

- m Le facteur de forme de la cavité.
 - K_L Le facteur coefficient de perméabilité Lefranc.
 - B Le diamètre de la cavité.
- Puis déterminée par ajustement de la courbe expérimentale sur la courbe théorique solution de l'équation différentielle.

8 CONTEXTE GEOTECHNIQUE

8.1 INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES

L'ensemble des sondages a mis en évidence les couches suivantes :

- Couche C1 :
Terrains de recouvrements (enrobé, remblais).
Pas de mesure de portance.
- Couche C2 :
Alluvions : limon argileux, limon argileux à cailloutis et blocs, sable graveleux, sable à blocs.
Portance faible à moyenne.
- Couche C3 :
Substratum marno-calcaire : marne calcaire, marne.
Portance faible à moyenne.

Profondeur de la base de la couche	Sondages (NGF)	SP1+Pz (34.15)	SP2+Pz (33.85)	SP3+Pz (33.75)	RT1 (36.30)	RT2 (33.50)	RT3 (33.70)
	C1 – Remblais	-0,30 m	-0,40 m	-0,40 m	-0,05 m	-	-3,00 m
	C2 – Alluvions	-5,80 m	-5,60 m	-6,00 m	-6,00 m	-6,00 m	-6,00 m
	C3 – Substratum marno-calcaire	-11,99 m (Arrêt)	-12,65 m (Arrêt)	-12,21 m (Arrêt)	-12,05 m (Arrêt)	-12,05 m (Arrêt)	-12,04 m (Arrêt)

Les valeurs caractéristiques de chaque couche de sol sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

Type de sol	P_i^* moyen (MPa)	E_m moyen (MPa)	α
C1 – Remblais	-	-	1/2
C2a – Limon argileux à cailloutis et blocs	0,88	12,68	2/3
C2b – Sable graveleux	2,95	39,10	1/3
C3 – Substratum marno-calcaire	3,93	52,83	1/2

Avec :

- α Coefficient rhéologique des sols pour le calcul de E_s pour dallage et des tassements.
- P_i^* Pression limite nette.
- E_m Module pressiométrique.

8.2 AGRESSIVITE DU MILIEU VIS-A-VIS DES BETONS DE FONDATIONS (NF EN 206-CN)

8.2.1 Prélèvements

Les prélèvements ont été effectués :

- Pour l'eau : dans le piézomètre mis en place dans le sondage SP2.
- Pour les sols : sur un échantillon remanié prélevé à la tarière hélicoïdale 63 mm entre 3,00 et 4,50 m de profondeur dans le limon argileux à cailloutis dans le sondage RT2.

Les échantillons recueillis ont été placés dans des récipients adaptés spécialement fournis par le laboratoire chargé des analyses, accrédité COFRAC et agréé par le Ministère chargé de l'Environnement, puis transporté au laboratoire.

8.2.2 Résultats

Les originaux des procès-verbaux d'analyses sont joints en annexe. Les composés recherchés sont ceux prévus par la norme NF EN 206-CN, chapitre 4, tableau 2, relatifs à l'agressivité de l'eau et du sol vis à vis du béton.

8.2.2.1 Analyse de l'agressivité de l'eau

Les résultats obtenus sont les suivants :

Paramètres	Résultats	Environnement chimique moyen
Sulfates SO_4^{2-} (mg/l)	140,00	Néant
pH	7,40	Néant
CO_2 agressif (mg/l)	-11,00	Néant
Ammonium NH_4 (mg/l)	< 0,05	Néant
Magnésium Mg (mg/l)	27,70	Néant

Les valeurs moyennes obtenues conduisent, suivant l'article 4.1 de la norme NF EN 206/CN, à la classe d'exposition suivante :

Environnement d'agressivité chimique nulle

8.2.2.2 Analyse de l'agressivité des sols

Les résultats obtenus sont les suivants :

Paramètres	Résultats	Environnement chimique moyen
Degré d'acidité des sols (ml/kg)	11,00	Néant
Sulfates SO_4^{2-} (mg/kg)	1760,00	Néant

Les valeurs moyennes obtenues conduisent, suivant l'article 4.1 de la norme NF EN 206/CN, à la classe d'exposition suivante :

Environnement d'agressivité chimique nulle

8.3 PERMÉABILITÉ DES TERRAINS EN PRESENCE

Trois essais Lefranc ont été réalisés dans les sondages SP1, SP2 et SP3, interprétés en régime transitoire à la remontée après pompage préalable dans le forage.

Les résultats obtenus (voir feuilles de calcul en annexes) sont les suivants :

Sondage	Base de la cavité d'essai (m/TN)	Formation géologique	K (m/s)
SP1	-2,50	Limon argileux	$6,92 \cdot 10^{-8}$
SP2	-4,00	Limon argileux à cailloutis	$2,04 \cdot 10^{-8}$
SP3	-4,00	Limon argileux à blocs	$8,59 \cdot 10^{-9}$
$K_{\text{retenu}} = 3,27 \cdot 10^{-8}$			

Les valeurs de perméabilité obtenues sont caractéristiques d'un sol dont les possibilités d'infiltration sont faibles à nulles (voir tableau ci-dessous).

Tableau B.1. Ordre de grandeur de la conductivité hydraulique dans différents sols (d'après Musy et Soutter [1991], cité dans Barraud et collab. [2006])

K (m/s)	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
Types de sols	Gravier sans sable ni éléments fins		Sable avec gravier, Sable grossier à sable fin		Sable très fin Limon grossier à limon argileux			Argile	limoneuse à argile homogène		
Possibilités d'infiltration	Excellentes		Bonnes		Moyennes à faibles			Faibles à nulles			

Les perméabilités obtenues sont des valeurs ponctuelles pouvant être influencées par la nature et l'état hydrique des terrains, de plus les valeurs données ci-avant ne sont représentatives que des perméabilités locales et peuvent être notamment différentes de la perméabilité en grand (essais de pompage). Des variations de perméabilité restent possibles entre les points de sondage.

8.4 ESSAIS EN LABORATOIRE

Les essais en laboratoire ont permis de définir la classe GTR du LCPC/SETRA des matériaux selon le Guide des Terrassements Routiers fascicule II à partir de leur granulométrie, de leur argilosité ainsi que de leur teneur en eau.

Les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

Sondage		RT1	RT2	RT3
Profondeur de l'échantillon	(m/TN)	1,50 à 3,00 m	1,50 à 3,00	6,00 à 7,50
Nature		Sable graveleux	Limon argileux à cailloutis	Marne
Teneur en eau naturelle W_N	(%)	2,90	7,90	19,70
Mesure VBS		0,85	1,11	1,81
Analyse granulométrique				
< 31,5 mm	(%)	100,00	100,00	100,00
< 20 mm	(%)	100,00	98,50	100,00
< 10 mm	(%)	96,40	94,40	99,80
< 6,3 mm	(%)	83,50	89,20	99,20
< 5 mm	(%)	76,90	86,70	98,90
< 2 mm	(%)	60,50	78,30	97,20
< 1 mm	(%)	54,40	73,00	95,40
< 0,5 mm	(%)	50,50	69,40	91,80
< 0,2 mm	(%)	45,50	62,50	75,10
< 0,16 mm	(%)	44,30	60,10	71,80
< 0,08 mm	(%)	37,90	48,20	66,30
< 0,063 mm	(%)	35,90	45,10	65,10
Classification GTR		A₁	A₁	A₁

Les sols en présence sont classés **A₁** selon le GTR. Ils correspondent à des sols fins pouvant changer brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau.

9 APPLICATION AU PROJET

Lors de la phase Avant-Projet (mission G2 AVP), il conviendra de réaliser des sondages complémentaires au droit de l'ouvrage projeté pour calculer les contraintes de calcul et estimer les tassements absolus et différentiels au droit du projet.

En l'absence de projet défini, les solutions d'adaptation au sol sont multiples et seront notamment fonction :

- De l'altimétrie du niveau fini.
- Des charges de structure et des surcharges sur dallage.
- Des tolérances de tassements liées à l'exploitation de l'ouvrage.

9.1 PRINCIPE DE FONDATIONS

9.1.1 Principe

Après terrassement de masse en déblais d'une amplitude atteignant 6,50 m de profondeur, les plateformes seront représentées par le substratum marno-calcaire de bonne compacité.

En première approche, on pourra envisager un mode de fondation traditionnel sur semelles filantes ou isolées établies dans le substratum marno-calcaire avec un ancrage d'au minimum -0,30 m par rapport au niveau du fond de fouille.

Les alluvions éventuellement présentes en fond de fouille seront exclues pour l'assise des fondations.

L'ancrage et les contraintes admissibles devront être définis en fonction des charges des projets et des tassements admissibles.

Dans le cas où le projet présenterait des charges importantes, il pourra s'avérer nécessaire d'envisager une solution de **fondations profondes par pieux** ancrés dans le substratum marno-calcaire.

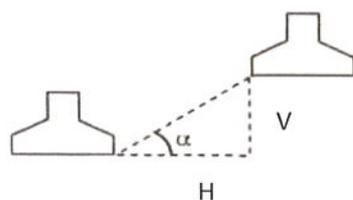
Dans ce contexte, il sera nécessaire de réaliser des sondages pressiométriques profonds descendus au minimum 5,00 m ou 7,00 diamètres sous la fiche prévisionnelle des fondations profondes.

9.1.2 Sujétions d'exécution

L'homogénéité des fonds de fouille sera soigneusement contrôlée.

La mise en place du béton devra suivre immédiatement l'ouverture des fouilles afin d'éviter tout risque d'altération de leurs parois et assises sous l'effet des venues d'eau et de l'action des agents météoriques. Le bétonnage devra se faire à pleine fouille. Un béton de propreté devra être mis en place si nécessaire (gros béton) avant pose des aciers.

En cas d'ancrage des fondations a des niveaux différents, il conviendra de tenir compte de la pente maximale de 3H/2V (Horizontal/Vertical) entre arêtes de semelles les plus voisines.



$$\tan \alpha = V/H \leq 2/3$$

9.2 NIVEAU BAS

Le niveau bas devra être prévu en **plancher porté** par les fondations de structure ou **radier lesté**, qui devront être dimensionnés de façon à pouvoir résister aux sous-pressions hydrostatiques, en l'absence de drainage avec exhaure efficace.

Remarque : il pourra être envisagé une solution de dallage sur terre-plein mis en place sur une **couche drainante** reliée à un dispositif de pompage sous réserve :

- De faibles débits d'exhaures en phase définitive.
- De la possibilité de rejeter les eaux de drainage dans la parcelle étudiée ou dans le réseau public d'Eaux Pluviales (si autorisé).

Dans ce contexte, une étude hydrogéologique devra être prévue afin de notamment déterminer le Niveau des Plus Hautes Eaux et des Eaux Exceptionnelles ainsi que le débit d'exhaure à prendre en compte en phase provisoire et en phase définitive.

9.3 TERRASSEMENT - SOUTÈNEMENT

Le projet comportera deux niveaux enterrés, ce qui nécessitera un terrassement en déblais en présence de terrains de recouvrement (enrobé, remblais), d'alluvions (limon argileux, limon argileux à cailloutis et blocs, sable graveleux, sable à blocs) et du substratum marno-calcaire plus ou moins compact.

Les terrassements dans les terrains de recouvrements (enrobé, remblais) et dans les alluvions pourront s'effectuer avec des engins classiques à lame ou à godet.

Le substratum marno-calcaire de bonne compacité nécessitera l'emploi de moyens spéciaux de déroctage adapté au milieu rocheux (pelle puissante, B.R.H, dent ripper, dent hydraulique excentrique...), sans toutefois provoquer de vibrations pouvant être dommageables aux avoisinants.

La fréquence vibratoire du BRH devra être adaptée en fonction de la structure des avoisinants afin de ne pas dépasser les seuils sonores et de vibration admissibles. Le cas échéant, la mise en œuvre de moyen de terrassement non percussifs, tel que la fraise, pourront s'avérer nécessaire.

Compte tenu de la présence de nombreux ouvrages existants à proximité du projet, les terrassements devront être réalisés à l'abri d'un **écran de soutènement** avant terrassement.

L'ouvrage de soutènement sera **continu** en cas d'instabilité des sols ou de débits d'exhaure de la fouille importants, ou **discontinu** en cas de bonne tenue des terrains et de faibles venues d'eau, ou d'un niveau de nappe bas au moment des travaux.

Les venues d'eau éventuelles lors de la réalisation des terrassements seront collectées et évacuées par pompage pendant toute la durée des travaux.

Selon les débits à pomper dans la fouille en phase travaux, un dossier "Loi sur l'Eau" devra être effectué.

9.4 DEMOLITION DES EXISTANTS

Le terrain d'étude est actuellement occupé par des ouvrages existants (bâtiments, parkings enterrés) qui seront démolis dans le cadre du projet.

Par conséquent, il conviendra de purger et d'évacuer l'ensemble des anciennes fondations et infrastructures enterrées pouvant subsister après démolition de ces existants.

Dans ce contexte, les fondations de la nouvelle construction devront être établies dans un sol non remanié, en dessous des niveaux d'assise des anciennes fondations.

9.5 DRAINAGE - ETANCHEITE

Concernant la protection contre les eaux en phase définitive, il conviendra au Maître d'Ouvrage ou à sa Maitrise d'œuvre de nous préciser les exigences relatives aux conditions d'utilisation des locaux enterrée.

Il pourra s'avérer nécessaire de prévoir une étude hydrogéologique (mission G5), afin de notamment déterminer le Niveau des Plus Hautes Eaux et des Eaux Exceptionnelles ainsi que le débit d'exhaure à prendre en compte en phase provisoire et en phase définitive.

10 RECOMMANDATIONS

Suivant le tableau 2 "Classification des missions types d'ingénierie géotechnique" de la norme NF P94-500 joint en annexe, cette étude doit être complétée lors de l'étude géotechnique de conception G2 phase avant-projet (G2 AVP suivant dénomination de la norme NF P94 500 de novembre 2013).

GEOTERRIA reste à la disposition des intervenants pour tout complément d'information relatif aux conclusions de la présente étude, dans le respect des critères mentionnés dans les conditions générales jointes en annexes.

11 UTILISATION DU RAPPORT DE L'ÉTUDE

1. Le présent rapport et ses annexes constituent un ensemble indissociable ; la mauvaise utilisation qui pourrait en être faite lors d'une communication ou à l'issue d'une reproduction partielle sans l'accord écrit de la **SASU GÉOTERRIA** ne saurait en aucun cas engager la responsabilité de celle-ci.
2. Les modifications de conception et d'implantation par rapport aux données de la présente étude seront susceptibles de conduire à modifier les conclusions et prescriptions du rapport et doivent être portées à la connaissance de la **SASU GÉOTERRIA**.
3. Des éléments nouveaux mis en évidence lors de l'exécution des fondations et n'ayant pu être détectés au cours des opérations de reconnaissance (par exemple : venues d'eaux importantes, vides de grande taille, hétérogénéité localisée, etc.) peuvent rendre caduques tout ou partie des conclusions du rapport.
4. Ces éléments nouveaux ainsi que tout incident important survenant en cours des travaux (éboulement de fouille, glissement de talus, dégâts occasionnés aux constructions périphériques, etc.) doivent être signalés à la **SASU GÉOTERRIA** pour lui permettre éventuellement de reconsidérer et d'adapter les solutions initialement préconisées.
5. La **SASU GÉOTERRIA** ne saurait être rendue responsable des modifications apportées à son étude que dans la mesure où elle aurait donné, par écrit, son accord sur lesdites modifications.

Nous précisons que cette étude géotechnique bénéficie d'une responsabilité civile par notre police souscrite auprès d'ALBINGIA sous le numéro RC0900.746 et d'une responsabilité décennale par notre police souscrite auprès d'ARCO sous le numéro DP IC 20 042, dont les attestations sont jointes en annexe, sous réserve de l'application des recommandations faites et en fonction des plans qui nous ont été transmis et annexés au présent rapport.

Fait à La Garde, le 22 février 2022

Sarah TEXIER
Ingénieur Géologue-Géotechnicien

Samuel TURLE
Directeur



GÉOTERRIA
Géotechnique et Assainissement
B P 540 - 83041 TOULON Cedex 9
Tél : 04 94 27 87 40 - Fax 04 94 27 89 98
SASU au capital de 100 000 €
RCS Toulon 542054694



ANNEXES