FERNANDO ROMAN
Consultant

CENTRE DE TRAITEMENT MULTIFILIÈRE DE DÉCHETS MÉNAGERS AVEC VALORISATION ÉNERGÉTIQUE À MARSEILLE

PONT D'ACCES SUR LA VOIE FERRÉE

LIQUÉFACTION DUE AU SÉISME. RÉACTION DU SOL DANS LES PIEUX.

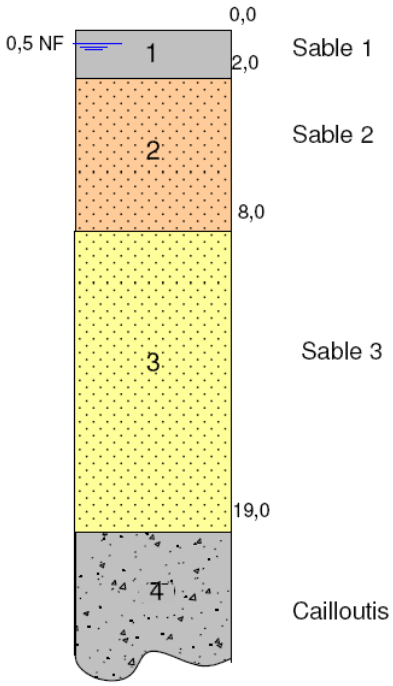
REFERENCE:	**090206 – 1**	DATE	**6 février 2009**

EDITIONS DE DOCUMENTS

REVISION	DATE	OBJET DE L´ÉDITION	PREP. POR	COMP. POR	APROB. POR
00.00	6-02-09	Première édition	FR		

Dans le document INT PON NC 0 001 A AVS du 5 mai 2008, Intecsa-Inarsa écrivait que les calculs géotechniques réalisés s'étaient basés principalement sur les résultats des sondages de Sobesol (mars 2008) et, lorsqu´on avait eu besoin de données supplémentaires, on les avait prises du rapport Antea "Centre de traitement multifilière de déchets ménagers avec valorisation énergétique. Mission géotechnique G12 (au sens de la norme NF P94-500)" d'octobre 2006.

Le profil géotechnique qui avait été considéré correspondait aux descriptions de forages destructifs de Sobesol. Elle etait la suivante.



Les caractéristiques géotechniques envisagées pour ces matériaux étaient les suivantes.

Couche	***H (m)***	***γ_h (kN/m^3)***	***α***	***E_M (MPa)***	***p^*_{LM} (MPa)***	***q_c (MPa)***	***c' (kPa)***	***ϕ' (º)***	***Types de sols***
(1)	2	17	1/3	10	0,35	2,5	0	30	Sable 1
(2)	6	19	1/3	14	0,9	5,6	5 à 10	32 à 35	Sable 2
(3)	11	18	1/3	7	0,5	4,0	5 à 10	30 à 32	Sable 3
(4)	-	-	1/4	26	2,5	21	5 à 10	40	Cailloutis

Oú:

- H = épaisseur de la couche
- γ_h = poids spécifique apparent
- α = coefficient géologique dépendant de la nature de la couche
- E_M = module pressiométrique
- p^*_{LM} = pression limite nette (dans l´essai pressiométrique)
- q_c = résistance au poinçonnement
- c' = cohésion effective
- ϕ' = angle de frottement interne.

Les colonnes H, α, EM, y p*LM proviennent du rapport Sobesol parce que Sobesol avait fait des essais préssiometriques dans les sondages. Pour les caractéristiques restantes, il a fallu consulter le rapport d'Antea.

Le rapport d'Antea pour le Centre de Traitement a été réalisé avec les données de plusieurs sondages non destrucitifs. Dans ces sondages, on avait pu prélever plusieurs échantillons dont on connait les caractéristiques granulométriques du sol.

Le profil type, déterminé avec les pénétromètres et accompagné d´essais en laboratoire, est le suivant :

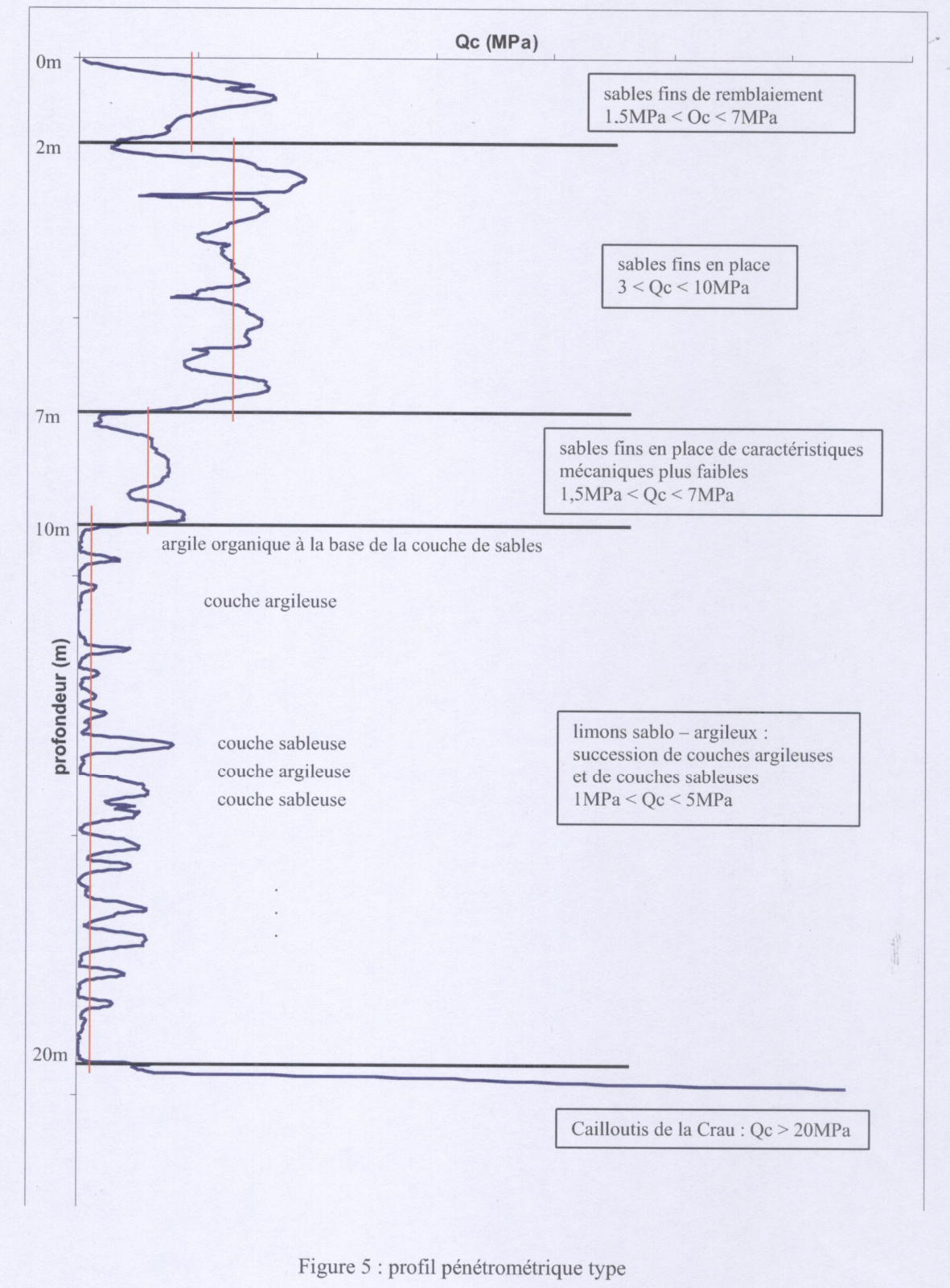
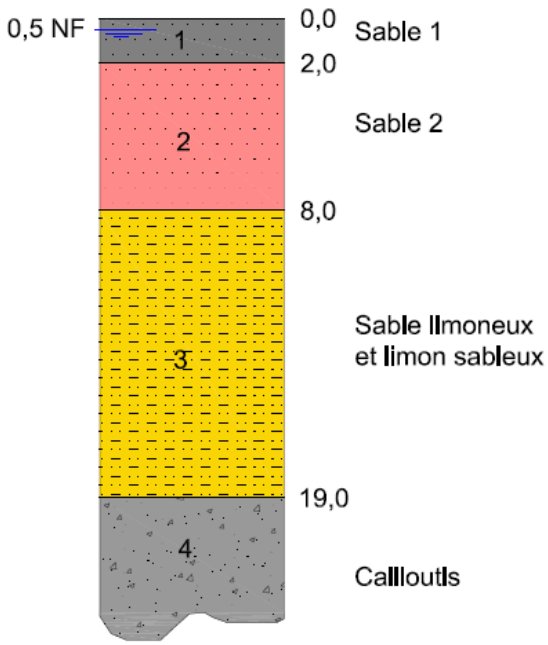


Figure 5 : profil pénétrométrique type

Dans les 9 á 10 premiers mètres, on est en présence de couches de sables et de couches de limons sableux dans les 10 mètres suivants.

La figure obtenue ci-dessus concernant les caractéristiques de forages de Sobesol devra être changée pour la suivante:



Du point de vue de la liquéfaction pour un séisme determiné, il y a des aspects liés a la nature du sol et des aspects liés a leur densité.

Nous reproduisons ci-aprés le paragraphe du rapport d'Antea où on analyse l'aspect lié aux caractérisiriques intrinseques.

6.1.5. Susceptibilité qualitative des sols à la liquéfaction en cas de séisme (au sens des PS92)

Les identifications réalisées sur les échantillons sont de nature à permettre de juger de la susceptibilité qualitative des sols à la liquéfaction en cas de séisme suivant les critères des Règles PS92 (NF P 06-013).

D'après cette norme, sont à considérer comme a priori suspects de liquéfaction les sols ci-après :

a) Sables, sables vasards et silts présentant les caractéristiques suivantes :

- degré de saturation Sr voisin de 100 %,
- granulométrie assez uniforme correspondant à un coefficient d'uniformité C_u (d_{60}/d_{10}) inférieur à 15,
- d_{50} compris entre 0,05 mm et 1,5 mm,
- et soumis en l'état final du projet à une contrainte effective verticale inférieure à 0,2 MPa en zone sismique Ib.

b) Sols argileux présentant les caractéristiques suivantes :

- $D_{15} > 0{,}005$ mm,
- limite de liquidité $WL < 35$ %
- teneur en eau $W > 0{,}9\ WL$,
- indice de plasticité $IP > 0{,}73\ (WL - 20)$.

Peuvent a contrario être considérés comme exempts de risque :

a) les sols dont la granulométrie présente un $d_{10} > 2$ mm,
b) ceux dans lesquels on a simultanément : $d_{70} < 74\ \mu$ et $IP > 10$ %.

Du point de vue de ces caracteristiques intrinseques, Antea conclut avec le tableau suivant dans lequel on montre les sols liquéfiables.

	profondeur (m)	*wn (%)*	*VBs*	*IPI*	*classe GTR*	D_{60}	D_{50}	D_{10}	*Cu*	*S.Q.L.*
PM1 - PM4	1 à 1,5m	15,6	0,33	10.2	B5h	0.2	0.18	0.025	8	oui
PM1 - PM4	2,5 à 3m	27,4	0,16	3.2	B1	0.3	0.25	0.1	3	oui
PM7	1,5 à 2m	19,3	0,69	1.7	A1th	0.1	0.08	0.004	25	non
PM9 - PM10	2,2 à 2,5m	28,4	0,62	0.2	B5th	0.24	0.18	0.008	30	non
PM13	5m	80,7	0,25	0.5	B2th	0.35	0.3	0.15	2.3	oui
SC9 ARCADIS	2 à 3m	25	0,23		B5	0.11	0.1	0.075	1.5	oui
SC9 ARCADIS	8,7 à 9,7m	26,2	0,26		B5	0.11	0.1	0.025	4.4	oui
SC14 ARCADIS	1,1 à 1,8m	25				0.3	0.25	0.006	50.0	non
SC14 ARCADIS	8,1 à 8,9m	25,8	0,09		D1	0.15	0.14	0.08	1.9	oui
SC2 ANTEA	7,7 à 8,9m	26,9	0,14			0.15	0.14	0.09	1.7	oui

Tableau 16 : Susceptibilité qualitative à la liquéfaction (S.Q.L.) des sols sableux (0-10 m)

	Profondeur (m)	w_n *(%)*	D_{15}	D_{15}*>0.005mm*	W_L	W_L*<35 %*	*W>0.9* W_L*	*IP*	*IP>0.73* (W_L-20)*	*S.Q.L.*
SC4 ARCADIS	10,5 à 11,3m	42	0.01	oui	36	non	oui	11	non	non
SC4 ARCADIS	16,75 à 17,75m	29,5	0.1	oui	25	oui	oui	5	oui	oui
SC9 ARCADIS	15,3 à 16,3m	29,5	0.03	oui	24	oui	oui	5	oui	oui
SC14 ARCADIS	18,5 à 19,6m	27	0.012	oui	28	oui	oui	5	non	non
SC3 ANTEA	12,5 à 13,8m	20,5	0.003	non	-	-	-	-	-	non
SC1 ANTEA	17 à 18m	32,9	0.0015	non	38	non	non	13	non	non
SC2 ANTEA	13,8 à 15,1m	44,2	<0.002	non	43	non	oui	15	non	non
SC3 ANTEA	17 à 18,3m	29	<0.002	non	34	oui	non	9	non	non
SC1 ANTEA	12,5 à 13,8m	35,1	<0.002	non	39	non	non	13	non	non

Tableau 17 : Susceptibilité qualitative à la liquéfaction des sols limoneux (10-20 m)

On peut voir que la possibilite de liquéfaction au-dessus de 10 mètres est forte, alors que la plus grande partie des couches inferieures a 10 mètres ne peuvent pas se liquéfier.

Ensuite, Antea calcule le facteur de sécurité vis-á-vis de la liquéfaction (FL) en fonction de la résistance au cisaillement cyclique (CRR) et de la contrainte cyclique induit par le séisme. Ils arrivent a la conclusion suivante :

6.1.8. Potentialité de liquéfaction des sols sableux (0-10 m) : résultats

Les critères déterminants dans l'identification des couches potentiellement liquéfiables sont les suivants :

Couches	*critères*	*conclusions*
Sableuses	Ic < 2,60 et FL < 1,3	Couche potentiellement liquéfiable
	Ic < 2,60 et FL > 1,3	Couche non liquéfiable

Cette analyse sur les 25 pénétromètres (dont 5 munis de piézocône) permet de tracer plusieurs profils permettant de mettre en valeur les différentes couches liquéfiables et non liquéfiables (voir plans hors texte).

Ainsi, pour la formation de sol sableux constituant les 10 premiers mètres de sols à partir du TN, la potentialité à la liquéfaction sous séisme est démontrée sur une épaisseur cumulée pouvant atteindre localement plus de 5 m. On note une concentration majoritaire d'horizons potentiellement liquéfiables entre 3 et 8 m de profondeur, dans les sables fins en place (F2 et F3).

A noter que pour les sols limoneux constituant les 10 mètres surmontant les Cailloutis de la Crau, le calcul du coefficient de sécurité à la liquéfaction conduit à des valeurs < 1,3 pour des horizons principalement inframétriques mais pour des matériaux dont la susceptibilité physique à la liquéfaction n'est pas avérée.

Les plans hors texte permettent de définir le zonage des zones liquéfiables et leur profondeur pour les 3 accélérations sismiques considérées.

ANTEA qualifie comme liquéfiable couches de plus de 5 mètres d'épaisseur cumulée dans les 10 mètres supérieurs.

Pour les couches au-dessous de 10 mètres, certaines couches sableuses peuvent se liquéfier mais le caractère limoneux de la plus part de ces couches conduit finalement à ne pas considérer pas une liquéfaction d'ensemble. Cependant il existe des couches sableuses, mais d'une faible épaisseur, qui peuvent se liquéfier individuellement.

Qu'est que cela signifie ?

- Vis-à-vis des actions horizontales, les 10 mètres superieures ne peuvent offrir de réaction latérale pendant le séisme, parce que la plus part se liquéfie. Mais la plus part des couches inférieures offrent peu mais suffisamment de résistance pour envisager cette réaction latérale.

- Vis-à-vis des actions verticales, il suffit qu'il existe une couche de sable liquéfiable, même de faible épaisseur, dans les 10 mètres inferieures pour qu´après la liquéfaction, les couches du sol au-dessus de la couche liquéfiable se tassent. Pour ça, on ne peut pas tenir compte de la résistance par le fût et en plus tenir compte du frottement négatif. En se basant sur les recommandations du rapport Antea, on considère que le frottement négatif est du a la possible liquéfaction de quelques couches jusqu´á une profondeur de l´ordre de 15 m. (Antea envisage un frottement négatif de moitié dans les dix mètres inferieurs).

Madrid, le 6 février 2009

Auteur: Fernando Román
Prof. Dr. Ingeniero de Caminos