



ROXIM / JOSEPH COSTAMAGNA SA

**LE COLOMBIER - PROGRAMME DE COMMERCE, BUREAUX ET
LOGEMENTS
FREJUS (83)**

RAPPORT D'ETUDE GEOTECHNIQUE PREALABLE G1 (ES ET PGC)

N° DOSSIER	14	SG	108	A	a	GE	JC	SB	PIECE	1/1	AGENCE	TOULON
23/09/14	30674	J. COUSIN			F. BEVIER			22+ANN	PREMIERE DIFFUSION			
DATE	CHRONO	REDACTION			VERIFICATION			nb pages	MODIFICATIONS - OBSERVATIONS			

GEOTECHNIQUE - GEOLOGIE - SONDAGES - EAU - POLLUTION - DECHETS - ENVIRONNEMENT

E.R.G. Siège TOULON – 243 avenue de Bruxelles - 83500 LA SEYNE SUR MER – Tél. 04.94.11.04.90 – fax 04.94.30.29.71
 ETUDES ET RECHERCHES GEOTECHNIQUES - S.A.S AU CAPITAL DE 368 000 € - SIRET 339 110 611 00086 - CODE NAF 7112B - RC TOULON 1986 B 00645

TOULON (Siège social)
04 94 11 04 90
la-seyne@erg-sa.fr

BRUAY LA BUISSIÈRE
03 21 64 46 92
agence-nord@erg-sa.fr

CAVAILLON
04 32 50 10 87

LYON
04 72 80 87 71
lyon@erg-sa.fr

MARSEILLE
04 95 06 90 60
marseille@erg-sa.fr

NANCY
03 83 26 09 02
nancy@erg-sa.fr

NICE
04 93 72 90 00
nice@erg-sa.fr



S O M M A I R E

SOMMAIRE	2
1. CONTENU DE LA MISSION	3
1.1 Cadre de l'intervention.....	3
1.2 Description du projet.....	3
1.3 Situation géographique - contexte topographique.....	4
1.4 But de la mission	4
1.5 Moyens mis en œuvre	5
2. RESULTATS DES INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES	6
2.1 Enquête documentaire et historique.....	6
2.2 Géologie	8
2.2.1 Données de la carte géologique.....	8
2.2.2 Levé géologique	8
2.2.3 Résultats des sondages PM1 à PM20 et SP1 à SP10.....	9
2.3 Hydrogéologie.....	9
2.4 Résultats des essais in-situ	10
2.4.1 Sondages pressiométriques SP1 à SP10	10
2.4.2 Essais de pénétration dynamique PD1 à PD12	11
2.5 Essais de laboratoire	11
3. APPLICATIONS AUX OUVRAGES GEOTECHNIQUES - RECOMMANDATIONS	12
3.1 Préambule	12
3.2 Principes généraux de construction	14
3.2.1 Mode de fondation superficielle à semi-profonde (bâtiments A1, A2, A3, B1, B2, C1, C2, C3, D2).....	14
3.2.2 Amélioration de sol ou fondations profondes (bâtiments E1 et D1).....	14
3.2.3 Disposition générales et particulières (fondations superficielles à semi-profondes).....	15
3.2.4 Assise de la voirie.....	15
3.3 Terrassements-soutènements.....	15
3.4 Dispositions relatives à la protection contre les eaux.....	16
3.4.1 Phase travaux.....	16
3.4.2 Phase définitive	17
3.5 Prise en compte des règles parasismiques.....	18
3.6 Missions complémentaires	18
3.7 Diagnostic environnemental	19
CLASSIFICATION ET ENCHAINEMENT DES MISSIONS TYPES D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE	20
CLASSIFICATION DES MISSIONS TYPES D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE	21
CONDITIONS GENERALES	22

1. CONTENU DE LA MISSION

1.1 Cadre de l'intervention

A la demande et pour le compte de ROXIM / JOSEPH COSTAMAGNA SA, la Société **ETUDES ET RECHERCHES GEOTECHNIQUES** a effectué une étude géotechnique préalable phase Principes Généraux de Construction (G1 PGC) dans le cadre du programme « Le Colombier » sur la commune de FREJUS (83).

1.2 Description du projet

Le programme « Le Colombier » prévoit la construction d'un ensemble de bâtiments se décomposant en :

Logements :

- A1: R+3 avec un niveau de sous-sol ; cote RDC à 10.00,
- A2 : R+3 avec un niveau de sous-sol ; cote RDC à 12.00,
- A3 : R+3 avec un niveau de sous-sol ; cote RDC à 14.50,
- B1 : R+3 sans sous-sol ; cote RDC à 15.00,
- B2 : R+3 sans sous-sol ; cote RDC à 15.00,

Commerces et bureaux :

- C1 : R+3 sans sous-sol ; cote RDC à 14.00,
- C2 : R+3 sans sous-sol ; cote RDC à 20.00,
- C3 : R+3 sans sous-sol ; cote RDC à 21.00,
- D1 à D3 : R+1; cote plate-forme à +7.00,
- E1 (centre commercial) : R+1; cote RDC à 7.20,
- E2 (bâtiment annexe centre commercial) : R; cote plate-forme à +7.00.

Il est prévu la réalisation d'une voirie principale desservant l'ensemble des bâtiments, la cote de celle-ci est comprise entre +10 et +11.

Dans le cadre de cette étude, les descentes de charges ne nous ont pas été communiquées.

Pour réaliser cette étude, la SA JOSEPH COSTAMAGNA nous a communiqué les plans suivants :

- Plan altimétrique au 1/500,
- Plan de masse au 1/500,
- Vues en coupe au 1/500,
- Vue aérienne avec report des zones remblayées.

1.3 Situation géographique - contexte topographique

Le terrain retenu par le projet se situe à l'angle entre la rue de la Vernède et la rue des combattants d'Afrique du Nord sur la commune de FREJUS (83).

En partie Est, le terrain présente une pente de l'ordre de 6 % vers le Sud-Est ; les cotes altimétriques oscillent entre +21 et +11. En partie Nord et centrale de la parcelle, une bute est présente et culmine à + 27.03 m.

Entre la partie Est et ouest du terrain, des talus présentant des hauteurs de l'ordre de 3 à 6 m sont présents.

Le terrain dans sa partie Ouest est quasi plat, les cotes altimétriques fluctuent entre +6.23 et +8.98. Dans cette partie, une dalle béton est présente et les anciens bâtiments ont été démolis. En effet, la parcelle accueillait une tuilerie, l'argile et les argiles marneuses et marnes pour fabriquer les tuiles étaient extraites sur place.

D'après les informations qui nous ont été communiquées, la partie située au Sud-Est des anciens bâtiments a fait l'objet d'un remblaiement sur une hauteur de l'ordre de 2 m (ancienne carrière d'argile).

1.4 But de la mission

ETUDES ET RECHERCHES GEOTECHNIQUES intervient au niveau de cette étude préalable (phase Etude de Site, ES et phase Principes Généraux de Construction, PGC) afin de permettre aux concepteurs d'établir un projet en harmonie avec les contraintes géotechniques du site. Ainsi, la présente étude géotechnique préalable est établie par ETUDES ET RECHERCHES GEOTECHNIQUES dont la mission est de :

- apprécier la nature et les qualités géomécaniques du terrain,
- donner certains principes généraux de construction, d'adaptation au site du projet non encore défini (implantation, zonage, profondeur des fouilles, protection vis-à-vis des risques naturels, etc..).

L'étude de la stabilité générale du site, de la stabilité des talus existants et projetés, des ouvrages annexes, des conditions de terrassement et du diagnostic environnemental ne rentrent pas dans le cadre de ce rapport.

L'objet de ce rapport d'étude géotechnique préalable G1 (ES et PGC) est de présenter les résultats des sondages in-situ afin de proposer les principes généraux de construction qui en découlent pour le projet de bâtiments.

Cette mission correspond à une étude géotechnique préalable (G1 phase ES et phase PGC) suivant le texte de la norme NFP 94-500 des Missions Géotechniques. Lorsque le projet sera définitif, des études de conception G2 (Phase Avant Projet, AVP, et Phase Projet, PRO) seront réalisées notamment au droit des zones non prospectées.

Ce document n'est en aucun cas une étude de risque géologique au sens d'un POS (plan d'occupation des sols) ou d'un PER (plan d'exposition aux risques) par exemple. Il n'est pas conçu pour servir dans le cadre de l'instruction d'un permis de construire pour lequel une étude spécifique liée aux éventuels risques géologiques du secteur concerné doit être le cas échéant entreprise.

1.5 Moyens mis en œuvre

Nous avons effectué, conformément à notre contrat de prestation de service (n° SG140131b - JC), entre le 22 avril et le 11 juin 2014 depuis le niveau du terrain actuel :

- ✎ dix sondages de reconnaissance géologique destructifs SP1 à SP10 descendus jusqu'à 15.0 m de profondeur totalisant 100 essais pressiométriques,
- ✎ la pose de piézomètres équipés de tête de protection en SP2, SP5, SP8, SP9 et SP10,
- ✎ vingt sondages de reconnaissance géologique destructifs à la pelle mécanique PM1 à PM20 descendus au refus ou arrêtés volontairement entre 0.5 et 3.2 m de profondeur,
- ✎ douze essais de pénétration dynamique PD1 à PD12 descendus aux refus (PD7, PD8 et PD12 compris entre 0.6 et 3.2 m) ou arrêtés volontairement à 6 m de profondeur (PD1 à PD6, PD9 à PD11),
- ✎ des essais en laboratoire sur les échantillons prélevés en PM1 et PM4 :
 - deux mesures de la teneur en eau,
 - deux valeurs au bleu de méthylène,
 - deux déterminations des limites d'Atterberg,
 - un essai Proctor normal,
 - deux indices CBR.

Compte tenu des faibles profondeurs de refus, les essais PD2 et PD7 ont été doublés.

Aucun sondage n'a été entrepris au droit du bâtiment B1 compte tenu de la présence de remblais sur une forte épaisseur formant un dôme.

Les points de sondages ont fait l'objet d'un repérage Z à partir du plan topographique transmis.

Les résultats obtenus figurent en annexe au présent rapport.

2. RESULTATS DES INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES

2.1 Enquête documentaire et historique

Le site accueillait anciennement une tuilerie, l'argile et les argiles marneuses et marnes pour fabriquer les tuiles étaient extraites sur place. Cette usine a été construite à fin du XIXe siècle.

D'après les photographies aériennes (datées de 1959, 1963, 1970, 1973, 1982, 1987 et 2003) issues du site géoportail (source : www.geoportail.gouv.fr), le zonage de l'extraction de l'argile et des marnes puis du remblaiement a évolué au fil du temps.

D'après ces photographies (cf. ci-dessous et jointes en annexe), on peut remarquer qu'une importante zone d'extraction était située en partie Ouest du site (bassin) et que les terrassements de la partie Sud-Est ont été progressifs au fil des années.



Tuilerie du Colombier en 1959



Tuilerie du Colombier en 1963

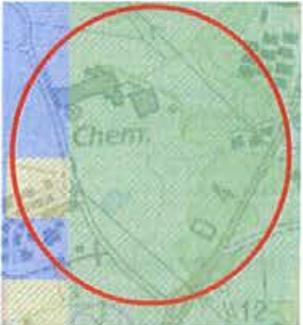
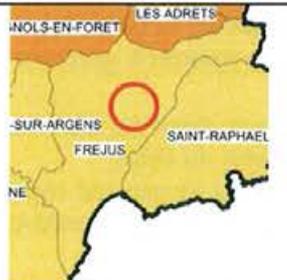


Tuilerie du Colombier en 1970



Tuilerie du Colombier en 1982

Une carte synthétique a été établie à partir de ces données (cf. annexe B).
Les différents risques géologiques sont présentés sur des cartes ci-dessous.

RISQUES	SITE	CARTES	ANALYSE DES RISQUES
PPR mouvements de terrain	www.sigvar.org www.prim.net		<input type="checkbox"/> risque mouvements de terrain* <input checked="" type="checkbox"/> exempt de risque de mouvement de terrain
Aléa gonflement des argiles	www.argiles.fr infoterre.brgm.fr		<input type="checkbox"/> Aléa fort <input checked="" type="checkbox"/> Aléa moyen <input checked="" type="checkbox"/> Aléa faible <input type="checkbox"/> A priori nul
Risque inondation	www.sigvar.org www.prim.net		<input checked="" type="checkbox"/> risque inondation <input type="checkbox"/> exempt de risque inondation
Remontée de nappes	www.inondationsnappes.fr		<input type="checkbox"/> sensibilité très faible à inexistante <input checked="" type="checkbox"/> sensibilité très faible <input type="checkbox"/> sensibilité faible <input type="checkbox"/> sensibilité moyenne <input type="checkbox"/> sensibilité forte <input checked="" type="checkbox"/> sensibilité très élevée, nappe affleurante (secteur extrême Nord-Ouest) <input type="checkbox"/> non réalisé
Risque sismique	www.sigvar.org www.risquesmajeurs.fr/le-risque-sismique		<input type="checkbox"/> Zone 1 : sismicité très faible <input checked="" type="checkbox"/> Zone 2 : sismicité faible <input type="checkbox"/> Zone 3 : sismicité modérée <input type="checkbox"/> Zone 4 : sismicité moyenne <input type="checkbox"/> Zone 5 : sismicité forte

* Il peut se traduire par :

En plaine :

- un affaissement plus ou moins brutal de cavités naturelles ou artificielles (mines, carrières...), (E.F)
- un phénomène de gonflement ou de retrait lié aux changements d'humidité de sol argileux (à l'origine de fissurations du bâti),
- un tassement des sols compressibles (vase, tourbe, argile...) par surexploitation.

En montagne :

- des glissements de terrain par rupture d'un versant instable,
- des écoulements et chute de blocs,
- des coulées boueuses et torrentielles.

2.2 Géologie

2.2.1 Données de la carte géologique

La carte géologique au 1/50 000 – FREJUS-CANNES mentionne au droit du projet la présence de plusieurs formations à savoir :

- Formation du Quaternaire (Fw) en partie Sud-Est représentées par des cailloux et des argiles,
- Formation du Pliocène inférieur (p1) présent en partie Ouest et représentées par des marnes grises ou bleutées, des sables et des graviers,
- Formation du Pliocène moyen à supérieur (p2) présent en partie centrale et représentées par des sables, limons, argiles et cailloux,
- Formation du Permien (formation du Muy - rMy) en partie Nord et Nord-Est représentées par des conglomérats, des grès et des argiles.



La carte géologique confirme la présence d'une ancienne exploitation (tuilerie avec exploitation des argiles) sur la parcelle (argilière du Colombier).

2.2.2 Levé géologique

Le levé géologique du site a permis de reconnaître :

- la présence de grès lie de vin en partie Nord-Ouest et Est de la parcelle et au pied de la butte (située en partie Nord de la parcelle),
- la présence de limons sableux marron à graviers en partie Nord du terrain au sein du talus,
- la présence de limons sableux avec au sommet des argiles micacées marron en partie centrale du terrain au sein du talus,
- le dôme situé en partie Nord du terrain est représenté par des remblais et par des grès lie de vin au niveau du pied Ouest de celle-ci.

Une carte géologique synthétique illustre les contours de ces différentes formations (annexe A).

2.2.3 Résultats des sondages PM1 à PM20 et SP1 à SP10

L'ensemble des sondages a permis de mettre en évidence un contexte géologique hétérogène, à savoir la présence de :

- Remblais de sable brun à graves et galets depuis la surface jusqu'à 0.3 à 1.5 m en moyenne voire 2.9 m en PM7, 4.0 m en SP3 et 4.5 m en SP10,
- Argiles beiges à graves identifiées à faible profondeur en partie Est (0.3 à 1.0 m), vers 2.0 m en partie Nord-Ouest et entre 3.0 et 4.0 m en partie centrale du projet,
- Argiles marneuses à marnes gris bleuté à cristaux de gypse blanchâtre à partir de 0.5 m en SP2, 1.0 m en SP7 et SP8, 3.0 m en SP4 et SP6, 4.0 m en SP3 et SP5 et 4.5 m en SP10,
- Des argiles marron à graves et des sables argileux marron graves jusqu'à 2.7 à plus de 15 m en partie Sud-Ouest uniquement (secteur des sondages PM19 et SP7),
- Des grès lie de vin à partir de 0.3 à 1.8 m en partie Nord-Est, à partir de 0.5 à 2.5 m en partie Nord-Ouest et à partir de 1.9 m dans la partie extrême Sud-Est.

Le substratum pétilo-gréseux a été uniquement identifié en partie Nord-Est (PM10, PM11, PM12, SP9), extrême Sud-Est (PM20), en partie Nord (6.5 m en SP5) et en partie Nord-Ouest (SP1, PM1 et PM2). D'après ces résultats, le substratum plonge fortement vers le Sud-Ouest du site.

Les coupes précises des sondages PM1 à PM20 et SP1 à SP10 sont fournies en annexe.

2.3 Hydrogéologie

Des niveaux d'eau ont pu être mesurés lors de notre intervention entre le 28 avril et 11 juin 2014 et lors d'une visite sur site le 02 septembre 2014. Les niveaux d'eau relevés sont présentés dans le tableau suivant :

Sondage	Niveau d'eau par rapport au niveau du terrain actuel (m)
SP1	3.6 (le 12/06/14)
SP2 (PZ)	1.6 (le 12/05/14)
	2.3 (le 02/09/14)
SP3	2.5 (le 13/05/14)
SP4	4.0 (le 10/06/14)
SP5 (PZ)	3.2 (le 07/05/14)
	3.6 (le 02/09/14)
SP6	sec (le 30/04/14)
SP7	6.4 (le 29/04/14)
SP8 (PZ)	6.5 (le 05/05/14)
	7.6 (le 02/09/14)
SP9 (PZ)	13.3 (le 06/05/14)
	6.2 (le 02/09/14)
SP10 (PZ)	2.3 (le 12/06/14)
	2.65 (le 02/09/14)

Ces niveaux ne sont pas stabilisés, ne représentent pas des niveaux maximaux et peuvent subir des fluctuations au gré des aléas climatiques. En effet, dans ce secteur, d'importantes circulations d'eau sont attendues, notamment lors des périodes défavorables avec de forts cumuls de pluie. De plus, compte tenu qu'une partie est située en zone inondable (cf. § 2.2) la nappe peut remonter au niveau de la surface.

Les piézomètres mis en place dans les sondages SP2, SP5, SP8, SP9 et SP10 permettront de procéder à des relevés piézométriques périodiques notamment lors des périodes pluvieuses prolongées.

La présence d'eau à faible profondeur est pressentie dans le secteur du bâtiment E1 (zone de l'ancien bassin), en effet lors de notre première visite du site (février 2014), de l'eau stagnante était visible à cet endroit.

La présente étude n'aborde pas le problème de l'inondabilité du site, qui n'entre en aucun cas dans le cadre de la mission d'ETUDES ET RECHERCHES GEOTECHNIQUES.

2.4 Résultats des essais in-situ

2.4.1 Sondages pressiométriques SP1 à SP10

Des essais pressiométriques, exécutés suivant le mode opératoire de la norme NFP 94-110, ont été réalisés dans les sondages SP1 à SP10.

Les grandeurs représentatives des caractéristiques mécaniques des sols testés sont :

- le module de déformation pressiométrique E_M (MPa),
- la pression limite nette pressiométrique p^*_i (MPa).

Les résultats obtenus figurent sur les coupes géologiques jointes en annexe.

D'une manière générale, les caractéristiques mécaniques des différentes formations traversées sont les suivantes :

- les remblais de sable brun à galets et débris divers identifiés depuis la surface et jusqu'à 1.0 m en SP1, 0.5 m en SP2, 3.0 m en SP4, 4.0 m en SP3, et 4.5 m en SP10 présentent des caractéristiques mécaniques faibles :

$$0.10 \leq p^*_i \leq 0.62 \text{ MPa}$$
$$0.9 \leq E_M \leq 4.2 \text{ MPa}$$

- les argiles beiges à graves et les sables argileux à graves identifiés sous les remblais et/ou depuis le niveau du terrain actuel jusqu'à 1.0 m en SP8, 2.0 m en SP1, 3.0 m en SP4 et SP6, 4.0 m en SP5 et jusqu'à 15 m en SP7 présentent des caractéristiques mécaniques faibles à moyennes :

$$0.35 \leq p^*_i \leq 1.96 \text{ MPa}$$
$$1.6 \leq E_M \leq 49.1 \text{ MPa}$$

- les argiles marneuses et les marnes gris bleuté mises en évidence à partir de 0.5 m en SP2, 1.0 m en SP8, 3.0 m en SP4 et SP6, 4.0 m en SP3 et SP5 et 4.5 m en SP10 présentent des caractéristiques mécaniques faibles à moyennes :

$$0.10 \leq p^*_i \leq 3.61 \text{ MPa}$$
$$1.7 \leq E_M \leq 109.6 \text{ MPa}$$

- les grès lie de vin et les pélites gréseuses décelés à partir de 2.5 m en SP1, 2.5 m en SP5 et 0.3 m en SP9 présentent des caractéristiques mécaniques élevées :

$$1.68 \leq p^*_i > 5.0 \text{ MPa}$$
$$23.8 \leq E_M \leq 697.7 \text{ MPa}$$

2.4.2 Essais de pénétration dynamique PD1 à PD12

Les essais de pénétration dynamique, exécutés au moyen d'un pénétromètre dynamique de type LS 51 LONGYEAR, permettent la détermination du terme de pointe q_d , dont les variations en fonction de la profondeur et pour chaque point de sondage sont données sur les pénétrogrammes figurant en annexes.

Les essais PD1 à PD6 effectués en partie Ouest des pics de résistances au sein du premier mètre ($q_d > 30$ MPa). Au-delà les valeurs sont comprises entre 3.7 et 10.7 MPa jusqu'à 6 m de profondeur (PD1 à PD5). L'essai PD06 présente des valeurs comprises entre 4.1 et 7.4 MPa jusqu'à 3 m de profondeur, au-delà, les valeurs augmentent graduellement avec la profondeur.

L'essai PD7 (qui a été doublé) et l'essai PD8 ont obtenu des refus à faibles profondeurs (0.6 et 1.6 m) au toit et/ou au sein des grès.

Les essais PD9 à PD11 dénotent des valeurs du terme de pointe comprises entre 6.4 et 12.6 MPa (voire supérieures localement) jusqu'à 6.0 m de profondeur.

L'essai PD12 effectué en partie Sud-Est présente des valeurs qui oscillent entre 4.1 et 13.8 MPa jusqu'à 2.6 m de profondeur. Le refus a été obtenu à 3.2 m de profondeur au toit et/ou au sein de formations compactes (grès ?).

2.5 Essais de laboratoire

Les échantillons de sols prélevés in-situ dans les sondages PM1 et PM4 ont fait l'objet d'analyses en laboratoire dont les résultats sont donnés ci-après :

Echantillon [prof. (m)]	PM1 [0.4 à 0.6]	PM4 [0.5 à 0.8]
Nature du sol	Argile beige à graves	Marne gris bleuté
Teneur en eau naturelle W (%)	20.1	27.5
Limite de liquidité W_L (%)	49	56
Limite de plasticité W_P (%)	23	27
Indice de plasticité I_P	26	29
Indice de consistance I_c	1.1	1.0
VBS	5.2	4.4
D_{max} (mm)	1.656	/
tamisé à 2 mm (%)	95.8	100
tamisé à 80 μ m (%)	79.3	98.5
densité sèche à l'OPN γ_{OPN} (kN/m ³)	/	1.53
teneur en eau à l'OPN w_{OPN} (%)	/	25.3
indice CBR immédiat	/	6
indice CBR après saturation	/	4
Classification G.T.R.	A₃ m	A₃ h

Les matériaux en place prélevés au droit des sondages PM1 et PM4 entre 0.4 m et 0.8 m de profondeur (argile beige à graves et marne gris bleuté) sont des sols fins de classe **A₃** (sols plastiques) dans un état hydrique moyennement humide à humide selon la classification GTR du LCPC/SETRA (sols fins).

D'une manière générale, ces sols changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau et sont ainsi très sensibles aux variations hydriques du point de vue de leur portance.

3. APPLICATIONS AUX OUVRAGES GEOTECHNIQUES - RECOMMANDATIONS

Au niveau de la mission d'ingénierie géotechnique réalisée de type G1 (ES et PGC), seules les indications géotechniques d'aménagement peuvent être présentées. Il sera nécessaire de les préciser lors des phases de conception du programme Le Colombier à FREJUS (83) (étude des quantités, coût et délais d'exécution des ouvrages géotechniques) puis d'exécution conformément à l'enchaînement nécessaire des missions géotechniques (celles-ci seront de type G2, G3 et G4 voire G5, au sens de la norme NFP 94-500 de novembre 2013).

En ce qui concerne le présent document, il s'agit d'une mission d'ingénierie géotechnique d'avant projet G1 relative au mode de fondation des différents bâtiments selon la norme NFP 94-500 des Missions Géotechniques de novembre 2013.

Des sondages complémentaires devront être entrepris lorsque le projet sera entièrement défini (études géotechniques de conception G2).

3.1 Préambule

Le contexte géologique et géotechnique mis en évidence par les sondages effectués au droit du futur programme « Le Colombier » est très hétérogène. Il est représenté par :

- La présence du substratum pélito-gréseux compact entre 0.3 et 3.2 m de profondeur au droit des bâtiments A1, A2, B1, B2 et partiellement au droit des bâtiments C3 (Sud-Est), D3 (Nord-Ouest) et B2 (Nord). Le substratum est en effet caractérisé par un fort plongement vers le Sud-Ouest,
- La présence de remblais sableux à galets à débris divers (briques, tuiles,...) mécaniquement peu à moyennement compacts sur plus de 4.5 m d'épaisseur par endroit au droit des bâtiments D1 et E1 (sondages SP3, SP4 et SP10),
- La présence d'argiles et de marnes gris bleuté moyennement compactes sous les remblais en partie centrale du site (bâtiments D1 à D3, E1, E2, A3) mais relativement sensibles aux variations hydriques voire gonflantes,
- Localement, la présence d'argiles marron à graves et de sables argileux moyennement compacts à compacts au droit des bâtiments A3, C1 et C2.

De plus, les argiles et les marnes gris bleuté rencontrées sur ce site présentent des cristaux de gypse (présents de manière disparates au sein des argiles qui ont été exploitées pour la fabrication de tuiles).

Ainsi du fait de cette ancienne exploitation et d'après les photographies aériennes anciennes (jointes en annexe) des doutes subsistent sur l'épaisseur réelle des remblais et la nature des sols identifiés en profondeur notamment dans le secteur des bâtiment A3, B2, C1, D1 et E1.

D'un point de vue hydrogéologique, il existe une nappe siégeant au toit des pélites et grès et au sein des alluvions du site à faible profondeur. Elle est fortement alimentée, ce qui impose de prendre des dispositions de protection et d'étanchéité notamment pour les bâtiments enterrés en partie basse du site aussi bien en phase travaux qu'en phase définitive (cf § 3.5).

Au stade actuel des investigations et selon l'implantation et l'encastrement du bâtiment/TN plusieurs cas peuvent se présenter :

- L'emprise du bâtiment se situe uniformément au sein des grès (A1, A2 et B1) ou au sein des argiles marneuses et les marnes gris bleuté en place (A3, C1, D2 et E2), nous proposons un mode de fondation superficielle à semi-profonde par semelles filantes entrecroisées et élargies ancrées uniformément dans les horizons en place,
- le bâtiment se situe dans une zone de remblais (D1 et E1) ou dans des horizons de nature différente : grès, marnes, argiles (B2, C1 à C3 et D3), nous proposons la réalisation soit d'une amélioration de sol soit d'un mode de fondation profonde de type pieux par exemple. Pour les bâtiments B2, C1 à C3 et D3 ? des adaptations au niveau du mode de fondation devront être précisées.

Toutefois, compte tenu de la forte variabilité des terrains d'un point de vue de la nature et de leur compacité, il conviendra impérativement d'entreprendre des investigations complémentaires au droit des différents bâtiments et de la voirie (carottés, pressiomètres, sondages à la pelle mécanique,...) afin de :

- caractériser plus précisément la position du substratum péliito-gréseux notamment dans les parties Nord-Ouest, Nord et Sud-Est (contours géologiques),
- distinguer la nature et les épaisseurs de remblais et notamment la présence d'argile et de marnes remaniées du fait de leur exploitation,
- apprécier de manière plus approfondie les caractéristiques mécaniques des différentes formations d'ancrage (grès, marnes...).

De plus, les bâtiments D2, D3 et E2 sont implantés au droit des anciens bâtiments représentant la tuilerie, dans ce secteur ERG ne peut être tenu responsable des variations de nature et de qualité des sols entre les différents points de sondages et notamment sous les parties bâties non accessibles (variation naturelle des sols, secteurs remaniés, remblais, ouvrages enterrés, fondations existantes etc...).

Lors de travaux de démolition des dalles bétons encore présentes, le maître d'œuvre veillera à ce que l'on remanie au minimum les sols du site, et que l'on évite d'enfouir et de dissimuler les matériaux issus de la démolition ou de toute autre provenance. Le déchaussement ou l'arrachement des fondations existantes sera fait sans remanier latéralement le terrain de manière excessive. Ainsi, la présente étude ne tient pas compte des zones non prospectées et de l'évolution du site.

Pour les bâtiments possédant des niveaux de sous-sol, des dispositions de soutènement et de pompage seront prises en phase provisoire et définitive.

Ces dispositions seront attentivement étudiées lors des études de conception de projet mission G2 selon la norme NFP 94-500 (novembre 2013).

De plus, compte tenu de l'ancienne activité présente sur le site et de la présence de remblais hétérogènes et plurimétriques et des terrassements prévus, il conviendra de réaliser un diagnostic environnemental.

3.2 Principes généraux de construction

3.2.1 Mode de fondation superficielle à semi-profonde (bâtiments A1, A2, A3, B1, B2, C1, C2, C3, D2)

Les bâtiments A1, A2 et B1 pourront être fondés sur semelles filantes descendues au-delà de la base des remblais (bâtiment B1 notamment) et ancrées uniformément de 0.3 m au minimum dans les formations gréseuses compactes à une profondeur minimale sous le niveau du terrain actuel de l'ordre de 1.0 à 2.0 m (au droit des sondages réalisés) au droit du bâtiment A1.

Au droit du bâtiment B1 compte tenu de la présence d'une butte de remblais, aucun sondage n'a été entrepris. Toutefois, d'après les terrassements prévus et compte tenu de la présence de grès en pied de la butte, le bâtiment devrait mobiliser les grès au niveau de la plate-forme de terrassement.

Les bâtiments A3, D2 et E2 pourront être fondés par l'intermédiaire de semelles semi-profonde ou par radier généralisé (bâtiments avec sous-sol) ancré au-delà des remblais d'au moins 0.5 m au sein des marnes gris bleuté moyennement compactes en place

Les sols d'assise des bâtiments D3, B2 et C3 sont représentés par des sols mécaniquement peu compacts jouxtant avec des sols compacts et des sols d'assise de nature différente au droit des bâtiments C1 et C2. Au droit de ces différents bâtiments, un mode de fondation par l'intermédiaire de semelles semi-profondes ou par radier généralisé (bâtiments avec sous-sol) ancrés au-delà des remblais d'au moins 0.5 m au sein des différentes formations pourra être envisagé sous réserve que les tassements différentiels soient acceptables par la structure de chaque bâtiment. Si ces tassements s'avèrent préjudiciables à l'ouvrage, une amélioration de sol ou un mode de fondation profonde devra être envisagé (cf. § 3.2.2).

Dans ces conditions, la contrainte de calcul aux E.L.S. à la base des fondations des bâtiments sera, au stade actuel des investigations, modérée à élevée dans les grès et faible à modérée dans les marnes.

Selon l'amplitude des charges, des tassements sont à craindre.

3.2.2 Amélioration de sol ou fondations profondes (bâtiments E1 et D1)

Compte tenu de la présence de remblais sur de fortes épaisseurs notamment au droit des bâtiments D1 et E1 voire en cas de tassements différentiels importants pour les bâtiments C1 à C3, B2 et D3, nous proposons pour des bâtiments soit un mode de fondation profonde (pieux ou micropieux) ou un mode de fondation superficielle (radier ou semelles posé sur une couche de GNT) associé à une amélioration des sols d'assise par inclusions rigides (à l'aide de colonnes ballastées par exemple) mobilisant uniformément les marnes compactes attendues en profondeur.

La faisabilité et le choix de la technique d'amélioration de sol notamment, et en particulier le choix des paramètres pour le calcul de la portance et des tassements, devront être précisés par les entreprises de fondations spéciales en fonction de l'environnement du site et des moyens dont elle dispose.

La performance de l'amélioration dépendra essentiellement de la technologie employée et du maillage adopté (certaines technologies sont spécifiques et maîtrisées par les entreprises elles-mêmes). Les tassements réels devront ensuite être déterminés à partir des charges réelles apportées par l'ouvrage et les caractéristiques de l'amélioration du sol.

Nous précisons que l'ensemble de ces hypothèses devra être confirmé et validé par des sondages complémentaires implantés au droit du futur bâtiment afin d'optimiser la profondeur d'assise et le niveau de portance du sol (étude géotechnique de conception de projet G2).

3.2.3 Disposition générales et particulières (fondations superficielles à semi-profondes)

Toute zone douteuse (remblais éventuels, formations décomprimées, poches molles) sera purgée afin de descendre les fondations au sein de formations homogènes et compactes.

En cas d'arrivées d'eaux intempestives (infiltrations, ruissellements, pluie etc...), il est impératif de purger et de curer les fonds de fouilles des matériaux remaniés ou saturés d'eau.

Dans le cas d'un niveau d'assise variable, il conviendra de prévoir la réalisation de redans ; ils seront établis de manière à respecter la règle des trois pour deux : les niveaux de fondations successives doivent être tels qu'une pente maximale de trois (3) de base pour deux (2) de hauteur relie les arêtes des semelles les plus voisines (sous réserve de respecter le paragraphe 4.3.2. de la norme NF P 06-013 ayant trait aux règles PS92).

Cette règle devra être respectée :

- entre fondations projetées et fondations mitoyennes,
- entre fondations projetées et pied de talus mitoyen amont et aval.

D'après les essais en laboratoire, les argiles et les marnes du site sont très sensibles à l'eau.

Les différents blocs de construction inégalement chargés ou fondés à des niveaux différents ou dans des terrains différents seront impérativement dotés de joints de rupture descendus jusqu'à la base des fondations à définir par le BET structure.

Ainsi, la conception des fondations et de la superstructure des ouvrages projetés devra être précisée par un spécialiste des structures en fonction des tassements absolus et différentiels attendus pour les charges réelles qui seront calculées par l'équipe de conception.

3.2.4 Assise de la voirie

Les sols d'assise de la voirie présentent une très forte variabilité, des importants tassements sont à craindre et des dispositions spécifiques devront être prises.

3.3 Terrassements-soutènements

Les éléments suivants, d'un caractère général, sont donnés à titre indicatif, et ne pourront en aucun cas servir de base pour la conception de marchés forfaitaires. En effet, l'étude approfondie des conditions de terrassement ne fait pas l'objet de la présente mission.

Les terrains rencontrés au droit de nos sondages implantés sur l'emplacement des futurs bâtiments seront en partie Nord-Est, des grès lie de vin résistants à faible profondeur et des argiles marneuses à des marnes gris bleuté peu résistantes et aquifères dans les autres secteurs. Des moyens de terrassement puissants et adaptés au contexte géologique et environnemental du site devront être mis en place.

L'usage du brise roche, probablement nécessaire, sera fait avec les précautions suffisantes en regard de l'environnement et du contexte général du projet. Dans ce cas, il y aurait lieu d'effectuer des mesures de vibrations sur les structures existantes avoisinantes et de vérifier le respect des seuils de tolérance fixés par la circulaire ministérielle de Juillet 1986.

Nous attirons l'attention des concepteurs sur les fortes venues d'eau attendues en cours d'excavation (niveau d'eau situé à très faible profondeur pouvant remonter presque en surface - nappe fortement alimentée).

Les talus créés feront l'objet de dispositions spécifiques (talutage adapté avec en première approche une pente de 3H/2V dans les argiles et marnes en place et de 1H/1V dans les grès peut être envisagée) dans les secteurs où cela est possible et/ou de soutènements en phase provisoire ou définitive (parois, palplanches,...) dans les secteurs où le talutage est impossible afin d'assurer la stabilité et l'étanchéité des parois de la fouille et afin d'éviter tout désordre consécutif notamment à une décompression des sols pendant et après les terrassements et notamment aux abords des constructions et des chaussées existantes. Ces ouvrages seront conçus de manière à éviter tout déplacement et mouvement des terres amont, des éventuelles fondations mitoyennes et de leurs terrains d'assise. Ces dispositions devront être prises dès le début du chantier.

La mise en place des soutènements (parois, palplanches,...) devra être très attentivement étudiée et validée par les entreprises spécialisées et sera faite avec les précautions suffisantes en regard de l'environnement et du contexte général du projet. Dans ce cas, il y aurait lieu d'effectuer des mesures de vibrations sur les structures existantes avoisinantes et de vérifier le respect des seuils de tolérance fixés par la circulaire ministérielle de Juillet 1986.

Ces ouvrages seront dimensionnés pour permettre de reprendre la poussée des terres et de maîtriser les eaux et/ou les gradients hydrauliques souterrains en tenant compte notamment des éventuelles charges et surcharges en tête et des fortes variations du niveau d'eau.

Ainsi, compte tenu de la présence d'une nappe d'eau fortement alimentée, il conviendra de prendre des dispositions relatives aux travaux sous nappe (étude de la faisabilité d'aiguilles filtrantes ou de puits filtrants à condition de concevoir le dispositif de manière à éviter les risques d'entraînement des fines et l'effet Renard).

Les pentes de talus à adopter et le dimensionnement d'éventuelles parois de soutènement (longueur de la fiche, ancrage et/ou butonnage notamment) seront attentivement étudiés dans le cadre des études de conception de projet (mission G₂ au sens de la norme NF P 94-500), en tenant compte du contexte géotechnique et hydrogéologique du site, de manière à assurer la stabilité mécanique de la fouille et des ouvrages voisins d'une part, et de limiter les débits d'exhaure en phase travaux et définitive d'autre part.

3.4 Dispositions relatives à la protection contre les eaux

3.4.1 Phase travaux

Rappelons que le contexte hydrogéologique du site est caractérisé par la présence d'une nappe siégeant à faible profondeur au sein des alluvions du site ; des niveaux proches de la surface en période pluvieuse sont attendus.

Les venues d'eau attendues lors des terrassements dépendront de la présence ou l'absence (talutage) de soutènement périphérique. La réalisation de soutènement (paroi étanche ou semi-étanche) permettra de réduire au maximum les venues d'eau périphériques. Toutefois, en raison de la perméabilité significative avérée des terrains (alluvions à dominante sableuse) notamment au niveau du fond de fouille présumé, des débits d'exhaure importants sont à prévoir à l'intérieur de l'enceinte, en phase chantier notamment.

Ces débits dépendront de la géométrie de l'ouvrage (fiche de la paroi notamment). Toutefois, en raison de l'absence d'horizon géologique peu perméable en profondeur, un prolongement de la paroi vers un tel horizon n'est pas à envisager.

Les estimations de ces débits et de la fiche de la paroi d'une manière mécanique et hydraulique devront être attentivement étudiées dans ces différents cas, dans le cadre des études de conception de projet (mission G₂).

Rappelons à ce titre que la réalisation d'un essai de pompage ultérieur pourrait permettre de préciser la perméabilité des terrains en grand et d'approcher au mieux ces débits.

En phase de terrassement, des dispositions relatives aux travaux sous nappe (étude de la faisabilité d'aiguilles filtrantes ou de puits filtrants), permettront de rabattre le niveau de la nappe sous le niveau du fond de fouille.

On veillera dans tous les cas à limiter l'ampleur du rabattement de la nappe à l'extérieur de l'enceinte lors de ces pompages, ceci afin d'éviter de déstabiliser le voisinage (entraînement de fines, tassements des ouvrages voisins sous rabattement).

Cet aspect devra être attentivement étudié dans le cadre des études de conception.

3.4.2 Phase définitive

Des sous-pressions sous l'ouvrage enterré dues à la présence de la nappe aquifère proche de la surface sont à prendre en compte par l'équipe de conception.

En ce qui concerne la protection de l'ouvrage contre les eaux en phase définitive et selon le degré de protection souhaité, on se référera au DTU 14.1.

L'étanchéité (ou semi-étanchéité) périphérique sera assurée au moyen d'une paroi étanche. Selon le degré de protection souhaité, celle-ci pourra être de type cuvelage étanche ou semi-étanche au sens du DTU 14.1. Vu la perméabilité des terrains, cette solution semble, au stade actuel des investigations la plus adaptée et la plus sûre.

Rappelons que les débits d'exhaure devront être attentivement étudiés au niveau des études de conception de projet ultérieures (mission G₂).

Il conviendra de prévoir un réseau indépendant, de manière à évacuer les eaux de surface.

L'éventuel « effet barrage » (perturbation des écoulements souterrains) du à la mise en œuvre d'une paroi étanche par exemple devra être ultérieurement attentivement étudié par un bureau d'études spécialisé, en charge de la conception de la paroi étanche.

3.5 Prise en compte des règles parasismiques

Selon la classification de la commune de FREJUS (83) en zone sismique, il conviendra de prendre en compte les prescriptions parasismiques en vigueur, tant en infrastructure qu'en superstructure.

D'après le zonage parasismique français (arrêté du 22/10/2010), la commune de FREJUS est classée en zone 2 (zone de sismicité faible).

L'accélération horizontale de calcul retenue est $a = a_g \cdot S$ avec :

- S : paramètre de sol dépendant de la classe de sol. La classe de sol selon l'Eurocode 8 - Partie 5 est A soit $S = 1.0$ (partie Nord-Ouest et Est) et B soit $S = 1.2$ (partie Ouest, Sud et centrale),
- a_g : accélération horizontale de calcul au niveau d'un sol est $\gamma_I a_{gr}$
 - a_{gr} : l'accélération maximale de référence au niveau d'un sol, soit $a_{gr} = 0.7 \text{ m/s}^2$
 - γ_I : coefficient d'importance du bâtiment : Ouvrage de catégorie II. Ainsi $\gamma_I = 1.0$ suivant l'arrêté du 22/10/2010.

3.6 Missions complémentaires

Conformément à la norme NF P 94-500 des missions géotechniques de novembre 2013, l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le Maître d'Ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.

Ainsi, la présente mission G1 PGC relative au mode de fondation, ne peut servir au lancement d'une consultation ou d'un appel d'offre concernant la construction d'un ouvrage géotechnique pour lequel la réalisation d'une mission G2 est indispensable.

Comme évoqué au paragraphe 3.1, il conviendra d'entreprendre des investigations complémentaires afin de :

- caractériser plus précisément la position du substratum pélo-gréseux notamment dans les parties Nord-Ouest, Nord et Sud-Est par la réalisation de sondages à la pelle mécanique et pressiométriques,
- de bien distinguer la nature et les épaisseurs de remblais et notamment la présence d'argile et de marnes remaniées du fait de leur exploitation par la réalisation de sondages à la pelle mécanique, carottés et pressiométriques,
- apprécier de manière plus approfondie les caractéristiques mécaniques des différentes formations d'ancrage (grès, marnes...),
- suivre les variations de la nappe phréatique par l'intermédiaire d'un suivi piézométrique sur une période d'un an.

Compte tenu des éléments énoncés ci-dessus, la réalisation d'une campagne de sondages complémentaires basée au minimum sur 15 sondages pressiométriques, 15 sondages carottés descendus entre 15 et 25 m de profondeur, des sondages de reconnaissance géologique à la pelle mécanique de forte puissance et une campagne d'essais en laboratoire (identification GTR, essais oedométriques, essais de cisaillement,...) paraît indispensable afin de figer le mode de fondation de chaque ouvrage.

3.7 Diagnostic environnemental

Compte tenu de l'ancienne activité présente sur le site et de la présence de remblais hétérogènes plurimétriques et des terrassements prévus, il conviendra de réaliser un diagnostic environnemental.

J. COUSIN
Ingénieur Géotechnicien

