

PROGRES DANS L'ESTIMATION DU TAUX DE REEMPLOI DES SOLS DE DEBLAI ET DANS CELLE DE LA PORTANCE DES SOLS DE FONDATION EN REMBLAI

Jean-Michel CUINET¹, Jean-Claude GRESS²,

¹ *Directeur Technique Hydrogéotechnique. jm.cuinet@hydrogeotechnique.com*

² *Conseiller Technique d'Hydrogéotechnique, gérant de ACE Géotechnique. jc.gress@hydrogeotechnique.com*

RESUME – l'estimation du taux de réemploi des sols de déblai en remblai est un challenge majeur pour le géotechnicien en charge d'études géotechniques d'infrastructures. Nous développons ici des progrès récents dans cette approche, progrès également applicables à la caractérisation de la portance des sols de fondation en remblai.

ABSTRACT – the assessment of re-use rate of soils coming from cuts is a major challenge for geotechnical engineers, working on geotechnical studies of roads or railways projects. We develop here recent improvements in this approach. These improvements are also interesting in the assessment of soil stiffness of the different layers of embankments.

1. Introduction

Pour le géotechnicien en charge de l'étude géotechnique d'infrastructures, il est important qu'il soit en mesure d'évaluer le taux de réemploi des couches de sols extraites des zones de déblai et pour ces sols mis en remblai, d'évaluer ensuite la portance attendue de chaque couche de remblai.

Nous procédons d'abord à une revue de l'état de l'art avant la présentation de progrès récents que nous développons ensuite.

2. Etat de l'art antérieur

Le géotechnicien s'appuie sur le guide pour les terrassements routiers, pour dans un ouvrage élémentaire de déblai, découper le déblai en couches ayant un comportement homogène au sens du GTR 92.

Ce travail, il le fait à partir de l'analyse des résultats de laboratoire : analyses granulométriques, limites d'Atterberg et essais au bleu de méthylène essentiellement.

Ensuite, pour une période de prélèvement donnée, de préférence caractéristique d'une saison type, comme les mois de Mars-Avril et Septembre-Octobre en France, il recense toutes les teneurs en eau (de la fraction 0/20 mm), dont il dispose, pour dresser un histogramme des teneurs en eau de chaque couche caractéristique, cet histogramme étant alors rattaché à une situation météorologique de saison défavorable de teneurs en eau élevées, ou de teneurs en eau de saison favorable. L'idéal évidemment est de disposer des deux histogrammes, pour se rendre compte, comme sur l'exemple Figure n° 1 de la région de BOURG-EN-BRESSE, sur des sols A2, que les histogrammes favorables et défavorables sont très différents, les valeurs moyennes présentant un écart de 4 points.

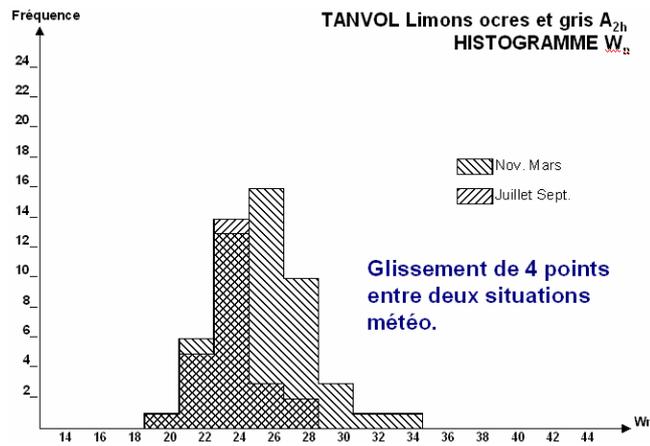


Figure n°1 – Histogrammes de teneurs en eau fin hi ver et fin été.

Chaque histogramme se doit aussi d'être analysé en géographie des valeurs mesurées. Il est important de constater, soit que la dispersion est aléatoire, soit que le constat est fait que les valeurs de teneurs en eau les plus faibles sont localisées à la surface du déblai et que plus on progresse à coeur de déblai, plus elles augmentent, ou toute autre configuration.

Cette analyse est évidemment importante et est à comparer aux moyens d'extraction : le scraper va peler le déblai comme un fruit, alors que la pelle en rétro va avoir tendance à homogénéiser les couches sur la hauteur de travail.

Si l'histogramme des teneurs en eau est aléatoire, le géotechnicien va raisonner sur la valeur moyenne et la considérer comme représentative. Si l'histogramme est très orienté géographiquement, le géotechnicien va plutôt raisonner sur des groupes de teneurs en eau, et les considérer un à un comme représentatifs.

Enfin, et c'est là que l'état de l'art a été longtemps insuffisant, sur chaque famille homogène était réalisé un essai Proctor normal avec IPI, et ce couple d'essais était considéré comme représentatif de la couche étudiée.

Le géotechnicien faisait alors la projection de ces histogrammes sur la courbe IPI représentative, comme sur la figure n°2 :

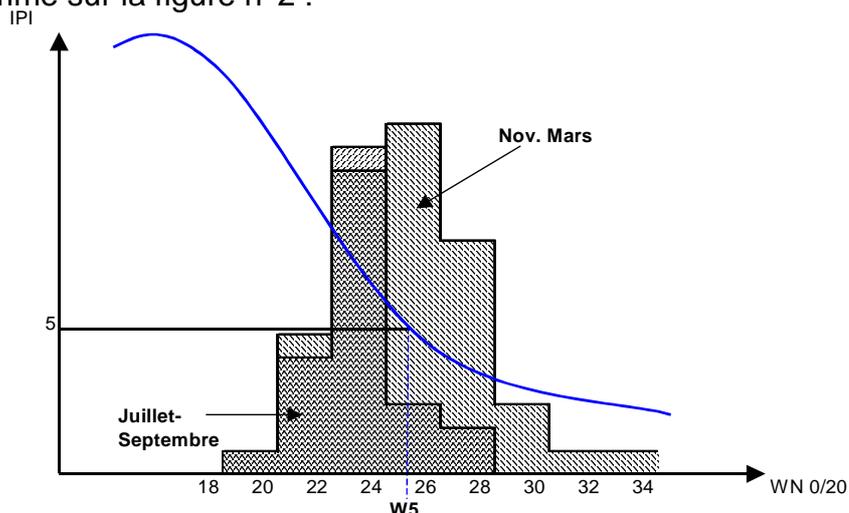


Figure n°2 – Difficulté de la courbe IPI dite de référence.

Il déduisait, sur ce cas spécifique, les taux de réemploi suivant, pour une extraction homogénéisant les teneurs en eau autour de la moyenne :

- taux de réemploi Novembre Mars 0 %
- taux de réemploi Juillet Septembre 100 %

Par contre pour une distribution orientée des valeurs les plus faibles en surface vers des valeurs les plus élevées en profondeur, il considérait :

- taux de réemploi Novembre Mars 41 %
- taux de réemploi Juillet Septembre 79 %

en faisant les rapports entre le nombre de teneurs en eau correspondant à un IPI supérieur à 5 (pour des A2) au nombre total de teneurs en eau mesurées et en appliquant une marge de sécurité.

Cette démarche, déjà relativement pertinente, se heurtait à une difficulté, à savoir que la courbe IPI de chaque couche présente également une dispersion, ce que l'on avait rarement l'occasion de vérifier, faute de moyens, ne disposant que d'une courbe par famille, au stade des études.

Par contre, en contrôle sur le terrain par les entreprises, celles-ci faisant une série de courbes IPI par couche, il apparaissait clairement que cette dispersion devait être intégrée.

3. Etat de l'art pour la portance des plateformes en remblai

Concernant les plateformes, le géotechnicien a compris qu'il devait faire la différence entre les plateformes en déblai et les plateformes en remblai.

Pour les plateformes en déblai, le terrassier doit s'attacher à préserver la portance naturelle des couches qu'il terrasse et ce sont les essais in situ qui vont caractériser cette portance : éventuellement essais au pénétromètre dynamique, éventuellement IPI in situ.

Pour les plateformes en remblai, c'est l'IPI après essai Proctor qui va caractériser la plateforme attendue, la réalisation d'essais IPI au Proctor normal et au Proctor modifié permettant de sentir les effets pouvant être néfastes d'un surcompactage et les IPI après immersion permettant d'anticiper les évolutions de la portance en fonction de l'immersion éventuelle (voir Figure n°3).

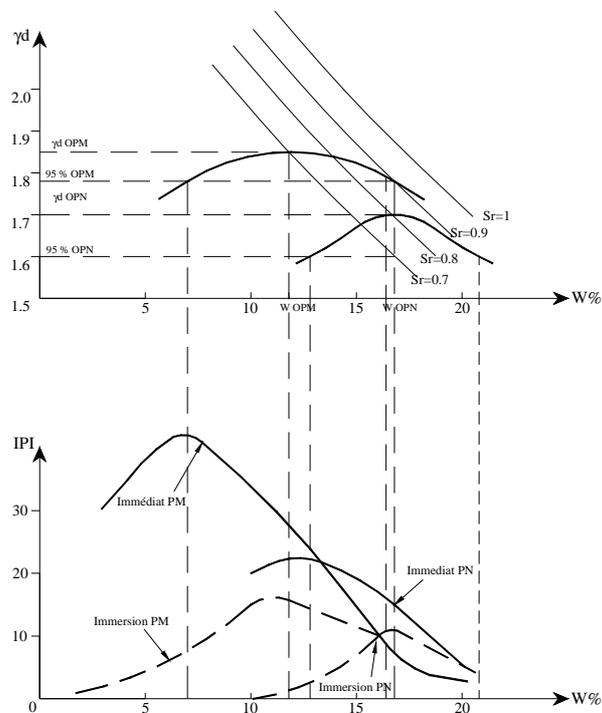


Figure n°3 – Courbes Proctor et IPI de référence.

Le géotechnicien retrouvait ici la difficulté précitée, d'une valeur d'IPI qui semblait unique, pour une couche donnée, à une teneur en eau donnée, alors que la courbe dite de référence n'était pas unique, mais qu'il fallait l'intégrer dans un ensemble de courbes, caractérisé par une tendance moyenne et une dispersion.

La valeur de l'IPI en tant que telle caractérisait une traficabilité. En dessous de 5, pour les A2, la traficabilité des engins à pneus est impossible. Au niveau de la PST, la valeur d'IPI était transformée en module Ev_2^2 de deuxième chargement à la plaque du sol de fondation, par la relation :

$$Ev_2^2 \approx 3 \text{ IPI en MPa} \quad (1)$$

IPI en valeur de pourcentage.

Cette valeur lui permettait ensuite de déterminer l'épaisseur h en centimètres d'une couche de forme de module intrinsèque Ev_2^1 , pour un objectif de plateforme caractérisée par un Ev_2^3 du bicouche (couche de forme ; sol de fondation) par la relation de J.C. GRESS :

$$h = 30 \text{ LN} \left[\frac{\frac{1}{Ev_2^2} - \frac{1}{Ev_2^1}}{\frac{1}{Ev_2^3} - \frac{1}{Ev_2^1}} \right] + 0,6 \left[\frac{Ev_2^2}{Ev_2^3} - 1 \right] \quad (2)$$

La démarche nouvelle proposée va s'appuyer sur les mêmes développements, en cherchant à évaluer IPI d'une manière plus pertinente.

4. Avancées récentes

Dans un article récent, DUBREUCQ (2015) présente des corrélations intéressantes pour les sols fins, en relation avec leur identification.

Ce travail porte à ce stade sur les sols A1, A2, A3 et A4. Nous avons analysé ses propositions.

Il ressort que pour un sol 0,400 μ , la connaissance de la limite de liquidité, permet celle de la teneur en eau optimale Proctor normal, la densité sèche à notre teneur en eau la valeur de l'IPI et l'évolution de l'IPI fonction de la teneur en eau dans sa partie rectiligne. Dans les relations ci-dessous, W_L est exprimé par sa valeur vraie et non en pourcentage :

$$W_{OPT} = \frac{0,045 + 0,52 W_L}{1 + 0,959 W_L} \quad (3)$$

$$\gamma_{dOPT} \text{ en T/m}^3 = \frac{1 + 0,959 W_L}{0,447 + 0,905 W_L} \quad (4)$$

$$IPI_{OPT} = 22,73 \frac{1,046 - W_L}{1 + 2,322 W_L} \quad (5)$$

$$IPI = IPI_{OPT} + 7,5 (1 - W_L) \left(\frac{1}{W_N} - \frac{1}{W_{OPT}} \right) \quad (6)$$

IPI étant exprimé en valeur de pour cent.

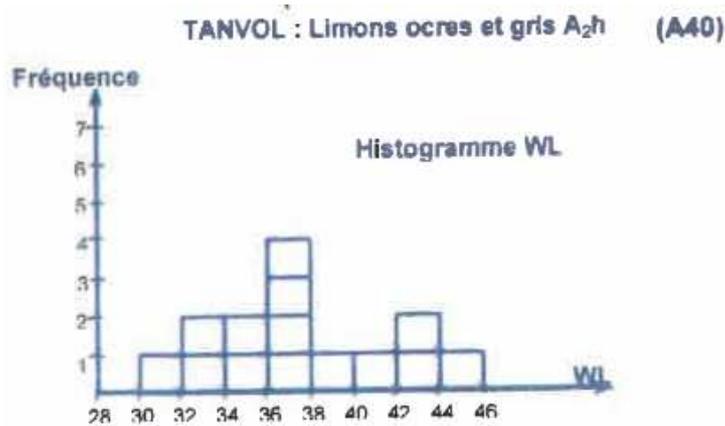


Figure n°4 – Dispersion statistique de WL

L'intérêt de ces relations est bien de montrer que les valeurs d'IPI sont dispersées aléatoirement dans le déblai, puisque comme le montre la figure n°4, issue de l'étude du déblai de TANVOL de l'autoroute A40, les valeurs de W_L sont dispersées.

L'application de la relation (5) aux limons de TANVOL, conduit à l'histogramme attendu de la variation de l'IPI dans le déblai pour une population de 14 couples de valeurs (W_L ; W_N). L'idéal est de disposer d'une trentaine de valeurs (figure n°5).

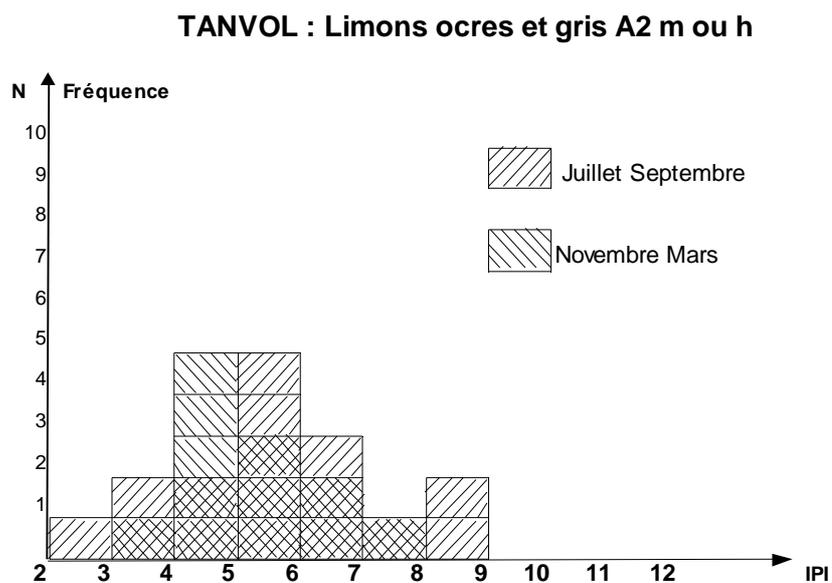


Figure n°5 – Variabilité de l'IPI attendu à OPN.

Evidemment cette variabilité de l'IPI est ainsi à analyser géographiquement, les valeurs étant comparées aux valeurs seuils de chaque famille de sols A_i.

5. Conclusion

Il ressort de cette analyse que l'approche suggérée consiste, pour chaque couche caractéristique, à réaliser des points d'IPI à la teneur en eau de prélèvement, à l'énergie Proctor normal.

Ces valeurs étant placées dans un histogramme, de préférence hiver, puis été, elles sont analysées géographiquement et comparées aux valeurs seuils. Le taux de réemploi est déduit du mode d'extraction. Au niveau de la plateforme de remblai, cette analyse permet d'appréhender la dispersion attendue des IPI et déduire l'épaisseur de couche de forme à envisager.

L'avantage de l'approche IPI est que pour des sols de fraction granulométrique 0,20 mm, les mesures en laboratoire sont pertinentes. Pour les sols OD, avec $D > 20$ mm, des progrès restent à faire dans l'analyse.

Pour les sols 0-400 μ , la mesure de la limite de liquidité en parallèle est intéressante et les relations déduites du travail de Mr DUBREUCQ permettent de compléter la série de mesures directes des valeurs d'IPI.

Références bibliographiques

DUBREUCQ T., 2015. Quelques corrélations relatives aux sols fins compactés dans les travaux de terrassement. *SEC2015. IFSTAR. Pages 361-371.*

GRESS J.C., 1983. Méthode rationnelle de dimensionnement des couches de forme granulaire. *Revue Générale des Routes et Aéroports. Pages 27-43.*

GTR 1992. Réalisation des remblais et des couches de forme. *GTR 92. SETRA. LCPC.*