DGAC

DIAGNOSTIC SISMIQUE DES BÂTIMENTS DGAC ALPES MARITIMES

ACTUALISATION DE LA SYNTHESE DES DONNEES GEOTECHNIQUES ET SISMIQUES – AEROPORT DE CANNES-MANDELIEU

F				
E				
D				
C				
B				
A	12/11/2021	C. PINEAU	L. TESSER	P. A. NAZÉ
Rev.	Date	Nom Sign.	Nom Sign.	Nom Sign.
		REDACTION	VERIFICATION	APPROBATION

HISTORIQUE DE LA NOTE

INDICE	DATE	DESIGNATION DE LA MODIFICATION
A	12/11/2021	Edition Originale

PAGES

Pages	Révisions							Pages	Révisions							Pages	Révisions						
	A	B	C	D	E	F	G		A	B	C	D	E	F	G		A	B	C	D	E	F	G
1	X							41								81							
2	X							42								82							
3	X							43								83							
4	X							44								84							
5	X							45								85							
6	X							46								86							
7	X							47								87							
8	X							48								88							
9	X							49								89							
10	X							50								90							
11	X							51								91							
12	X							52								92							
13	X							53								93							
14	X							54								94							
15	X							55								95							
16	X							56								96							
17	X							57								97							
18	X							58								98							
19	X							59								99							
20	X							60								100							
21	X							61								101							
22	X							62								102							
23								63								103							
24								64								104							
25								65								105							
26								66								106							
27								67								107							
28								68								108							
29								69								109							
30								70								110							
31								71								111							
32								72								112							
33								73								113							
34								74								114							
35								75								115							
36								76								116							
37								77								117							
38								78								118							
39								79								119							
40								80								120							

TABLEAUX

Pages	Révisions							Pages	Révisions							Pages	Révisions						
	A	B	C	D	E	F	G		A	B	C	D	E	F	G		A	B	C	D	E	F	G
1	X							41								81							
2								42								82							
3								43								83							
4								44								84							
5								45								85							
6								46								86							
7								47								87							
8								48								88							
9								49								89							
10								50								90							
11								51								91							
12								52								92							
13								53								93							
14								54								94							
15								55								95							
16								56								96							
17								57								97							
18								58								98							
19								59								99							
20								60								100							
21								61								101							
22								62								102							
23								63								103							
24								64								104							
25								65								105							
26								66								106							
27								67								107							
28								68								108							
29								69								109							
30								70								110							
31								71								111							
32								72								112							
33								73								113							
34								74								114							
35								75								115							
36								76								116							
37								77								117							
38								78								118							
39								79								119							
40								80								120							

FIGURES

Pages	Révisions							Pages	Révisions							Pages	Révisions						
	A	B	C	D	E	F	G		A	B	C	D	E	F	G		A	B	C	D	E	F	G
1	X							41								81							
2	X							42								82							
3	X							43								83							
4	X							44								84							
5	X							45								85							
6	X							46								86							
7	X							47								87							
8	X							48								88							
9	X							49								89							
10	X							50								90							
11	X							51								91							
12	X							52								92							
13	X							53								93							
14								54								94							
15								55								95							
16								56								96							
17								57								97							
18								58								98							
19								59								99							
20								60								100							
21								61								101							
22								62								102							
23								63								103							
24								64								104							
25								65								105							
26								66								106							
27								67								107							
28								68								108							
29								69								109							
30								70								110							
31								71								111							
32								72								112							
33								73								113							
34								74								114							
35								75								115							
36								76								116							
37								77								117							
38								78								118							
39								79								119							
40								80								120							

DIAGNOSTIC SISMIQUE DES BATIMENTS DGAC ALPES MARITIMES

SYNTHESE DES DONNEES GEOTECHNIQUES ET SISMIQUES – AEROPORT DE CANNES-MANDELIEU

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION 2

2. DESCRIPTION DES OUVRAGES 3

2.1 BATIMENT C – TOUR DE CONTROLE A CANNES 3
2.2 BATIMENT D – BLOC TECHNIQUE A CANNES 3

3. ANALYSE GEOTECHNIQUE 3

3.1 DONNEES GEOTECHNIQUES DISPONIBLES ANTERIEURES A 2020 3
3.1.1 Documents transmis par la DGAC 4
3.1.2 Documents d'archive 4
3.1.3 Recherches bibliographiques complémentaires 5
3.2 RECONNAISSANCES COMPLEMENTAIRES REALISEES EN 2021 5
3.3 CONTEXTE GEOLOGIQUE 6
3.4 ANALYSE DES DONNEES GEOTECHNIQUES 6
3.4.1 Stratigraphie 6
3.4.2 Essais au pénétromètre statique (1969) 8
3.4.3 Essais au pénétromètre dynamique (2021) 8
3.4.4 Essais pressiométriques 9

4. CONDITIONS HYDROGEOLOGIQUES 10

5. CARACTERISTIQUES DE PROJET / IMPACT SUR LES HYPOTHESES 2020 10

5.1 CLASSIFICATION DU SOL 11
5.2 CONDITIONS SISMIQUES 11
5.3 IDENTIFICATION DES SOLS 12
5.4 MODULES A FAIBLES DEFORMATIONS 12
5.5 MODULES A DEFORMATIONS MOYENNES 13
5.6 CARACTERISTIQUES DE RESISTANCE AU CISAILLEMENT 13

6. ANALYSE DU RISQUE DE LIQUEFACTION 14

6.1 METHODOLOGIE 14
6.1.1 Evaluation qualitative 14
6.1.2 Evaluation quantitative 14
6.2 RESULTATS 16

7. CONCLUSION 18

REFERENCES 19

TABLEAU 21

FIGURES 22

1. INTRODUCTION

Sur la base de méthodes sommaires d'analyse de vulnérabilité des bâtiments existants, et dans une logique de gestion du patrimoine, le Service National d'Ingénierie Aéroportuaire (SNIA) a entrepris une hiérarchisation du patrimoine immobilier de la DGAC vis-à-vis de la vulnérabilité sismique de son parc.

Dans le cadre de la récente règlementation sismique fondée sur les Eurocodes, la DGAC doit connaître la vulnérabilité de ses ouvrages existants et, le cas échéant, estimer les actions à mettre en œuvre pour réduire cette vulnérabilité.

En particulier, la DGAC souhaite disposer d'une étude approfondie de vulnérabilité sismique pour les bâtiments à « risque normal » suivants :

- Sur le site de Nice – Côte d'Azur
  - Bâtiment A : Ancien Bloc Technique et ancienne vigie (actuelle vigie météo) ;
  - Bâtiment B : Tour de contrôle ;
- Sur le site de Cannes-Mandelieu
  - Bâtiment C : Tour de contrôle ;
  - Bâtiment D : Bloc Technique.

Dans le cadre de la vérification sismique des ouvrages du site de Cannes-Mandelieu, une première analyse des données géotechniques avait été établie en mars 2020 sur la base des données historiques disponibles sur le site (document en référence 14) afin de définir un modèle géotechnique préliminaire représentatif des conditions de sol au droit des bâtiments.

L'objet du présent document est de réactualiser cette analyse au vu des résultats d'une campagne de reconnaissance complémentaire réalisée sur le site entre juin et juillet 2021 (référence 23) dans l'optique d'affiner le modèle préliminaire défini dans la référence 14 et de lever certaines incertitudes le cas échéant.

Les conclusions de la présente synthèse des données géotechniques et géophysiques sont comparées avec les hypothèses retenues pour le diagnostic sismique du bâtiment technique et de la tour de contrôle du site de Cannes-Mandelieu, afin de confirmer ou affiner les études réalisées en 2020 (références 15 à 22).

2. DESCRIPTION DES OUVRAGES

Les bâtiments concernés par la consultation de la DGAC pour le site de Cannes sont présentés sur la Figure 1.

2.1 BATIMENT C – TOUR DE CONTROLE A CANNES

La tour de contrôle de l'aéroport de Cannes-Mandelieu est constituée d'un cylindre à section octogonale à diamètre variable avec un escalier hélicoïdal tout autour. Elle est surmontée par la vigie en forme de pyramide inversée.

La tour, dont la construction remonte au début des années 70, est fondée sur un radier circulaire de 8.50m de diamètre et de 0.40cm d'épaisseur et présente une hauteur totale d'environ 24m. L'arase inférieure du radier est située à la cote +0.72NGF. La structure porteuse de la tour est un noyau en béton armé raidi par des dalles en béton armé. La vigie supérieure a été modifiée en 1995 et comporte une structure porteuse en charpente métallique. Elle constitue le dernier étage de la tour de contrôle avec une hauteur d'environ 3.9m.

2.2 BATIMENT D – BLOC TECHNIQUE A CANNES

Le bâtiment a été construit à la même époque que la tour de contrôle dans les années 1970-71. Il comporte deux niveaux sur un vide sanitaire. Un sous-sol partiel abrite la chaufferie dans la partie au centre.

Le bâtiment a une forme rectangulaire de dimensions en plan d'environ 24.0m × 11.3m. Il est séparé de la tour par un joint de dilatation. La façade Est comprend un auvent d'environ 3.8m de large et d'environ 7.2m de long.

Le bâtiment est fondé sur semelles superficielles de type Lebelle, d'épaisseur 70cm, fondées à des cotes variant entre -1.35NGF et -3.45NGF et solidarisées par des murs en béton à l'exception de 3 semelles isolées à mi largeur (d'épaisseur 30cm). Les planchers sont constitués de poutrelles préfabriquées de 16cm de hauteur associées à une chape de compression de 4cm d'épaisseur. Les planchers supérieurs sont soutenus par des poutres transversales de 10.8m de portée et sont ceinturés par une poutre périphérique de 1.0m de hauteur.

3. ANALYSE GEOTECHNIQUE

3.1 DONNEES GEOTECHNIQUES DISPONIBLES ANTERIEURES A 2020

Plusieurs documents relatifs aux conditions géotechniques au droit de l'aéroport de Cannes-Mandelieu et plus précisément au droit de la zone d'étude ont été recensés et exploités pour l'analyse géotechnique faisant l'objet de la présente note. Ces documents correspondent essentiellement aux quelques essais disponibles au droit du site, aux plans des fondations des différents bâtiments, ainsi qu'aux pré-diagnostics réalisés par la DGAC sur ses bâtiments. Ces documents ont été pour la plupart transmis par la DGAC dans le dossier d'appel d'offres, collectés dans les archives du site lors de la visite du 08/11/2019 puis complétés par des recherches bibliographiques complémentaires.

3.1.1 *DOCUMENTS TRANSMIS PAR LA DGAC*

Les données géotechniques disponibles transmises par la DGAC pour le site de Cannes-Mandelieu sont réunies dans l'étude de sol réalisée par SOL-ESSAIS en 1969 [référence 8], comprenant sept essais au pénétromètre statique lourd, menés jusqu'à des profondeurs de 10m à 15m dans l'emprise des bâtiments Bloc Trafic, Bloc Technique et Transformateur. Dans ce rapport, il est fait mention d'une campagne de forages antérieure, dont on ne dispose pas des données à ce jour, permettant de restreindre le programme de la campagne de SOL-ESSAIS (choix des essais et profondeurs investiguées).

Les sondages de la campagne de 1969 font état de terrains alluvionnaires sur 15m avec une alternance de terrains plutôt médiocres (formations à dominante limoneuse) à moyens (formations à dominante sableuse).

Ces documents sont complétés par un document relatif à la construction du bloc technique (notice descriptive des travaux) et des documents réalisés par la DGAC concernant le diagnostic des ouvrages. Le contenu utile de ces documents en vue de la synthèse géotechnique est décrit ci-après.

Les données disponibles transmises par la DGAC pour le site de Cannes-Mandelieu consistent en :

- Une étude de sol, réalisée par SOL-ESSAIS en 1969 [référence 8] pour la reconnaissance des sols au droit de la tour de contrôle, du bloc technique, du bloc trafic et du transformateur qui comprend les sept essais au pénétromètre statique décrits ci-avant, et localisés comme illustré sur la Figure 3 ;

- Une notice descriptive des travaux à réaliser pour le bloc technique, rédigée par le cabinet d'architectes LIZERO en 1968 [référence 10] présentant, entre autres la description des travaux de terrassement pour les fondations de la tour et du bloc technique ;

- Les documents en références 7, 9 et 11, qui présentent entre autres, les analyses préliminaires effectuées par la DGAC et le CETE Méditerranée concernant la stabilité des ouvrages objet de la présente étude.

3.1.2 *DOCUMENTS D'ARCHIVE*

Lors de la visite préliminaire des sites effectuée le 08/11/2019, nos équipes ont pu collecter des plans relatifs aux fondations des différents ouvrages dans les archives du site, mais aucun document géotechnique complémentaire n'a été collecté.

3.1.3 *RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES COMPLEMENTAIRES*

Afin de compléter les informations disponibles, des données de reconnaissance géologique complémentaires sont tirées des bases de données géoscientifiques du BRGM (référence 6).

Il s'agit essentiellement de sondages réalisés dans l'emprise de l'aérodrome, à proximité immédiate ou dans un rayon d'environ 500m autour de la zone d'étude :

- Un sondage profond réalisé en 1970 sur une profondeur de 72m par l'entreprise MACCARIO, faisant état de 29 m d'alluvions datant de l'Holocène (sables argileux, graviers grossiers, argiles sableuses) surmontant des marnes bleues du Plaisancien (argiles bleues plus ou moins sableuses);

- Une campagne menée en 1956 par l'entreprise Pieux Express à 350m au nord-ouest de la zone d'étude dans le cadre de la construction de l'aérodrome, comprenant sept sondages de reconnaissance géologique effectués jusqu'à 9.50m à 15.50m de profondeur et faisant étant de formations quaternaires récentes composées de sables, de vases et localement d'argiles ;

- Un sondage réalisé en 1970 au nord-est de la zone d'étude et présentant sur 10m de profondeur les mêmes types de terrains qu'au droit de la zone d'étude ;

- Une campagne menée en 1973 par FONDASOL à 430m au sud-est de la zone d'intérêt dans le cadre de l'étude de l'usine Aloa-Marine, comprenant notamment trois forages avec essais pressiométriques menés jusque 18m à 20m de profondeur et faisant état de formations sableuses holocènes jusqu'à 16m de profondeur avant d'atteindre les marnes du Plaisancien ;

- Une campagne menée en 1973 par FONDASOL à 400m au sud-ouest de la zone d'intérêt dans le cadre de l'étude de la station d'épuration, comprenant notamment trois forages avec essais pressiométriques menés jusque 25m à 26m de profondeur et faisant état de formations holocènes plus ou moins compactes jusqu'à 21m à 26m de profondeur.

L'implantation de l'ensemble des sondages disponibles est synthétisée de façon approximative sur la Figure 4.

3.2 RECONNAISSANCES COMPLEMENTAIRES REALISEES EN 2021

L'analyse des données de sols disponibles au droit du site de Cannes-Mandelieu a permis de dégager en 2020 (référence 14) des hypothèses pour répondre à la plupart des sujets géotechniques pour le diagnostic sismique des bâtiments sur la base de l'extrapolation des reconnaissances en profondeur et de corrélations entre les différents types d'essais mécaniques réalisés.

La profondeur limitée des sondages ainsi que le caractère exclusif du type d'essai disponible au droit du bloc technique et de la tour de contrôle a conduit à recommander des reconnaissances spécifiques complémentaires afin de conforter la robustesse des hypothèses émises pour la classification de sol et éventuellement pour permettre de l'améliorer ; de consolider l'analyse du risque de liquéfaction ; et de valider les hypothèses mécaniques de sol nécessaires au calcul des impédances et à la vérification des fondations.

Dans ce contexte, des reconnaissances complémentaires ont donc été réalisées en 2021 par l'entreprise GEOTEC (référence 23), comprenant :

- Un sondage pressiométrique (SP1) d'une profondeur de 20m par rapport au terrain, avec réalisation d'essais pressiométriques tous les 1.5m ;
- Deux sondages de type SPT (SPT2 et SPT3) menés jusqu'à 28.5m et 30m de profondeur, réalisation d'essais tous les 1.5m.

L'implantation de ces reconnaissances sur l'emprise des bâtiments est présentée en Figure 5, en rappelant l'emplacement des sondages de 1969 disponibles dans la zone. L'emplacement de ces sondages complémentaires a été choisi de manière à couvrir au mieux la zone d'étude et de disposer de couples de sondages différents au même endroit pour vérifier la cohérence des paramètres mécaniques mesurés. Ainsi, l'implantation retenue permet notamment la comparaison des anciens sondages P4 et P5 aux deux types de sondages réalisés (sondages SPT3 et SP1).

3.3 CONTEXTE GEOLOGIQUE

L'aéroport de Cannes-Mandelieu, est situé en basse vallée de la Siagne, rivière qui se jette dans le golfe de La Napoule et dont la partie basse a été aménagée pour la navigation et les rives réhabilitées en 1977 pour lutter contre les inondations. La zone de l'aéroport est bâtie sur une plaine alluvionnaire notée *Fz* dans la carte géologique au 1/50 000ème de GRASSE-CANNES n°999 (référence 12).

Cette formation, appelée « Alluvions récentes de fond de vallées » présente une large gamme de faciès, traduisant des aptitudes très variables en tant qu'assise pour des fondations. Ces alluvions d'âge Holocène couvrent les dépôts pliocènes correspondant à l'ancien delta de la Siagne, de faciès marneux caractéristique des dépôts marins dans la zone d'intérêt.

3.4 ANALYSE DES DONNEES GEOTECHNIQUES

3.4.1 *STRATIGRAPHIE*

Etant donné le contexte géologique, un faciès alluvionnaire médiocre est anticipé sur des épaisseurs variables selon la distance à la mer.

A l'échelle du site et des profondeurs d'intérêt, l'analyse des différentes données géotechniques disponibles met en évidence une certaine hétérogénéité du faciès alluvionnaire, avec des passées sableuses plus ou moins compactes, des passées de sables et graviers et des passées faibles anticipées comme des formations limoneuses. Pour les sondages au pénétromètre statique, la nature des sols a été interprétée à l'aide de l'abaque de Robertson. Pour les sondages au pressiomètre, les stratigraphies ont été évaluées sur la base des coupes lithologiques proposées dans les logs de sondages sur la base de l'examen des cuttings. La différenciation des diverses couches de ce profil n'est pas toujours aisée, néanmoins, les passées faibles reconnues lors des essais mécaniques in-situ peuvent être identifiées comme des passées limoneuses.

Selon la localisation des sondages réalisés dans le cadre des études de sol mentionnées ci-avant, le schéma d'alternance des formations lenticulaires au sein des alluvions Quaternaire, *i.e.* formations sableuses plus ou moins compactes, formations à graviers ou formations limoneuses,

peut évoluer, dépendant notamment du caractère torrentiel ou continental des apports et de la proximité du rivage.

Ainsi, les sondages situés au droit du bloc technique et de la tour de contrôle (sondages au pénétromètre statique P4 à P7 de la campagne de SOL-ESSAIS de 1969) présentent une certaine homogénéité avec une alternance de formations sableuses moyennes et de formations limoneuses médiocres sur la profondeur d'investigation. Le sondage profond situé à proximité de la zone d'étude permet d'anticiper que ce faciès alluvionnaire récent se poursuit jusqu'environ 29m de profondeur avec des formations plus argileuses avant d'atteindre les argiles et marnes rattachées à l'horizon géologique des marnes bleues du Plaisancien. Cette analyse a pu être confirmée par les nouveaux sondages réalisés dans la zone du bloc technique et de la tour de contrôle en 2021. En effet, ces sondages ont permis une reconnaissance mécanique des terrains jusque 30m de profondeur pour les SPT, avec, sous la couche de limons médiocres située entre 9m et 15m de profondeur, la présence de formations progressivement plus compétentes en profondeur assimilées aux couches argileuses de transition. D'autre part, l'un des SPT a enregistré un refus net à 28.5m de profondeur, en cohérence avec la supposition d'une prolongation des alluvions holocènes jusqu'à environ 29m, faite sur la base du sondage géologique profond.

Au nord-ouest du site, une hétérogénéité des dépôts a été relevée et a été attribuée aux différentes origines des apports alluvionnaires (continentaux ou fluviaux).

Au sud-est du site, les alluvions sont reconnues jusqu'à des profondeurs de 15m avant d'atteindre les marnes plaisanciennes et sont composées essentiellement de formations sableuses, avec quelques graviers à faible profondeur (entre 3m et 6m), et des passées limoneuses (entre 11m et 13m de profondeur).

Au sud-ouest du site, les alluvions sont reconnues jusqu'à des profondeurs d'environ 21m avant d'atteindre les marnes plaisanciennes et sont composées de formations sableuses et graveleuses entre 2m et 13m de profondeur, de formations plutôt limoneuses entre 13m et 18m) puis de formations de sables compacts ou à graviers avant le passage aux marnes.

Au vu des différents essais géotechniques disponibles et des sondages les plus proches de la zone d'intérêt, et des apports de la campagne de reconnaissance menée en 2021, il est proposé de retenir le profil stratigraphique suivant :

Formation	Cote NGF (toit)	Cote NGF (base)	Epaisseur (m)
Remblais variés	2.7	1.2	1.5
Limons sablo-argileux lâches	1.2	-0.2	1.4
Sables fins	-0.2	-2.3	2.1
Sables et graviers	-2.3	-5.9	3.6
Limons sablo-argileux	-5.9	-9.3	3.4
Limons argileux	-9.3	-12	2.7
Formations argileuses plus denses	-12	-26	14
Argiles bleues/marnes	-26	-	-

La cote du terrain naturel, n'apparaissant pas sur les essais réalisés au droit de la zone d'étude, a été estimée sur la base du sondage le plus proche (sondage profond réalisée en 1970).

3.4.2 *ESSAIS AU PENETROMETRE STATIQUE (1969)*

Sept essais au pénétromètre statique lourd ont été réalisés dans la zone d'étude en 1969. L'ensemble des résultats de ces essais est rassemblé sur la figure 6 (Résistance de pointe q_c en fonction du niveau NGF).

L'analyse des essais au pénétromètre statique permet d'identifier les caractéristiques suivantes :

- Dans les remblais de surface, des valeurs moyennes de q_c comprises entre 2 et 8MPa. On proposera de retenir une valeur caractéristique de 4.9MPa.
- Dans les couches limoneuses peu profondes, des valeurs faibles de q_c comprises entre 0.5MPa et 6MPa. On proposera de retenir une valeur caractéristique de 1.7MPa.
- Dans les couches sableuses, des valeurs de q_c moyennes comprises entre 1MPa et 14MPa. On proposera de retenir une valeur caractéristique de 4.6MPa.
- Dans les couches sableuses compactes, des valeurs plutôt élevées de q_c comprises entre 2MPa et 22MPa. On proposera de retenir une valeur caractéristique de 10.1MPa.
- Dans les formations limoneuses profondes, des valeurs faibles de q_c comprises entre 0.7MPa et 8MPa. On proposera de retenir une valeur caractéristique de 3.5MPa.
- Dans les formations limono-argileuses profondes, des valeurs médiocres de q_c comprises entre 0.9MPa et 4MPa. On proposera de retenir une valeur caractéristique de 1.3MPa.

3.4.3 *ESSAIS AU PENETROMETRE DYNAMIQUE (2021)*

Les deux nouveaux sondages SPT réalisés respectivement au nord du bloc technique (SPT3) et sur les espaces vert situés entre le bloc technique et le transformateur (SPT2) ont mis en évidence des terrains à dominante alluvionnaire, de faible consistance et ont permis de caractériser les terrains au-delà de 16m de profondeur.

Les résultats de ces essais sont rassemblés sur la figure 8 (Nombre de coups SPT en fonction du niveau NGF) et montrent une certaine cohérence avec les essais au pénétromètre statique sur les profondeurs d'investigation commune. En particulier, ces essais ont permis d'identifier des terrains de transition argileuse à partir de -12m NGF, de meilleures caractéristiques mécaniques, avant d'atteindre l'horizon des marnes du Plaisancien. En particulier le sondage SPT2 a enregistré un refus net à 28.50m de profondeur, correspondant à l'estimation du toit des marnes réalisée sur la base du sondage profond de 1972.

Il est à noter que certains passages de moindre compacité (SPT2 à 3.15m de profondeur, et SPT3 à 10.65m et 12.15m de profondeur) n'ont pas pu faire l'objet d'un comptage du nombre de coups SPT car l'amorce avait fait descendre directement le carottier SPT. Ces passages correspondent à des points isolés des formations limoneuses, déjà bien caractérisées lors des essais au pénétromètre statique.

L'analyse des essais SPT permet d'identifier les caractéristiques suivantes :

- Dans les remblais de surface, des valeurs moyennes de N_{60} comprises entre 8 et 28. On proposera de retenir une valeur caractéristique de 14.
- Dans les couches limoneuses peu profondes, des valeurs faibles de N_{60} comprises entre 3 et 8. On proposera de retenir une valeur caractéristique de 4.
- Dans les couches sableuses, des valeurs de de N_{60} comprises entre 16 et 26. On proposera de retenir une valeur caractéristique de 19.
- Dans les formations limoneuses profondes, des valeurs faibles de de N_{60} comprises entre 6 et 12 pour les passées mesurées. On proposera de retenir une valeur caractéristique de 5, en prenant en compte une valeur minimale pour les passages de moindre compacité.
- Dans les formations sablo-argileuses de transition, des valeurs de de N_{60} comprises entre 12 et 58. On proposera de retenir une valeur caractéristique de 25.
- Dans les formations argileuses de transition, des valeurs de de N_{60} comprises entre 20 et 37. On proposera de retenir une valeur caractéristique de 30.

3.4.4 *ESSAIS PRESSIOMETRIQUES*

L'ensemble des résultats des essais pressiométriques réalisés à proximité de la zone d'étude (dans un rayon de 430m) et au pied de la tour de contrôle est rassemblé sur les figures 8 et 10 (module pressiométrique E_m et pression limite nette p_l* en fonction du niveau NGF).

Au vu du caractère hétérogène de la stratigraphie au sein des alluvions holocènes, les essais pressiométriques ont été analysés au regard de chaque formation caractérisée afin d'appuyer l'interprétation géomécanique du sous-sol au droit de la zone d'étude.

Les résultats obtenus au pressiomètre pour chaque formation géotechnique rencontrée ont été comparés aux caractéristiques mécaniques associées obtenues à l'aide des essais au pénétromètre par le biais de corrélations entre la résistance de pointe q_c et le module pressiométrique E_m. Les résultats obtenus pour une même formation à partir des deux types d'essais sont cohérents.

Dans les remblais, les valeurs de p_l* sont essentiellement comprises entre 0.4 et 1.1MPa. Les valeurs de module E_m sont comprises entre 3.5 et 8.9MPa. Au vu du faible nombre de valeurs dans les remblais, et par corrélations avec les résultats obtenus au pénétromètre, les valeurs caractéristiques suivantes sont proposées : un module pressiométrique E_m de 5MPa et une pression limite nette p_l* de 0.5MPa.

Dans les formations limoneuses, les caractéristiques mécaniques sont médiocres avec des modules E_m compris entre 1 et 7MPa et des pressions limites p_l* comprises entre 0.11 et 0.5MPa. Il est proposé de considérer pour le projet les caractéristiques mécaniques suivantes : E_m de 2MPa et p_l* de 0.2MPa pour les formations limoneuses peu profondes et E_m de 3MPa et p_l* de 0.3MPa pour les formations limoneuses profondes, obtenues sur la base de moyennes harmonique et géométrique, et en accord avec les résultats obtenus au pénétromètre statique.

Dans les formations sableuses, les valeurs de p_l* sont comprises entre 0.1 et 1.2MPa. Les valeurs de module E_m sont comprises entre 1 et 19MPa. Il est proposé de considérer pour le projet les caractéristiques mécaniques suivantes : E_m de 5MPa et p_l* de 0.7MPa, obtenues sur la base de moyennes harmonique et géométrique, et en accord avec les caractéristiques mécaniques au droit de la zone d'étude.

Dans les formations sableuses compactes ou à graviers, les valeurs de p_l* sont comprises entre 0.3 et 3MPa. Les valeurs de module E_m sont comprises entre 3.7 et 25MPa. Il est proposé de considérer pour le projet les caractéristiques mécaniques suivantes : E_m de 8.5 MPa et p_l* de 1.3MPa, obtenues sur la base de moyennes harmonique et géométrique, valeurs légèrement inférieures aux valeurs obtenues par corrélation à partir des essais au pénétromètre.

Enfin, dans les formations plus anciennes, composées d'argiles marneuses, les quelques valeurs de p_l* sont comprises entre 1.3 et 4MPa. Les valeurs de module E_m sont comprises entre 9.5 et 124MPa. Il est proposé de considérer pour le projet les caractéristiques mécaniques suivantes : E_m de 30MPa et p_l* de 2.7MPa, obtenues sur la base de moyennes harmonique et géométrique, pour l'horizon correspondant aux marnes bleues du Plaisancien.

4. CONDITIONS HYDROGEOLOGIQUES

Le niveau de la nappe a été repéré dans les sondages aux alentours de 1.5m de profondeur. Il est à noter que le site est concerné par un Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles relatifs aux inondations (référence 13). Au sens de ce PPR, la zone d'étude serait située en zone B1 d'aléa faible à modéré, pour laquelle la cote de référence est environ +2.90NGF, correspondant au niveau retenu pour la crue de référence, soit 40cm sous la cote de la plateforme du site à +3.30NGF, et 20cm au-dessus de la cote estimée du Terrain naturel à +2.70NGF.

5. CARACTERISTIQUES DE PROJET / IMPACT SUR LES HYPOTHESES 2020

Dans l'optique de la réalisation des études de vulnérabilité au séisme du bloc technique et de la tour de contrôle de l'aéroport de Cannes-Mandelieu, il est nécessaire de pouvoir traiter les sujets géotechniques suivants :

- Classification des sols selon l'Eurocode 8 pour la définition de l'aléa sismique,
- Identification des propriétés dynamiques des sols,
- Analyse du risque de liquéfaction,
- Interaction sol-structure,
- Vérifications des fondations (dont capacité portante, glissement, décollement),
- Design des renforcements éventuels.

L'analyse des données de sols disponibles au droit du site de Cannes-Mandelieu a permis de dégager en 2020 (référence 14) des hypothèses préliminaires pour répondre à la plupart des sujets géotechniques pour le diagnostic sismique des bâtiments sur la base de l'extrapolation des reconnaissances en profondeur et de corrélations entre les différents types d'essais mécaniques réalisés.

L'objet de la présente note est de prendre en compte l'apport des reconnaissances complémentaires réalisées en 2021 au droit du bloc technique et de la tour de contrôle afin de

conforter la robustesse des hypothèses émises pour la classification de sol et éventuellement pour permettre de l'améliorer ; de consolider l'analyse du risque de liquéfaction ; et de valider les hypothèses mécaniques de sol nécessaires au calcul des impédances et à la vérification des fondations.

Le tableau 1 récapitule les caractéristiques mécaniques des terrains pour effectuer les études de vulnérabilité sur la base de l'ensemble des données disponibles dans la zone d'étude. L'établissement de ces caractéristiques de projet se base sur de nombreuses corrélations permettant d'exploiter au maximum les données disponibles, et prend en compte l'apport des nouvelles reconnaissances, notamment sur la caractérisation des terrains en profondeur.

5.1 CLASSIFICATION DU SOL

La classe de sol est déterminée selon l'Eurocode 8 sur la base des paramètres de vitesse des ondes de cisaillement, des résultats des essais au pénétromètre dynamique SPT et/ou de la valeur de la cohésion non drainée.

Les essais disponibles au droit du site (essais au pénétromètre statique lourd) ne permettant pas de conclure directement sur la classe des sols, des essais complémentaires dont des essais SPT ont été réalisés.

Les essais au pénétromètre statique lourd, au pressiomètre ont été analysés par le biais de corrélations respectivement entre q_c et la vitesse V_S, et entre le module de cisaillement élastique G_{max} et le module pressiométrique E_m. L'interprétation de ces essais (sur des profondeurs d'investigation de l'ordre d'une vingtaine de mètres) conduisait à anticiper des valeurs moyennes de V_S entre 160m/s et 230m/s amenant à retenir de façon conservative une classe de sol D.

L'interprétation des essais SPT réalisés sur des profondeurs de l'ordre de 30m, mettant en évidence des formations plus compétentes en profondeur, a permis de définir :

- Via des corrélations entre N_{SPT} et V_S, des valeurs de $V_{S,30}$ de l'ordre de 220m/s ;
- Des valeurs moyennes de N_{SPT} de l'ordre de 15 à 17.

L'apport de ces essais permet de considérer plutôt une classe de sol C, plus favorable que celle retenue jusqu'à présent dans les diagnostics.

5.2 CONDITIONS SISMIQUES

D'après le décret du 22 octobre 2010 (référence 4), le site de l'aéroport de Cannes-Mandelieu est en zone de sismicité 3.

L'aléa sismique est défini par l'arrêté du 22 octobre 2010 applicable aux bâtiments « à risque normal » (référence 3) à travers les paramètres des spectres de réponse et l'accélération au rocher à prendre en compte dans les fonctions fournies par la norme NF EN 1998-1 (référence 1). Pour un bâtiment existant en zone de sismicité 3, l'accélération horizontale de référence au rocher peut être prise égale à 60% de l'action sismique préconisée pour le neuf, soit a_{gr} = 0.66m/s².

En considérant un sol de classe C au sens de l'Eurocode 8, tel que permis par l'interprétation des nouveaux essais disponibles au droit du site, et une catégorie d'importance des bâtiments IV, l'accélération en surface serait égale à 1.38m/s².

Pour ce qui est de la magnitude, les règles Eurocode 8 pour l'analyse de liquéfaction proposent de retenir une magnitude conventionnelle de 5.5 pour une zone de sismicité modérée 3.

5.3 IDENTIFICATION DES SOLS

Aucun essai en laboratoire n'a été réalisé dans le cadre des études géotechniques disponibles. A ce titre, il pourra être considéré une masse volumique arbitraire de 18kN/m^3 pour l'ensemble des formations géotechniques.

La nature des sols a été estimée sur la base des essais au pénétromètre statique via la classification de Robertson, ainsi que sur la base de l'examen des cuttings lors de la réalisation des essais pressiométriques. L'analyse de la nature des sols via l'abaque de Robertson est reportée sur la figure 7.

5.4 MODULES A FAIBLES DEFORMATIONS

Dans le cadre d'une sollicitation sismique, les paramètres de sol nécessaires au calcul des impédances sont :

- le module de cisaillement G compatible avec les déformations induites par la sollicitation sismique,
- la masse volumique ρ (ou le poids volumique γ),
- le coefficient de Poisson ν,
- le coefficient d'amortissement hystérétique β.

Les vitesses des ondes de cisaillement sont estimées :

- Sur la base des essais pénétrométriques à partir des formules de Mayne & Rix (1995) pour les sables et les argiles et de Sykora & Stokoe (1983) pour les sables ;
- Sur la base des essais pressiométriques, à partir des corrélations entre le module pressiométrique E_m et le module de cisaillement G_{max} ;
- Sur la base des essais SPT, à partir des corrélations de Jafari & al (2002) entre le nombre de coups N_{SPT} et la vitesse V_S.

En cohérence avec les résultats des essais pressiométriques et pénétrométriques, il est proposé de retenir les valeurs suivantes pour les caractéristiques dynamiques à très faibles déformations :

- Dans les remblais : V_S = 250m/s - ν = 0.43 - V_P = 713m/s ;
- Dans les couches limoneuses peu profondes, V_S = 180m/s - ν = 0.43 - V_P = 514m/s ;
- Dans les formations sableuses, V_S = 250m/s - ν = 0.43 - V_P = 713m/s ;
- Dans les formations sableuses compactes à graviers, V_S = 350m/s - ν = 0.43 - V_P = 999m/s ;
- Dans les limoneuses profondes, V_S = 200m/s - ν = 0.43 - V_P = 571m/s ;
- Dans les formations argileuses de transition, V_S = 300m/s - ν = 0.43 - V_P = 856m/s ;
- Dans les formations marneuses, V_S = 350/s - ν = 0.43 - V_P =999m/s.

Où V_S est la vitesse des ondes de cisaillement, V_P est la vitesse des ondes de compression et ν est le coefficient de Poisson dynamique.

De même, les modules de cisaillement G_{max} moyens sont liés aux valeurs du profil moyen de V_s par la relation de l'élasticité :

$$G_{max} = \rho V_s$$

La sollicitation sismique sur le site de Cannes étant caractérisé par une accélération horizontale en surface égale à 0.141g (*cf.* §5.1), les non-linéarités introduites par ce niveau de séisme dans les alluvions sont traduites par un abattement forfaitaire sur Gmax ; conformément à l'Eurocode 8-5 (référence 2), le rapport G/Gmax est de l'ordre de 0.50 à 0.80 (0.7 à 0.9 sur les vitesses), associé à un amortissement β maximal de l'ordre de 4.5%.

Afin de tenir compte des différences de comportement des horizons géotechniques et de leur profondeur, on affectera un coefficient 0.8 aux profils de vitesses dans les remblais et les sables, 0.7 dans les limons, 0.8 dans les formations profondes de transition et enfin 0.9 dans les argiles marneuses. Ces abattements forfaitaires seront associés à des valeurs d'amortissement respectif de 4.5%, 4.5% et 3%.

5.5 MODULES A DEFORMATIONS MOYENNES

Pour les calculs géotechniques statiques, il est peut être intéressant de connaître le module d'Young E statique des sols, en conditions drainées, et le coefficient de Poisson statique ν.

En retenant les valeurs pressiométriques moyennes et des coefficients rhéologiques α=1/3 dans les horizons sableux, α=1/4 dans les horizons sablo-graveleux, α=1/2 dans les limons, et α=2/3 dans les marnes, le module d'Young E peut être obtenu à partir de la relation :

$$E = E_m/\alpha$$

A long terme, le coefficient de Poisson dans les alluvions devrait être voisin de 0.3.

5.6 CARACTERISTIQUES DE RESISTANCE AU CISAILLEMENT

Aucun essai de cisaillement n'a été réalisé dans le cadre des études géotechniques disponibles. A ce titre, les paramètres de résistance au cisaillement peuvent être estimés sur la base de corrélations issues des résultats des sondages pressiométriques et pénétrométriques.

Ainsi, il vient que:

- Dans les remblais : φ' = 30° ;
- Dans les couches limoneuses peu profondes, φ' = 25°;
- Dans les formations sableuses, φ' = 30°;
- Dans les formations sablo-graveleuses, φ' = 37°;
- Dans les formations limoneuses profondes, φ' = 25°;
- Dans les transitions sablo-argileuses, φ' = 30°;
- Dans les transitions argileuses, φ' = 34°;
- Dans les argiles marneuses, φ' = 38°.

Les valeurs de la cohésion non drainée à court terme Cu des limons peuvent être déduites des essais pressiométriques en utilisant la corrélation :

Cu = p_l^* / 10 + 0.025

Cu et p_l^* étant exprimées en MPa.

6. ANALYSE DU RISQUE DE LIQUEFACTION

6.1 METHODOLOGIE

6.1.1 *EVALUATION QUALITATIVE*

Le risque de liquéfaction est un risque identifié dans la zone de l'aéroport de Cannes-Mandelieu, mais n'a pas fait l'objet d'une étude spécifique, du moins dans les documents à notre disposition.

6.1.2 *EVALUATION QUANTITATIVE*

L'évaluation du risque de liquéfaction est effectuée à partir d'une approche statistique basée sur les essais in situ au pénétromètre statique réalisés sur le site en 1969 par SOL-ESSAIS, et sur les essais SPT réalisés en 2021 par GEOTEC. Il s'agit d'une approche déterministe.

La méthodologie retenue pour évaluer la sécurité vis-à-vis du risque de liquéfaction est basée sur l'approche de la référence 5 qui représente à la date d'établissement de ce rapport, l'état de l'Art. Il s'agit d'une approche en contraintes totales dans laquelle la contrainte de cisaillement induite par la sollicitation sismique, τ_{eq}, est comparée à la résistance au cisaillement cyclique non drainée, τ_ℓ, du matériau ; τ_ℓ est également appelée résistance à la liquéfaction. On définit alors un coefficient de sécurité FS_L :

$$FS_L = \frac{\tau_\ell}{\tau_{eq}}$$

Ou de façon équivalente :

$$FS_L = \frac{CRR}{CSR}$$

Où CSR et CRR sont respectivement égaux à :

$$CRR = \frac{\tau_\ell}{\sigma'_v}$$

$$CSR = \frac{\tau_{eq}}{\sigma'_v}$$

σ'_v étant la contrainte verticale effective.

Comme valeur admissible du coefficient de sécurité on retiendra celle préconisée dans l'Eurocode 8-5 (référence 2). Le matériau est réputé non liquéfiable si le coefficient de sécurité à la liquéfaction FS_L est supérieur ou égal à 1.25.

Evaluation de la contrainte induite (CSR)

On retient l'approche simplifiée qui exprime CSR à l'aide de l'équation :

$$CSR = 0.65 \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} a_{max} r_d$$

Où σ_v et σ_v' contraintes verticales totale et effective

a_{max} accélération maximale du sol en surface en m/s²

r_d coefficient variant avec la profondeur et traduisant la flexibilité du sol

L'évaluation de la contrainte induite sera évaluée en prenant en compte les formules d'Idriss & Boulanger (2008) pour le calcul du rd, faisant intervenir la dépendance à la profondeur ainsi qu'à la magnitude.

Evaluation de la résistance au cisaillement cyclique (CRR)

La courbe de résistance à la liquéfaction dépend du matériau et des caractéristiques de l'événement sismique par le biais de sa magnitude M_w. Des corrélations expérimentales ont permis d'établir des relations entre CRR, la magnitude du séisme, les caractéristiques du matériau représentées par sa teneur en fines FC (pourcentage en masse de matériau sec passant au tamis de 80 µm), et un paramètre mesuré sur site, noté R.

Symboliquement ces relations sont de la forme :

$$CRR = MSF\ K_\sigma\ f(R, FC)$$

Où :

- MSF est un facteur dépendant de la magnitude et valant 1 pour $M = 7.5$.
- K_σ est un facteur qui tient compte de la contrainte verticale effective σ'_v visant à corriger la valeur de CRR pour les confinements élevés.

Les corrélations ont été établies pour les paramètres R suivants :

- nombre de coups N de l'essai SPT (Standard Penetration Test, ou essais de pénétration au carottier),
- résistance de pointe q_c mesurée au pénétromètre statique (CPT),
- célérité des ondes de cisaillement V_S obtenue à partir de mesures géophysiques (cross-hole, downhole, SASW….).

Les données brutes mesurées (N, q_c, V_S) doivent être préalablement normalisées à une contrainte verticale effective de 100kPa égale à la pression atmosphérique p_a.

Les données brutes mesurées (N, q_c, V_S) doivent être préalablement normalisées à une contrainte verticale effective de 100kPa égale à la pression atmosphérique p_a. La normalisation s'effectue de la manière suivante :

$$N_1 = N \left(\frac{p_a}{\sigma'_v}\right)^{0.5} \leq 1.7\ N$$

$$q_{c1} = \frac{q_c}{p_a}\ C_q\ , \qquad C_q = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v}\right)^n \leq 1.7$$

$$V_{S1} = V_S \left(\frac{p_a}{\sigma'_v}\right)^{0.5}$$

La valeur de σ'_v est calculée avec le niveau de nappe au moment des essais.
L'exposant n dépend du pourcentage de fines et varie de 0.5 à 1.0.

Une correction est ensuite ajoutée pour prendre en compte la teneur en fines du matériau. Pour l'essai CPT, la correction passe par la détermination d'un indice de caractérisation Ic. Si Ic est supérieur à 2.6, le matériau est supposé suffisamment argileux pour ne pas être liquéfiable ; cependant il convient en parallèle de vérifier la plasticité de ces matériaux à l'aide des essais d'identification.

Les valeurs de CRR établies sont valables pour des sables propres (teneur en fines < 5%) quartzeux non cimentés du quaternaire récent.

6.2 RESULTATS

L'analyse a été conduite sur la base de la méthodologie décrite ci-avant pour le niveau sismique décrit dans le §5.1 et pour le niveau de crue de référence, calé à +2.9NGF.

Les résultats obtenus pour chaque sondage au pénétromètre statique réalisé en 1969 sont présentés sur la figure 12 sur laquelle est présentée la variation du coefficient de sécurité à la liquéfaction FS_L en fonction de la profondeur. Sur cette figure, tous les points de mesures sont représentés, sauf ceux pour lesquels l'indice de caractérisation Ic est supérieur à 2.6, excluant *a priori* le potentiel de liquéfaction des couches concernées.

On constate que le facteur de sécurité de 1.25 est respecté pour l'ensemble des horizons reconnus, sauf pour 4 valeurs ponctuelles au droit des points de sondages P3, P4 et P6 respectivement à 1.2NGF et à -0.3NGF, c'est-à-dire au sein des formations limoneuses médiocres les moins profondes. Il est à noter que ces points de mesures concernent des épaisseurs restreintes (de l'ordre de 0.25m) et qu'ils présentent des facteurs de sécurité à la liquéfaction entre 1.1 et 1.25.

Les résultats obtenus pour chaque sondage SPT réalisé en 2021 sont présentés sur la figure 13 sur laquelle est présentée la variation du coefficient de sécurité à la liquéfaction FS_L en fonction de la profondeur.

On constate que le facteur de sécurité de 1.25 est respecté pour l'ensemble des horizons reconnus, sauf pour 2 valeurs ponctuelles à -0.3NGF (FS = 0.83 et 1.16), au sein des formations limoneuses médiocres et 1 valeurs (FS = 1.21) en tête des formations limoneuses profondes.

L'interprétation de ces valeurs ponctuelles n'est pas triviale étant donné la discrétisation des mesures SPT et compte tenu du fait que certaines valeurs ont du être estimées en l'absence de mesure exploitable (descente du carottier lors de la phase d'amorce).

Etant donné la précision des mesures en continu des essais au pénétromètre statique, la caractérisation du caractère liquéfiable des horizons limoneux à partir de ceux-ci est jugée plus robuste. On notera tout de même la présence d'une lentille liquéfiable au sein de la couche de limons aux alentours de -0.3NGF, dont la puissance a pu être restreinte sur la base des résultats au pénétromètre statique.

Partout ailleurs, on notera pour mémoire que la valeur minimale acceptable du FSL spécifié par les codes de construction EC8-5 est de 1.25. Les coefficients de sécurité obtenus étant néanmoins supérieurs à 1.0, il n'y a pas à proprement parler de liquéfaction mais un risque d'augmentation de la pression interstitielle qui se traduira, post-séisme par des tassements de recompression. Compte tenu de la nature lenticulaire des zones identifiées, les tassements attendus sont faibles.

Ainsi, le risque de liquéfaction global est écarté au droit du site, pour l'aléa sismique considéré, défini pour des bâtiments existants sur la base d'une minoration de l'action sismique à 60% de celle du neuf.

Si le niveau sismique à considérer pour les études de vulnérabilité était défini par le maître d'ouvrage comme égal à l'action sismique prévue réglementairement pour des bâtiments neufs, les conclusions de l'analyse du risque de liquéfaction pourraient être différentes. En effet, pour des ouvrages neufs, la réglementation prévoit une accélération horizontale de référence au rocher a_{gr} = 1.1m/s². En considérant un sol de classe C au sens de l'Eurocode 8, tel que permis par l'interprétation des nouveaux essais disponibles au droit du site, et une catégorie d'importance des bâtiments IV, l'accélération en surface serait alors égale à 2.31 m/s². On pourrait alors s'attendre, sur la base de l'interprétation des essais disponibles dans l'emprise de la zone d'étude, à un risque de liquéfaction avéré et franc au sein des couches limoneuses sablo-argileuses et notamment dans les horizons situés entre 1.2NGF et -2.3NGF et -5.9NGF et -9.3NGF. Des tassements complémentaires post-liquéfaction seraient aussi à attendre au sein des formations sablo graveleuses localisées entre ces deux horizons liquéfiables.

7. CONCLUSION

L'objet de ce document est d'établir la synthèse des données géotechniques et sismiques disponibles dans la zone d'étude comprenant le bloc technique et la tour de contrôle de l'aéroport de Cannes-Mandelieu, afin de :

- définir les caractéristiques géotechniques et géodynamiques des sols d'assise pour la vérification des fondations et les calculs d'interaction sol-structure des ouvrages,
- définir le niveau sismique à considérer pour les études,
- évaluer le risque de liquéfaction.

Cette note se base sur l'ensemble des données géotechniques fournies par la DGAC et obtenues lors de la recherche bibliographique, comprenant des campagnes de reconnaissances menées entre 1956 et 1973, ainsi que sur les reconnaissances complémentaires réalisées en 2021.

Le modèle préliminaire de sol, défini pour la réalisation des études de vulnérabilité au séisme du bloc technique et de la tour de contrôle a pu être affiné sur la base de ces nouvelles données géotechniques. Notamment :

- La classe de sol, initialement estimée comme une classe de sol D au sens de l'Eurocode 8 peut être actualisée au profit d'une classe de sol C, réduisant les niveaux sismiques en jeu ;
- La stratigraphie a pu être affinée en profondeur (en deçà de 16m de profondeur) et les caractéristiques mécaniques au sein des formations profondes ont pu être mesurées ;
- Le risque de liquéfaction, évalué sur la base des sondages au pénétromètre statique et des sondages SPT, est écarté pour le niveau sismique considéré (niveau sismique minoré pour l'existant) selon l'arrêté du 22 octobre 2010, et sur la base des données disponibles permettant d'assurer une classe de sol C. Quelques lentilles peuvent être présentes au sein des formations limoneuses mais toujours sur des puissances très restreintes, n'engendrant pas de tassements post liquéfaction de nature à remettre en cause l'intégrité des ouvrages.

Il est à noter que ces considérations concernant le risque de liquéfaction ne sont valables que pour l'aléa sismique considéré, défini pour des bâtiments existants sur la base d'une minoration de l'action sismique à 60% de celle du neuf.

Si le niveau sismique à considérer pour les études de vulnérabilité était défini par le maître d'ouvrage comme égal à l'action sismique prévue réglementairement pour des bâtiments neufs, amenant à retenir une accélération en surface égale à 2.31 m/s², les conclusions de l'analyse du risque de liquéfaction seraient différentes, avec un risque de liquéfaction avéré au sein des couches limoneuses sablo-argileuses situées entre 1.2NGF et -2.3NGF et -5.9NGF et -9.3NGF, et des tassements complémentaires post-liquéfaction à attendre au sein des formations sablo graveleuses localisées entre ces deux horizons liquéfiables.

REFERENCES

1. **NF EN 1998-1: Eurocode 8 Partie 1** – Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments

2. **NF EN 1998-5: Eurocode 8 Partie 5** – Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Fondations, ouvrages de soutènement et aspects géotechniques

3. **Arrêté du 22 octobre 2010** – relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »

4. **Décret du 22 octobre 2010** – portant délimitation des zones de sismicité du territoire français

5. **YOUD T.L., IDRISS I.M**. – Liquefaction Resistance of soils : Summary Report from the 1996 NCEER Workshops and 1998 NCEER/NCF on Evaluation of liquefaction resistance of soils – Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE 2001

6. **Banque de données du Sous-Sol** – Portail géomatique du BRGM

Documents relatifs aux deux sites

7. **CETE Méditerranée** – Audit des bâtiments de l'Etat – Vulnérabilité au séisme des bâtiments du Service de la Navigation Aérienne SUD-EST dans le département des Alpes Maritimes – Novembre 2012

Documents relatifs au site de Cannes-Mandelieu

8. **SOL-ESSAIS –** Aéroport de Cannes-Mandelieu – Bloc trafic – Rapport d'étude du sol – Octobre 1969

9. **DGAC –** Aéroport de Cannes-Mandelieu – Etude complémentaire concernant la stabilité de la tour de contrôle et du bloc technique en cas de séisme – Octobre 2014

10. **Cabinet LIZERO –** Aéroport de Cannes-Mandelieu – Construction d'un bloc technique – Notice descriptive et sommaire des travaux à exécuter – Mai 1968

11. **DGAC** – Aéroport de Cannes-Mandelieu – Rapport de pré-diagnostic – décembre 2014

12. **BRGM** – Carte géologique de la France au 1/50000ème – Feuille n° 999 – GRASSE-CANNES – 2010

13. **Préfecture des Alpes Maritimes** – Commune de Cannes – Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles relatifs aux inondations – Carte de zonage réglementaire Secteur Ouest 1/5000 – Janvier 2020

14. **GEODYNAMIQUE ET STRUCTURE** – DGAC – Diagnostic sismique des bâtiments DGAC Alpes Maritimes – Synthèse des données géotechniques et sismiques – Aéroport de Cannes Mandelieu – Rapport 43-19 N2A – Mars 2020

15. **GEODYNAMIQUE ET STRUCTURE** – DGAC – Diagnostic sismique des bâtiments DGAC Alpes Maritimes – Note d'hypothèses et de méthodologie pour le bloc technique de l'aéroport de Cannes Mandelieu – Rapport 43-19 N11A – Juillet 2020

16. **GEODYNAMIQUE ET STRUCTURE** – DGAC – Diagnostic sismique des bâtiments DGAC Alpes Maritimes – Note d'hypothèses et de méthodologie pour la tour de contrôle de l'aéroport de Cannes Mandelieu – Rapport 43-19 N12A – Août 2020

17. **GEODYNAMIQUE ET STRUCTURE** – DGAC – Diagnostic sismique des bâtiments DGAC Alpes Maritimes – Note de modélisation et d'analyses pour le bloc technique de l'aéroport de Cannes Mandelieu – Rapport 43-19 N13A – Août 2020

18. **GEODYNAMIQUE ET STRUCTURE** – DGAC – Diagnostic sismique des bâtiments DGAC Alpes Maritimes – Note de modélisation et d'analyses pour la tour de contrôle de l'aéroport de Cannes Mandelieu – Rapport 43-19 N14A – Septembre 2020

19. **GEODYNAMIQUE ET STRUCTURE** – DGAC – Diagnostic sismique des bâtiments DGAC Alpes Maritimes – Tenue au séisme – Note de vérifications pour le bloc technique de l'aéroport de Cannes Mandelieu – Rapport 43-19 N15B – Octobre 2020

20. **GEODYNAMIQUE ET STRUCTURE** – DGAC – Diagnostic sismique des bâtiments DGAC Alpes Maritimes –Note de vérifications pour la tour de contrôle de l'aéroport de Cannes Mandelieu – Rapport 43-19 N16A – Septembre 2020

21. **GEODYNAMIQUE ET STRUCTURE** – DGAC – Diagnostic sismique des bâtiments DGAC Alpes Maritimes – Tenue au séisme – Rapport d'orientation pour la suite de l'étude sur le bloc technique de l'aéroport de Cannes Mandelieu – Rapport 43-19 N17B – Octobre 2020

22. **GEODYNAMIQUE ET STRUCTURE** – DGAC – Diagnostic sismique des bâtiments DGAC Alpes Maritimes –Rapport d'orientation pour la suite de l'étude sur la tour de contrôle de l'aéroport de Cannes Mandelieu – Rapport 43-19 N18B – Octobre 2020

23. **GEOTEC** – Cannes Aéroport – Compte rendu d'investigations – Rapport 19/02970/MARSE – Juillet 2021

TABLEAU

1. Synthèse des caractéristiques géotechniques du projet

FIGURES

1. Localisation des bâtiments étudiés

2. Cannes-Mandelieu – Extrait de la carte géologique au 1/50 000ème de GRASSE-CANNES (n°999)

3. Cannes-Mandelieu – Implantation des sondages – SOL ESSAIS 1969

4. Cannes-Mandelieu – Implantation approximative de l'ensemble des sondages disponibles

5. Cannes-Mandelieu – Implantation des sondages au droit des bâtiments BT et TWR

6. Cannes-Mandelieu – Synthèse géotechnique – Profils des essais au pénétromètre statique

7. Cannes-Mandelieu – Analyse des essais au pénétromètre statique – Abaque de Robertson

8. Cannes-Mandelieu – Synthèse géotechnique – Profils des essais SPT

9. Cannes-Mandelieu – Synthèse géotechnique – Profils des essais au pressiomètre

10. Cannes-Mandelieu – Synthèse géotechnique – Profils pressiométriques Est et Ouest

11. Cannes-Mandelieu – Synthèse géotechnique – Interprétation des essais au droit du site

12. Cannes-Mandelieu – Analyses du risque de liquéfaction – Essais au pénétromètre statique

13. Cannes-Mandelieu – Analyses du risque de liquéfaction – Essais SPT

Synthèse des caractéristiques géotechniques du projet

Tableau 1 - Synthèse des caractéristiques géotechnique du projet

Horizon géotechnique	Cote du toit (NGF)	Cote de la base (NGF)	Masse volumique ρ (kN/m^3)	qc (MPa)	N60	E_m (MPa)	p_l* (MPa)	$V_S$max (m/s)	$V_P$max (m/s)	Gmax (MPa)	ν (-)	$V_S$effectif (m/s)	$V_P$effectif (m/s)	β (%)	Φ' (°)
Remblais	2,7	1,2	*18*	4,9	14	5	0,5	*250*	*713*	*115*	*0,43*	*200*	*571*	*4,5*	*30*
Limons sablo-argileux lâches	1,2	-0,2	*18*	1,7	4	2	0,2	*180*	*514*	*59*	*0,43*	*126*	*360*	*4,5*	*25*
Sables fins	-0,2	-2,3	*18*	4,6	19	5	0,7	*250*	*713*	*115*	*0,43*	*200*	*571*	*4,5*	*30*
Sables et graviers	-2,3	-5,9	*18*	10,1	19	8,5	1,3	*350*	*999*	*225*	*0,43*	*280*	*799*	*4,5*	*37*
Limons sablo-argileux	-5,9	-9,3	*18*	3,5	5	3	0,3	*200*	*571*	*73*	*0,43*	*140*	*399*	*4,5*	*25*
Limons argileux	-9,3	-12	*18*	1,3	5	3	0,3	*200*	*571*	*73*	*0,43*	*140*	*399*	*4,5*	*25*
Transition sablo-argileuse	-12	*-19*	*18*		25	6,4	0,9	*300*	*856*	*165*	*0,43*	*240*	*685*	*4,5*	*30*
Transition argileuse	-19	-26,3	*18*		30	*10*	*1,5*	*300*	*856*	*165*	*0,43*	*240*	*685*	*4,5*	*34*
Argiles bleues / Marnes	-26.3*	-	*18*			30	2,7	*350*	*999*	*225*	*0,43*	*315*	*899*	*3*	*38*

Valeurs en italiques : estimations sur la base de corrélations

Localisation des bâtiments étudiés



Site de Cannes-Mandelieu

Cannes-Mandelieu

Extrait de la carte géologique au 1/50 000ème – Feuille de GRASSE-CANNES

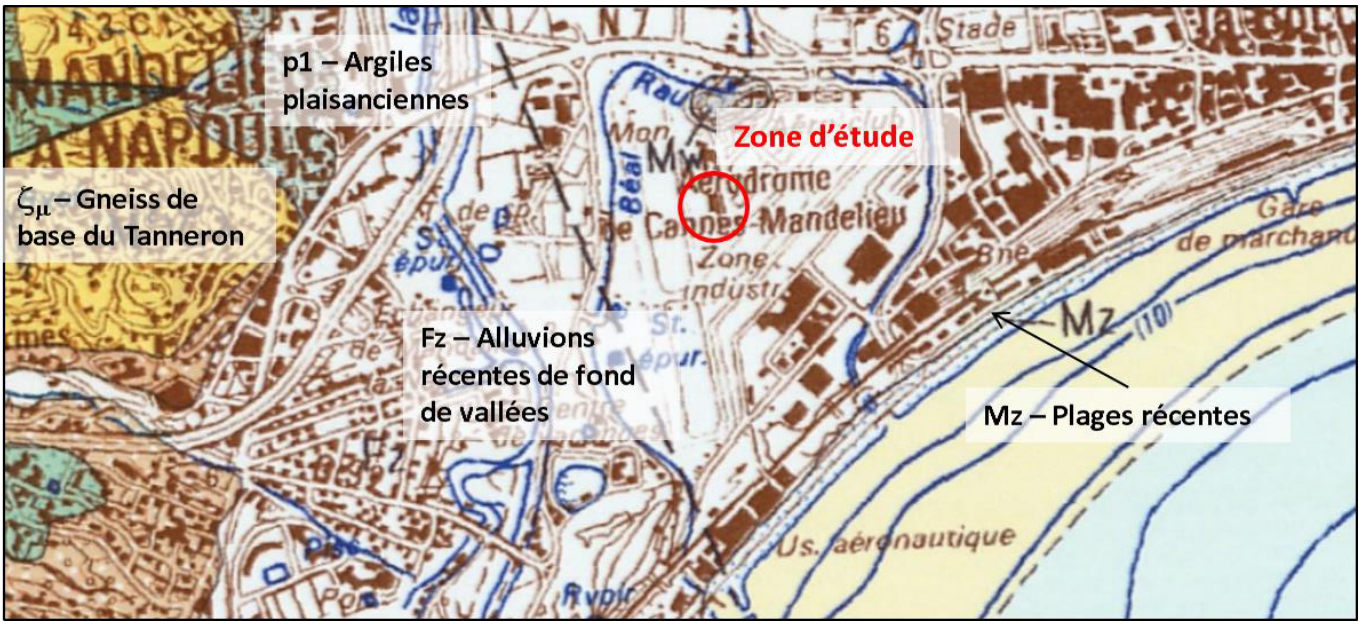


FIGURE 2

Cannes-Mandelieu
Implantation des sondages – SOL ESSAIS 1969

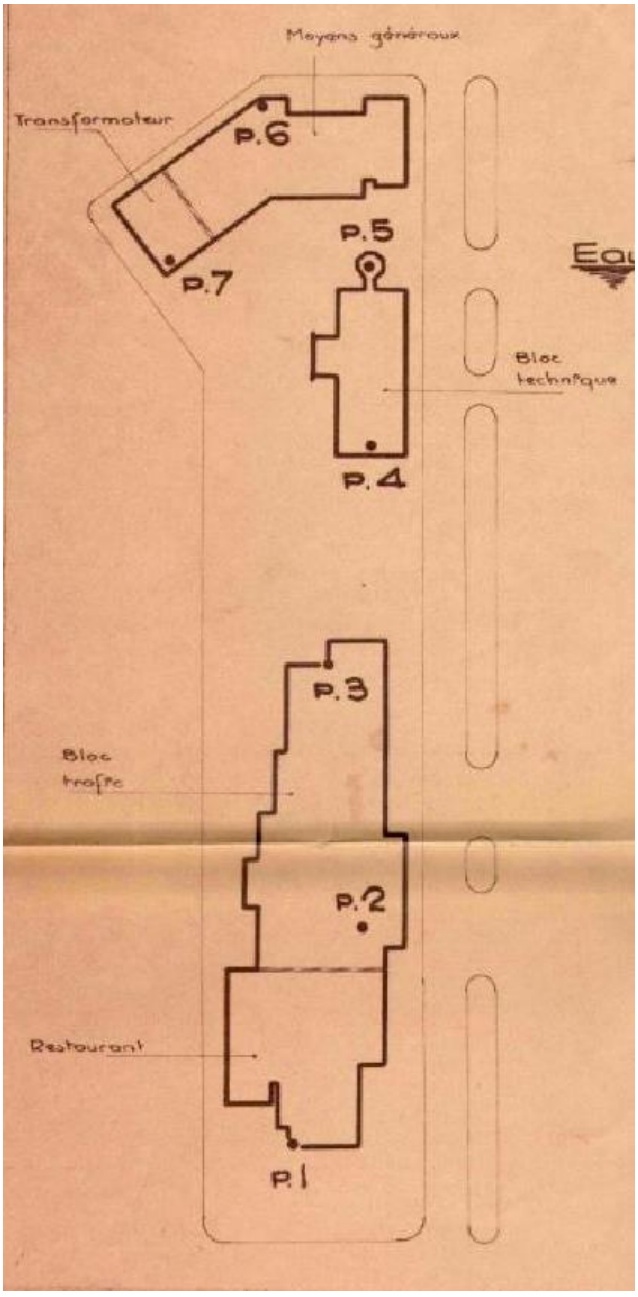


FIGURE 3

Cannes Mandelieu

Implantation approximative de l'ensemble des sondages disponibles

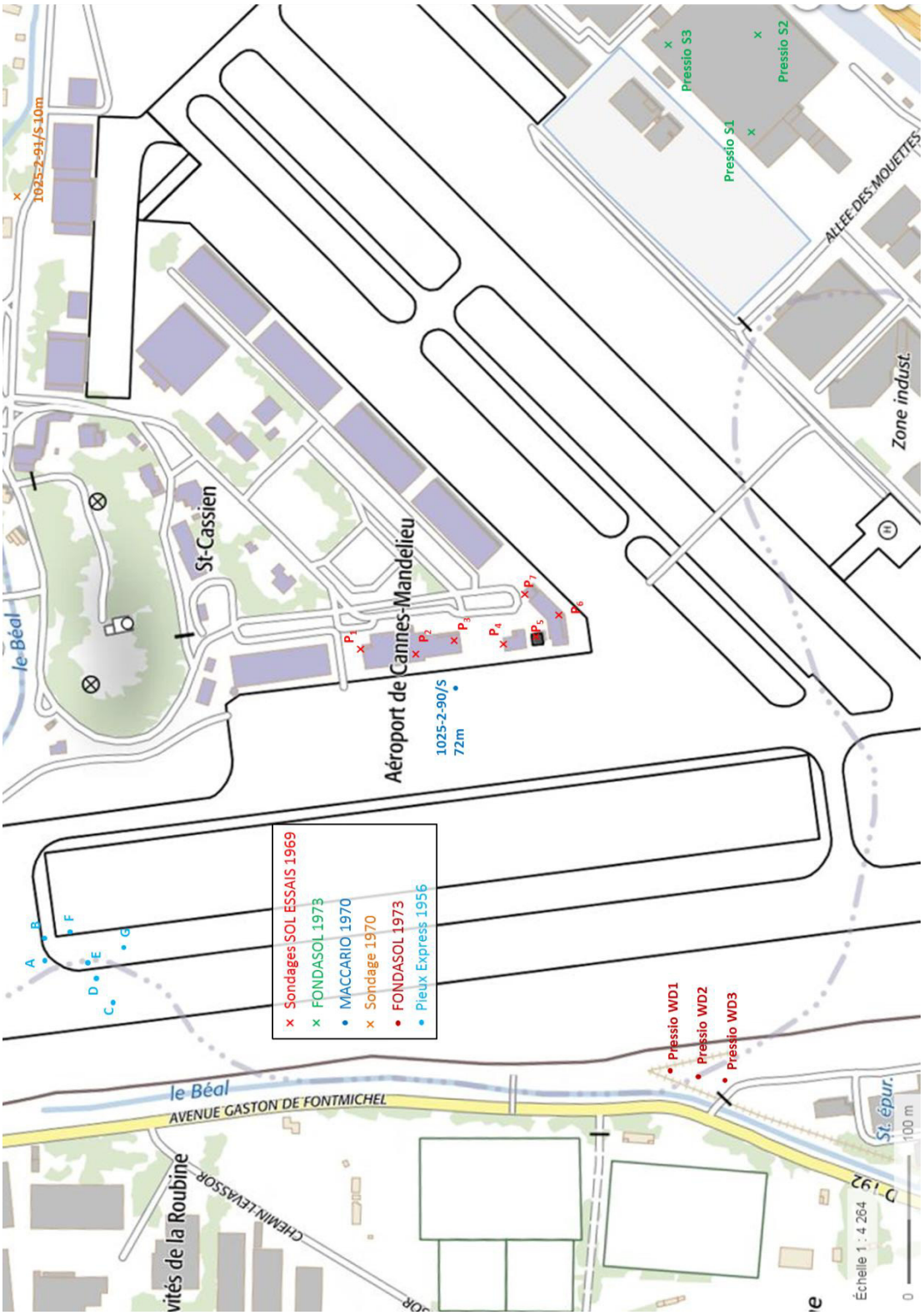


FIGURE 4

Cannes Mandelieu

Implantation des sondages au droit des bâtiments BT et TWR

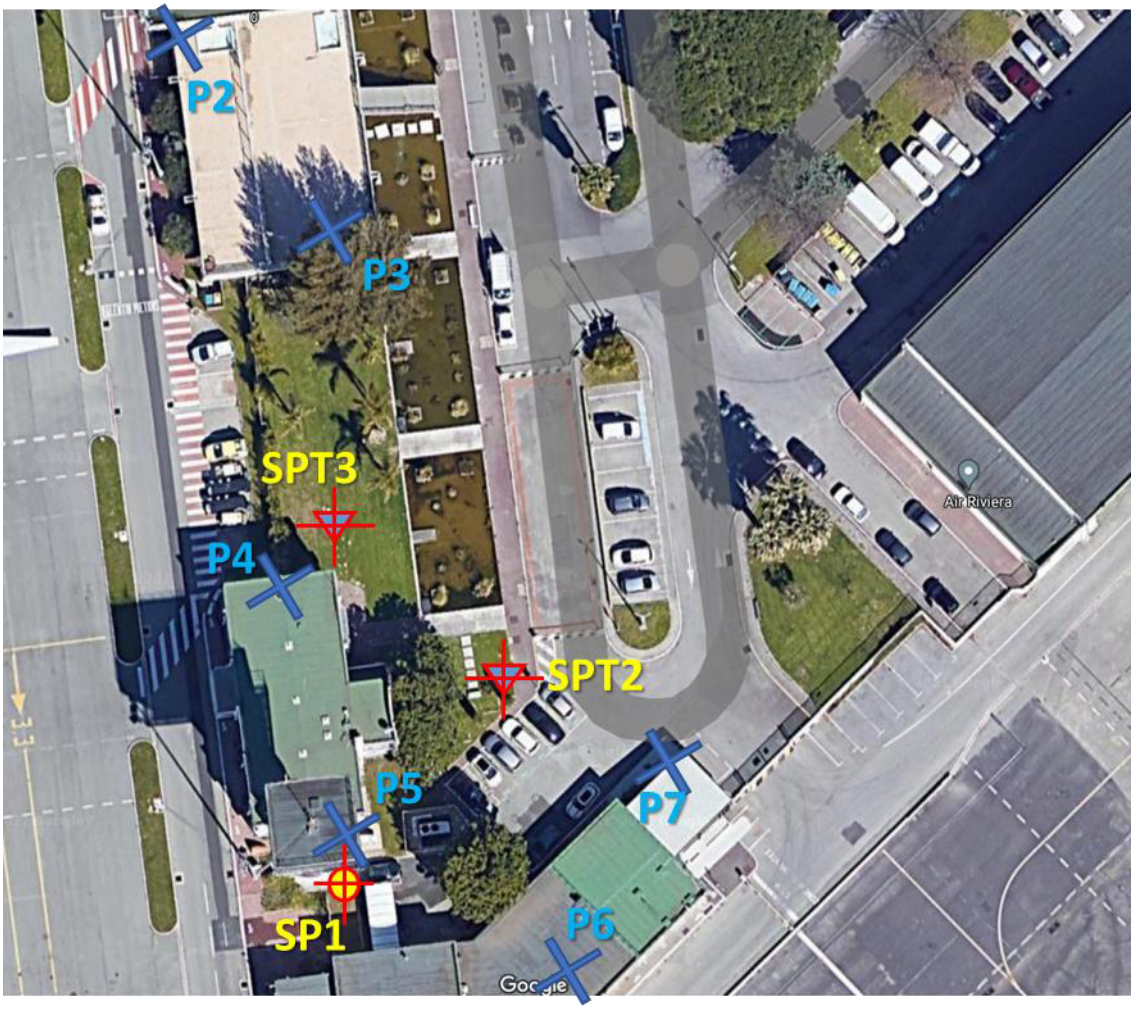


FIGURE 5

Cannes-Mandelieu

Synthèse géotechnique – Profils des essais au pénétromètre statique

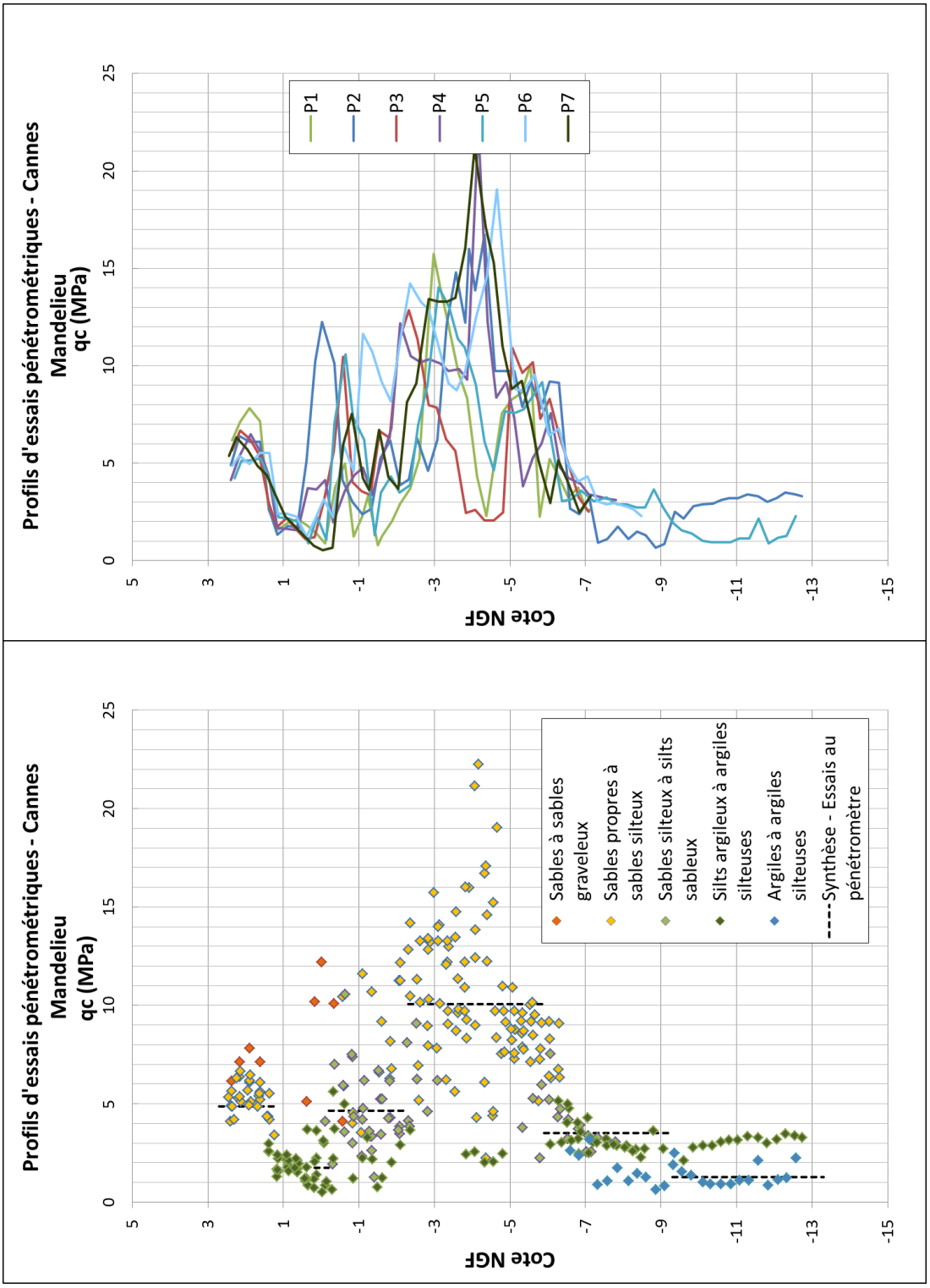
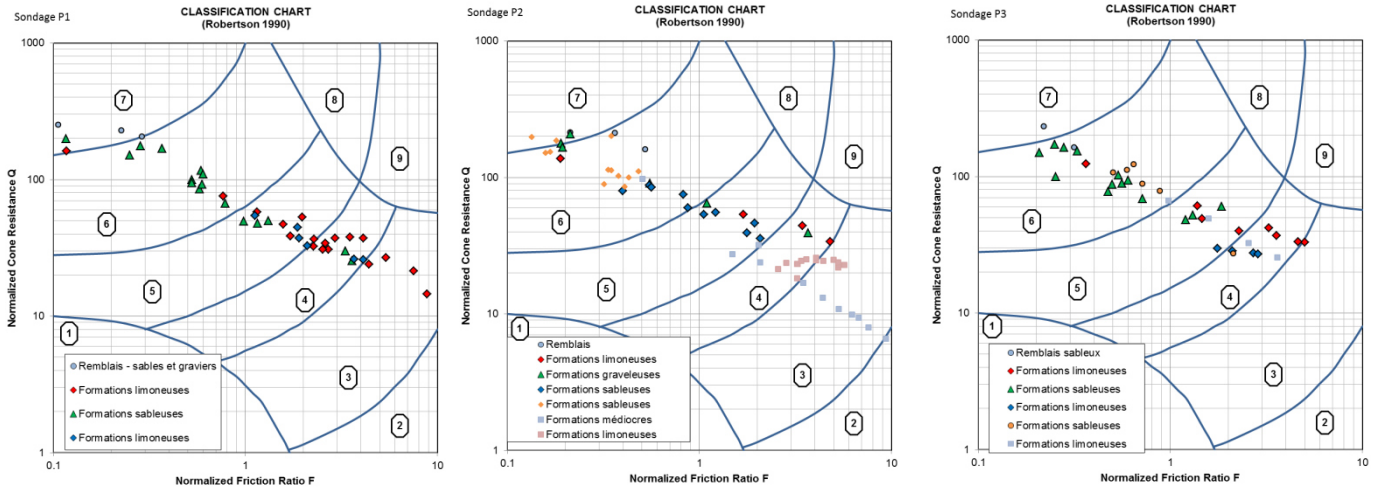
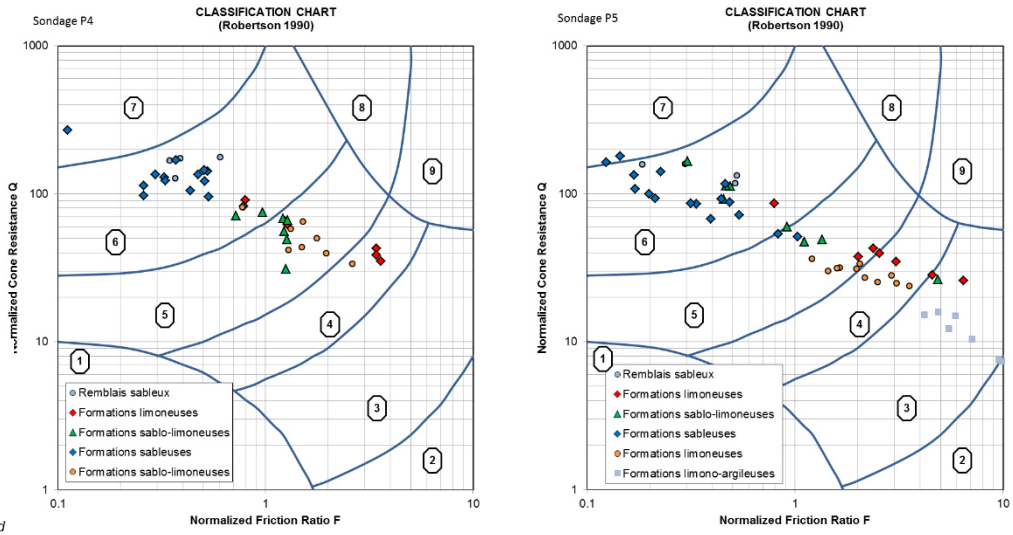


FIGURE 6

Cannes-Mandelieu

Analyse des essais au pénétromètre statique – Abaque de Robertson





1. Sensitive, fine grained
2. Organic soils - Peats
3. Clays - silty clay to clay
4. Silt mixtures - clayey silt to silty clay
5. Sand mixtures - silty sand to sandy silt
6. Sands - clean sand to silty sand
7. Gravelly sand to dense sand
8. Very stiff sand to clayey sand (*)
9. Very stiff, fine grained (*)

(*) *Heavily overconsolidated or cemented*

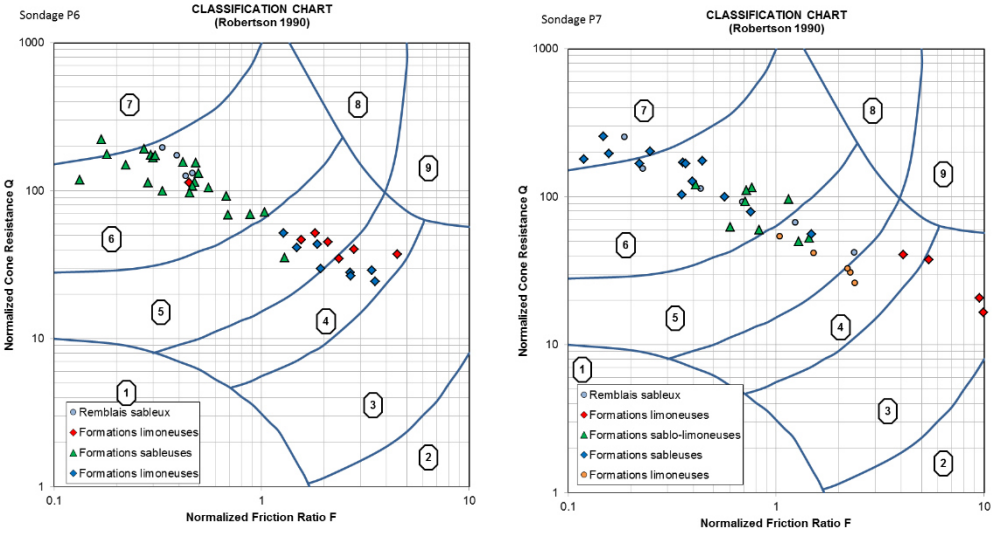


FIGURE 7

Cannes-Mandelieu

Synthèse géotechnique – Profils des essais SPT

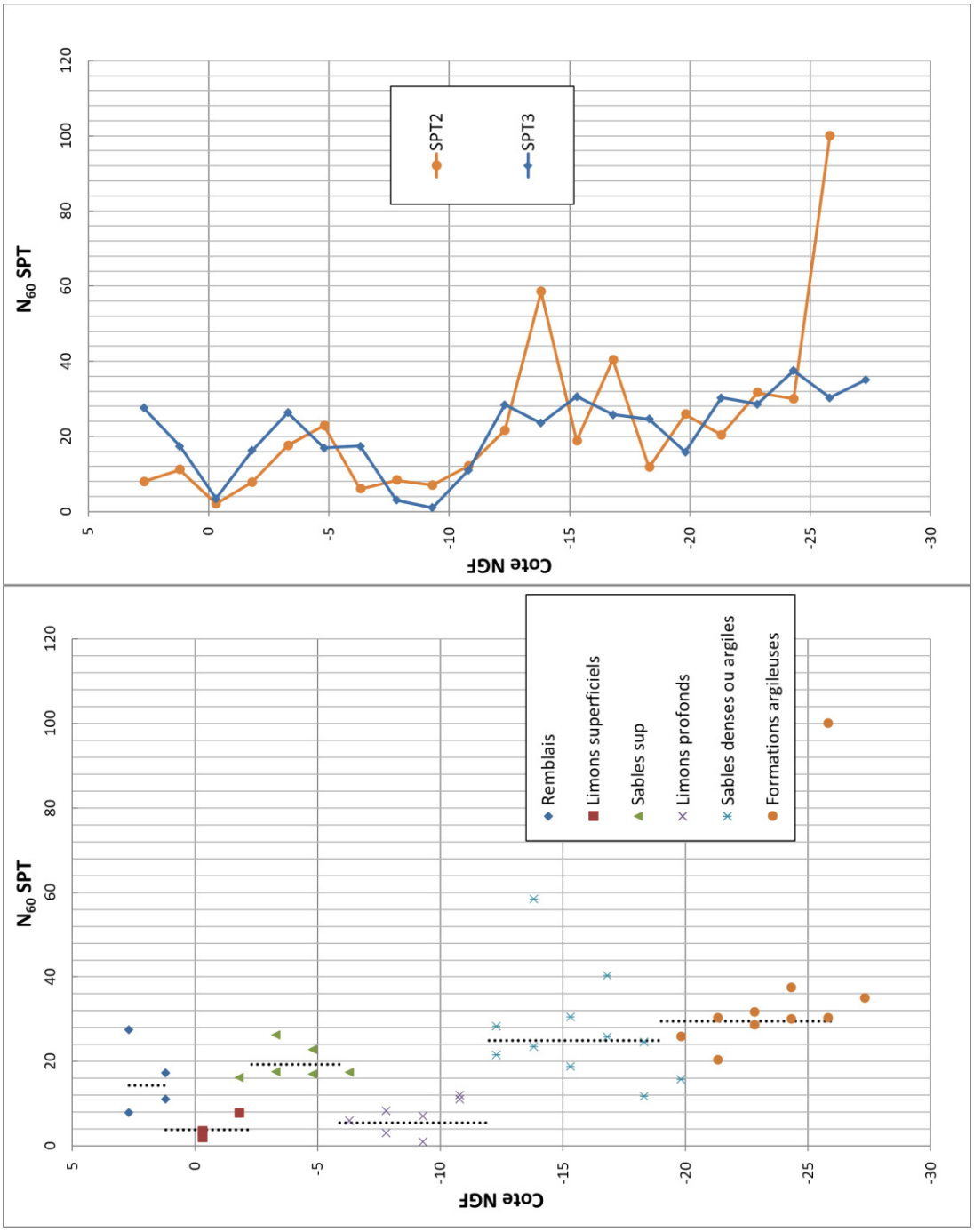
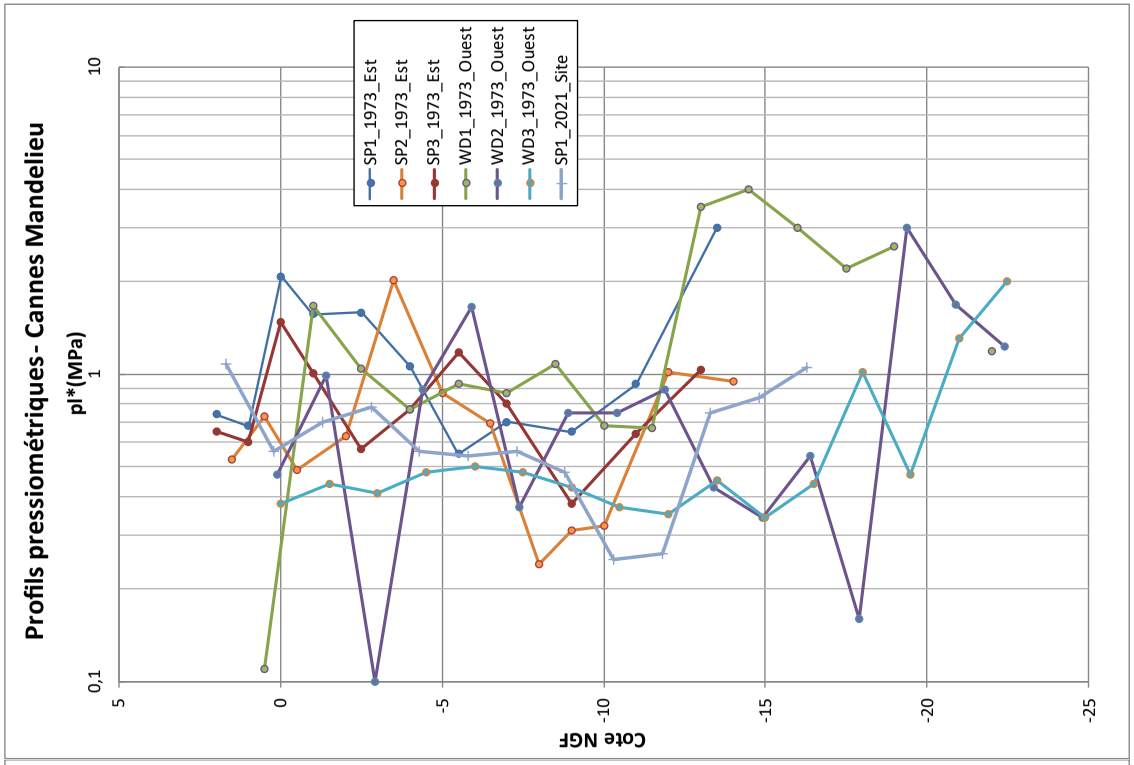


FIGURE 8

Cannes-Mandelieu

Synthèse géotechnique – Profils des essais pressiométriques



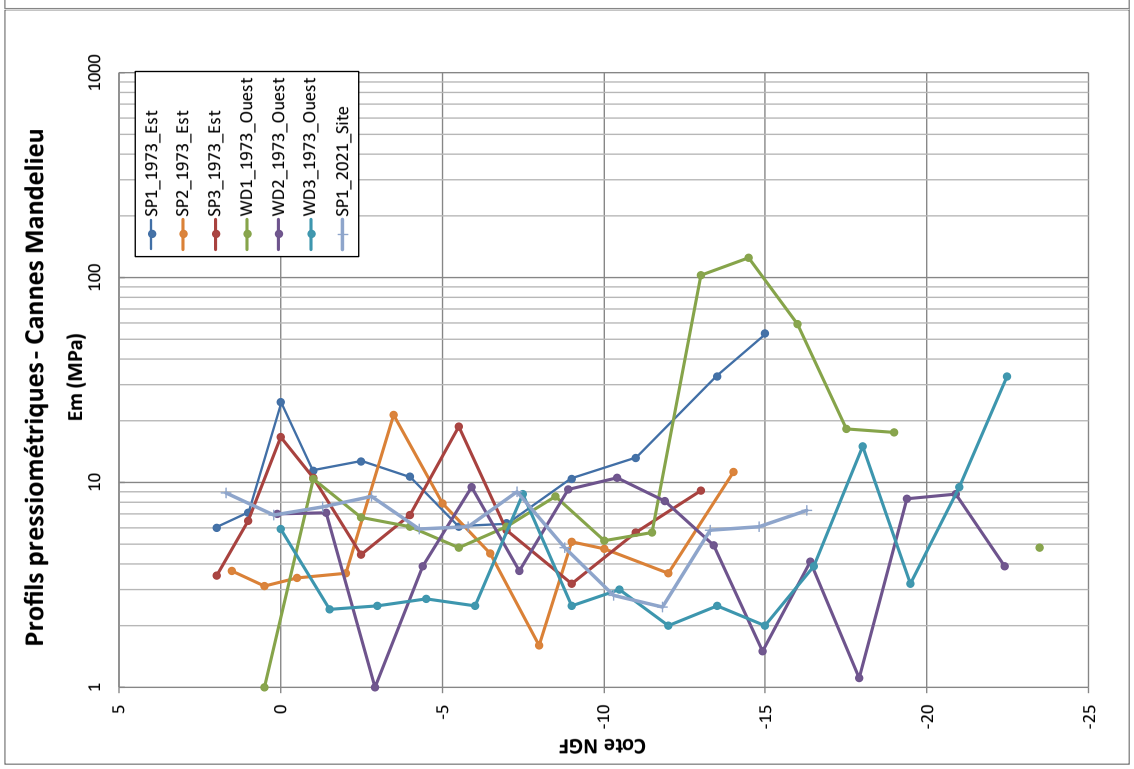


FIGURE 9

Cannes-Mandelieu

Synthèse géotechnique – Profils pressiométriques Est et Ouest

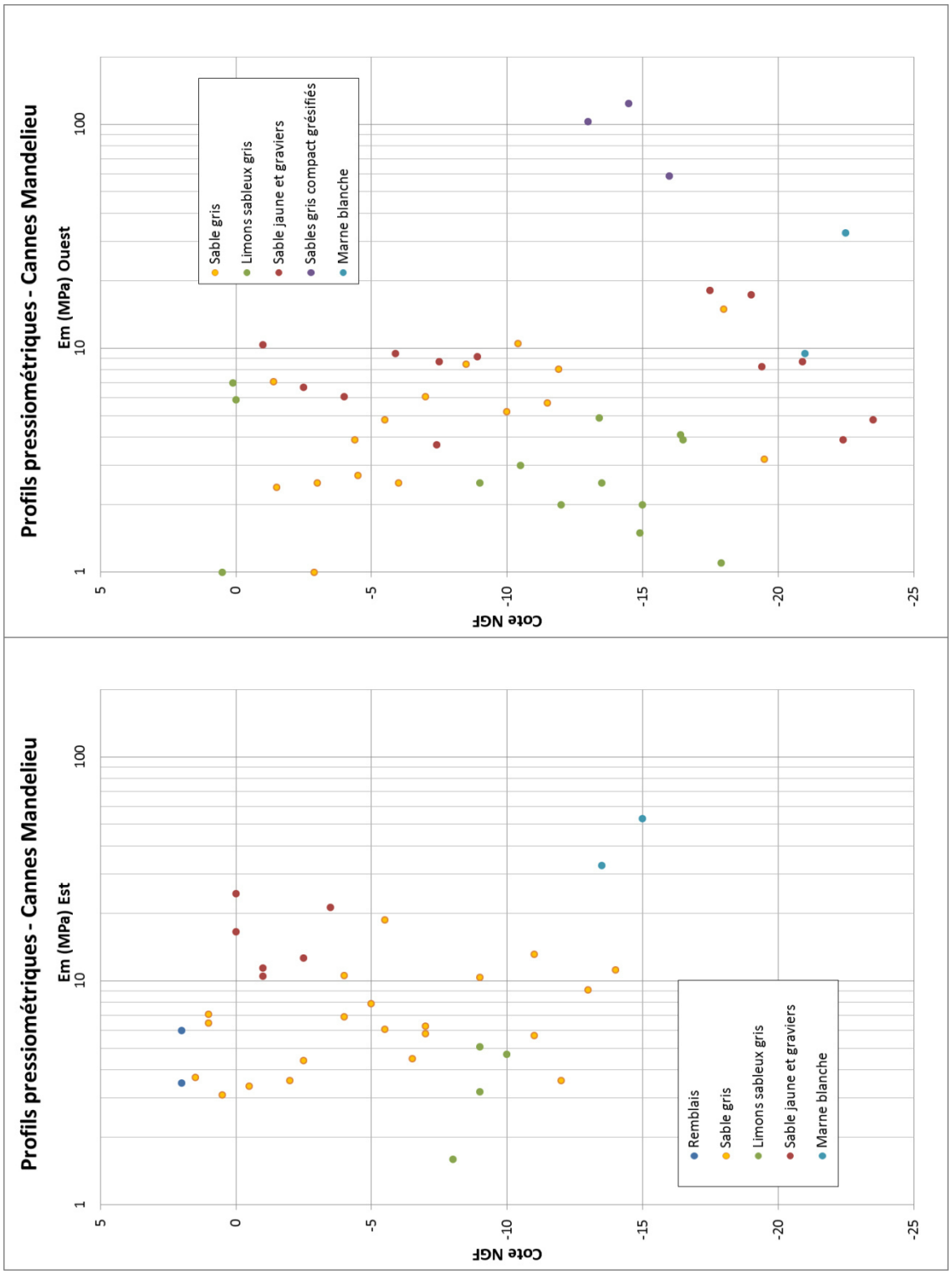


FIGURE 10

Cannes-Mandelieu

Synthèse géotechnique – Interprétation des essais au droit du site

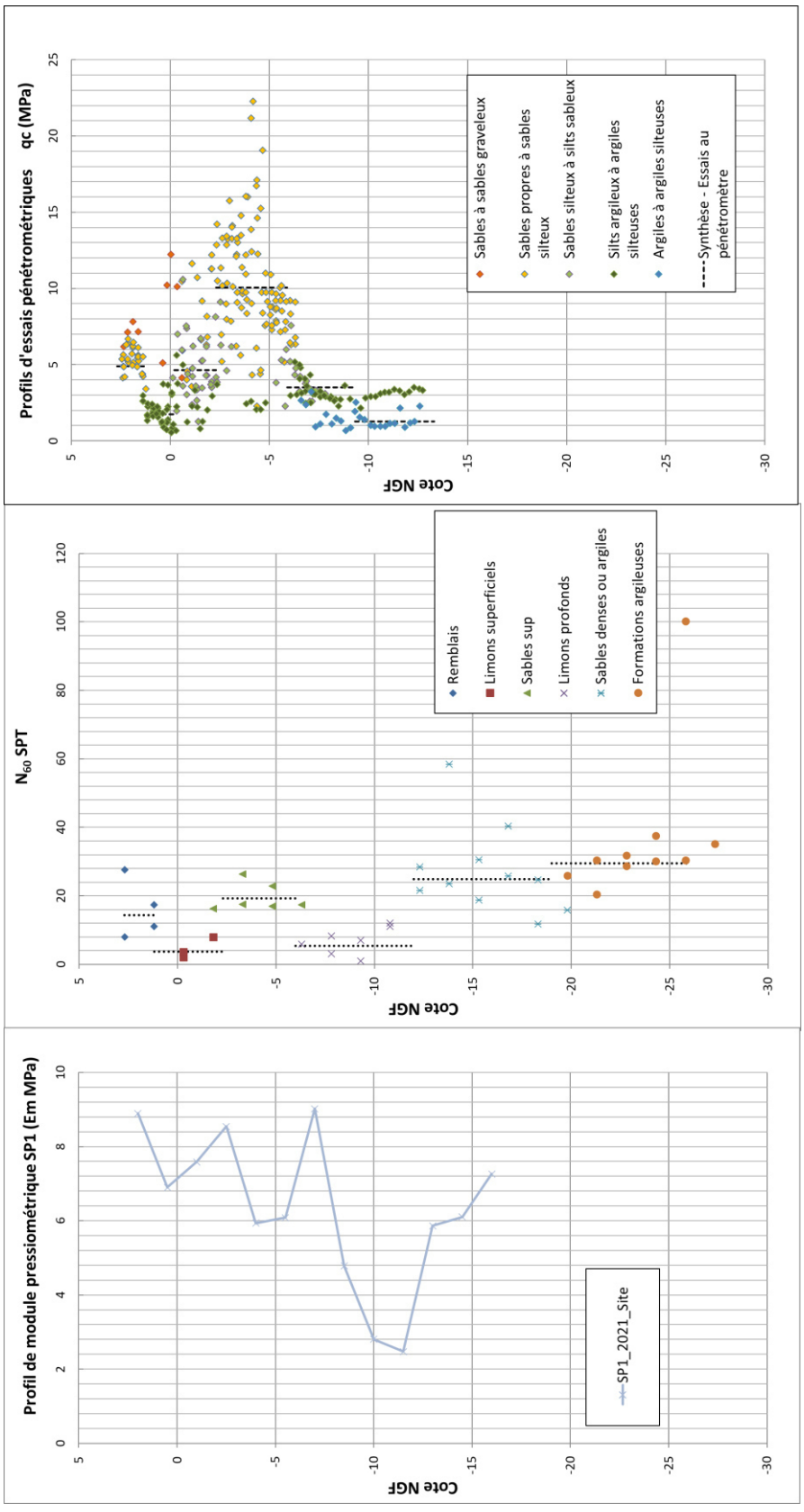


FIGURE 11

Cannes-Mandelieu

Analyse du risque de liquéfaction – Essais au pénétromètre statique

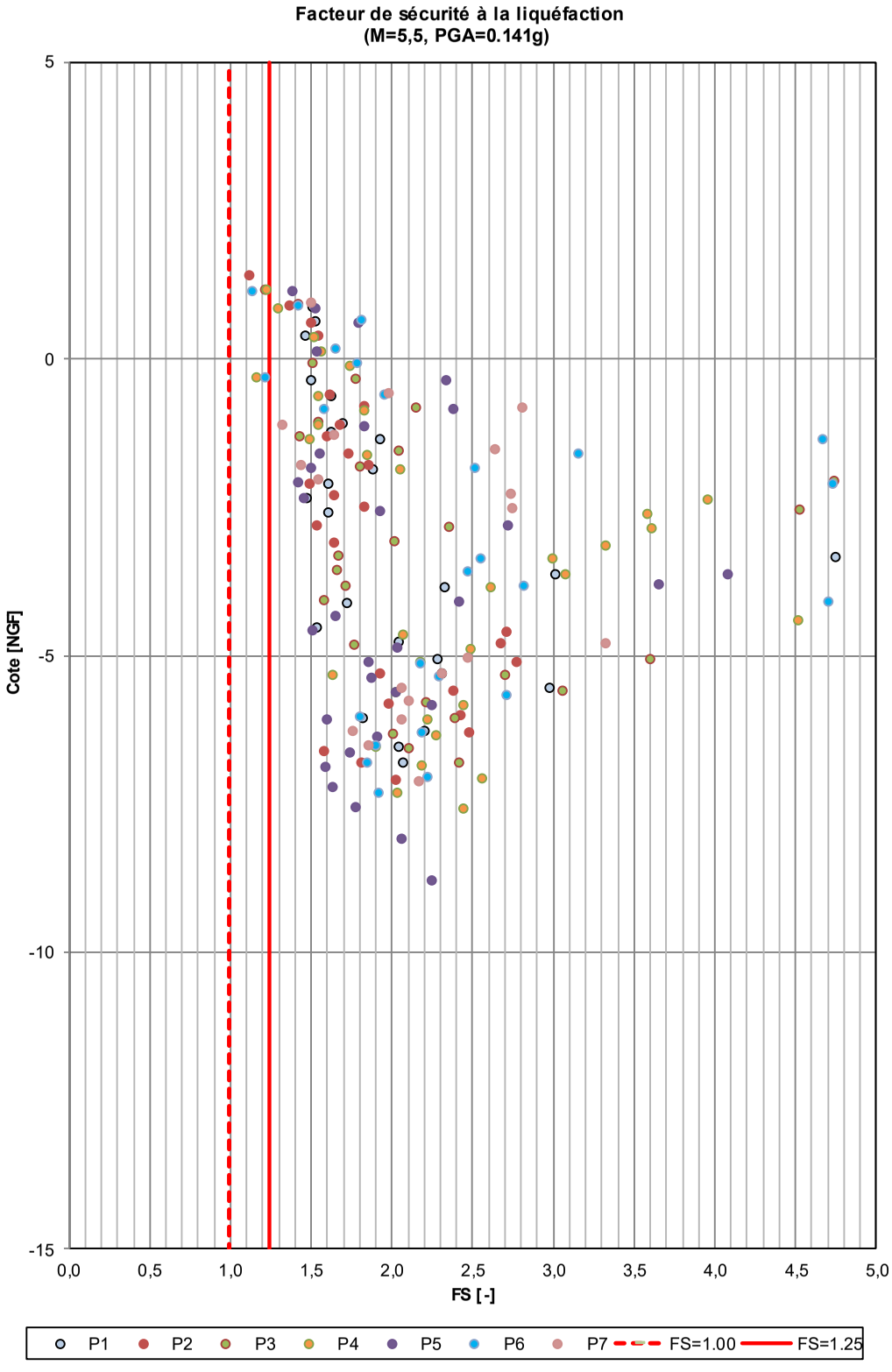


FIGURE 12

Cannes-Mandelieu

Analyse du risque de liquéfaction – Essais SPT

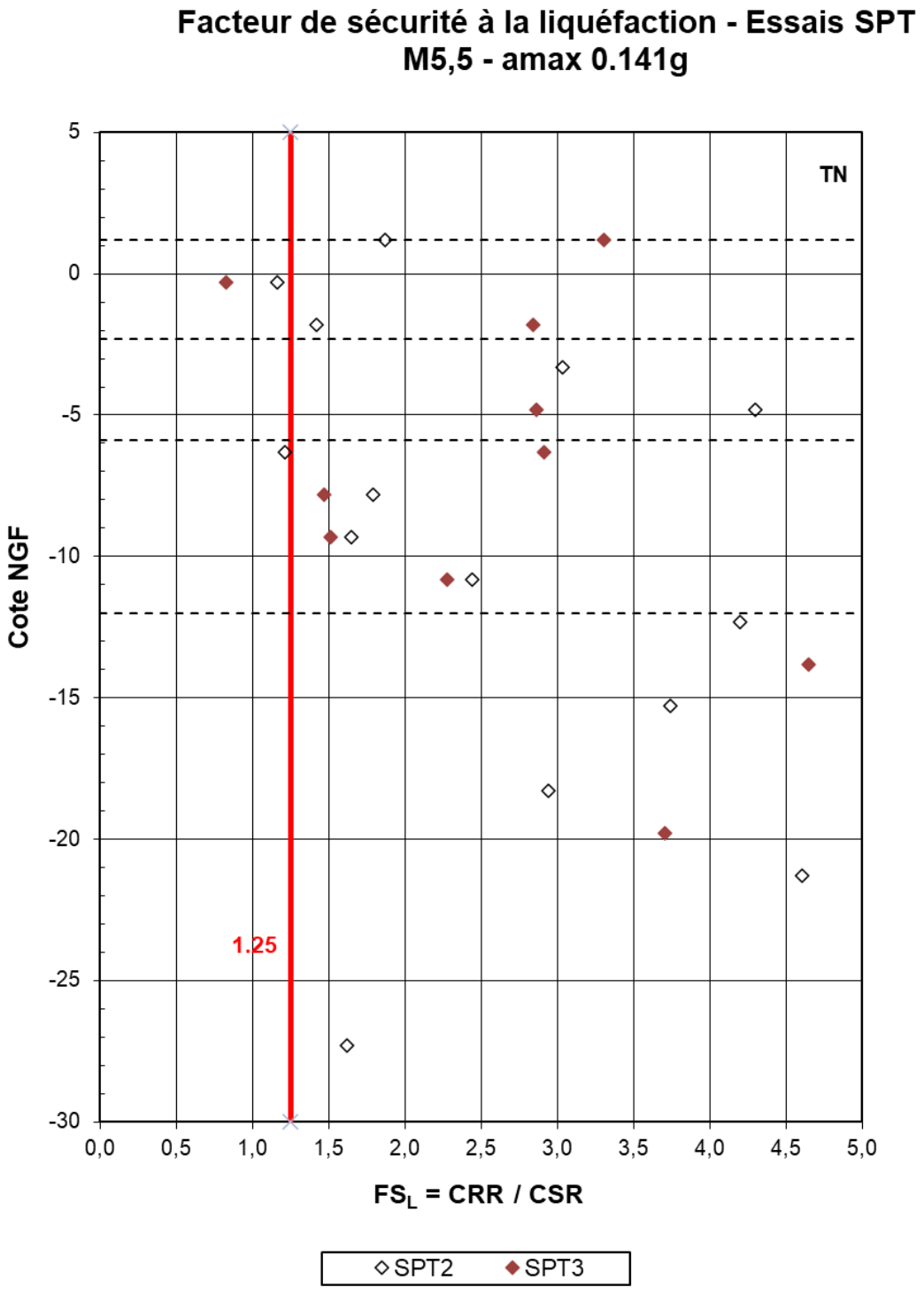


FIGURE 13