# TASSEMENTS ET TEMPS DE CONSOLIDATION MESURES ET CALCULES SUR PROJETS LGV

#### CALCULATED AND MEASURED SETTLEMENTS AND CONSOLIDATION TIME IN HIGH SPEED RAILWAY PROJECTS

Pierre COSTE<sup>1</sup>, Rémi DELUZARCHE<sup>2</sup>, Luc BOUTONNIER<sup>3</sup>, Nathalie HANSEN<sup>4</sup>, Patrice CHARDARD<sup>5</sup>

Egis Géotechnique, Lyon, France
 Egis Géotechnique, Balma, France
 Egis Géotechnique, Seyssins, France
 Eiffage TP, Etrelles, France
 Eiffage TP, Neuilly-sur-Marne, France

**RÉSUMÉ** — L'analyse du tassement d'un grand nombre de remblais sur plusieurs projets de ligne à grande vitesse montre que les tassements et vitesse de tassement peuvent être estimés avec une bonne précision en appliquant les corrections suivantes aux paramètres déterminés à l'œdomètre : (i) recalage de la pression de préconsolidation par corrélation à partir de la cohésion non drainée – (ii) correction de Cv mesuré en laboratoire par un facteur 10. Cette approche permet de tenir compte dans les études de conception des incertitudes liées à la méthode théorique d'évaluation des tassements (calculs et évaluation des paramètres) qui s'avère très pessimiste dans de nombreux cas. Son application sur des projets récents de LGV a permis d'optimiser les dimensionnements des infrastructures.

**ABSTRACT** — The settlements of a large number of embankments, in several High Speed Railway projects have been analyzed. It shows that settlements and settlement rates can be assessed with fair accuracy by correcting the œdometric parameters as follows: (i) preconsolidation pressure is estimated through correlation with undrained cohesion – (ii) the consolidation coefficient Cv determined in the œdometer test is multiplied by 10. This approach allows the designer to take into account the uncertainties related to the theoretical method of settlements assessment (calculation and parameters assessment) which appears very pessimistic in many cases. Its implementation on recent HSR project has led to an optimized design of the infrastructures.

#### 1. Introduction

Les lignes ferroviaires à grande vitesse admettent très peu de tassements après la mise en service. Sur le réseau ferré français, les critères de dimensionnement admettent 10 cm de tassement résiduel sur 25 ans avec une vitesse inférieure à 1 cm par an dès réception du génie civil.

Les mesures de tassement effectuées lors des travaux (amplitudes et durées de consolidation) montrent très souvent que les évaluations théoriques à partir des essais œdométriques sont nettement pessimistes.

La méthode de recalage présentée ici, appliquée à de nombreux projets récents de ligne à grande vitesse, montre des résultats concluant.

## 2. Cadre théorique

## 2.1. Relations entre la cohésion non drainée et la pression de préconsolidation

Plusieurs décennies de recherche, ayant mené notamment aux modèles Cam-Clay (Roscoe et al.1958), Cam Clay modifié (Burland, 1965), Y-light (Tavenas et Leroueil, 1979) ou Melanie (Magnan, 1984) ont permis d'établir la notion d'état limite. L'état limite correspond à l'état de contrainte maximum qu'a eu à subir un sol argileux (donc à la de contrainte de préconsolidation,  $\Box$ 'p), et se traduit dans le diagramme de Lambe par une surface de forme ellipsoïdale à l'intérieur de laquelle le comportement du sol est élastique. Son sommet définit la résistance au cisaillement du sol, ou cohésion non drainée Cu sur des chemins de contrainte en compression (cas des chargements correspondant aux remblais). Ces modèles établissent de fait la proportionnalité entre Cu et  $\Box$ 'p comme une propriété physique propre aux sols argileux (voir par exemple Boutonnier et Virollet, 2001). Différentes publications citées par exemple dans Leroueil et al. (1985) situent le rapport Cu /  $\Box$ 'p dans une gamme de valeurs allant de 0.22 à 0.35 (voire davantage pour les sols organiques).

#### 2.2. Relations entre la cohésion non drainée et les différents essais in situ

Les différents essais in-situ permettent généralement de déterminer la résistance des sols. Cette résistance peut être reliée par différentes corrélations à la cohésion nondrainée Cu, qui est mesurée directement au scissomètre. Les corrélations les plus classiques entre pression limite (essai pressiométrique) ou résistance de pointe (pénétromètre statique) et Cu sont données dans Cassan (1978) qui constitue une référence très couramment utilisée par l'ingénierie géotechnique. Ces corrélations peuvent être adaptées dans le cas de grands projets d'infrastructures bénéficiant de données nombreuses – elles se situent en général dans les plages données par Cassan.

En se basant sur ces différentes corrélations, Savatier et al. (2012) proposent une approche permettant de déterminer directement la pression de préconsolidation à une profondeur donnée à partir d'un pénétrogramme.

#### 2.3. Vitesse de tassement – théorie de la consolidation

Le cadre théorique décrivant la vitesse des tassements est celui de la théorie de la consolidation unidimensionnelle de Terzaghi ou celle de Barron (1947) dans le cas de drains verticaux. Ces théories définissent un coefficient de consolidation Cv (consolidation verticale) ou Cr (consolidation radiale), qui dépend de la perméabilité du sol et de l'état de contrainte. Du fait de l'anisotropie de la plupart des dépôts

argileux, la perméabilité horizontale est généralement plus élevée que la perméabilité verticale, et donc Cr est généralement plus élevé que Cv.

#### 3. Facteurs d'incertitudes sur les mesures en laboratoire

## 3.1. Comment mesurer $\Box$ 'p ?

Le calcul des amplitudes de tassements dépend de plusieurs paramètre et notamment de la contrainte de préconsolidation (□'p) qui a une influence majeure mais dont la détermination traditionnelle, à l'aide d'essais œdométriques, présente une incertitude importante. Celle-ci s'explique notamment sur la difficulté à prélever des échantillons intacts représentatifs de l'état in situ du matériau (Bat et Blivet, 2000).

#### 3.2. Les limites de l'utilisation de la théorie de la consolidation

L'estimation des vitesses de tassement au moyen de la théorie de la consolidation se heurte également à plusieurs difficultés pratiques :

- définition de la valeur représentative de Cv (problème statistique quand plusieurs valeurs de Cv sont disponibles);
- Influence de la méthode de dépouillement du Cv, la méthode de Taylor approchant mieux les valeurs in-situ que la méthode de Casagrande (Leroueil et al. 1985);
- Effet de la non-saturation et du coefficient B de Skempton (Tavenas & Leroueil, 1980, Boutonnier, 2009) ;
- Anisotropie de perméabilité et fissuration dans le sol (Mitchel ,1992, Skempton et Northey, 1952).

Les obstacles à une bonne estimation des temps de consolidation sont donc aussi bien de nature théorique (choix d'une valeur de Cv représentative) que pratique (méthodologie des essais).

#### 4. Proposition d'une méthode de recalage

#### 4.1. Recalage de la pression de préconsolidation

La méthode proposée se base sur le constat que la valeur de la cohésion non drainée est généralement bien maîtrisée grâce aux essais mécaniques in situ (scissomètres, pressiomètres, pénétromètres) qui s'affranchissent notamment des problèmes de prélèvement. Ce paramètre fournit donc un bon indicateur de l'état du matériau in situ, qu'il est possible de relier à la contrainte de préconsolidation au travers de corrélations (Leroueil et al., 1985). Dans les projets dont les résultats sont présentés ci-après, la relation suivante a été utilisée.

$$\sigma_p = \frac{Cu}{0.35} \tag{1}$$

#### 4.2. Recalage du coefficient de consolidation

L'approche retenue pour les durées de consolidation se base sur le retour d'expérience de nombreux ouvrages sur sols compressibles et propose les relations empiriques suivantes :

$$C_{v_{in}_{situ}} = 10 \cdot C_{v_{labo}}$$

$$C_{r_{in}_{situ}} = C_{v_{in}_{situ}}$$
(2)

Par ailleurs, pour les sols restant dans le domaine surconsolidé sous la charge totale du remblai, il est considéré que les tassements se produisent au fur et à mesure de la montée du remblai. Cette hypothèse s'explique premièrement par le fait que le coefficient de consolidation Cv augmente avec le module œdométrique dans le domaine surconsolidé, deuxièmement par la diminution du coefficient B de Skempton (1954) dans le domaine surconsolidé et enfin par le retour d'expérience sur ouvrages instrumentés qui montre peu ou pas de surpressions interstitielles dans les sols surconsolidés.

#### 5. Application à des projets de LGV

EGIS Géotechnique a appliqué la méthode présentée ci-avant sur plusieurs projet de LGV récentes (LGV Est 1ère Phase, LGV Est 2ème Phase – lot 41, LGV Rhin Rhône, LGV Kenitra – Tanger Tronçon Nord, et LGV Bretagne – Pays de la Loire).

Les résultats des mesures de tassements réalisées sur certains de ces projets sont présentés ci-après en regard des valeurs issues des études avec ou sans recalage des paramètres issus des essais de laboratoire.

Le tableau 1 présente les modèles géotechniques retenus aux droit de chaque ouvrage ; le tableau 2 récapitule les dispositions constructives adoptées pour chaque ouvrage, ainsi que les valeurs de tassement mesurées, calculées sans correction de □'p (donc en utilisant les valeurs données par l'oedomètre), et les valeurs de tassements estimées après correction. Ces résultats sont synthétisés par la figure 1. Les particularités propres à chaque projet sont discutées par la suite.

La corrélation entre tassements mesurés et tassements estimés par la méthode proposée présente une corrélation remarquable, avec très peu de cas de sousestimation des tassements (erreurs jamais supérieures à 5cm), alors que les tassements calculés sans correction montrent une surestimation systématique et importante des tassements.

La mise en place de cette démarche a permis des optimisations significatives sur le dimensionnement des infrastructures. Ainsi sur les projets des LGV Est, Rhin Rhône et BPL, de nombreuses dispositions constructives liées aux zones compressibles ont pu être supprimées (notamment des drains verticaux). Sur la LGV Kenitra-Tanger, ce sont certains ouvrages d'art, initialement prévus pour franchir les zones les plus compressibles, qui ont pu être remplacés par des ouvrages en terre nettement plus avantageux économiquement.

Tableau 1.	Modèles	géotechn	iques au	droit des	ouvrages étudiés
		0			5

Projet	remblai	km	formation	z (m)	<b>e</b> 0	Cc	C₅	Cαe	Cu (kPa)	σ'p mesuré (kPa)	σ'p recalé (kPa)	Cv_labo (m²/s)	Cr_retenu (m²/s)
	RBT 503	328 253	limons	0à2	0.76	0.17	0.019		55	71	157	3.10	3.10
	modèle 1		Argiles de Chanville altérée	2à7	0.87	0.18	0.022		100	100	286	2.10	2.10
	RBT 505	330,700	purge	0à3		pas de tassement calculé							
	secteur 1c		grès à roseaux (altération)	3.5-6.5	0.76	0.188	0.023		55	65	157	1.10	1.10
	RBT 505	331.520	limons argileux	0à1	0.71	0.156	0.012		50	102	140	-8	4.10
	secteur 2	331,780	grès à roseaux (altération)	1 à 6.5	0.71	0.156	0.012		67	102	191	5,8.10	4.10
			grès à roseaux (altération)	6.5 à 12	0.81	0.208	0.013	=	96	81	274	3,8.10	4.10
	RBT 505 secteur 3	331,880	alluvions recentes	0 a,3	0.95	0.226	0.01	9.0E-03	30	30	86	1.3.10	4.10
			Thanles insees init. allerees	0.540	0.940	0.220	0.01	9.0E-03	72 de tasseme	200 ent calculé	205		4.10
<del></del>	RBT 525	340,270	puige	0 a 1.5				puo		59		-7	-6
t 4			marnes irisées inf. altérées	1.5 à 8	0.84	0.182	0.02		63	(29 à 101)	180	1.3.10	1.3.10
st lo	RBT 527	341,200	limons argileux	0à1	0.527	0.126	0.014		80	95	229	2.7.10	2.7.10
ш		,	marnes irisées inf. altérées	1 à 6.5	0.527	0.126	0.014		80	95	229	2.7.10	2.7.10
S S	RBT 527 - PRA	341,362	purge	0à2		1		pas	de tasseme	ent calculé	1	-7	- 6
	41230	-	marnes irisées inf. altérées	2 à 6.5	0.527	0.125	0.014		80	95	229	2.7.10	2.7.10
	RBT 546	347,600	limons argileux	0 à 2	0.739	0.186	0.047		40	90	114	2.0.10	2.0.10
			Marnes bariolées altérées	2 à 6	0.739	0.186	0.047		100	nt a a la vilá	285		2.0.10
		352,510	purge	0a1	0.040	0.400	0.040	pas	de tasseme	ent calcule	000	-7	-6
	KB1 000	352,910	couches bl. et grises alt	1 a 6	0.646	0.193	0.016	thodo pross	80	98 M = a Agb/l	229 = m a = 0	1.57.10	1.57.10
			couches bl. et grises alt	036	0.646	0 103		eniode piess	so	08	220	.5, E <sup></sup> = 100	00KFa
	RBT 555	352+680	0.193 $0.010$ $0.193$ $0.010$ $0.98$ $229$ $1.57.10$ $1.57.10$ $1.57.10$ $0.000$										1.57.10 00kPa
		353+460	limons 0 à 1.3 pas de tassement calculé									oon u	
			couches bl. et arises alt	1.3 à 5	0.5	0.116	0.009		65	79	185	1 57 10 <sup>-7</sup>	1 57 10
			couches bl. et grises alt.	5 à 12	0.5	0.116	0.009		82	-	235	1.57.10	1.57.10
	R2023	201+900	argile brunâtre	0à3	0.64	0.23	0.057	1.2 10-2	69	70	189	2.3 10	1.6 10
			vase argileuse	3à11	0.6	0.19	0.036	2,2 10 <sup>-3</sup>	125	185	362	2,3 10	1.6 10 <sup>-7</sup>
			alluvions graveleuses	ions graveleuses 11 à 12,5 calcul tassement par méthode pressiométrique W = $\alpha . \Delta \sigma . h/ Em$ , $\alpha$ = 0.5, E <sup>m</sup> =16000kPa									00kPa
	R2023	202+400	argile brunâtre	0à7	0.6	0.19	0.036	2,2 10-3	125	185	362	2,3 10	1.6 10 <sup>-7</sup>
SC 1			vase sableuse	7 à 11,5	0.64	0.23	0.057	1,2 10 <sup>-2</sup>	69	70	189	2,3 10	1,6 10 <sup>-7</sup>
OAF			vase argileuse	11,5 à 13	1.6	0.62	0.106	1,6 10 <sup>-2</sup>	60	60	153	4,3 10 <sup>-9</sup>	3,0 10 <sup>-8</sup>
L F			alluvions graveleuses	13 à 14,5	cal	cul tassen	nent par m	éthode pres	siométrique	$W = \alpha . \Delta \sigma . h/$	Em, α = 0	0.5, E <sup>m</sup> =160	00kPa
prd		202+830	vase argileuse	0 à 1,5	1.6	0.62	0.106	1,6 10 <sup>-2</sup>	60	60	165	4,3 10 <sup>-9</sup>	3,0 10
Ž			argile brunâtre	1,5 à 9	0.6	0.19	0.036	2,2 10 <sup>-3</sup>	125	185	270	2,3 10 <sup>-8</sup>	1.6 10 <sup>-7</sup>
DS I	R2023		vase sableuse	9 à 13	0.64	0.23	0.057	1,2 10 <sup>-2</sup>	69	70	174	2,3 10	1,6 10
Lon			vase argileuse	13 à 15,5	1.6	0.62	0.106	1,6 10 <sup>-2</sup>	60	60	151	4,3 10 <sup>-9</sup>	3,0 10 <sup>-8</sup>
Ŀ			argile brunâtre	0à6	0.6	0.19	0.036	60.10-3	94	142	265	3010-9*	5.0.10
ge	R2039	204+190	aroile vasarde	6à11	0.64	0.23	0.057	4.7.40 <sup>-2</sup>	50	88	1/0	4.0.40 <sup>-9</sup> *	7.0.10
Tar	112000	2041100		10 2 00	0.04	0.20	ont por mé	1,7 10	iomótrique \	00 N = ~ A = b/l	- π α - 0	4,0 10	7,0 10
, ,			peiltes alterees	19 a 20	Cal	uitassem	ent par me	-3	iometrique	/v = 0.Δ0.1/1	_m, α = 0	.07, E <sup></sup> = 110	-8
SV Kenitra			argile brunâtre	0 à 8,5	0.73	0.24	0.07	5,4 10 <sup>°</sup>	67	185	180	7,0 10	5,0 10
	R2063	202+500	alluvions graveleuses 11 à 12,5 calcul tassement par méthode pressiométrique W = $\alpha . \Delta \alpha . h/$ Em, $\alpha$ = 0.5, E <sup>m</sup> =19000kPa								00kPa		
			pélites altérées	15,5 à 20	calc	ul tassem	ent par mé	thode press	iométrique \	$N = \alpha . \Delta \sigma . h/l$	Ξm, α = 0	.67, E <sup>m</sup> =160	00kPa
Ĕ			argile limoneuse	0 à 5.6	0.94	0.35	0.1	7,8 10 <sup>-3</sup>	83	105***	220	1,4 10 <sup>-8</sup>	1,0 10 <sup>-7</sup>
	B 2083	202+830	argile molle	5à7	1	0.37	0.108	8,4 10 <sup>-3</sup>	47	_****	138	1,4 10	1,0 10 <sup>-7</sup>
	R2002		alluvions graveleuses	7 à 10	cal	cul tassen	nent par m	éthode pres	siométrique	W = α.Δσ.h/	Em, α = 0	0.5, E <sup>∞</sup> =160	00kPa
			pélites altérées	10 à 14	0.55	0.18	0.046	2,9 10 <sup>-3</sup>	135	160	450	3,6 10 8	**

Projet	remblai	km	formation	z (m)	<b>e</b> 0	Cc	Cs	$c_{\alpha^e}$	Cu (kPa)	σ'p mesuré (kPa)	σ'p recalé (kPa)	Cv_labo (m²∕s)	Cr_retenu (m ²/s)
			Alluvions récentes et Schistes décomposés	0 à 2	1.018	0.296	0.029		59	149	149	2.7.10 <sup>-7</sup>	2.7.10 <sup>-6</sup>
	LO2-R3	001+400	Schistes du Dévonien décomposés	2 à 5	0.6	0.13	0.04		119	94	340	2.6.10	2.6.10
			Schistes du Dévonien altérés	5à8	calc	ul tassem	ent par mé	thode press	iométrique \	$V = \alpha . \Delta \sigma . h/l$	Em, α = 0.	.5, E <sup>m</sup> = 320	00kPa
			Alluvions récentes et Schistes décomposés	0 à 1.5	1.018	0.296	0.029		59	149	149	2.7.10 <sup>-7</sup>	2.7.10 <sup>-6</sup>
	R1228	122+800	Schistes du Dévonien décomposés	1.5 à 5	0.6	0.13	0.04		119	94	340	2.6.10 <sup>-7</sup>	2.6.10 <sup>-6</sup>
			Schistes du Dévonien altérés	5 à 9	calo	ul tassem	ent par mé	thode press	iométrique \	$V = \alpha . \Delta \sigma . h/l$	Em, α = 0.	.5, E <sup>m</sup> = 320	00kPa
			Limons de surface	0 à 1.5	cal	cul tassem	nent par me	éthode pres	siométrique	W = α.Δσ.h/	Em, α = 0	0.5, E <sup>m</sup> = 200	00kPa
	R1235	123+500	Schistes du Dévonien décomposés	1.5 0 9.5	0.658	0.094	0.032		88	125	251	4.9.10 <sup>-7</sup>	4.9.10 <sup>-6</sup>
	R1258	125+570	Alluvions récentes Schistes Briovérien	0 à 2	cal	cul tassem	ent par m	éthode pres	siométrique	W = α.Δσ.h/	Em, α = 0	0.5, E <sup>m</sup> = 400	00kPa
	(Pk125+570)		décomposés	2 à 9	0.488	0.072	0.015		100	170	285	6.10	6.10
	R1258 (Pk125+750)	125+750	Schistes Briovérien décomposés	0 à 2	calc	ul tassem	ent par mé	thode press	iométrique \	$V = \alpha . \Delta \sigma . h/l$	Em, α = 0.	.5, E <sup>m</sup> = 130	00kPa
			Alluvions récentes	0 à 3.5	0.662	0.139	0.014		80	110	229	2.0.10	2.0.10
	R1274	127+400	Schistes Briovérien	3.5 à 6.5	0.462	0.107	0.007		130	310	371	2.2.10	2.2.10
			Alluvions récentes	0 à 3	cal	cul tassem	nent par me	éthode pres	siométrique	W = α.Δσ.h/	Em, α = 0	).5, E <sup>m</sup> = 470	00kPa
	R1286	128+600	Schistes Briovérien	3 à 8.5	cal	cul tassem	nent par m	éthode pres	siométrique	W = α.Δσ.h/	Em, α = 0	).5, E <sup>m</sup> = 500	00kPa
			Altération ultime	0à56	0 74	0 105	0.01		85	41	275	0.75.40-7	4.0.40-6
	R1300 (PRA1305)	130+500	Schistes Briovérien	5 C à 40 C	0.74	0.100	0.01	4h e el e			213	9.75.10	4.6-10
	(1101000)		décomposés	5.6 a 10.6	caic	ui tassem	ent par me	thode press	iometrique \	$v = \alpha . \Delta \sigma . n/1$	$=m, \alpha = 0.$	.5, E <sup></sup> = 170	00kPa -7
			Alluvions récentes	0 à 2	0.682	0.096	0.026		45	107	129	2.2.10	2.2.10
	R1315 (PRA1313)	131+300	décomposés	2 à 9.5	0.479	0.067	0.02		88	92	251	4.4.10	4.4.10
	(************		Schistes Briovérien	9.5 à 13.5	calo	ul tassem	ent par mé	thode press	iométrique \	$V = \alpha . \Delta \sigma . h/l$	Em, α = 0.	.5, E <sup>m</sup> = 110	00kPa
		121,500	Schistes Briovérien	0 à 1 5	0.506	0.060	0.002		80	22	220	F. 0. 40 <sup>-7</sup>	5.0.40-6
		131+300	décomposés Schistes Briovérien	0 8 1.5	0.500	0.003	0.002		00	52	223	5.3.10	5.3.10
B	R1315 (Remblai test)	131+500	décomposés	1.5 à 6.5	0.505	0.074	0.0103		115	106	329	4.6.10	4.6.10
¥8		131+500	Schistes Briovérien	6.5 à 9.5	cal	cul tassem	nent par m	éthode pres	siométrique	W = $\alpha.\Delta\sigma.h/$	Em, $\alpha$ = C	0.5, E <sup>m</sup> = 600	00kPa
RO		131+500	Schistes Briovérien altérés	9.5 à 12.5	2.5 à 12.5 calcul tassement par méthode pressiométrique W = $\alpha . \Delta \sigma . h/Em$ , $\alpha = 0.5$ , E <sup>m</sup> = 14000kPa								
Ø			Schistes Briovérien	0à15	0.506	0.069	0.002		80	32	220	_	
3PL To	R1315		décomposés Schistes Briovérien	0 a 1.5	0.500	0.003	0.002		00	52	223	-7	6
	(PRA1316)	131+600	décomposés	1.5 à 6.5	0.505	0.074	0.0103		115	106	328	4.6.10	4.6.10
25			Schistes Briovérien décomposés	6.5 à 9.5	cal	cul tassem	nent par me	éthode pres	siométrique	W = α.Δσ.h/	Em, $\alpha$ = C	0.5, E <sup>m</sup> = 600	00kPa
Ľ	R1378	137+500	Schistes Briovérien	0 à 10.0	0.83	0.18	0.014		125	138	350	7010-7	1210-6
	(PRA1375)		decomposes Alluvions récentes	0à2.0	calo	ul tassem	ent par mé	thode press	iométrique \	$V = \alpha \Delta \sigma h/l$	$Em. \alpha = 0$	.66. E <sup>m</sup> = 17	1.2.10
	R1403	140+300	Schistes Briovérien	20380	cal	cul tassem	ent par m	éthode pres	siométrique	$W = \alpha \Delta \sigma h/c$	$Fm \alpha = 0$	)5 Fm = 900	)0kPa
			décomposés Schistes Briovérien	2.0 a 8.0	oui		en par m	unous pressioniteurique w = α.Δο.1/ ΕΠι, α = 0.5, Ε <sup>m</sup> = 9000KPa					
			décomposés	8.0 à 13.0	calo	ul tassem	ent par mé	thode press	iométrique \	$V = \alpha . \Delta \sigma . h/I$	Ξm, α = 0.	.5, E <sup>m</sup> = 180	00kPa
	R1568	155+700	Allvuions récentes et Schistes décomposés	0 à 4.5	0.524	0.137	0.019		57	105	120	1.66.10 <sup>-6</sup>	1.66.10 <sup>-6</sup>
	(PRA1557)		Schistes Briovérien	4.5 à 7.5	0.524	0.137	0.019		100	105	285	1.66.10	1.66.10
			Schistes Briovérien altérés	7.5 à 12.5	cal	cul tassem	nent par me	éthode pres	siométrique	W = $\alpha.\Delta\sigma.h/$	Em, α = C	0.5, E <sup>m</sup> =2200	00kPa
			Alluvions récentes	0 à 2.5	0.5	0.068	0.012		90	90	260	2.7.10 <sup>-6</sup>	2.7.10
	R1595	158+900	Schistes Briovérien	2.5 à 4.5	0.5	0.068	0.012		90	90	260	2.7.10	2.7.10
	(PRA1589)		Schistes Briovérien	15 à 15	0.52	0 102	0.019		125	110	260	-6	
			décomposés	4.5 & 15	0.52	0.105	0.010		120	70	300	2.8.10	2.8.10
	D1627		Schistes Briovérien	083	0.548	0.095	0.021		80	70	228	2.8.10 -6	2.8.10 -5
	(PRA1367)	163+700	décomposés	3 à 11.5	0.551	0.097	0.016		116	78	330	3.0.10	3.0.10
			Schistes Briovérien décomposés	11.5 à 13.5	cal	cul tassem	nent par m	éthode pres	siométrique	$W = \alpha . \Delta \sigma . h/$	Em, $\alpha$ = 0	0.5, E <sup>m</sup> =1200	00kPa
	R1671	166+700	Schistes Briovérien	0à6	0.721	0.168	0.033		139	200	398	2.5E-07	2.5E-06
	(PRO1667) R1682	168+200	aecomposés Alluvions récentes	0à3	0.589	0.087	0.019		80	107	229	4.0E-06	4.0E-06
			Schistes Briovérien	3à7	0.589	0.087	0.019		130	107	371	4.0E-06	4.0E-06
			décomposés Schistes Briovérien	Jar	0.000	0.007	0.010		100	107	0/1	7.02-00	<b>4.0∟0</b> 0
			décomposés Schistes Briovérien	7 à 10.5	0.589	0.087	0.019		150	107	430	4.0E-06	4.0E-06
	R1703	170+300	décomposés	0 à 10.5	0.469	0.067	0.006		120	224	340	6.8E-07	6.8E-06
		170+300	Schistes Briovérien décomposés	10.5 à 12.5	calc	ul tasseme	ent par mé	thode press	iométrique V	$V = \alpha.\Delta\sigma.h/B$	Ξm, α = 0.	.5, E <sup>m</sup> = 15 (	000kPa
			Alluvions récentes et remblais	0à1	calcul tassement par méthode pressiométrique W = $\alpha . \Delta \sigma . h / Em$ , $\alpha$ = 0.5, E <sup>m</sup> = 5 000kPa								
1													
1	RE-R1/RE-R2	180+102	Schistes Briovérien décomposés	1 à 4,5	0.82	0.2	0,030		65	110	185	1.0E-07	1.0E-06

\* valeurs de Cv labo très dispersées et sans doute pessimistes

\*\*\* pas de drain dans cet horizon - Cv retenu = 3 x Cv in situ
\*\*\* de 15 à 280

\*\*\*\* pas d'essai oedométrique dans cette couche

e0 : indice des vides / Cc, Cs : indices de compression et de gonflement / Cu : cohésion non drainée / C $\alpha$ e : indice de fluage

 $\sigma$ 'p : contrainte de préconsolidation / Cv, Cr : coefficients de consolidation verticale et radiale

#### Tableau 2 . Synthèses des résultats théoriques et mesurés pour les ouvrages étudiés

Nome         Ref 505-model:         302,886         80         10         7         28         30         down is 5.1 tom           Ref 505-model:         330,08         7.5         6         6         43         10         down is 5.2 tom           Ref 505-model:         330,08         7.5         6         6         43         10         down is 5.2 tom         down is 5.1	Projet	remblai	km	Hremblai (m)	tassements mesurés (cm)	tassements calculés avec correction d <sup>p</sup> (cm)	tassement calculés sans correction d <sup>p</sup> (cm)	(durée consolidation prévue) / (durée consolidation mesurée)	dispositions constructives
PTOTO         PTOTO         S0.700         R0         <		RBT 503- modèle 1	328,265	8.0	10	7	28	3.0	drains 1.5 x 1.5m
Ref Exist accourt         331:090         7.5         6         6         4.3         1.0         doine 25.22m           Ref Exist accourt         331:000         1.0         4.4         9         2.7         relation-it         doine 25.2.2m           Ref Exist account         331:000         1.0.5         2.7         2.3         3.6         relation-it         doine 25.2.2m		RBT 505 secteur 1c	330,710	8.0	9	6	17	3.0	drains 1.2 x 1.2m
BRT 650 setur.0         33,68         10.6         10.0         46         date 1.2.1 2.m - spage 2.m           BRT 550 sectur.3         331,540         9.0         4         9         27         Instantal         date 1.2.1 2.m - spage 2.m           BRT 550 sectur.3         331,560         0.5         22         23         38         monte top bate         dates 2.5.2.5m         dates 2.5.2.5m         dates 2.5.2.5m         dates 2.5.2.2.5m         dates 2.5.2.5m         dates 2.5.2.2.5m         dates 2.5.2.2.5m         dates 2.5.2.5m         dates 2.5.2.2.5m         dates 2.5.2.5m         dates 2.			331,036	7.5	6	6	43	1.0	drains 2.5 x 2.5m
PRF         Statistical Statisteric Statisti Statistical Statisteric Statistical Statistical S		RBT 505 secteur 2	331,828	10.5	10	10	46		drains 1.2 x 1.2m + purge 3m
NET         Net         State         Sta		RBT 505 secteur 2	331,540	9.0	4	9	27	instantané	drains 2.5 x 2.5m
The Double and Double	-	PBT 505 sectour 3	331 900	10.5	22	23	38	montée trop lente	drains 1.2 x 1.2m
NOT         Ref test         0.00000000000000000000000000000000000	t 4		340,240	8.5	7	9	37	1.5	drains $2.5 \times 2.5 \text{ m} \pm \text{purge} 1.5\text{m}$
BRT 562         94 100         75         6         6         70         000         000         00000         00000	Lo	RBT 525	340,240	8.0	1	8	35	2.0	drains $1.5 \times 1.5 \text{ m} + \text{purge} 1.5 \text{ m}$
No. 62.         No. 62. <t< td=""><td>st</td><td>DDT 527</td><td>241,200</td><td>7.5</td><td>4</td><td>5</td><td>10</td><td>2.0</td><td>dmins 2.5 x 2.5m + purge 0.7m</td></t<>	st	DDT 527	241,200	7.5	4	5	10	2.0	dmins 2.5 x 2.5m + purge 0.7m
R9T 52/PRA 4120         Mit 340 (2)         0.0         0<	Ш /	NDT 327	341 285 (C0)	10.0	5	7	19	0.00	drains 2.5 x 2.5m + purge 0.7m
No.         NBT 546         217         4         2         patromach         dams 1, 5, 1, 2, m, pag, 2m           No.         28, 18         10         7         21         31         patromach         dams 1, 5, 1, 2, m, pag, 2m           No.         28, 28         10.0         24         28         40         patromach         dams 1, 5, 1, 2m, pag, 2m           Ref 556         322, 28         0.0         4         7         23         matromach         dams 1, 5, 1, 2m, pag, 2m           102, 22         20         2         16         7         23         matromach         dams 1, 5, 1, 2m, pag, 2m           112, 22         10         0         4         7         23         matromach         dams 1, 5, 1, 15m, pag, 1m           112, 22         10         0         10         10         7         10         matromach         page, 2m           112, 22, 40         12, 2         10         10         7         10         matromach         page, 2m         page, 2m           112, 24, 00         12, 47, 00         10         10         7         25         -         instaname         page, 2m         page, 2m         page, 2m         page, 2m         page, 2m <t< td=""><td>Ó</td><td>RBT 527-PRA 41230</td><td>341 340 (C3)</td><td>10.5</td><td>11</td><td>8</td><td>20</td><td>2 60</td><td>drains <math>2.5 \times 2.5 \text{m} + \text{purge} 2\text{m}</math></td></t<>	Ó	RBT 527-PRA 41230	341 340 (C3)	10.5	11	8	20	2 60	drains $2.5 \times 2.5 \text{m} + \text{purge} 2\text{m}$
View         S22,01         24         27         11         31         pass companies         data is 1.s. i.m. page in pass companies           RBT 555         325,201         224         20         24         20         10         pass companies         data is 1.s. i.m. page in pass companies           RBT 555         325,202         20         24         20         10         ans 1.s. i.m. page in pass companies         data is 1.s. i.m. page in pass companies           RBT 555         325,202         20.0         4         10         25         namme         data is 1.s. i.m. page in pass companies           RT23         001+400         16.0         12.0         12         16         25         Tow mount         pass for internation           RT23         124400         16.0         12         17         20         mamme         page for in           RT23         124450         14.0         12         17         20         mamme         page for in           RT23         124450         14.0         12         17         20         mamme         page for in           RT35         124450         13.0         6.5         10         19         23.3         mammane         in         in		PBT 5/6	347 610	4.8	5	4	20	pas comparable	drains 2.5 x 2.5m + purge 3m
Bits of the second se		KD1 540	352 418	11.0	7	11	31	pas comparable	drains 1.5 x 1.5m + purge 1m
Ref         322.32         30         4         7         23         presented         Contract         C			352 520	20.0	24	28	48	pas comparable	drains 1.5 x 1.5m + purge 1m
No. Res         352 32         9.0         4         7         25         instantané         datastá 15 x 1.5m.           100 H         353.447         12.0         222         16         100         datast 15 x 1.5m.         puge de 1m.           110 H         11228         112 H00         15.0         Tyxen cours         115.5         27.5         Tyren cours         puge de 1m.           111 H         112 H00         113 H00         113 H00         113 H00         113 H00         113 H00         114 H1         115 H1         115 H1         115 H1         113 H1         115 H1         113 H1         113 H00         113 H00         113 H1         115 H1         113 H1 <td></td> <td>RBT 555</td> <td>352 885</td> <td>9.0</td> <td>3</td> <td>7</td> <td>25</td> <td>instantané</td> <td>drains 1.5 x 1.5m</td>		RBT 555	352 885	9.0	3	7	25	instantané	drains 1.5 x 1.5m
Bits         Bits         State         S		1121 000	352,932	9.0	4	7	25	instantané	drains 1.5 x 1.5m
Processor         Processor <t< td=""><td></td><td></td><td>353 447</td><td>12.0</td><td>22</td><td>16</td><td></td><td>1.00</td><td>drains 1.5 x 1.5m + purge 1m</td></t<>			353 447	12.0	22	16		1.00	drains 1.5 x 1.5m + purge 1m
R128         122400         16.5         Tvx en cours         16.5         27.5         Tvx en cours         puge de 1m           R1285         R1285         1224.000         5.5         Tvx en cours         20         20         Tvx en cours         puge de 1m           R1286         R1286         1254.750         124.570         14.0         7         2.5         -         instantané         puge de 1m           R1286         R1286         1224.670         124.570         14.0         7         2.5         -         instantané         matanané           R1286         (R1286/R1287-760         134.500         6.5         10         19         2.5         instantané         daine 1.5X1.5m + Zp+1.5m           R1315         (R474185)         1314500         6.5         1         11         15.5         instantané         daine 2.5X2.5m + Zp+1.5m           R1315         (R4741813)         1314000         6.5         1         11         15.5         instantané         daine 2.5X2.5m + Zp+1.5m           R1315         (R474175)         1314000         6.5         1         11         15.5         instantané         daine 2.5X2.5m + Zp+1.5m           R1315         (R474157)         1314000		LO2-R3	001+400	15.0	Tyx en cours	16.5	23.5	Tyx en cours	purge de 1m
R125         123-400         5.5         Tvx en cours         20         20         Tvx en cours         100           R1258 (Pk125-750)         125-750         14.0         7         2.5         -         Instantané         pung de 1m           R1258 (Pk125-750)         125-750         14.0         7         2.5         -         Instantané         -           R1258 (Pk125-750)         125-750         14.0         7         2.5         -         Instantané         -		R1228	122+800	16.5	Tyx en cours	16.5	27.5	Tyx en cours	purge de 1m
R1258 (PH125-670)         125-670         14.0         7         2.5         -         instantané         purge de 1m           R1258 (PH125-670)         125-670         130         6         11.5         18.5         instantané         -           R1268 (PH125)         122-400         4.8         4         11.5         -         instantané         -           R1276 (PH125)         130-00         6.5         5         7.5         21.5         instantané         diais 1.5X1.5m ±2p+1.5m           R1315 (PR41818-)         0.31-600         6.5         5         11         11.5.5         instantané         diais 2.5X2.5m ±2p+1.5m           R1315 (PR41818-)         0.5.5         1         11         15.5         instantané         diais 2.5X2.5m ±2p+1.5m           R1315 (PR41313)         131+600         6.5         1         11         15.5         instantané         diais 2.5X2.5m ±2p+1.5m           R1315 (PR41313)         131+600         6.5         1         11         15.5         instantané         diais 2.5X2.5m ±2p+1.5m           R1315 (PR41313)         131+600         6.5         1         11         15.5         instantané         12p+1.5m           R1315 (PR41313)         131+600         6.		R1235	123+500	5.5	Tyx en cours	20	20	Tyx en cours	paige de mi
R1288 (PR125-750)         125-750         14.0         7         2.5         -         instantané           R1286 (PR1250)         122-700         13.0         6         11.5         18.5         instantané         instantané           R1286 (PR1250)         122-800         4.8         4         11.5         -         instantané         instantané           R1300 (PR4305)         131-600         6.5         10         19         22.5         instantané         drains 1.5X1.5m + 2.941.5m           R1315 (Rembi listel - poloz)         131-600         6.5         1         11         15.5         instantané         drains 2.5X2.5m + 2.941.5m           R1315 (Rembi listel - poloz)         131-600         6.5         1         11         15.5         instantané         drains 2.5X2.5m           R1315 (Rembi listel - poloz)         131-600         6.5         1         11         15.5         instantané         Zp-1.5m           R1315 (Renk1031         194-900         5.0         7.5         2.2         4         19         instantané         Zp-1.5m           R1315 (Renk1031         194-9030         5.0         5.5         17.5         -         instantané         Zp-1.5m           R14030 (Renk103)		R1258 (Pk125+570)	125+570	14.0	12	17	20	instantané	purge de 1m
R1274 (PRA1273)         127-400         13.0         6         11.5         18.5         instantané           R1300 (PRA128)         128-600         4.8         4         11.5         -         instantané         -           R1300 (PRA123)         138-600         4.5         5         7.5         21.5         instantané         danis 1.5X1.5m + 2.p41.5m           R1315 (PRA1313)         131-600         6.5         1         11         15.5         instantané         -         -           R1315 (PRA1316)         131-600         6.5         1         11         15.5         instantané         -         -           R1315 (PRA1316)         131-600         6.5         1         11         15.5         instantané         -         -           R1315 (PRA1316)         131-600         5.5         2         4         19         instantané         Zp-15m           R1315 (PRA1316)         131-600         5.5         2         4         19         instantané         Zp-15m           R1315 (PRA1316)         131-600         5.5         2         4         19         instantané         Zp-15m           R1317 (PRA1315)         137-800         5.5         2         4<		R1258 (Pk125+750)	125+750	14.0	7	2.5	-	instantané	1.5
R1288 (CH1285)         128-600         4.8         4         11.5         -         Instantané (15)           R1300 (PRA1305)         130-600         4.5         5         7.5         21.5         instantané         drains 1.5X1.5m+2.p+1.5m           R1315 (PRA1313)         113-800         6.5         10         19         22.5         instantané         drains 1.5X1.5m+2.p+1.5m           R1315 (PRA1313)         113-600         6.5         1         115         instantané         drains 2.5X2.5m         2.1.5           R1315 (PRA1316)         131-600         6.5         1         11         15.5         instantané         punge de 1.5m           R1315 (PRA1316)         131-600         6.5         1         11         15.5         instantané         punge de 1.5m           R1315 (PRA1316)         131-600         5.0         7         10         15         instantané         Zp+1.5m           R1315 (PRA1315)         137-800         5.5         17.5         -         instantané         Zp+1.5m           R1315 (PRA1375)         137-800         5.5         11.5         11         11         12         instantané         Zp+1.5m           R1315 (PRA1375)         168-700         7.5         1		R1274 (PRA1273)	127+400	13.0	6	11.5	18.5	instantané	
R1300 (PRA1305)         130+600         4.5         5         7.5         21.5         instantané           R1315 (PRA1305)         131+900         6.5         10         19         23.5         instantané         drains 1.5X1.5m + Zp+1.5m           R1315 (PRothál iest -ploti)         131+600         6.5         5         11         15.5         instantané         -         -           R1315 (PRothál iest -ploti)         131+600         6.5         1         11         15.5         instantané         -		R1286 (OH1285)	128+600	4.8	4	11.5	-	instantané (15j)	
PO POL P 1315 (Perk1313)         131+300         6.5         10         19         23.5         instantané         drains 15X1 fin+ 2p+15m           R1315 (Rembia lisat - jobi2)         131+600         8.5         5         14         18.5         instantané         drains 15X1 fin+ 2p+15m           R1315 (Rembia lisat - jobi2)         131+600         6.5         5         11         15.5         instantané         jurgé de 1.5m           R1315 (Rembia lisat - jobi2)         131+600         6.5         1         11         15.5         instantané         jurgé de 1.5m           R1315 (Rembia lisat - jobi2)         131+600         5.0         7         10         15         instantané         Z2p+1.5m           R1315 (Rembia lisat - jobi2)         131+600         5.0         5.5         17.5         -         instantané         Z2p+1.5m           R1403 (PRA1433)         140+300         5.0         5.5         17.5         -         instantané         Z2p+1.5m           R1403 (PRA1459)         158+600         7.5         12.5         12         2         instantané         Z2p+1.5m           R1403 (PRA1459)         168+700         7.5         12.5         12         2         instantané         Z2p+1.5m	a B	R1300 (PRA1305)	130+500	4.5	5	7.5	21.5	instantané	
COUNT         R1315 (Rentbal test - plot(2)         131+600         8.5         5         14         18.5         Instantané         drains 2.5X2.5m + 2.p+1.5m           R1315 (Rentbal test - plot(2)         131+600         6.5         1         11         15.5         instantané         purgé de 1.5m           R1315 (Rentbal test - plot(2)         131+600         6.5         1         11         15.5         instantané         purgé de 1.5m           R1315 (Rentbal test - plot(2)         131+600         6.5         1         11         15.5         instantané         drains 2.5X2.5m           R1315 (Rentbal test - plot(2)         131+600         5.5         2         4         19         instantané         Zp+1.5m           R1315 (Rentbal test - plot(2)         137+600         5.5         2         4         19         instantané         Zp+1.5m           R1436 (RA1403) (R	Ř	R1315 (PRA1313)	131+300	6.5	10	19	23.5	instantané	drains 1.5X1.5m + Zp+1.5m
PCOD         R1315 (Rembalatest-pict1)         131+500         6.5         5         11         15.5         instantané            R1315 (Rembalatest-pict3)         131+600         6.5         1         11         15.5         instantané         purge de 1.5m           R1315 (Rembalatest-pict3)         131+600         6.5         1         11         15.5         instantané         dains 2.5X2.5m           R1315 (Rembalatest-pict3)         137+600         5.5         2         4         19         instantané         Zp+1.5m           R1403 (PRA1433)         140+300         5.0         5.5         17.5         -         instantané         Zp+1.5m           R1595 (PRA1589)         198+000         3.0         6.4         6.5         29         instantané         Zp+1.5m           R1637 (PRA1637)         168+00         7.5         12.5         12         32         instantané         Zp+1.5m           R1637 (PRA1637)         168+200         4.5         Tvx en cours         7         13.5         Tvx en cours         -           R1671 (PRO1667)         166+700         5.5         20         18         25         7         13.5         Tvx en cours         Zp+1.5m         dains 1.3X13m +	υ Ω	R1315 (Remblai test - plot0)	131+500	8,5	5	14	18.5	instantané	drains 2.5X2.5m + Zp+1.5m
PT H315 (Rembia test -plo2)         131+500         6.5         1         11         15.5         instantané         puge de 1.5m           R1315 (Rembia test -plo3)         131+500         6.5         1         111         15.5         instantané         daias 2.5X2.5m           R1315 (RATISI)         131+600         5.0         7         10         15         instantané         Zp+1.5m           R1376 (RATISI)         137+800         5.5         2         4         19         instantané         Zp+1.5m           R1376 (RATISI)         137+800         5.5         2         4         19         instantané         Zp+1.5m           R1376 (RATISI)         137+800         5.5         2         4         19         instantané         Zp+1.5m           R1586 (RATIST)         168+700         7.5         8.3         10         20         instantané         Zp+1.5m           R1682 (RPA1637)         168+700         8.5         11         11         12         instantané         Zp+1.5m           R1682 (RPA1637)         168+700         8.5         10.5         3.5         4         instantané         Zp+1.5m           R1670 (RPA1637)         170-3         TVx en cours         -	AF	R1315 (Remblai test - plot1')	131+500	6.5	5	11	15.5	instantané	-
POOD         R1315 (Rembailists1-pld3)         131+800         6.5         1         11         15.5         Instantané         danas 2.5/2.5m           R1315 (Rembailists1-pld3)         131+800         6.0         7         10         15         Instantané (15)         2.7H 1.5m           R1315 (Rembailists1-pld3)         137+800         5.5         2         4         19         Instantané (15)         2.7H 1.5m           R1403 (RPA1403)         140+300         5.0         5.5         17.5         -         Instantané (15)         purge 7.2 sur 2m + 2.pH 1.5m           R1586 (PRA1589)         159+500         3.0         6.4         6.5         2.9         Instantané (15)         purge 6.2m         2.pH 1.5m           R1637 (PRA1637)         163+700         7.5         12.5         12         32         Instantané (10)         Zp+1.5m           R1682 (168+200         4.5         Tvx en cours         7         13.5         Tvx en cours         -         -           R 2023 201+800         5.5         2.0         18         2.5         2.4         40         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         -         - <td< td=""><td>2</td><td>R1315 (Remblai test - plot2')</td><td>131+500</td><td>6.5</td><td>1</td><td>11</td><td>15.5</td><td>instantané</td><td>purge de 1.5m</td></td<>	2	R1315 (Remblai test - plot2')	131+500	6.5	1	11	15.5	instantané	purge de 1.5m
POD         R1315 (PRA1316)         1314800         5.0         7         10         15         instantané (15)         Zp+1.5m           R1378 (PRA1375)         1374800         5.5         2         4         19         instantané (15)         Zp+1.5m           R1378 (PRA1375)         1374800         5.0         5.5         17.5         -         instantané (15)         puge F2 su 2n + 2p+1.5m           R1688 (PRA1557)         1584800         7.5         12.5         12         32         instantané (15)         puge F2 su 2n + 2p+1.5m           R1682 (PRA1587)         1684700         8.5         11         11         12         instantané         Zp+1.5m           R1682 (PRA1587)         1684700         8.5         11         11         12         instantané         Zp+1.5m           R1682 (PRA1701)         1704900         6.5         10.5         3.5         4         instantané (10)         Zp+1.5m           R2023 2014900         5.1         2.8         2.8         55         12.8         2.8         15           R 2023 (PRA 2021)         2024100         5.1         2.8         2.3         37         drains 1.3X1.3m + 2.9+1.5m         drains 1.3X1.3m + 2.9+1.5m         drains 1.3X1.3m + 2.9+1.5m	V BPL 7	R1315 (Remblai test - plot3')	131+500	6.5	1	11	15.5	instantané	drains 2.5X2.5m
P1070         P1170         PR1376         P1170         P1170 <t< td=""><td>R1315 (PRA1316)</td><td>131+600</td><td>5.0</td><td>7</td><td>10</td><td>15</td><td>instantané (15j)</td><td>Zp+1.5m</td></t<>		R1315 (PRA1316)	131+600	5.0	7	10	15	instantané (15j)	Zp+1.5m
P         R1403 (PRA1403)         140-300         5.0         5.5         17.5         -         instantané         Zp+15m           R1586 (PRA1557)         156+600         7.5         8.3         10         20         instantané         Zp+15m           R1586 (PRA1537)         153+600         7.5         12.5         12         32         instantané         Zp+15m           R1637 (PRA1637)         163+700         8.5         11         11         12         instantané         Zp+15m           R1637 (PRA1637)         166+700         8.5         11         11         12         instantané         Zp+15m           R1637 (PRA1637)         170-300         6.5         10.5         3.5         4         instantané (10)         Zp+15m           R1703 (PRA1701)         170-300         6.5         20         18         25         dains 1.3X1.3m + Zp+1.5m           R 2023         201+600         5.5         28         23         37         dains 1.3X1.3m + Zp+1.5m         dains 1.3X1.3m + Zp+1.5m           R 2023         202+210         5.1         27         29         54         dains 1.3X1.3m + Zp+2.5m         dains 1.3X1.3m + Zp+2.5m         dains 1.3X1.3m + Zp+2.5m         dains 1.3X1.3m + Zp+2.5m         d		R1378 (PRA1375)	137+800	5.5	2	4	19	instantané	Zp+1.5m
P         R1656 (PRA1557)         156-400         7.5         8.3         10         20         instantan(15)         purge F2 sur 2m+2p+1.5m           R1595 (PRA1589)         159+500         3.0         6.4         6.5         29         instantané         Zp+1.5m           R1595 (PRA1589)         168+700         7.5         12.5         12         32         instantané         Zp+1.5m           R1671 (PRO1667)         168+700         8.5         11         11         12         instantané         Zp+1.5m           R1670 (PRA1701)         170+300         6.5         10.5         3.5         4         instantané (10)         Zp+1.5m           R2023         201+800         5.5         20         18         25         Tvx en cours         Zp+1.5m           R 2023         201+800         5.2         25         23         40         drains 1.3X1.3m + Zp+1.5m           R 2023         202400         5.1         25         27         53         drains 1.3X1.3m + Zp+1.5m           R 2023         202420         5.0         22         30         57         drains 1.3X1.3m + Zp+5.5m           R 2023         2024420         5.2         45         46         84         les tasseme	Ö	R1403 (PRA1403)	140+300	5.0	5.5	17.5	-	instantané	Zp+1.5m
R1595 (PRA1589)         159+500         3.0         6.4         6.5         29         instantané         Zp+1.5m           R1637 (PRA1637)         163+700         7.5         12.5         12         32         instantané         purgé de 2m           R1671 (PRC01667)         166+700         8.5         11         111         112         instantané         Zp+1.5m           R1602 (PRA1701)         170+300         6.5         10.5         3.5         4         instantané (10)         Zp+1.5m           R1703 (PRA1701)         170+300         6.5         10.5         3.5         4         instantané (10)         Zp+1.5m           R 2023         201+800         5.5         20         18         25         idains 1.3X1.3m + Zp+1.5m           R 2023 (PRA 2021)         202+100         5.1         28         28         55         idains 1.3X1.3m + Zp+1.5m           R 2023 (PRA 2021)         202+210         5.0         22         30         57         idains 1.3X1.3m + Zp+1.5m           R 2023 (PRA 2021)         202+200         5.1         27         29         55         idains 1.3X1.3m + Zp+2.5m           R 2023 (PRA 2021)         202+404         4.9         27         28         54         i		R1568 (PRA1557)	156+800	7.5	8.3	10	20	instantané (15j)	purge Fz sur 2m + Zp+1.5m
R1637 (PRA1637)         1634700         7.5         12.5         12         32         instantané         purge de 2m           R1671 (PR01667)         1664700         8.5         11         11         12         instantané         Zp+1.5m           R1682         188+200         4.5         TVx en cours         7         13.5         Tvx en cours         -           R1703 (PRA1701)         170+300         6.5         10.5         3.5         4         instantané (10)         Zp+1.5m           R2023         201+800         5.5         20         18         25         drains 1.3X1.3m + Zp+1.5m           R 2023         201+800         5.5         20         18         25         drains 1.3X1.3m + Zp+1.5m           R 2023 (PRA 2021)         202+110         5.1         28         28         55         drains 1.3X1.3m + Zp+1.5m           R 2023 (PRA 2021)         202+110         5.1         25         27         53         drains 1.3X1.3m + Zp+5.5m           R 2023 (PRA 2021)         202+210         5.1         27         29         54         drains 1.3X1.3m + Zp+2.5m           R 2023 (202+202)         5.2         45         46         84         etassements mearies           R 2023		R1595 (PRA1589)	159+500	3.0	6.4	6.5	29	instantané	Zp+1.5m
Rif67 (PRO1667)         166+700         8.5         11         11         12         instantané         Zp+1.5m           R1682         168+200         4.5         Tvx en cours         7         13.5         Tvx en cours         -           R1703 (PRA1701)         1704300         6.5         10.5         3.5         4         instantané (10)         Zp+1.5m           R2023         2014800         5.5         20         18         25         drains 1.3X1.3m + Zp+1.5m           R 2023         2014900         5.1         28         28         55           R 2023 (PRA 2021)         202410         5.1         25         27         53           R 2023 (PRA 2021)         2024210         5.0         22         30         57           R 2023 (PRA 2021)         2024210         5.0         27         29         54           R 2023 (PRA 2021)         202450         5.1         27         29         54           R 2023 (PRA 2021)         202450         5.1         27         29         54           R 2023 (PRA 2021)         202450         5.1         27         29         54           R 2023 (PRA 2021)         202450         5.1         27		R1637 (PRA1637)	163+700	7.5	12.5	12	32	instantané	purge de 2m
R1682         168+200         4.5         Tvx en cours         7         13.5         Tvx en cours         -           R1703 (PRA1701)         170+300         6.5         10.5         3.5         4         instantané (10)         Zp+1.5m           RE-R1/RE-R2         180+150         7.0         Tvx en cours         7         13.5         Tvx en cours         Zp+1.5m           R 2023         201+900         5.5         20         18         25         drains 1.3X1.3m + 2p+1.5m           R 2023         201+900         5.5         28         23         37         drains 1.3X1.3m + 2p+1.5m           R 2023 (PRA 2021)         202+210         5.1         25         27         53         drains 1.3X1.3m + 2p+1.5m           R 2023 (PRA 2021)         202+210         5.0         22         30         57         drains 1.3X1.3m + 2p+2.5m           R 2023         202+350         5.0         27         29         54         drains 1.3X1.3m + 2p+2.5m           R 2023         202+620         5.2         45         46         84         ets tassements mesurés           R 2023         202+725         5.0         46         45         83         drains 1.3X1.3m + 2p+2.5m           R 2023		R1671 (PRO1667)	166+700	8.5	11	11	12	instantané	Zp+1.5m
R1703 (PRA1701)         170+300         6.5         10.5         3.5         4         instantané (10)         Zp+1.5m           RE-R1/RE-R2         180+150         7.0         Tvx en cours         7         13.5         Tvx en cours         Zp+1.5m           R 2023         201+800         5.5         20         18         25         drains 1.3X1.3m + Zp+1.5m           R 2023         202400         5.1         28         28         55         drains 1.3X1.3m + Zp+1.3m           R 2023 (PRA 2021)         202+110         5.5         28         23         37           R 2023 (PRA 2021)         202+210         5.1         25         27         53           R 2023 (PRA 2021)         202+420         5.1         27         29         54           R 2023 (PRA 2021)         202+430         5.1         27         29         55           R 2023 (PRA 2023)         202+440         4.9         27         28         54           R 2023 (PRA 2023)         202+420         5.2         45         46         84           les tassements mesurés         forains 1.3X1.3m + Zp+2.5m         drains 1.3X1.3m + Zp+2.5m         drains 1.3X1.3m + Zp+7.5m + banquettes de 31m           R 2023 (PRA 2023) <t< td=""><td></td><td>R1682</td><td>168+200</td><td>4.5</td><td>Tvx en cours</td><td>7</td><td>13.5</td><td>Tvx en cours</td><td>-</td></t<>		R1682	168+200	4.5	Tvx en cours	7	13.5	Tvx en cours	-
RE-R1/RE-R2         180+150         7.0         Tvx en cours         7         13.5         Tvx en cours         Zp11.5m           R 2023         201+800         5.5         20         18         25         drains 1.3X1.3m + Zp+1.5m           R 2023         201+900         5.2         25         23         40         drains 1.3X1.3m + Zp+1.3m           R 2023         2024000         5.1         28         28         55         drains 1.3X1.3m + Zp+1.9m           R 2023 (PRA 2021)         202+110         5.5         28         23         37         drains 1.3X1.3m + Zp+5m           R 2023 (PRA 2021)         202+210         5.1         25         27         53           R 2023         202+210         5.0         27         29         54           R 2023         202+450         5.1         27         29         55           R 2023         202+620         5.2         45         46         84           R 2023         202+620         5.2         45         46         84           R 2023         202+620         5.2         45         46         84           R 2023         202+620         5.2         45         56         56		R1703 (PRA1701)	170+300	6.5	10.5	3.5	4	instantané (10j)	Zp+1.5m
R         2023         201+900         5.5         20         18         25           R         2023         201+900         5.2         25         23         40           R         2023         202+000         5.1         28         28         55           R         2023 (PRA 2021)         202+110         5.5         28         23         37           R         2023 (PRA 2021)         202+210         5.1         25         27         53           R         2023 202+200         5.0         22         30         67           R         2023 202+230         5.0         27         29         54           R         2023 202+400         4.9         27         28         54           R         2023 202+450         5.2         45         46         84           R         2023 202+620         5.2         45         46         84           R         2023 202+725         5.0         46         45         83           R         2023 202+830         4.7         62         59         105         les tassements sont ecalulés avec cette de 31m         drains 1.3X1.3m + 2p+7.5m + banquettes de 31m         drains 1.3X1.3m + 2		RE-R1/RE-R2	180+150	7.0	Tvx en cours	7	13.5	Tvx en cours	Zp+1.5m
R         2023         2014900         5.2         25         23         40           R         2023         2024000         5.1         28         28         55           R         2023 (PRA 2021)         2024100         5.1         28         23         37           R         2023 (PRA 2021)         2024210         5.1         25         27         53           R         2023         2024270         5.0         22         30         57           R         2023         2024300         5.1         27         29         54           R         2023         2024620         5.2         45         46         84           R         2023         2024830         4.7         62         59         105           Ies tass		R 2023	201+800	5.5	20	18	25		drains 1.3X1.3m + Zp+1,5m
Nome         R         2023         2024000         5.1         28         28         55           R         2023 (PRA 2021)         202+110         5.5         28         23         37           R         2023 (PRA 2021)         202+210         5.1         25         27         53           R         2023 (PRA 2021)         202+270         5.0         22         30         57           R         2023         202+350         5.0         27         29         54           R         2023         202+440         4.9         27         28         54           R         2023         202+530         5.1         27         29         55           R         2023         202+530         5.1         27         29         55           R         2023         202+620         5.2         45         46         84         est assements mesures           R         2023         202+725         5.0         46         45         83         drains 1.3X1.3m + 2p+7.5m + banquettes de 31m           R         2039         204+190         6.3         90         93         121         est assements sont         drains 1.3X1.3m + 2p+7	5	R 2023	201+900	5.2	25	23	40		drains 1.3X1.3m + Zp+1,3m
R         2023 (PKA 2021)         2024110         5.5         28         23         37           R         2023 (PRA 2021)         2024210         5.1         25         27         53           R         2023 (PRA 2021)         2024210         5.1         25         27         53           R         2023 (202430         5.0         22         30         57           R         2023 (202430         5.0         27         29         54           R         2023 (2024630         5.1         27         29         55           R         2023 (2024620         5.2         45         46         84           R         2023 (2024620         5.2         45         46         84           R         2023 (2024725)         5.0         46         45         83           R         2023 (2024725)         5.0         46         45         83           R         2023 (2024725)         5.0         46         45         83           R         2039 (204490)         6.3         90         93         121           Particle area         2064480         18.2         55         56         56	20	R 2023	202+000	5.1	28	28	55		drains 1.3X1.3m + ∠p+1,9m
Propose         R 2023 (PKA 2021)         202+210         5.1         25         27         53           R 2023         202+210         5.1         25         27         53           R 2023         202+270         5.0         22         30         57           R 2023         202+30         5.0         27         29         54           R 2023         202+440         4.9         27         28         54           R 2023         202+530         5.1         27         29         55           R 2023         202+620         5.2         45         46         84           R 2023         202+725         5.0         46         45         83           R 2063         206+80         18.2         55         56         56           R 2063         206+560         16	A	R 2023 (PRA 2021)	202+110	5.5	28	23	37		drains 1.3X1.3m + ∠p+5m
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	2	R 2023 (PRA 2021)	202+210	5.1	25	27	53		drains 1.3X1.3m + 2p+5,5m
R         202         202+330         3.0         27         29         34           R         2023         202+440         4.9         27         28         54           R         2023         202+430         5.1         27         29         55           R         2023         202+620         5.2         45         46         84           R         2023         202+620         5.2         45         46         84           R         2023         202+725         5.0         46         45         83           R         2023         202+725         5.0         46         45         83           R         2023         202+725         5.0         46         45         83           R         2033         202+830         4.7         62         59         105         les tassements mesurés tabout at 0 c = 7 CV labou at 31.3m + 2p+7.5m + banquettes de 31m         drains 1.3X1.3m + 2p+7.5m + banquettes de 31m           R         2039         204+190         6.3         90         93         121         recalculés avec cette demière relation         drains 1.3X1.3m + 2p+7.5m + banquettes de 31m           R         2063         206+560         16.6 <td><u>+</u></td> <td>R 2023</td> <td>202+270</td> <td>5.0</td> <td>22</td> <td>30</td> <td>57</td> <td></td> <td>drains 1.3×1.311+2p+2,311</td>	<u>+</u>	R 2023	202+270	5.0	22	30	57		drains 1.3×1.311+2p+2,311
R         2023         202+440         49         27         28         34         conception faite avec Cr = dialis 1.3X1.3II + 2.p+2,5III           R         2023         202+630         5.1         27         29         55         5 CV labo           R         2023         202+620         5.2         45         46         84         conception faite avec Cr = dialis 1.3X1.3II + 2.p+2,5III           R         2023         202+725         5.0         46         45         83         correspondent à Cr = 7 Cu labo         drains 1.3X1.3II + 2.p+7,5III + banquettes de 31m           R         2023         202+830         4.7         62         59         105         les tassements menués correspondent à Cr = 7 Cu labo         drains 1.3X1.3II + 2.p+7,5III + banquettes de 31m           R         2039         204+190         6.3         90         93         121         recalculés avec cette demière relation         drains 1.3X1.3II + 2.p+7,5III + banquettes de 31m           R         2063         206+560         16.6         23         26         25         56         56           R         2063         206+560         16.6         23         26         25         69         drains 1.3X1.3III + 2.p+3,5III + purge 2IIII + banquettes de 15IIII	oro	R 2023	202+350	5.0	27	29	54		drains 1.3×1.311+2p+2,311
R         202         202+300         3.1         2.1         2.3         3.0         5 CV labo         datas 1.3X1.3m + Zp+7,5m + banquettes de 31m           R         2023         202+225         5.0         46         45         83         les tassements mesurés correspondent à C = 7 Cu labo         drains 1.3X1.3m + Zp+7,5m + banquettes de 31m           R         2023         202+830         4.7         62         59         105         les tassements mesurés correspondent à C = 7 Cu labo         drains 1.3X1.3m + Zp+7,5m + banquettes de 31m           R         2039         204+190         6.3         90         93         121         les tassements sont reculeis avec culeis avec cules avec culeis avec cules avec culeis avec cules avec culeis avec cules avec c	Ž	R 2023	202+440	4.9	27	28	55	conception faite avec Cr =	drains 1.3X1.3m + Zp+2,5m
R         2023         202+620         5.2         45         46         84         les tassements mesurés correspondent à Cr = 7 Cu labo         Correspondent à Cr = 7 Cu lab	ы	11 2020	2021000	0.1	21	25	00	5 CV IADO	drains 1.3X1.3m + 7p+7.5m +
R         2023         202+725         5.0         46         45         83         correspondent a C = 7 CV         duals is AX.3.11 + 2.P7.3.11 + 2.P	ouç	R 2023	202+620	5.2	45	46	84	les tassements mesurés	banquettes de 31m
R         2023         202+830         4.7         62         59         105         lest assements sont recalcules avec cette demière relation         drains 1.3X1.3m + Zp+7.5m + banquettes de 17m           R         2039         204+190         6.3         90         93         121         lest assements sont recalcules avec cette demière relation         drains 1.3X1.3m + Zp+7.5m + banquettes de 28m           R         2063         206+480         18.2         55         56         56           R         2063         206+560         16.6         23         26         25         drains 1.3X1.3m + Zp+3.5m + purge 2m + banquettes de 15m           R         208+200         11.4         40         42         69         drains 1.3X1.3m + Zp+3.5m + purge 2m + banquettes de 17m           R         208+280         12.0         25         26         42         2m + banquettes de 17m	- tr	R 2023	202+725	5.0	46	45	83	correspondent à Cr = 7 Cv labo	banquettes de 31m
R         2039         204+190         6.3         90         93         121         recalculés avec cette demière relation         drains 1.3X1.3m + Zp+7,5m +banquettes de 28m           R         2063         206+480         18.2         55         56         56         56         100	' Kenitra - Tanger	R 2023	202+830	4.7	62	59	105	les tassements sont	drains 1.3X1.3m + Zp+7,5m + banquettes de 31m
R         2063         206+480         18.2         55         56         56           R         2063         206+560         16.6         23         26         25           R         2082         208+200         11.4         40         42         69           R         2082         208+280         12.0         25         26         42		R 2039	204+190	6.3	90	93	121	recalculés avec cette dernière relation	drains 1.3X1.3m + Zp+7,5m +banquettes de 28m
R         2063         206+560         16.6         23         26         25           R         2082         208+200         11.4         40         42         69         drains 1.3X1.3m + Zp+3,5m + purge 2m + banquettes de 17m           R         2082         208+280         12.0         25         26         42		R 2063	206+480	18.2	55	56	56		drains 1.3X1.3m + Zp+3.5m + purge 2m + banquettes de 15m
Image: Constraint of the second sec		R 2063	206+560	16.6	23	26	25		drains 1.3X1.3m + Zp+0,8m + purge 2m + banquettes de 15m
R 2082         208+280         12.0         25         26         42         drains 1.3X1.3m + Zp+3,5m + purge           2m + banquettes de 17m	LGV	R 2082	208+200	11.4	40	42	69		drains 1.3X1.3m + Zp+3,5m + purge 2m + banquettes de 17m
		R 2082	208+280	12.0	25	26	42		drains 1.3X1.3m + Zp+3,5m + purge 2m + banquettes de 17m



# 5.1. LGV Est 1ère Phase, LGV Rhin Rhône

Les résultats présentés sur la figure 1 convergent avec les résultats des remblais d'essais de la LGV EST 1ère phase (Boutonnier et al., 2005) et de la LGV Rhin Rhône (Boutonnier et al., 2012). Ces remblais d'essais ont permis de supprimer des drains inutiles.

#### 5.2. LGV Est 2ème Phase – lot 41

Sur le lot 41, les terrains sont peu à moyennement compressibles. Les formations récentes (alluvions) les plus compressibles ont été purgées. Les résultats présentés concernent donc essentiellement des formations marneuses altérées (plus

d'informations sont données par Boutonnier et al., 2013) qui évoluent vers des argiles plus ou moins plastiques.

# 5.3. LGV Kenitra – Tanger (Maroc)

Les résultats présentés ici concernent quatre des remblais de préchargement du Tronçon Nord de la LGV Kenitra Tanger actuellement en cours de construction. Ils traversent de larges vallées compressibles proches des estuaires de petits fleuves côtiers. Les sols sont des sols fins relativement peu argileux (passant à 2 m de l'ordre de 20 à 30%), moyennement plastique (IP=30 à 40), généralement assez ferme (Cu > 70 kPa), mais présentant des passages nettement plus mous et vasards. Leur épaisseur, sur les remblais présentés ici, va de 7 à 22m pour des remblais atteignant une hauteur considérable (plus de 15m). Les nombreuses données disponibles dans les zones compressibles ont permis d'établir les corrélations Cu = qc / 12.5 dans les passages vasards, et Cu = qc / 16 dans les sols plus fermes. Les Cu ont ainsi été évalués sur la base de CPT et de quelques scissomètres.

L'analyse des mesures de tassement a permis de valider une corrélation Cu /  $\Box$ 'p = 0.36. Les essais œdométriques (dépouillés par la méthode de Taylor) n'ayant pas permis de déterminer de dépendance de Cv avec le niveau de contrainte, le projet a été réalisé en considérant la valeur minimale de Cv pour chaque couche de sol et un rapport Cr / Cvlabo = 5. L'analyse des courbes de tassement montre que le rapport est en réalité plus proche de 7. Les résultats présentés ici montrent une très bonne corrélation entre mesures et prédictions

#### 5.4. LGV Bretagne – Pays de Loire

Les ouvrages de la LGV BPL présentés sont essentiellement situés au droit de terrains moyennement à peu compressibles, issus de l'altération du substratum schisteux (Briovérien). Cette altération est très peu plastique avec des passants moyens à 80 µm de 50% et des lp de l'ordre de 10 (matériaux de classe GTR essentiellement A1 mais aussi B5 et A2). Compte tenu de la nature peu compressible de ces sols, les Cu ont été évalués essentiellement d'après des pressiomètres mais également de quelques CPT. On constate que la méthode de recalage des paramètres fournit des résultats légèrement majorés (environ 30% en moyenne) par rapport aux valeurs mesurées mais toujours nettement plus proches que les valeurs issues des essais de laboratoire. La corrélation est donc sensiblement moins précise que pour les autres projets étudiés ce qui s'explique d'abord par les faibles amplitudes de tassements (5 à 12 cm mesurés) qui majorent relativement des écarts faibles en absolu. Cet écart pourrait être lié à la nature très peu plastique et non argileuse de ces matériaux. Dans ce cas, on s'éloigne à la fois des domaines d'application des corrélations et des lois de comportement basées sur le concept d'état limite présentées au paragraphe 2.

#### 6. Conclusion

L'approche de recalage des paramètres de calculs des amplitudes et des durées de tassements se base sur le retour d'expérience (mesures des tassements effectifs) obtenu sur de nombreux projets d'infrastructures ferroviaires. Ces résultats sont exploités par le biais d'une approche théorique permettant d'identifier les paramètres à recaler et la méthode pour le faire. Cette démarche a montré sa pertinence sur plusieurs projets récents pour lesquels elle a permis d'aboutir à une estimation plus juste des tassements sans pour autant être trop optimiste, écartant ainsi le risque d'un sous-dimensionnement des ouvrages. In fine cela a permis sur ces projets d'optimiser les dispositions constructives relatives aux problématiques de consolidation.

#### Références bibliographiques

Barron R.A. (1947). Consolidation of fine grained soils by drain wells, ASCE J. SMFD, vol.73, 811-835.

- Bat A., Blivet J.C. (2000). Incidence de la procédure de prélèvement des sols fins sur les caractéristiques géotechniques mesurées en, Revue Française de Géotechnique, N° 91, 3-12.
- Boutonnier L. (2009). Prise en compte de la non saturation dans l'interprétation de l'essai œdométrique, XVIIème Congrès International de Mécanique des Sols et de la Géotechnique, Alexandrie, 5-9 octobre 2009.
- Boutonnier L., Guerpillon Y. (2005). Reconnaissances géotechniques et critères en déformation dans la conception des ouvrages en terre des lignes ferroviaires à grande vitesse. Géoline 2005, Lyon, 23-25 mai 2005. Communication et présentation en session plénière. Editeurs M. Arnould et P. Ledru, BRGM, Orléans, 1 volume, 298 pages.
- Boutonnier L., Hajouai F., Bacaar N., Gandille D. (2013). LGV EST lot 41 : tassements calculés puis mesurés sous remblai, XVIIIème Congrès International de Mécanique des Sols et de la Géotechnique, Paris, 2-6 septembre 2013, 1233-1236, http://www.geotechfr.org/sites/default/files/congres/cimsg/1233.pdf
- Boutonnier L., Mollier T., Zorpi M., Vélasque P.-C. (2012). Les terrassements et les difficultés géotechniques rencontrées. Travaux n°892, numéro spécial LGV Rhin Rhône, novembre 2012, 24-27.
- Boutonnier L., Virollet M. (2001) Nouvelles tables de poussée et de butée dans les sols surconsolidés. Comptes rendus du XVème congrès international de Mécanique des Sols et de la Géotechnique, Istanbul, Balkema, 1095-1098.
- Burland J.B. (1965). The yielding and dilation of clay, Geotechnique, vol. 15 (2), 211-214.
- Cassan M. (1978). Les essais in situ en mécanique des sols, Eyrolles.
- Leroueil S., Magnan JP., Tavenas F. (1985). Remblais sur argiles molles, Tec & Doc, Lavoisier.
- Magnan J.P. (1984). Modélisation numérique du comportement des argiles molles, Thèse de doctorat, Université Paris VI, Paris.

Mitchell JK. (1992). Fundamental of soil behaviour, Second Edition, John Wiley & Sons.

Roscoe K.H., Schofield A.N., Wroth C.P. (1958). On the yielding of soils, Geotechnique, vol. 8, 22-53.

- Savatier V., Deluzarche R., Esteulle I., Mirallès JF, Lecoeur M. (2012). Variations avec la profondeur du terme de pointe pénétrométrique et détermination des paramètres de consolidation des sols cohérents, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur, JNGG2012, Bordeaux, 141-148.
- Skempton A.W., Northey R.D. (1952). The sensitivity of clays, Geotechnique, vol. 3, n°1, 30-53.
- Skempton A.W. (1954). The pore pressure coefficients A and B, Geotechnique, vol.4, 143-147
- Tavenas F., Leroueil S. (1979). Les concepts d'état limite et d'état critique et leurs applications pratiques à l'étude des argiles, Revue française de Géotechnique, n°6, 27-49.
- Tavenas F., Leroueil S. (1980). The behaviour of embankments on clay foundations, Canadian Geotechnical Journal, vol. 17 (2), 236-260.