

ANALYSE DES TASSEMENTS ET TEMPS DE CONSOLIDATION SUR LE PROJET LGV-MAROC : COMPARAISON DU REEL AU PREVISIONNEL

Fouzia KASSOU ; Jamal BEN BOUZIYANE ; Abdessamad GHAFIRI ; Abdelhak SABIHI

Résumé : Cet article présente une approche permettant d'évaluer les tassements et la vitesse de tassement sous les remblais construits en zones compressibles. L'analyse est effectuée en exploitant les mesures des tassements dans plusieurs remblais de la ligne à grande vitesse reliant deux villes marocaines Tanger et Assilah. Il en découle que pour le calcul des tassements, la méthode élastique à module pressiométrique est nettement meilleure que la méthode œdométrique à indice de (re)compression. Par ailleurs, la vitesse des tassements peut être estimée avec une bonne précision en utilisant la corrélation entre C_v et W_l de US-Navy, et en considérant que le sol est isotrope ($C_r = C_v$).

Mots clés : Zone compressible, Consolidation verticale, Consolidation Radiale, Drains Verticaux, Préchargement, Remblai LGV, Coefficient de consolidation Verticale, Coefficient de consolidation Radiale, Instrumentation.

ABSTRACT: This paper presents a method to estimate settlements and settlement rates under embankments on soft soils. Settlement measurements in several embankments in High Speed Railway project between two Moroccan cities, Tanger and Assilah, have been analyzed. It shows that the elastic method within the pressurimeter modulus results in values of settlements with an accuracy better than the oedometric method. Furthermore, settlement rates can be determined with fair accuracy by using the consolidation coefficient C_v given by the US-Navy correlation between C_v and W_l , and by considering the behavior of soil as isotropic ($C_v = C_r$).

Introduction

La construction en zones compressibles nécessite la vérification, pendant et après la construction, que le sol de fondation se comporte bien comme prévu. Or, souvent, les mesures en place montrent l'insuffisance des méthodes théoriques et la nécessité d'adapter les méthodes de calcul au comportement constaté. Dans le projet de la Ligne à Grande Vitesse reliant la ville de Tanger à Kenitra, le tracé de la ligne traverse plusieurs zones à caractère compressible. D'après les évaluations théoriques des tassements et de la vitesse de consolidation, des solutions de traitement s'imposent, allant de la technique de préchargement seul jusqu'à l'utilisation des inclusions rigides, en

passant par les drains verticaux et les colonnes ballastées. Pendant les travaux, les mesures de tassement effectuées indiquent que les amplitudes de tassement calculées en utilisant la méthode œdométrique sont surestimées, et que l'évolution des tassements dans le temps est plus rapide en réalité par rapport aux prévisions. Le présent travail propose une méthode de recalage qui a pour objectif de minimiser les écarts entre les mesures et les prévisions moyennant : 1) l'utilisation de la méthode élastique à module pressiométrique pour évaluer les tassements.

2) l'estimation de C_v en exploitant l'abaque de US-Navy qui donne une corrélation entre C_v et W_L , puis l'adoption d'un rapport entre C_v et C_r égal à 1 traduisant ainsi un comportement du sol isotrope. La méthode est ensuite appliquée à quatre remblais instrumentés du projet LGV-MAROC et montre des résultats concluants.

Description du site, des remblais et du sol de fondation

Site

D'après les cartes géologiques de Tanger, d'Assilah et de la chaîne rifaine, le contexte géologique de ce secteur se caractérise par la dominance des pélites, des silts coquilliers, des alluvions et des colluvions. Le site est caractérisé également par l'existence de larges vallées compressibles proches des estuaires de petits fleuves côtiers. Le niveau de la nappe phréatique varie en fonction des conditions climatiques, son niveau maximal atteint celui du terrain naturel.



Figure 1 : plan de situation du projet LGV



Figure 2: site du remblai 3119

Remblais

Quatre remblais de préchargement, R2288, R3058, R3078 et R3119, ont été édifiés entre 2014 et 2015 sur des argiles moyennement plastiques, généralement assez fermes, mais présentant des passages nettement plus mous et vasards. La hauteur des remblais varie de 6m à 11m et l'épaisseur des couches compressibles est entre 6m à 22m. Le sol de fondation des quatre remblais a été traité à l'aide de drains verticaux plats de diamètre équivalent $\Phi_{\text{équivalent}} = 5\text{cm}$. avec un maillage variant de (1.3x1.3) à (2.5x2.5). La profondeur des drains allant de 8m à 20m.

Sol de fondation

De nombreux essais in situ et au laboratoire ont été répartis sur toutes les zones des remblais en question. 2 scissomètres ; 17 sondages carottés ; 24 sondages pressiométriques ; 13 pénétromètres stato-dynamiques ; 55 sondages à la pelle mécanique ; 3 sondages à la tarière et 1 sondage destructif. Les essais oedométriques et les essais d'identification ont été effectués systématiquement sur tous les échantillons. Les caractéristiques mécaniques à prendre en compte pour les études de stabilité, et les paramètres de

compressibilité et de consolidation des sols sont déduits des essais de laboratoire dès lors que leur validité et leur représentativité ont été avalisées. Néanmoins, pour éviter l'effet du remaniement des échantillons, l'estimation de C_u est faite sur la base des corrélations à partir des essais in situ, tels que le scissomètre, le pressiomètre et le

pénétrömètre statique (Cassan 1978). En outre, puisque le remaniement affecte aussi la valeur de la pression de préconsolidation σ'_p , l'évaluation de cette dernière est effectuée via la normalisation de la cohésion non drainée C_u , par la relation suivante : $\sigma'_p = \frac{C_u}{0.36}$ (Leroueil et al.1985). Les résultats sont donnés dans le tableau 1.

remblai	caractéristiques in situ										paramètres de compressibilité			
	Couche de sol	δ (kN/m ³)	Wl (%)	pl* (MN)	EM (Mpa)	α	Qc (Mpa)	Cu (kPa) correlée avec PI*; CPT ou Su	σ'_p (kPa)		e0	Cc	Cs	Cv (m ² /s)
									Non correlée	correlée avec Cu				
R2288	Argile surconsolidée	20		0,8	4	0,67	1,5	96		320	0,64	0,31	0,078	4,3x10 ⁻⁸
	Argile légèrement	20	44-48	0,5	3,3	0,67	1,2	72	195	240	0,64	0,31	0,078	4,3x10 ⁻⁸
	Vase	19	40-55	0,29	1	0,67	0,4	26	35-130	87	1,03	0,48	0,12	8,2x10 ⁻⁹
	Argile limoneuse	20	59	0,8	3,4	0,67	1	66	200	220	1,03	0,24	0,075	2,1x10 ⁻⁸
	Alluvions	20	59	1,8	10	0,25	3	-	-		calcul pressiométrique			
	Silts coquillers	19		3,7	25	0,5		-	-		calcul pressiométrique			
	Argile pélitique	19	66	2,33	25,3	0,67		110	250	366	0,82	0,19	0,072	1,2x10 ⁻⁷
	Pélite grise							-	-		substratum incompressible			
R3058	argile brune	18	24-79	0.41	4,56	0,67	2,5	70	120-200	233	1,165	0,26	0,06	4x10 ⁻⁸
	argile marneuse	18	46-60	0.75	7,7	0,67	2,3	70	130-260	233	1,041	0,33	0,09	4x10 ⁻⁸
	pélites altérées	20	35-87	1.2	18	0,67		100	210-310	333	-	-	-	6,4x10 ⁻⁸
	pélite grise										substratum incompressible			
R3078	argile, blocs et éboulis	20	50-96	0,64	8,10	0,67				270	0,922	0,28	0,069	5,72x10 ⁻⁸
	argile pélitique	20	62-81	1,03	14,31	0,67				370	0,171	0,36	0,099	7,97x10 ⁻⁷
	Pélite grisâtre										substratum incompressible			
R3119	argile, blocs et éboulis	18	31-47		5.01	0.67		83	61	276	0.674	0.216	0.01	6.11x10 ⁻⁸
	Alluvions lâches	19			4.81	0.67		80						
	Alluvions denses	22			10	0.67		105		350	0.344	0.2	0.036	8x10 ⁻⁸
	argile pélitique	18	42-74		20.23	0.67		115		383	0.769	0.26	0.022	1.3x10 ⁻⁷
	Pélite schistosée		59-65								substratum incompressible			

Tableau 1: caractéristiques mécaniques des sols de fondation

Calculs des tassements et de la vitesse de tassement

Tassements

Les calculs des tassements prennent en compte la charge apportée par le remblai ainsi que, en configuration définitive, la charge d'exploitation ferroviaire de 30 kPa, appliquée sur la largeur de la plateforme. Le tableau 1 donne les valeurs de la contrainte de préconsolidation σ_p avant et après correction ainsi que la contrainte totale pour chaque profil. Avec cette hypothèse, la majorité des sols de fondation des remblais objets de cette étude se trouvent plutôt dans un état surconsolidé même sous la charge du projet en configuration définitive. Parallèlement, un calcul des tassements est mené par la méthode élastique à module pressiométrique E_m . Dans cette méthode, les tassements peuvent être estimés en considérant le remblai comme

une semelle de longueur infinie, par application de la formule suivante :

$$\int_0^h \frac{\alpha(z) \cdot \Delta \sigma(z)}{E(z)} dz \quad \text{Où :}$$

$\Delta \sigma(z)$: surpression verticale permanente à la profondeur z due au remblai,

$E(z)$: module pressiométrique à la profondeur z ,

$\alpha(z)$: coefficient rhéologique dépendant de la nature du sol à la profondeur z .

h : épaisseur de la couche

Le tableau 2 récapitule les valeurs obtenues par les deux méthodes de calcul pour le tassement final dans les profils instrumentés, ainsi que les amplitudes de tassement observés sur le terrain. Il se voit clairement que la méthode élastique à module pressiométrique fournit des résultats nettement meilleurs que ceux de la méthode œdométrique à indice de (re)compression.

Remblai	Profil	$S_{\text{élastique}}$ (cm)	S_{oedo} (cm)	$S_{\text{réel}}$ (cm)	$S_{\text{élastique}}/S_{\text{réel}}$	$S_{\text{oedométrique}}/S_{\text{réel}}$
Remblai Gharifa 2288	PR228+500	7	21	5,7	1,16	3.68
	PR228+600	25	43	47	0,54	0.91
	PR228+750	76	65	55,6	1,37	1.17
	PR228+850	91	75	43,5	2,10	1.72
	PR228+920	95	81	46,4	2,04	1.74
Remblai 3058	PR305+500	13	22	Non achevé	-	-
	PR305+680	15	28	18,6	0,83	1,53
	PR305+760	20	31	20,7	0,96	1,49
	PR305+900	15	27	12,6	1,23	2,13
	PR306+000	15	27	14,3	1,07	1,87
	PR306+100	17	27	14,5	1,20	1,87
	PR306+200	19	27	12,9	1,50	2,09
	PR306+320	16	25	12,3	1,34	2,08
	PR306+400	14	25	11,9	1,15	2,09
Remblai 3119	PR310+500	14.2	19.5	19	0,75	1,02
	PR310+700	10	15	9,5	1,04	1,56
	PR310+900	26	25	14,1	1,83	1,80
	PR311+060	19	23	15	1,26	1,52

	PR311+300	7	13	9,1	0,81	1,47
	PR311+500	8	14	9,5	0,87	1,52
	PR311+700	10	14	9.5	1,05	1.47

Tableau 2: amplitudes de tassements selon les deux méthodes œdométrique et élastique

Vitesse des tassements

En premier lieu du projet, le calcul des vitesses de tassement a été effectué par la méthode classique en distinguant le cas du préchargement seul du cas du préchargement associé à un drainage vertical. En l'absence de drains verticaux, la vitesse des tassements a été décrite dans le cadre de la théorie de la consolidation unidimensionnelle de Terzaghi (1925), avec le choix de la méthode de Taylor pour le dépouillement du C_v à partir de l'essai œdométrique. Dans le cas d'un modèle multicouches, le calcul a été réalisé à partir du coefficient de consolidation équivalent (C_{vm}) défini par la formule d'Absi (1965). Dans le cas des drains verticaux et à défaut de données fiables sur le rapport entre la perméabilité horizontale et verticale, les calculs ont été menés au départ, dans le cadre du projet LGV, avec une hypothèse classique de calage $C_r = 5 C_v$, sans aucune hypothèse explicite sur l'anisotropie. L'évaluation du facteur temps en fonction du degré de consolidation est effectuée à partir des abaques de Terzaghi (1925) et de Barron (1947).

Dans cet article, une autre approche est proposée pour le cas des drains verticaux; le calcul est fait en exploitant les courbes de C_{vnc} et C_{vsc} en fonction de Wl données par le Manuel (NAVFAC DM-7.1, 1982), présenté à la figure 3. Une fonction

approximant les valeurs C_{vnc} : $C_{vnc} = 26.917 \times Wl^{-2.57}$ est donnée à la figure 4. Lorsqu'il s'agit d'un sol surconsolidé, C_{vnc} est multiplié par le rapport C_{vsc}/C_{vnc} déduit de la courbe limite donnée par le même abaque.

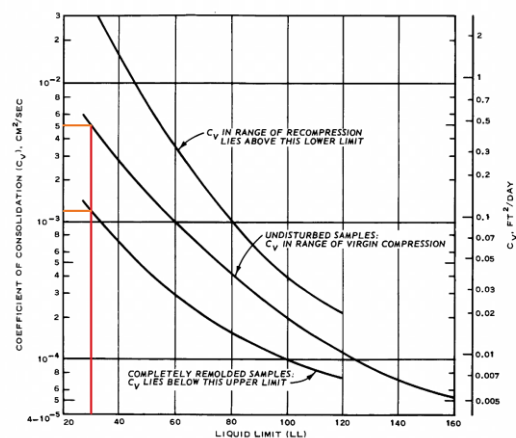


Figure 3: C_v en fonction de Wl (d'après l'US Navy 1982)

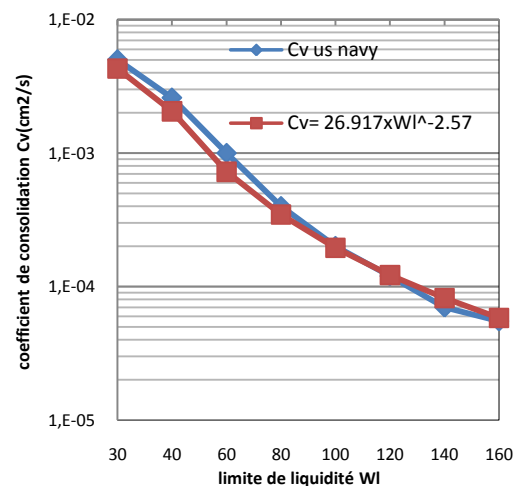


Figure 4: fonction approximant le coefficient C_{vnc} de l'US Navy

Par ailleurs, contrairement à la méthode classique, l'hypothèse $C_r = C_v$ est jugée valable malgré que la plupart des sols

objets de cette étude soient surconsolidés. En effet, théoriquement, le rapport entre ces deux coefficients n'est autre que le rapport entre la perméabilité horizontale et verticale. En d'autres termes, il est directement lié à l'anisotropie du sol. (Mariotti, 1976) a représenté différentes structures de sols argileux à compacités égales en signalant que la structure peut, selon le processus de consolidation, être ordonnée, non ordonnée ou hétérogène mixte. Par conséquent, Vu que les sols étudiés sont des dépôts récents initialement lâches, leur sur-consolidation ne peut être due qu'à l'effet de la dessiccation. Ils ont donc une structure non ordonnée, pseudo-isotrope, et leur degré de consolidation reste modeste. Et pour trancher sur cette question, plusieurs tentatives de calage ont été faites en supposant un rapport $C_r/C_v \neq 1$ allant de 2 jusqu'à 12, ensuite des courbes de $t_{50\text{anisotrope}}/t_{50\text{isotrope}}$ en fonction de k_h/k_v (figure 5) ont été tracées et comparées à celles représentée dans le Manuel (NAVFAC DM-7.1, 1982). Les résultats ont montré que les courbes du projet se situent très en dessous de celles proposées par le manuel, traduisant ainsi une durée de consolidation beaucoup plus rapide. Cette réalité a donc imposé un rapport $C_r/C_v=1$.

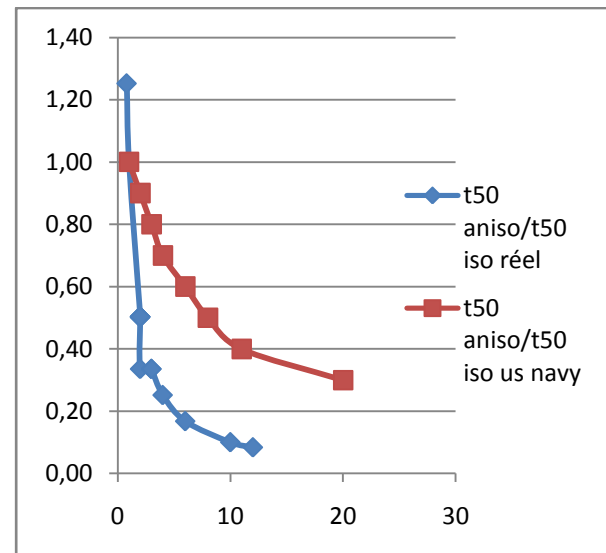


Figure 5: courbes de $t_{50\text{anisotrope}}/t_{50\text{isotrope}}$ en fonction k_h/k_v

Dans le cas d'un sol surconsolidé, Il est considéré en première approche que 50 % du tassement est consommé au cours de la montée du remblai. Le reste du tassement est consommé selon un rythme imposé par le C_{vSC} ou le C_{vNC} selon que le sol reste surconsolidé ou devient normalement consolidé sous la charge du projet. Le tableau 3 donne les durées de préchargement calculées, par les deux méthodes, selon la solution du traitement recommandée et qui respecte les critères de dimensionnement du réseau ferré marocain, à savoir 10 cm de tassement résiduel sur 25 ans avec une vitesse inférieure à 1 cm par an dès réception du génie civil.

REMBLAI	profil	hauteur de préchargement (m)	maillage des drains verticaux (m x m)	profondeur de purge (m)	Durée de préchargement	
					Méthode classique	Approche proposée
R2288 RHARIFA	PR 228+500	2,72	(2x2)		8 mois	4,5 MOIS
	PR 228+600	10,8	(1,3x1,3)		15 mois	2 MOIS
	PR 228+750	10,8	(1,3x1,3)		15 mois	2 MOIS
	PR 228+850	9,8	(1,3x1,3)		15 mois	2 MOIS
	PR 228+920	10,5	(1,3x1,3)		15 mois	2 MOIS
R3058	PR305+680	7	(1,7x1,7)		2 mois	8 MOIS

	PR305+760	7	(1,7x1,7)		2 mois	8 MOIS
	PR305+900	6	(1,7x1,7)		2 mois	8 MOIS
R3078	PR 307+886	10,5	(1,5x1,5)	2,7	1 mois	1 MOIS
R3119	PR 310+500	5,34	(2,5x2,5)		5 MOIS	2 MOIS
	PR 310+700	7,44	(2,5x2,5)		5 MOIS	2 MOIS
	PR 310+820	8,66	(2,5x2,5)	1	2 mois	2 MOIS
	PR 310+900	9,51	(2,5x2,5)		5 MOIS	2 MOIS
	PR 311+067	11,5	(2,5x2,5)	5	2 mois	2 MOIS
	PR 311+300	7,5	(2,5x2,5)		5 MOIS	2 MOIS
	PR 311+500	5	(2,5x2,5)		5 MOIS	2 MOIS
	PR 311+700	4,48	(2,5x2,5)		5,5 MOIS	2 MOIS
	PR 311+800	11		5	6 mois	2 MOIS
	PR 311+950	11		5	6 mois	2 MOIS
	PR 312+187	11	(1,6x1,6)	4	1 mois	2 MOIS

Tableau 3: durées de préchargement respectant les critères de dimensionnement

Résultats des mesures

Implantation des appareils de mesure

Plusieurs appareils de mesure ont été placés dans le sol de fondation sous le remblai. Des tassomètres de surface sont disposés à raison de 3 ou 5 tassomètres

pour un profil. La figure 6 donne l'implantation schématique des appareils de mesure.

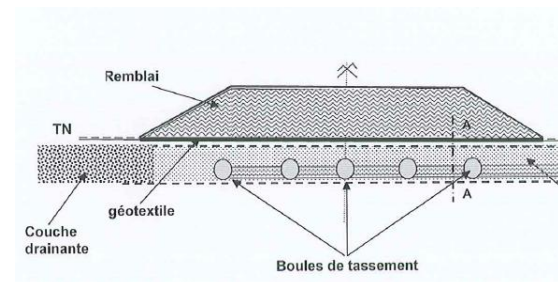


Figure 6: implantation des appareils de mesures

Comparaison entre les tassements réels et ceux calculés

Sur les figures 7 à 21 sont reportées les courbes de tassement mesuré et les courbes des tassements calculés par les deux méthodes : œdométrique et la méthode élastique à module pressiométrique, à partir de la date d'achèvement du remblai. Soit après dissipation de 50% du tassement final. Pour ces courbes, l'estimation de l'évolution des tassements en fonction du temps est faite en adoptant l'approche proposée par cet article, c'est-à-dire estimer C_v en fonction de W_l et prendre

$C_r = C_v$. On constate que les écarts entre les courbes de tassements œdométriques et les courbes expérimentales sont parfois importants. Alors que les écarts entre les valeurs expérimentales et les valeurs calculées par la méthode élastique à module pressiométrique restent très faibles. De plus, il apparaît clairement que l'hypothèse $C_r = C_v$ est valable pour l'ensemble des sols considérés.

Remblai 2288 :

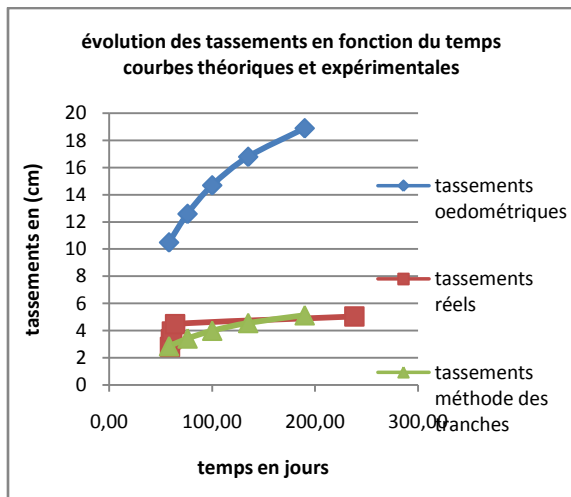


Figure 7: évolution des tassements PR228+500

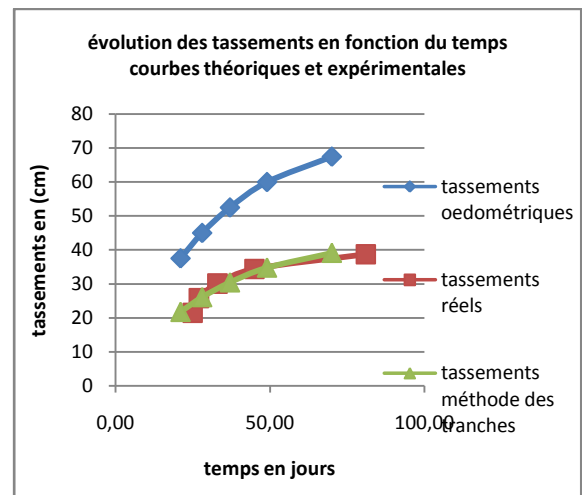


Figure 10: évolution des tassements PR228+850

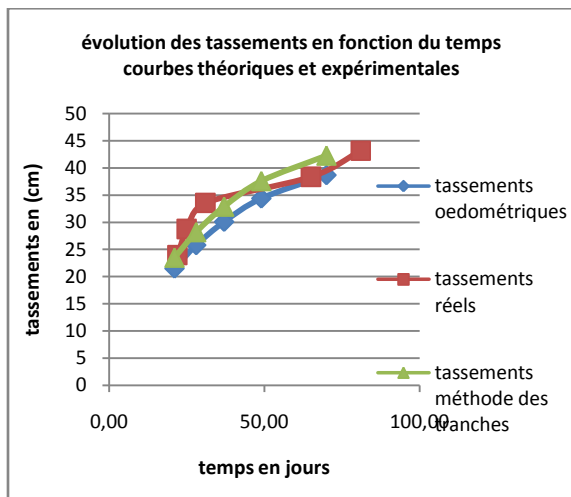


Figure 8: évolution des tassements PR228+600

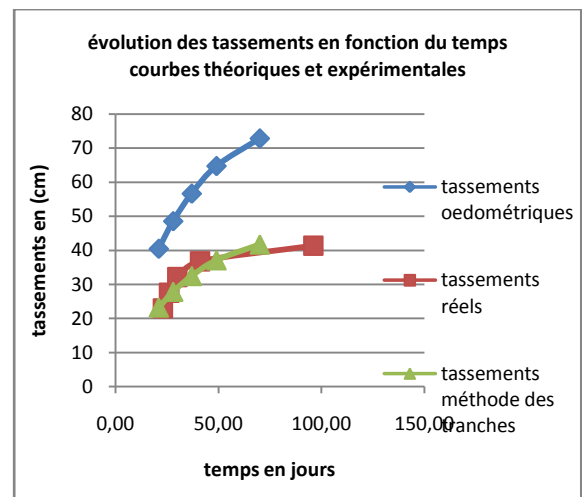


Figure 11: évolution des tassements PR228+950

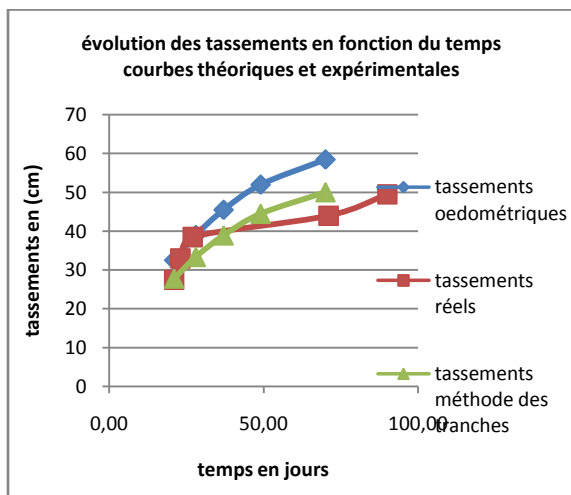


Figure 9: évolution des tassements PR228+750

Remblai 3058 :

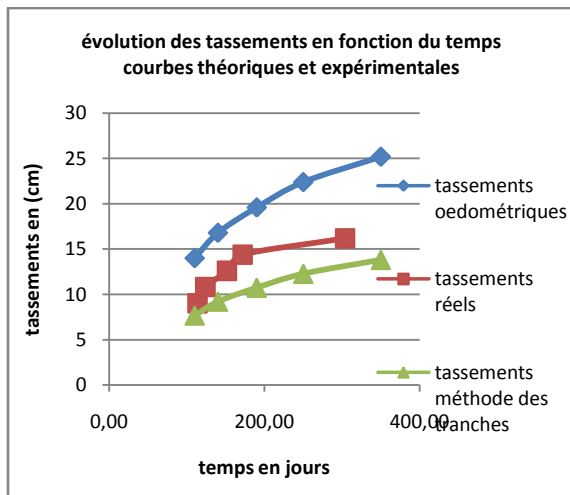


Figure 12: évolution des tassements PR305+680

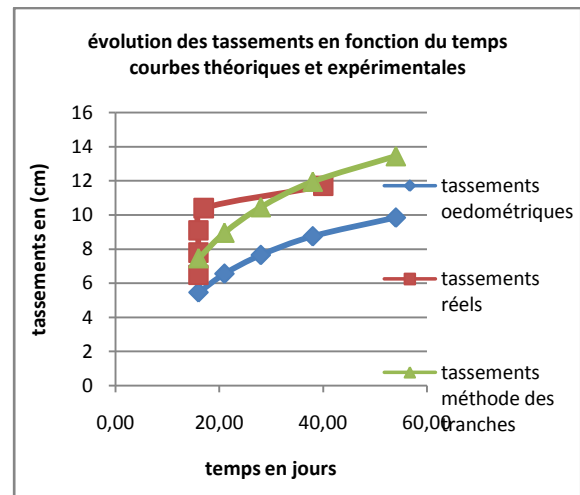


Figure 15: évolution des tassements PR307+886

Remblai 3119 :

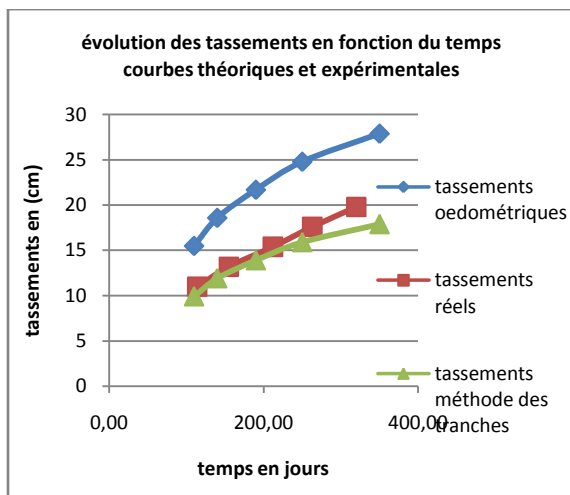


Figure 13: évolution des tassements PR305+760

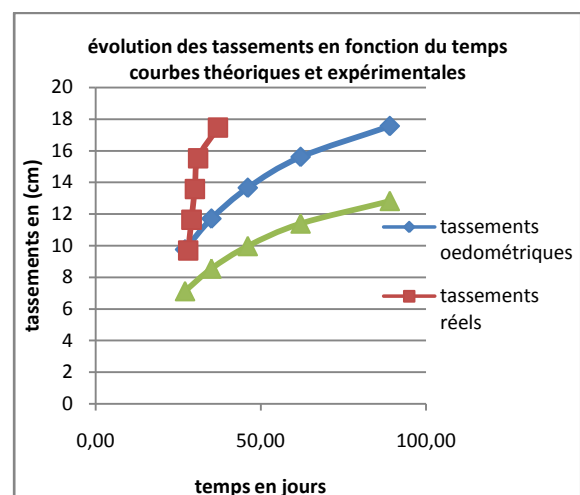


Figure 16: évolution des tassements PR310+500

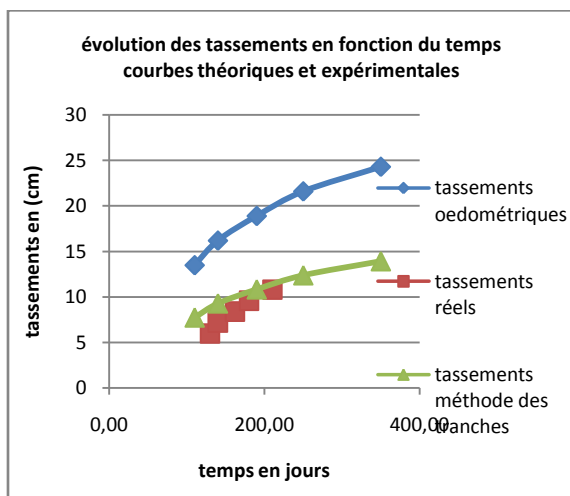


Figure 14: évolution des tassements PR305+900

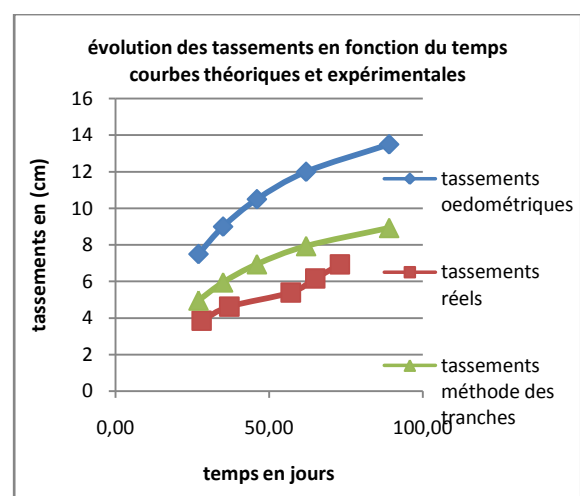


Figure 17: évolution des tassements PK310+700

Remblai 3078 :

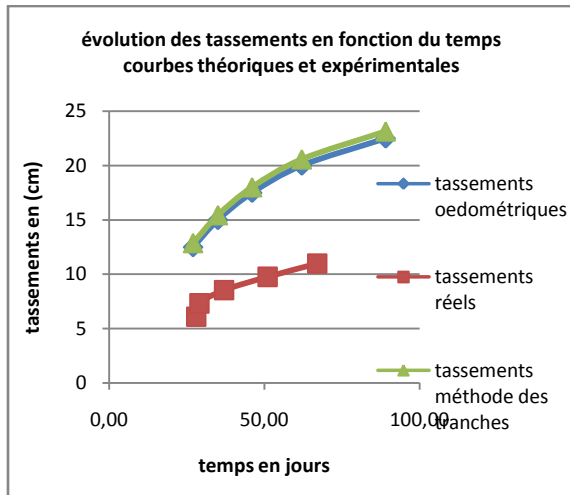


Figure 18: évolution des tassements PR310+900

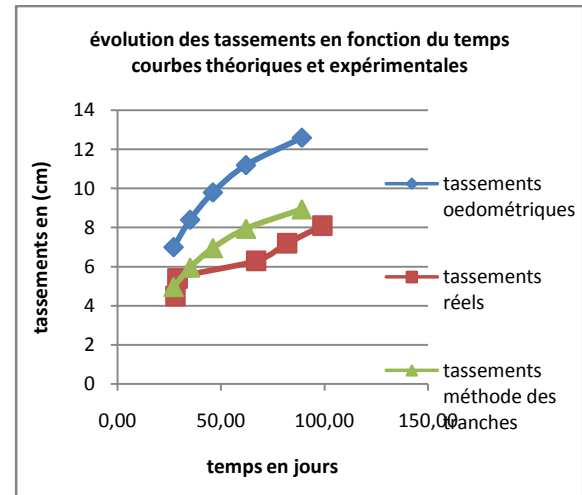


Figure 21: évolution des tassements PR311+700

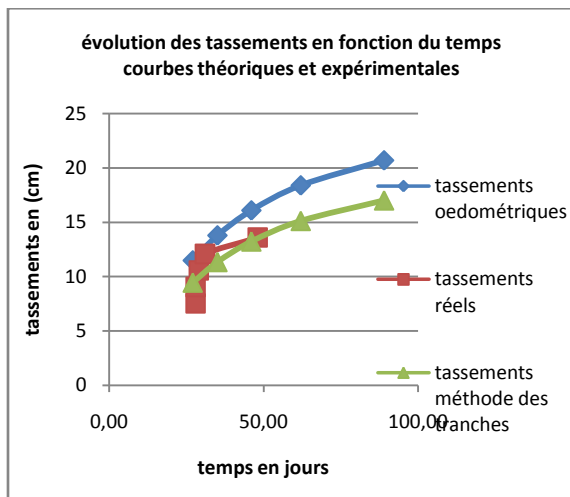


Figure 19: évolution des tassements PR311+067

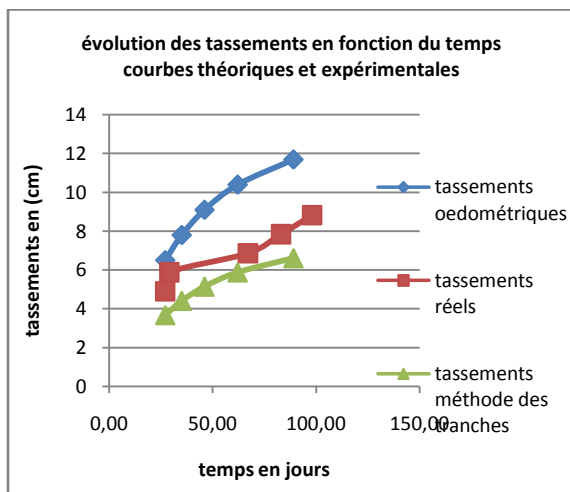


Figure 20: évolution des tassements PR 311+300

Comparaison entre les vitesses de tassement réelles et celles calculées

Pour apprécier la vitesse de tassement déduite de la démarche suggérée, une comparaison est faite entre le coefficient de consolidation radiale trouvé par cette même démarche et celui déterminé à l'aide de la méthode d'Asaoka (1978). Les figures 22 et 23 montrent un exemple de la construction graphique de la droite d'Asaoka. On choisit sur la courbe de tassement un ensemble de points correspondant aux tassements observés à intervalle régulier (T_{n-1} ; T_n), puis en les place dans un diagramme. Cr est relié à la pente de la droite obtenue par la formule suivante :

$$a_1 = -\frac{\Delta t}{\ln \beta_1} = \frac{1}{\frac{8Cr}{D^2 F(n)} + \frac{\pi^2 C_v}{4 H^2}}$$

Où :

Δt : Intervalle du temps temps pris dans le dépouillement des courbes de tassement

β_1 : Pente de la droite d'Asaoka.

H : Longueur de chemin de drainage vertical

D : diamètre de la zone d'influence des drains (égal à la distance L entre les drains multipliée par 1,05 ou 1,13 selon que la maille est triangulaire ou carrée).

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$$

n = D/d : rapport du diamètre D de la zone d'influence des drains à leur diamètre d.

Cv : le coefficient de consolidation verticale.

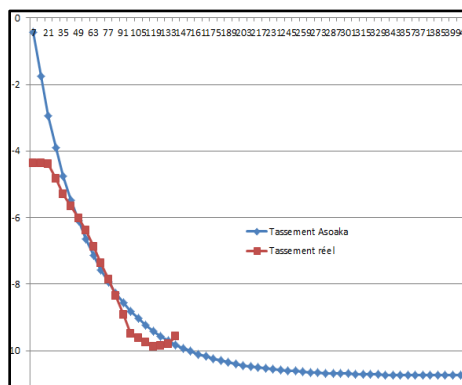


Figure 22: tassements en fonction du temps, PR311+500

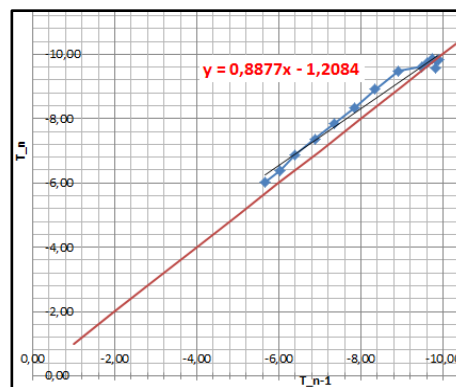


Figure 23: construction de la droite d'Asaoka, PR311+500

Le tableau 4 donne, pour chaque profil instrumenté, les valeurs du coefficient de consolidation radiale déterminé par la méthode proposée par cet article et celles déterminées à l'aide de la méthode d'Asaoka (1978). La concordance avec la réalité est donc relativement bonne vu que les écarts entre Cr_{Asaoka} et $Cr_{méthode}$ sont très faibles.

Remblai	Profil	$Cv_{méthode}$ (m ² /s)	$Cr_{méthode}$ (m ² /s)	Cr_{Asaoka} (m ² /s)	$Cr_{asaoka}/Cr_{méthode}$
R2288	PR 228+500	2,72E-07	2,72E-07		
	PR 228+600	2,72E-07	2,72E-07	1,42E-07	0,52
	PR 228+750	2,72E-07	2,72E-07	1,63E-07	0,60
	PR 228+850	2,72E-07	2,72E-07	1,58E-07	0,58
	PR 228+920	2,72E-07	2,72E-07	1,14E-07	0,42
R3058	PR305+680	1,00E-07	1,00E-07	1,06E-07	1,06
	PR305+760	1,00E-07	1,00E-07	1,39E-07	1,39
	PR305+900	1,00E-07	1,00E-07	6,59E-08	0,66
R3078	PR 307+886	5,00E-07	5,00E-07		
R3119	PR 310+500	1,00E-06	1,00E-06	1,37E-06	1,37
	PR 310+700	1,00E-06	1,00E-06	6,28E-07	0,63
	PR 310+900	1,00E-06	1,00E-06	7,09E-07	0,71
	PR 311+067	1,00E-06	1,00E-06		
	PR 311+300	1,00E-06	1,00E-06	6,76E-07	0,68
	PR 311+700	1,00E-06	1,00E-06	4,55E-07	0,46

Tableau 4: comparaison entre les coefficients de consolidation radiale proposés et ceux déterminés par la méthode d'Asaoka

Conclusion

En analysant les mesures de tassement effectuées lors des travaux de la Ligne à Grande Vitesse au Nord du Maroc, une méthode est proposée, pour déterminer les paramètres de calcul des amplitudes et des durées de tassement. Il a été démontré que l'amplitude des tassements peut être estimée avec une bonne précision en utilisant la méthode élastique à module pressiométrique. L'évaluation des tassements à partir des essais œdométrique étant nettement pessimiste. Une démarche a été ensuite suggérée pour estimer les coefficients de consolidation verticale C_v et horizontale C_h . Cette démarche se base

principalement sur les relations empiriques données par l'US-Navy entre C_v et W_l , sur l'hypothèse que 50% des tassements se produisent au cours de la montée du remblai et sur l'hypothèse d'un comportement isotrope du sol. La démarche suggérée a montré sa pertinence sur quatre remblais construits sur sols compressibles dans le cadre des travaux de la LGV au Maroc. C'est une recette simple qu'il serait intéressant d'employer au moins au cours de la phase de conception des ouvrages sur sols mous au nord du Maroc. Son utilisation permet de réduire considérablement le coût et le temps des essais au laboratoire.

Références

ASAOKA A. (1978). Observational procedure of settlement prediction, Soils and Foundations, vol. 18, 4, p. 87-101.

BOUTONNIER L., HAJOUAI F. (2013). Tassements calculés puis mesurés sous remblais, Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Tableau 2

Bulletin De Liaison Des Laboratoires Des Ponts Et Chaussées Remblais sur Sols Compressibles- Mai 1973, p16-17.

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

Braja M. Das. (2010). Geotechnical Engineering Handbook, Figure 1.15, proposed by the U.S. Navy (1986).

CASSAN M. (1978). Les essais in situ en mécanique des sols, Eyrolles.

COSTE P., DELUZARCHE R., BOUTONNIER L., HANSEN N., CHARDARD P. (2014). Tassements et temps de consolidation mesurés et calculés sur projets LGV, JNGG.

LEROUEIL S., MAGNAN JP., TAVENAS F. (1985). Remblais sur argiles molles, Tec&Doc, Lavoisier.

MAGNAN J.P. (1980). Analyse graphique des courbes de consolidation œdométriques, Bull, liaison Labo. P. et Ch. - 109 - Réf. 2479.

MAGNAN J.P, Deroy J.M. (1980). Analyse graphique des tassements observés sous les ouvrages, Bull, liaison Labo. P. et Ch. - 109 - sept.-oct. 1980 - Réf. 2478.

TERZAGHI, K. (1925). Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischer Grundlage, Franz Deuticke, Leipzig und Wein, 399p.

U.S. NAVY. (1971) « soil Mechanics, Foundations, and Earth structures », NAVFAC Design Manual DM- 7, Washington, D.C.