens stricte du terme n'est pas envisageable en raison des faibles perméabilités attendues.

Nous conseillons aux responsables du projet de réaliser si possible les terrassements en période climatique sèche ou de basses eaux

V.2.1. Exemple de pré-dimensionnement – paroi de pieux sécants

- Hypothèses de calcul

Compte tenu de la présence d'avoisinant, les déformées maximales envisagées seront à priori de l'ordre de 1 à 2 cm en tête de paroi et 2 cm en ventre. **Ces valeurs devront être confirmées par le maître d'œuvre.**

Les coefficients de poussée et de butée sont basés sur les tables de CAQUOT et KERISEL.

Le coefficient de réaction horizontal des sols est calculé sur la base des formulations de l'annexe F de la NFP94-282.

Nous prenons pour hypothèse :

- La réalisation de pieux sécants de diamètre 600mm ancrés dans les Marnes gris clair,
- Une paroi auto stable.

Au stade actuel des calculs et de la mission G2AVP, nous ne prenons pas en compte de surcharge à l'arrière du mur de soutènement. **Celles-ci devront être définies et éventuellement intégrées dans le dimensionnement dans le cadre de la mission G2PRO.**

- Phasage d'exécution

Les calculs ont été menés avec les caractéristiques géotechniques des terrains à long terme et selon le phasage suivant :

- Mise en œuvre de paroi de pieux sécants jusqu'à 31.50 m de profondeur/TA, soit à la cote 31.50 NGF,
- Excavation jusqu'à la cote 36.50 NGF,
- rabattement de la nappe 50 cm sous le niveau du fond de fouille.

- **Données d'entrée**

Le modèle géotechnique est celui présenté au paragraphe III.5.

Les calculs ont été menés en prenant en compte une paroi de pieux sécants de 600 mm de diamètre, se recoupant de 100mm de part et d'autre soit un espacement pour le calcul de 1m entre les pieux. Les paramètres sont les suivants :

Diamètre d'un pieu (m)	e (m)	I (m ⁴)	Ey (MPa)	EI (kN.m ²)
0,60	1	0,0064	20 000	127 235

Les coefficients de réaction horizontale, de poussée et de butée et le rapport d'inclinaison de poussée des terres sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

Formations	K0	Ka	Kp	δ/Φ poussée	δ/Φ butée	Kh (kN/m ² /m)
Remblais	0,826	0,704	1,507	0	-1/3	3 400
Argile sableuse	0,577	0,406	3,062	0	-1/3	8 915
Marnes	0,500	0,312	4,959	1/3	-2/3	158 942

Avec :

- Kh : Coefficient de réaction horizontale déterminé par la méthode de Schmitt pour une paroi moulée de 0.52 m d'épaisseur,
- Ko : Coefficient de poussée des terres au repos déterminé par la formule de Jacky : $Ko = 1 - \sin(\Phi)$,
- Ka : Coefficient de poussée des terres,
- Kp : Coefficient de butée des terres,
- δ/Φ poussée : Rapport de l'inclinaison de poussée des terres contre l'écran sur le frottement interne du sol (parement rugueux),
- δ/Φ butée : Rapport de l'inclinaison de butée des terres contre l'écran sur le frottement interne du sol (parement rugueux).

- **Vérification hydraulique (HYD) – stabilité du fond de fouille (UPL)**

Les vérifications HYD et UPL seront réalisées en phase G2PRO sur la base des niveaux d'eaux définies dans l'étude hydrogéologique.

En cas de niveau d'eau supérieur à EC pendant la phase chantier, il sera nécessaire d'arrêter le chantier et d'inonder la fouille.

- **Stabilité interne (GEO/STR)**

Les résultats sont donnés en annexe sous forme de courbes enveloppes (moment, effort tranchant et déformé).

Pour une paroi telle que définie plus haut de 9 ml, les sollicitations sont les suivantes :

Déformation maximale ELS (mm)	Moment maximum ELU (kN.m/ml)	Effort tranchant maximum ELU (kN/ml)
11	140	75

Rappelons que le calcul ne prend pas en compte de surcharge en tête de paroi. Le dimensionnement de la paroi de pieux sécants devra impérativement être affiné en phase G2PRO. On vérifiera notamment les déformations en tête de paroi. Dans le cas où celles-ci s'avèrent trop importante, en fonction des avoisinants et mitoyens, on pourra envisager le recours à la mise en œuvre de tirants ou de butons.

- **Sujétions particulières : Paroi de pieux sécants**

Les pieux seront réalisés selon les Règles de l'Art par une entreprise spécialisée et qualifiée en fondations profondes.

Du fait de la possible présence de remblais anthropiques et pour atteindre l'ancrage nécessaire, l'entreprise devra mettre en œuvre le matériel adapté, ce qui pourra conduire à réaliser des préfouilles ou à modifier le choix du type de pieu et / ou sa mise en œuvre. Ces moyens seront tels qu'ils ne provoquent pas de désordres aux avoisinants (*mitoyen, voirie, réseau, voie de tram ...*).

Du fait de la nature des terrains superficiels (remblais, blocs, argile sableuse...) des surconsommations sont probables lors de la réalisation des pieux. Si ces surconsommations sont excessives, des dispositions de type pré-injections ou substitution des terrains de surface pourront être nécessaires.

Une attention particulière sera portée vis-à-vis des critères de verticalité. La tolérance de verticalité ne devra pas dépasser 1%.

Le phasage de forage devra être mené de manière à assurer le ferrailage correct de la paroi de pieux.

V.2.2. Etude à mener dans la mission G2PRO

Dans le cadre du projet, il est impératif de réaliser une étude géotechnique de mission G2PRO.

La présente étude G2AVP fourni un exemple de pré-dimensionnement d'une paroi de pieux sécants sans surcharge en tête. Le dimensionnement du soutènement sera réalisé dans le cadre de cette mission G2PRO, conformément à la norme NFP94-282 d'application de l'Eurocode 7, à l'aide du logiciel KREA.

Ce dimensionnement visera à :

- Calculer les déformées maximales – le seuil sera à transmettre par le MOA, notamment vis-à-vis des mitoyens,
- Vérifier la stabilité du fond de fouille - vérification UPL,
- Réaliser la vérification hydrauliques – vérification HYD,
- Estimer les débits d'exhaure – des essais de perméabilité et la mise en place de piézomètre sélectifs, courts dans les argiles sableuses et profonds dans les marnes avec réalisation d'essai de pompage ponctuels devront être réalisés dans le cadre de la mission G2PRO
- Calculer la stabilité interne de l'ouvrage – dimensionnement, justification STR
- ...

V.3. EXTRACTION

Dans les sols meubles (remblais, argile sableuse ...) les travaux de terrassement ne poseront pas de problèmes particuliers d'exécution. Les déblais pourront être extraits par des engins à lame ou à godet.

Dans les formations compactes (Marnes), les travaux de terrassement nécessiteront l'emploi d'engins de forte puissance (BRH, ripper, par exemple). **Compte tenu de la présence possible d'anciens ouvrages (soubassement, blocs dans les remblais...), des difficultés de terrassements sont à prévoir (incidence à tenir compte dans les délais de terrassement notamment).**

Dans tous les cas, la méthodologie mise en œuvre devra tenir compte des avoisinants. Si nécessaire, une étude de vibrations sera menée.

V.4. SUJETIONS D'EXECUTION

Les règles de l'art seront respectées et notamment :

- drainage permanent de la plate-forme (gravitaire, tranchées, pompage ...) ;
- si malgré ces précautions, le drainage n'est pas suffisant, on devra prendre les dispositions suivantes : cloutage, géotextile,... ;
- protection des talus en phase provisoire (fossés de tête et de pied, polyane ...) ; dans certains cas, tranchées drainantes, masques drainants, éperons drainants, drains subhorizontaux à prévoir ;
- protection de talus en phase définitive (engazonnement, plantations, système pérenne de récupération des eaux,...).

Les travaux de terrassement devront impérativement être effectués avec toutes les précautions nécessaires pour ne pas déstabiliser le fond de forme qui est extrêmement sensible à l'eau. De plus, les travaux devront être effectués en rétro avec remblaiement à l'avancement en s'assurant qu'aucun engin ne circule sur le fond de forme.

Compte tenu du contexte géologique (sensibilité à l'eau des argiles), il sera impératif de réaliser les travaux de terrassements dans de bonnes conditions météorologiques.

Dans tous les cas, compte tenu de la nature des sols, nous conseillons de réaliser les terrassements en période climatique favorable.

V.5. MISE HORS D'EAU

V.5.1. Phase provisoire

Lors de notre campagne de reconnaissance du mois de mars et de mai 2020, la méthodologie de foration employée avec injection d'eau n'a pas permis de définir le niveau d'eau stabilisé.

Néanmoins, les sondages SC5, SC1₂₀₂₂ et SC2₂₀₂₂ ont été équipés d'un piézomètre de diamètre 52/60mm de 10m de longueur (pour SC5) et 8 m de longueur pour SC1₂₀₂₂ et SC2₂₀₂₂. Il est crépiné de -1 à -10 m / TA. Un suivi du niveau d'eau est actuellement mené par GEOTEC afin de connaître ses fluctuations (suivi piézométrique mensuel sur SC mené de juin 2020 à février 2022, et en cours sur les deux autres). Les résultats du suivi de SC5 sont rappelés ci-dessous :

Sondages géologiques		Relevés piézométriques												
		22/06/2020	22/07/20	19/08/20	24/09/20	23/10/20	27/11/20	22/12/21	27/01/21	23/02/21	30/03/21	21/04/21	20/05/21	11/02/22
SC5+Pz	Prof en m / capot	2,19	2,54	2,80	2,92	2,77	2,98	3,02	2,40	2,40	2,35	2,41	2,32	1,90
	Niveau nappe NGF	39,21	38,86	38,6	38,48	38,63	38,42	38,38	39,00	39,00	39,05	38,9	39,08	39,5

Ces relevés ont mis en évidence un niveau d'eau compris entre 3.02 et 1.90 m/TA soit 38,38 et 39 ,5 m NGF.

Compte tenu de la cote du projet et du niveau d'eau mesuré des arrivées d'eau sont attendues dans la fouille. Un pompage provisoire sera nécessaire afin d'épuiser les venues d'eau et d'assécher la fouille des terrassements généraux.

Les débits d'exhaure seront à définir dans le cadre de la mission G2PRO.

Des circulations d'eau superficielles peuvent également se produire en période pluvieuse notamment au sein des remblais.

V.5.2. Phase définitive

Le niveau d'eau dans le sol est toujours susceptible de remonter en période pluvieuse.

L'enquête en cours permettra d'évaluer le niveau des plus hautes eaux dans le secteur.

Toute infiltration d'eau au niveau des fondations sera proscrite. Les eaux de ruissellement et de toiture seront soigneusement collectées (gouttières, contre-pente, ...) et évacuées vers un exutoire dimensionné de manière suffisante et implanté de manière non dangereuse pour le projet et les avoisinants.

Au stade actuel des études, des dispositifs de protection des parties enterrées sont à prévoir.

Le système de protection du sous-sol sera défini en fonction du degré de protection souhaité par le Maître d'ouvrage, des débits d'exhaure et des dispositions du PPRI s'il existe : cuvelage étanche, structure relativement étanche, systèmes de drainage avec puits de décharge et pompes de relevage par exemple.

Pour les modalités d'exécution des structures étanches ou relativement étanches, on se reportera au DTU 14.1. L'ouvrage et la dalle inférieure seront conçus de manière à reprendre la sous-pression.

En fonction des résultats de la présente étude, la réalisation d'un tapis drainant est théoriquement envisageable mais est assujettie à plusieurs conditions :

- la détermination précise du débit d'exhaure (par mise en place de piézomètre sélectifs et essais de pompage locaux),
- la possibilité et l'autorisation de pomper et/ou de rejeter en permanence dans le milieu extérieur (réseau EP, puits de réinjection par exemple) un débit non négligeable,
- des systèmes de sécurité (double pompe, cheminée de décompression....) .
- le sous-sol sera déclaré potentiellement inondable.

Dans tous les cas, l'incidence hydraulique du projet devra être prise en compte vis à vis des avoisinants.

Cette conception nécessitera un entretien permanent, durant toute la durée de vie de l'ouvrage. Une variante pourra consister à réaliser un radier ancré par micropieux.

Le choix définitif, ainsi que les protections des niveaux enterrés devront être dimensionnés lors des missions ultérieures (G2PRO, G3, G4).

*

* *

VI. ETUDE DES OUVRAGES GEOTECHNIQUES

VI.1. RADIER DU PARKING

Compte tenu des caractéristiques du projet, on s'orientera vers une solution de fondation de type radier si les charges sont suffisamment réparties.

On prévoira la mise en œuvre d'un tapis drainant en sous-face du radier.

VI.1.1. Principe de Fondation – niveaux d'assise

Le niveau bas du parking est prévu vers -3,70 m / RDC (selon la coupe), soit vers la cote 36.80 NGF. La fondation de l'ouvrage sera constituée par un **radier porteur rigide**, sollicitant le substratum marneux par l'intermédiaire d'une couche de réglage.

Une couche de réglage sera mise en œuvre sur le fond de fouille.

Dans les zones de descente de charges sous les voiles et poteaux intérieurs (charges maximales prises par hypothèse de 35 t/ml et 120 t/appui ponctuel), des surépaisseurs seront réalisées de manière à jouer le rôle de semelles fictives en sous face de radier.

VI.1.2. Contrainte limites de calcul

Compte tenu des éléments du projet connus (hypothèses formulées au § I.2 .), la contrainte moyenne développée par le radier sera d'environ :

$$q = 0,005 \text{ à } 0,010 \text{ MPa (5 à 10 kPa) à l'ELS qp}$$

Cette contrainte moyenne correspond à un coefficient de sécurité vis-à-vis de la rupture de :

$$F \gg 3$$

VI.1.3. Tassements

Moyennant une exécution soignée du remblai technique, les tassements estimés pour la contrainte moyenne ci-dessus sont inférieurs au centimètre.

VI.1.4. Conception en phase projet

Lors des études de projet, il conviendra de s'assurer que les concentrations de contraintes (refends, appuis isolés ...) conduisent à des déformations admissibles pour la structure, ce qui pourra nécessiter un calcul itératif intégrant les charges, leur répartition, la géométrie du radier et le comportement du sol.

Ces calculs itératifs permettront de définir les modules k_v en fonction des concentrations de charge et du modèle géotechnique retenu.

VI.1.5. Dispositions constructives

Le plan de fondation sera conçu de manière à éviter les affouillements sous les existants et les tassements par influence.

Dans tous les cas, des joints de désolidarisation seront créés entre les parties différemment chargées de l'ouvrage.

VI.1.6. Sujétions d'exécution

Le radier sera mis en place après curage du fond de fouille des terrassements sur une épaisseur minimale de 0,30 m et après la mise en œuvre d'une couche de forme d'une épaisseur minimale de 0,50 débordant d'autant du radier.

NOTE IMORTANTE :

L'épaisseur définitive de couche de forme à retenir sera définie dans la mission G2PRO. Cette couche de forme devra intégrer le drainage des parties enterrées.

Après mise à niveau du fond de forme, celui-ci sera reconditionné. Son compactage sera adapté à la nature du sol et aux conditions climatiques au moment des travaux. Ceux-ci devront être réalisés dans de bonnes conditions météorologiques. Si des pluies se produisent pendant les travaux ou si les précipitations sont abondantes durant la période précédant les travaux, des adaptations seront nécessaires (cloutage du fond de forme, drainage etc.) pouvant engendrer un surcoût non négligeable.

On veillera également à purger toute poche de moindre consistance ou de remblai impropre détectée lors des terrassements.

Le béton de propreté du radier sera coulé sur la couche de forme propre bien graduée compactée.

VI.1.7. Contrôles

La couche de forme sera réceptionnée par essais à la plaque, selon le mode opératoire LCPC avec comme valeurs cibles :

$$EV_2 > 50 \text{ MPa}$$

$$EV_2 / EV_1 < 2,2$$

VI.1.8. Précaution vis-à-vis des terrains marneux en fond de fouille

Les marnes qui occupent le fond de fouille de terrassements généraux sont très sensibles aux changements de teneur en eau et au remaniement. Elles perdent rapidement leur portance lorsque leur teneur en eau augmente.

Les travaux de terrassement devront être réalisés de préférence en période sèche.

On prévoira des sujétions et on prendra des dispositions pour éviter toute humidification ou toute dessiccation des terrains d'assise des ouvrages (*fond de forme profilé, fossés de collecte des eaux de ruissellement et de précipitations, protection par béton de propreté, polyane, ...*) sinon on s'expose à des mouvements du sol lorsque celui-ci retrouvera sa teneur en eau initiale. **En particulier, on limitera au maximum leur exposition aux intempéries.**

Si les terrassements devaient être, malgré tout, réalisés dans ces conditions, on veillera à donner à la surface des argiles une pente suffisante permettant d'éviter la stagnation des eaux, celles-ci étant recueillies à un point bas et évacuées hors de la fouille.

Les fonds de fouille pour fondations seront immédiatement protégés par un béton de propreté après excavation.

VI.2. SEMELLES FICTIVES SOUS LES POTEAUX

VI.2.1. Principe de fondation

Dans les zones de descente de charges importantes sous poteaux intérieurs (charges maximales prises par hypothèse de 120 t/appui ponctuel), des surépaisseurs seront réalisées de manière à jouer le rôle de **semelles fictives en sous face de radier**.

Ces semelles fictives en sous face de radier seront ancrées dans le substratum marneux moyennant un encastrement minimal de 40 cm.

VI.2.2. Contrainte limite de calcul

Selon les prescriptions de la norme NF P 94-261, pour démontrer qu'une fondation superficielle supporte la charge de calcul avec une sécurité adéquate vis-à-vis d'une rupture par défaut de portance du terrain, on doit vérifier l'inégalité suivante :

$$V_d - R_0 \leq R_{v;d}$$

Avec :

V_d : valeur de calcul de la composante verticale de la charge transmise

R_0 : valeur du poids du sol après travaux au niveau de la base de la fondation en faisant abstraction de celle-ci

$$R_{v;d} = A' \cdot \frac{q_{net}}{\Gamma}$$

Avec, pour $R_{v;d}$ dans le cas des méthodes pénétrométriques et pressiométriques, un coefficient de sécurité global Γ de 1,68 (ELU fondamental) et 2,76 (ELS quasi-permanent et ELS caractéristique).

Pour les semelles fictive, sous réserve du respect du principe de fondation précité, et en l'absence des dimensions des semelles, les contraintes verticales centrées de calcul à prendre en compte pour la justification vis-à-vis des Etats limite Ultime et de Service seront limitées à :

$$\text{Aux ELU fondamentaux, } \leq \frac{q_{net}}{1,68} = 0,75 \text{ MPa}$$

$$\text{Aux ELS qp, } \leq \frac{q_{net}}{2,76} = 0,50 \text{ MPa}$$

VI.2.3. Tassement

Les tassements théoriques absolus pour des fondations indépendantes sont calculés à partir de la formule pressiométrique, en faisant l'hypothèse de semelles isolées indépendantes du radier général (cas défavorable) :

$$W = \frac{1.33}{3 \cdot E_B} p \cdot R_o \left(\lambda_2 \frac{R}{R_o} \right) \alpha + \frac{\alpha}{4.5 E_A} p \cdot \lambda_{3R}$$

avec :

p : surpression verticale permanente au niveau de la fondation exprimée en MPa ;

R_0 : largeur de référence ;

R : demi-côté ou demi-largeur de la fondation;

$E_A - E_B$: modules sphériques et déviatoriques moyens calculés à partir des modules pressiométriques ;

$\lambda_2 - \lambda_3$: coefficient de formes fonction de la géométrie de la fondation ;

α : coefficient de structure fonction de la nature du sol ;

Moyennant une exécution soignée des fondations, les tassements théoriques absolus seront de l'ordre du centimètre.

VI.2.4. Sujétions d'exécution

Compte tenu du caractère sensible au remaniement et à l'eau du sol d'assise, les fonds de fouille seront finis manuellement ou au godet de curage. Dans tous les cas, compte tenu de la nature des sols, nous conseillons de réaliser les terrassements en période climatique favorable (période sèche ou période de basses eaux).

On s'assurera que le sol d'assise des fondations est homogène sous l'ensemble du bâtiment.

Il convient de couler le béton de propreté ou le gros béton dès l'ouverture des fouilles afin d'éviter l'altération ou la décompression du sol d'assise. Le béton des semelles sera ensuite coulé à pleine fouille sur toute la hauteur.

Toute poche de remblai ou de moindre consistance détectée à l'ouverture des fouilles sera purgée et remplacée par un gros béton coulé pleine fouille.

Dans les formations compactes (marnes), les travaux de terrassement nécessiteront l'emploi d'engins de forte puissance (BRH, ripper par exemple).

Tout vestige (ancien ouvrage enterré, ...) sera purgé et remplacé par un gros béton coulé pleine fouille.

Des surprofondeurs de l'horizon d'ancrage ne sont pas à exclure, ce qui nécessitera un gros béton de rattrapage.

Compte tenu du niveau fini du projet et du niveau d'eau mesuré lors de nos relevés, des arrivées d'eau sont attendues à l'ouverture des fouilles, il conviendra de les assécher par un dispositif adapté à leur importance et à la nature des terrains (pompage, pointes filtrantes par exemple).

Compte tenu du risque d'éboulement des sols (des remblais, argiles sableuses, ...) le blindage des fouilles peut s'avérer nécessaire. Ce matériel devra être présent sur site en phase travaux.

Tous les travaux devront être réalisés selon les règles de l'Art.

VI.3. VARIANTE ENVISAGEABLE

En variante de la solution de radier drainant avec surépaisseurs pour les semelles, on pourra envisager la réalisation d'une fondation de l'ouvrage par un radier rigide descendu dans les marnes.

En fonction des descentes de charges de l'ouvrage et en fonction du NPHE induisant des sous-pressions, un ancrage du radier par micropieux pourrait s'avérer indispensable

Le type de fondation réalisé dépendra des choix constructifs retenus par le MOA en fonction des contraintes du site (exhaure possible, débits, sous-sol inondable, entretien à long terme des équipements de pompage en cas de tapis drainant...).

*

* *

VII. RECOMMANDATIONS POUR LA MISE AU POINT DU PROJET

Le présent rapport constitue le compte rendu et fixe la fin de la phase avant-projet de la mission d'étude géotechnique de conception. Cette phase G2AVP confiée à GEOTEC a permis de donner les hypothèses géotechniques à prendre en compte des résultats des investigations, et présente certains principes d'adaptation au sol des ouvrages géotechniques projetés.

Les principales incertitudes qui subsistent concernent le projet (implantation, calage altimétrique, descentes de charge, situation / avoisinants) et le contexte géotechnique du site (stratigraphie, caractéristiques mécaniques du sol, hydrogéologie, etc...) sont notamment :

- Les caractéristiques des projets : niveaux finis, descentes de charge...
- Le type de soutènement à retenir et la nécessité de le tirer,
- Les adaptations des nouveaux ouvrages par rapport aux existants,
- La sensibilité des mitoyens et leur seuil de déformée acceptable,
- La démolition des existants,
- Les variations d'épaisseurs des remblais et la présence de soubassement de l'ancien bâtiment,
- Les variations du toit des marnes du Stampien,
- Les variations latérales de faciès au sein des marnes du Stampien pouvant se manifester par des variations de caractéristiques mécaniques,
- Le caractère potentiellement gonflant des marnes,
- La présence d'un niveau d'eau et ses fluctuations dans le temps,
- Les niveaux d'eau EC, EH, EB, EE à définir,
- **Les débits d'exhaure,**
- Les vérifications de stabilité hydraulique du fond de fouille,
- Les circulations d'eau superficielle en période pluvieuse, difficilement quantifiables,
- Les problèmes liés aux terrassements,
- La traficabilité du fond de forme.

Ces incertitudes peuvent avoir une incidence importante sur le coût final des ouvrages géotechniques : il conviendra d'en tenir compte lors de la mise au point du projet. A cet effet, la mise en œuvre de l'ensemble des missions géotechniques (G2PRO à G4) devra suivre la présente étude).

*

* *

Des **études complémentaires associées à des investigations complémentaires** devront être menées dans le cadre de la poursuite du projet et notamment :

- La mise en place de **piézomètres sélectifs associés à des essais de pompage** ponctuels permettant de définir les perméabilités des terrains :
 - o Des piézomètres courts dans les argiles sableuses,
 - o Des piézomètres profonds sélectifs crépinés dans les marnes.
- Des sondages carottés complémentaires profonds permettant le prélèvement d'échantillon intacts dans les argiles sableuses et les Marnes, pour la réalisation d'essais en laboratoire (**essais de cisaillement, essais gonflement, limite de retrait, analyses GTR...**) permettant la détermination des caractéristiques intrinsèques des matériaux,
- Des **essais de perméabilité de type Lefranc,**

- Si cela est possible en fonction de l'activité du site, des **sondages à la pelle** réalisés au niveau de la plateforme de terrassement afin de visualiser les arrivées d'eau,
- Des **sondages pressiométriques** complémentaires (3 unités minimum) afin de respecter le maillage minimal nécessaire pour la mission PRO
- Des reconnaissances de fondation des mitoyens (si cela est possible), dans le cas où ceux-ci ne sont pas connus.

*

* *

Nous restons à l'entière disposition des Responsables du Projet pour tout renseignement complémentaire.

Agence de MARSEILLE

Centre d'Activités Concorde

Lot 14 – 11, Avenue de Rome – ZI Les Estroublans

13127 VITROLLES

Tél : 04.42.46.08.09 - Fax : 04.42.46.08.10

agence.paca@geotec.fr

1/20



ANNEXE 10b

ETUDE HYDRAULIQUE DE GESTION DES EAUX PLUVIALES

Parking dépôt St Pierre

2020/02057MARSE/03

MARSEILLE 5^e (13)

Boulevard Jean Aicard

06 Août 2021

**ETUDE HYDRAULIQUE DE GESTION DES
EAUX PLUVIALES**

Parking dépôt St Pierre

2020/02057/MARSE/03

Boulevard Jean Aicard

MARSEILLE 5^e (13)

Référence : 2020/02057/MARSE/03				Mission ETDHY		
Indice	Date	Modifications Observations	Nbre pages	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par
			Texte + Annexes			
0	06/08/2021	Première émission	20 + 14	J. HERREROS	C. HEUZÉ	G. FLORIS
A						
B						
C						

NB : l'indice le plus récent de la même mission, annule et remplace les indices précédents

SOMMAIRE

I.	CADRE DE L'INTERVENTION	4
II.	CONTEXTE DU SITE ET CONTENU DE LA RECONNAISSANCE	6
III.	CADRE GEOLOGIQUE – RESULTATS DE LA RECONNAISSANCE.....	8
IV.	PRE-DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES	14
	Conditions générales	17
	Conditions générales (SUITE).....	18
	Classification des missions d'ingénierie géotechnique	19
	Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique	20

I. CADRE DE L'INTERVENTION

I.1. INTERVENANTS

A la demande et pour le compte de la RTM, GEOTEC a réalisé la présente étude au niveau du parking du dépôt Saint Pierre, sis Boulevard Jean Aicard à MARSEILLE (5^e).

Cette étude entre dans le cadre de l'accord cadre établi entre GEOTEC et la RTM.

I.2. PROJET, DOCUMENTS RECUS ET HYPOTHESES

Les documents suivants ont été mis à la disposition de GEOTEC :

<i>Documents</i>	<i>Emetteur</i>	<i>Référence</i>	<i>Date</i>	<i>Echelle</i>	<i>Cote alt.</i>
Dossier de faisabilité du parking St Pierre bus	RTM	-	17/02/2020	-	-
Plan SS1, RDC et R+1	RTM	RTM FAI PLA TZ	Mars 2020	DWG	Non
Plan topographique	RTM	8864-1	25/09/2010	1/200	Oui (m NGF)
Rapport G2 AVP	GEOTEC	20/02057/MARSE Indice A	30/09/2020	-	-
Diagnostic de l'état des milieux des sols	GEOTEC	2020/02057/MARSE/01	23/06/2020	-	-

Le projet prévoit la construction d'un parking de type R+1 sur un niveau de sous-sol d'une emprise d'environ 9500 m².

L'emprise totale du projet est d'environ 13 400 m².

I.3. MISSION

Conformément à son offre Réf. 20/02057/MARSE/03 du 26 mars 2021, GEOTEC a reçu pour mission de réaliser une étude hydraulique de gestion des eaux pluviales qui a pour objectif de pré-dimensionner le ou les ouvrages de gestion des eaux pluviales du projet en fonction des caractéristiques du sol et des éléments définis par les responsables du projet.

NOTA : Dans le cadre de ce projet, un Diagnostic de l'état des milieux – Prestations Infos/Diag (référéncé 20/02057/MARSE/01) ainsi qu'une étude de conception géotechnique, phase avant-projet (G2 AVP) (référéncée 20/02057/MARSE) ont été réalisés en Juillet 2020 et Septembre 2020 respectivement.

L'exploitation et l'utilisation de ce rapport doivent respecter les « *Conditions générales* » données en fin de rapport.

Remarque : toutes les abréviations utilisées dans ce rapport sont conformes à la norme XP 94-010 hormis les suivantes :

- PHEC : plus hautes eaux connues
- RdC : rez de chaussée
- TA : terrain actuel
- EB : Eaux basses
- EH : Eaux hautes
- EE : Eaux exceptionnelles
- EC : Eaux de chantier

*

* *

II. CONTEXTE DU SITE ET CONTENU DE LA RECONNAISSANCE

II.1. LE SITE

Le terrain objet de l'étude est situé au Boulevard Jean Aicard (13005) dans le 5eme arrondissement de Marseille (13).

L'emprise totale du projet est d'environ 13 400 m², et correspond à une partie des parcelles cadastrales n°59 et 60 de la section OD. La zone d'étude est située dans un secteur principalement urbain et qui est actuellement occupé par le parking de bus SAINT PIERRE.

De nombreux mitoyens sont présents aux abords du site d'étude : bâtiments, voiries, ligne de tramway, etc.



Figure 1 : Plans de localisation du site d'étude

Selon le plan topographique transmis lors de la consultation, le terrain d'étude présente une légère pente vers le Sud. Son point haut se situe à la cote 42 NGF au Nord. Son point bas se situe vers la cote 40,10 m NGF au Sud.



Figure 2 : Photos du site – Source : Geotec 20/04/2020

II.2. CONTENU DE LA RECONNAISSANCE

La campagne de reconnaissance a consisté en l'exécution de :

- **4 sondages géologiques (S1 à S4)** en diamètre 63 mm. Le sondage S1 a été arrêté au refus à une profondeur de 1,50 m/TA. Les sondages S2, S3 et S4 ont été arrêtés à une profondeur de 5,00 m/TA. Ils ont permis de visualiser la nature des sols traversés.
- **4 essais d'infiltration de type Porchet**, réalisés dans les terrains superficiels (de 1,0 à 5,0 m/TA) au droit des sondages précédents afin de mesurer la perméabilité des sols superficiels.

II.3. IMPLANTATION ET NIVELLEMENT DES SONDAGES

La position des sondages et essais figure sur le schéma d'implantation en annexe.

L'implantation a été réalisée au mieux des conditions d'accès et des conditions du site (dépôt de bus exploité, réseaux enterrés, etc.).

Les profondeurs sont comptées par rapport au Terrain Actuel (TA).

*

* *

III. CADRE GEOLOGIQUE – RESULTATS DE LA RECONNAISSANCE

D'après la carte géologique du secteur et notre connaissance du site, nous devons nous attendre à rencontrer des conglomérats, grès, marnes et argiles du Stampien. Compte tenu de l'environnement construit du site, on s'attendra à rencontrer des remblais sur des épaisseurs variables.

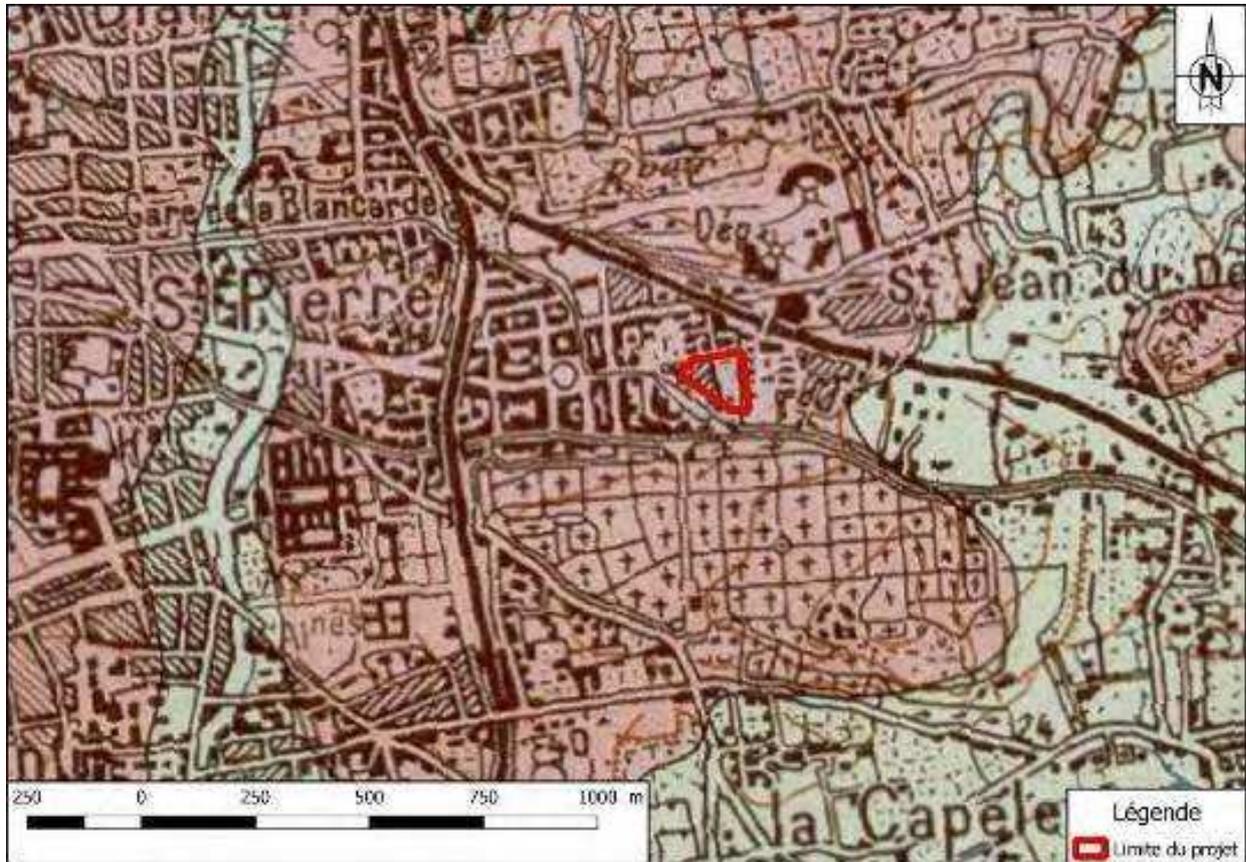


Figure 3 : Extrait de la carte géologique de MARSEILLE au 1/50000ème

III.1. NATURE ET CARACTERISTIQUES DES SOLS

La campagne de reconnaissance a mis en évidence les formations suivantes :

- **De l'enrobé puis des remblais argilo-graveleux, sablo-graveleux pouvant contenir des débris anthropiques (brique, béton...).** Ils sont identifiés sur l'ensemble des sondages jusque vers 0,50 à 1,50 m / TA.
- **Une argile plus ou moins sableuse beige jaunâtre** identifiée au droit de tous les sondages, jusqu'à la profondeur d'arrêt des sondages (5 m / TA).

La campagne de reconnaissance réalisée lors de la mission G2 AVP avait mis en évidence les formations suivantes :

- **De l'enrobé puis des remblais argilo-graveleux, sablo-graveleux pouvant contenir des débris anthropiques (brique, béton...).** Ils sont identifiés sur l'ensemble des sondages jusque vers 0,80 à 1,60 m / TA (cote 40.80 à 38.60 NGF).

L'analyse GTR réalisée les remblais prélevés en SC1 entre 0,30 et 0,80 m a permis d'assimiler ces terrains à un sol de classe B5.

- **Une argile plus ou moins sableuse beige jaunâtre** identifiée au droit de tous les sondages, jusqu'à la profondeur d'arrêt des sondages carottés (3 à 5 m / TA), jusque vers 3,40 à 5,30 m / TA (37,45 à 35,55 NGF) au droit des sondages pressiométriques et pénétrométriques.

L'analyse GTR réalisée sur des sols prélevés sur des matériaux prélevés en SC6 entre 2,80 et 3,05 a permis de classer ces terrains en B5 / A1. Ces sols changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau.

- **Une marne gris clair** rencontrée au droit des sondages pressiométriques et au droit des sondages P1, P3 et P7 uniquement, à partir de 3,50 à 5,30 m / TA et jusqu'à leur profondeur d'arrêt (10 à 15m/TA) ou de refus 4,80 à 6,20 m / TA.

Ces formations, mis à part les remblais (de nature anthropique), peuvent être associées à la formation du Stampien identifiée sur la carte géologique au 1/50000ème.

III.2. RISQUES NATURELS ET ANTHROPIQUES

Selon le décret n° 2010-1255 du 22/10/2010 portant sur la nouvelle délimitation des zones sismiques, la commune de MARSEILLE est inscrite en zone de sismicité 2 (faible).

Les risques suivants ont été recensés sur la commune de Marseille :

- Feu de forêt,
- Inondation,
- Inondation par submersion marine,
- Mouvement de terrain – Affaissement et effondrements liés aux cavités souterraines (hors mines),
- Mouvement de terrain – Eboulement, chutes de pierres et de blocs,
- Mouvement de terrain – Glissement de terrain,
- Mouvements de terrain – Recul du trait de côte et de falaises,
- Mouvement de terrain – Tassements différentiels,
- Mouvement de terrain miniers,
- Risque industriel,
- Transport de marchandises dangereuses.

La commune de Marseille a fait l'objet de 42 arrêtés de catastrophe naturelle, dont 5 relatifs à des éboulements, glissements et affaissements de terrain, 24 liés à des inondations et coulées de boues, 1 relatif à des mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse, 11 relatifs à des mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols et 1 pour une tempête.

Le site est placé en zone **d'aléa fort** vis-à-vis des phénomènes de retrait gonflement des formations argileuses. Rappelons que cette carte ne reste que purement indicative.



Figure 4 : Extrait de la carte de zonage de l'aléa retrait/gonflement des argiles

La zone d'étude est référencée comme potentiellement sujette aux inondations de caves, selon une fiabilité faible d'après le site infoterre.brgm.fr.

D'autre part, la zone d'étude **est située en dehors des secteurs répertoriés comme inondables pour la rivière de l'Huveaune** (PPRI approuvé par arrêté préfectoral du 24 février 2017).

Au niveau du PLU, **le secteur d'étude est inscrit en zone UEb2 et n'est concerné par aucune prescriptions particulières liées aux zones inondables.**

En fonction de l'historique précis de la zone d'étude, les épaisseurs, extensions et natures des remblais peuvent être différentes de ceux identifiés en sondages, ce qui ne peut être caractérisé. Les remblais peuvent contenir des vestiges de matériaux de construction (*réseaux, dalles béton, soubassement en béton...*) et/ou des obstacles de grandes dimensions.

La profondeur du toit des formations marneuses compactes peut varier latéralement. Il sera toujours possible de rencontrer des sur-profondeurs ou des remontées du toit de cette formation.

III.3. HYDROGEOLOGIE

III.3.1. Contexte général

Selon la carte géologique de MARSEILLE au 1/50 000^{eme} et les données fournies par le SDAGE, l'aire d'étude est concernée par la masse d'eau « Formations oligocènes de la région de Marseille », de code FRDG215.

« La masse d'eau souterraine est composée principalement de l'Oligocène supérieur. Ce sont des formations détritiques très variées, accumulées sur de très grandes puissances (environ 1000 m) dans le bassin de Marseille. Les éléments, très variés et hétérométriques, sont constitués de calcaires lacustres, conglomérats, grès, poudingues, marnes et argiles. Cet aquifère renferme plusieurs petites nappes dont la localisation coïncide avec celle des bancs conglomératiques ou des niveaux gréseux sous forme lenticulaire. Les marnes et argiles oligocènes en revanche sont pratiquement imperméables. Cette alternance de niveaux perméables et imperméables fait que la nappe se trouve parfois captive lorsque le toit est un niveau

imperméable. Au droit de ces formations oligocènes du bassin de Marseille, l'aquifère renferme plusieurs petites nappes avec des écoulements globalement dirigés du nord-est vers le sud-ouest. En raison de l'hétérogénéité de l'aquifère, la ressource est limitée. »

Selon les informations issues du référentiel des masses d'eaux souterraines de 2016, la nappe s'écoulerait globalement du Nord-Est vers le Sud-Ouest à l'échelle de la masse d'eau. Le sens de circulation local n'est pas connu. Du fait de la présence de nombreux niveaux imperméables, la vulnérabilité des eaux souterraines face aux éventuelles pollutions de surface est faible à localement moyenne (hors des zones de couverture). La vitesse de circulation maximale est estimée à 12.5 m/j dans les passées les plus perméables du bassin de Marseille. La perméabilité de ces formations est très variable du fait de leur hétérogénéité et est comprise entre 10^{-4} à 10^{-8} m/s.

Seule la pose d'un réseau de 3 ouvrages piézométriques, au minimum, permettrait de déterminer la profondeur du niveau piézométrique et le sens d'écoulement des eaux souterraines au droit de la zone d'étude.

D'après l'ARS PACA, la zone d'étude ne se situe à proximité d'aucun périmètre de protection de captage AEP.

En se basant sur la carte hydrogéologique du département des Bouches du Rhône (voir carte ci-dessous), l'hydrogéologie au droit de la zone d'étude est caractérisée par des « *Nappes locales discontinues, niveaux perméables le plus souvent calcaires intercalés au sein des formations essentiellement marneuses. Points d'eau et sources en général de faibles débits* ».

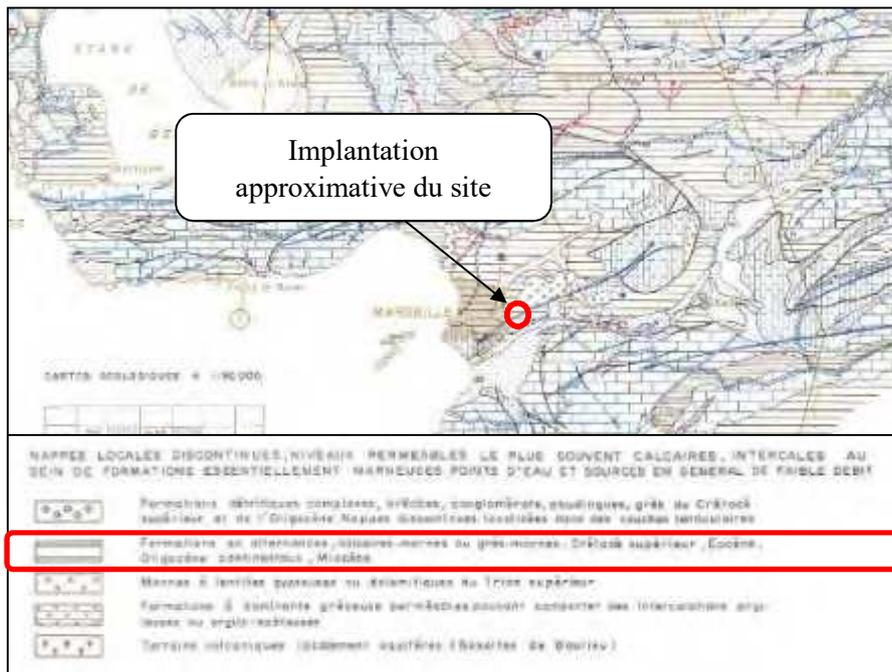


Figure 5 : Extrait de la carte hydrogéologique du département du Bouches Des Rhône au 1/200000ème

Aussi au droit du site d'étude, il est possible de rencontrer des circulations d'eaux souterraines hétérogènes au sein des passées les plus perméables (passages plus sableux) des formations hétérogènes du Stampien, constituées de calcaires, conglomérats, grès, poudingues, marnes et argiles. Ces formations sont par nature peu perméables et ne recèlent pas un véritable aquifère. On suppose que ces circulations d'eau s'écoulent globalement suivant la topographie locale (orientée vers le Sud).

Des circulations d'eau peuvent également apparaître au sein des remblais.

III.3.2. Observations in situ

Lors de notre campagne de reconnaissance géotechnique du mois de Mars à Mai 2020, la méthodologie de foration employée avec injection d'eau n'a pas permis de définir le niveau d'eau stabilisé.

Lors de nos campagnes de reconnaissance environnementale du 20 au 21 Avril 2020, des venues d'eau en sondages ont été observées au droit des sondages ST1, ST5, ST6, ST8, ST9 et ST10 à une profondeur comprise entre 4,40 et 5 m/TA.

Une venue d'eau a été observée au droit du sondage S4 à une profondeur de 2,70 m/TA, le 16 Juin 2021.

Ces relevés ayant un caractère ponctuel et instantané, ils ne permettent pas de préciser l'amplitude des variations du niveau d'eau qui peut remonter fortement en période pluvieuse, ni l'ensemble des circulations d'eau qui peuvent se produire en période pluvieuse.

Le sondage SC5 a été équipé d'un piézomètre de diamètre 52/60mm de 10 m de longueur, et crépiné de 1 à 10 m/TA. Un suivi piézométrique mensuel manuel a été réalisé. Les premiers résultats de ce suivi sont présentés dans le tableau ci-dessous.

SC5+PZ		
Profondeur (m/TA)	9,38	
Crépines	de 1 à 9,38 m/TA	
Formations captées	Formations hétérogènes du Stampien	
Cote NGF du TA	41,42	
Date	Niveau d'eau (m/TA)	Niveau d'eau (m NGF)
22/06/2020	2,19	39,23
22/07/2020	2,54	38,88
19/08/2020	2,80	38,62
24/09/2020	2,92	38,52
27/11/2020	2,98	38,44
22/12/2020	3,02	38,4
27/01/2021	2,40	39,02
23/02/2021	2,40	39,02
30/03/2021	2,35	39,07

Le niveau d'eau au sein de cet ouvrage varie de 2,2 et 3,0 m/TA entre Juin 2020 et Mars 2021.

Ces relevés correspondent vraisemblablement aux circulations s'établissant au sein ou au toit de la formation du Stampien.

Rappelons que seule la pose d'un réseau de 3 ouvrages piézométriques, au minimum, permettrait de déterminer le sens d'écoulement des eaux souterraines au droit de la zone d'étude.

III.4. CONTEXTE HYDROLOGIQUE

Le réseau hydrographique du secteur est marqué par la présence de L'Huveaune, un fleuve côtier situé à environ 1,74 km au Nord du projet. Ce cours d'eau rejoint la mer Méditerranée

Le site est implanté en milieu très urbanisé et anthropisé avec de nombreux aménagements hydrauliques. Les débits les plus forts sont généralement en automne. Les débits les plus faibles sont à la fin de l'hiver et en été.

III.4.1. Essais d'infiltration

Quatre essais de type Porchet ont été réalisés dans les sondages à la tarière mécanique S1 à S4. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

	S1	S2	S3	S4
Nature du sol	Remblais	Argile jaune	Argile jaune	Argile jaune
Profondeur de l'essai (m/TA)	1,0 à 1,5	3,0 à 5,0	2,0 à 5,0	3,0 à 5,0
Coefficient de perméabilité (m/s)	$3 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Coefficient de perméabilité (mm/h)	10,8	3,6	14,4	3,6

Les perméabilités mesurées en sondages, au sein des formations superficielles sont faibles.

Il est rappelé qu'il s'agit d'essais ponctuels qui ne reflètent que partiellement la perméabilité à l'échelle du site (la perméabilité du sol peut varier très rapidement tant horizontalement que verticalement). Ils fournissent une valeur de perméabilité locale autour de la poche d'essai. En effet, la perméabilité est fortement influencée par les variations lithologiques rencontrées au sein de ces formations (niveaux plus ou moins sableux et argileux) et peut donc être variable.

*

* *

IV. PRE-DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES

IV.1. RECOMMANDATIONS DES SERVICES INSTRUCTEURS

D'après le zonage du PLUi communal et son règlement (approuvé en Décembre 2019), le site d'étude est implanté en zone Ueb2 (zone spécifique). Il est recommandé pour cette zone de gérer les eaux pluviales issues du projet sur le terrain dudit projet, tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif, par un dispositif approprié.

Notons de plus que selon le règlement du PLUi de Marseille, **le projet est situé en Zone 2 du Zonage pluvial.**

Eaux pluviales

- e) Le règlement graphique identifie une « Zone 1 » et une « Zone 2 » dans lesquelles les dispositions précisées dans le tableau suivant sont applicables à toutes nouvelles imperméabilisations générées par l'édification :
- de constructions nouvelles ;
 - d'annexes* et/ou d'extensions* d'une construction dont l'emprise au sol au sens du présent PLUi* est supérieure ou égale à 40 m² à la date d'approbation du PLUi.

	Zone 1	Zone 2
Rejet par infiltration		
volume de rétention utile exigé par surface imperméabilisée	au moins 900 m ³ / hectare soit au moins 90 litres / m ²	au moins 500 m ³ / hectare soit au moins 50 litres / m ²
ouvrage d'infiltration	dimensionné de manière à se vidanger en moins de 48 heures	
Rejet dans un milieu naturel superficiel ou dans le réseau pluvial		
volume de rétention utile exigé par surface imperméabilisée	au moins 900 m ³ / hectare soit au moins 90 litres / m ²	au moins 500 m ³ / hectare soit au moins 50 litres / m ²
débit de fuite	au moins 5 litres / seconde / ha	au moins 10 litres / seconde / ha
Rejet au caniveau		
volume de rétention utile exigé par surface imperméabilisée	au moins 1000 m ³ / hectare soit au moins 100 litres / m ²	au moins 750 m ³ / hectare soit au moins 75 litres / m ²
débit de fuite	au moins 5 litres / seconde / ha	au moins 10 litres / seconde / ha
	sans dépasser 5 litres / secondes / rejet	
Rejet dans le réseau unitaire		
Solution dérogatoire ne pouvant être utilisée que si aucune autre option n'est envisageable		
volume de rétention utile exigé par surface imperméabilisée	au moins 900 m ³ / hectare soit au moins 90 litres / m ²	
débit de fuite	au moins 5 litres / seconde / ha	
installations d'évacuation	séparatives en partie privée, jusqu'à la limite du réseau public	

- f) L'infiltration doit être la technique à privilégier pour la vidange du volume de rétention si elle est techniquement réalisable.
- g) Les surfaces de projet susceptibles, en raison de leur affectation, d'être polluées, doivent être équipées d'un dispositif de piégeage de pollution adapté.

IV.2. ORIENTATION DU PROJET D'ASSAINISSEMENT PLUVIAL

Le contexte géologique du site se caractérise par des remblais d'aménagement graveleux à argileux d'épaisseur variables (de 0.50 à 1.50 d'épaisseur environ), reposant sur la formation du Stampien constituée au droit du site d'argiles plus ou moins sableuses, puis de marnes grises, identifiées dans tous les sondages jusqu'à leur profondeur maximale d'arrêt à 15 m/TA. La perméabilité des formations superficielles est globalement faible.

D'après les informations à notre disposition et les campagnes de reconnaissance menées au droit du site, il a été observé des niveaux d'eau qui s'établissent au sein des formations du Stampien (reconnues à partir de 40,57 m NGF) **entre 2,80 et 2,19 m/TA soit 38,62 et 39,23 m NGF.**

D'après le zonage réglementaire du PPRI sur la commune de MARSEILLE, le site d'étude est implanté en **en dehors de zones d'aléa inondation.**

Aussi, les contraintes associées à la mise en place d'un système par infiltration des eaux pluviales au droit du site sont les suivantes :

- Une épaisseur de remblais hétérogène au sein desquels l'infiltration est déconseillée ;
- Une faible voire très faible perméabilité des formations du Stampien ;
- La présence d'habitations et de bâtiments à l'aval immédiat du projet ;
- Des circulations d'eau à faible profondeur dans la formation du Stampien.

Au vu de ces éléments, nous déconseillons une gestion des eaux pluviales du projet par infiltration. Nous préconisons d'envisager une gestion des eaux pluviales du projet par rétention et rejet à débit régulé vers un exutoire superficiel pérenne et suffisamment dimensionné (réseau EP existant). On retiendra dans la suite de l'étude, conformément aux prescriptions du PLUi (Zone 2), un débit de fuite de 10 l/s.

NOTA : Ce mode de gestion des eaux pluviales nécessitera l'accord préalable du concessionnaire de l'ouvrage exutoire dont l'autorisation de rejet est à la charge des Responsables du Projet.

IV.3. PRESENTATION DU PROJET

Dans le cadre d'une ébauche de dimensionnement de l'ouvrage au stade de l'avant-projet et d'après les plans transmis par les Responsables du Projet, nous considérons la totalité de l'emprise du projet comme imperméabilisée soit une surface de 13 400 m².

L'emprise des espaces verts devrait être négligeable par rapport aux surfaces de voirie et de toitures.

NOTA : Dans le cas d'ouvrages de gestion des eaux pluviales récoltant des eaux de ruissellement provenant d'un bassin versant plus important que celui pour lequel il a été dimensionné (surfaces aménagées dans le cadre du projet) ou récoltant des apports en eaux pluviales différents par rapport aux hypothèses considérées, les présents calculs ne seraient plus valables et devraient être mis à jour.

IV.4. CALCULS DE PRE-DIMENSIONNEMENT DU DISPOSITIF DE RETENTION

Le projet étant implanté en zone Ueb2 et en zone 2 du zonage pluvial, et conformément au Schéma directeur d'assainissement des eaux pluviales de Marseille, le ratio minimum de rétention sera d'au moins 50 l/m² (500 m³/ha).

Ainsi, dans le cadre du projet, le volume utile de rétention des eaux pluviales est estimé à 670 m³ (50 x 13 400 m²).

IV.5. DISPOSITIONS PARTICULIERES DE REALISATION

Nous rappelons que l'obtention des autorisations de rejet vers l'exutoire superficiel est à la charge des responsables du projet.

Le pré-dimensionnement tient compte de l'absence de niveaux d'eau dans les ouvrages. Par conséquent, les ouvrages sont considérés comme vide et la totalité de leur volume utile doit permettre le stockage des eaux pluviales.

Il conviendra de vérifier les hypothèses de calcul (notamment surfaces prises en compte) décrites précédemment.

Compte tenu du risque potentiel de remontée de nappe, nous recommandons de prévoir le lestage des ouvrages afin de tenir compte des sous-pressions éventuelles.

Nous rappelons que les ouvrages de gestion des EP sont inexorablement sujets au phénomène de colmatage, ce qui entraîne une réduction notable de la pérennité de leur fonctionnement. **Par conséquent, il conviendra d'assurer un entretien régulier de l'ensemble des ouvrages. De plus, pour les eaux collectées issues des voiries, nous préconisons la mise en place d'un traitement spécifique avant rejet dans l'ouvrage de gestion des eaux pluviales (type séparateur à hydrocarbures) et de regards de décantation.**

L'installation devra être protégée de tout risque de détérioration mais devra être accessible et visitable facilement afin de permettre un entretien aisé. Un entretien régulier des ouvrages (voiries, avaloirs, réseau de collecte, dispositif éventuel de prétraitement EP, ouvrage de rétention) sera indispensable pour garantir le bon fonctionnement du système d'assainissement pluvial.

Les indications, énoncées ci-dessus, constituent une ébauche de dimensionnement de l'ouvrage au stade de l'avant-projet. Le type d'ouvrage, ses dimensions, la conception et les caractéristiques spécifiques à chaque installation seront définies et calculées précisément en phase de conception par l'entreprise en charge des travaux, après validation des hypothèses indiquées ci-avant.

Afin de pallier un événement pluviométrique exceptionnel (au-delà de l'intensité pluviométrique décennale voire en cas d'évènements successifs), nous conseillons d'équiper les ouvrages de gestion des EP d'une surverse de préférence vers un exutoire superficiel (réseau) ou à défaut vers une zone d'étalement des eaux sans préjudice pour les personnes et les bâtiments.

Ce pré-dimensionnement ne saurait préjuger de l'évolution des conditions climatiques sur les années à venir. Il se base sur les données connues, disponibles et admises au jour de rédaction du présent document.

*

* *