

PRISE EN COMPTE DU FLUAGE DANS L'ANALYSE DES MESURES POUR LA PREVISION DE TASSEMENTS RESIDUELS

TAKING INTO ACCOUNT CREEP IN MEASURES ANALYSIS FOR RESIDUAL SETTLEMENT PREDICTION

Marc FAVRE¹, Eric VERMOOTE¹

¹ GEOS Ingénieurs Conseils, Archamps, France

RÉSUMÉ – L'interprétation du suivi des tassements des ouvrages peut s'avérer difficile si tous les phénomènes ne sont pas pris en compte. L'intégration de l'expression du tassement secondaire, via sa fonction logarithmique, dans les équations théoriques du tassement en fonction du temps, permet de caler plus finement les estimations de déplacements résiduels avec les mesures.

ABSTRACT – The interpretation of the structures settlement monitoring can be difficult if all phenomena is not taken into account. Integration of the secondary settlement equation, by its logarithm function, in the theoretical settlement equations function of time, allows to match better residual settlement estimations with measurements.

1. Introduction – position du problème

Le géotechnicien est parfois amené à construire un remblai d'essai, voire l'ouvrage définitif, et à en mesurer les déplacements pour prédire quel sera le comportement du sol à long terme, incluant l'amplitude de tassement finale, et la durée nécessaire pour l'atteindre. A partir de ces mesures, constituées généralement de données ponctuelles récoltées sur des périodes plus ou moins régulières, il est logique d'essayer, à l'aide de lois de comportement définies, de prédire quel sera le comportement du sol à long terme, incluant l'amplitude de tassement finale, et la durée nécessaire pour l'atteindre.

Ainsi, à la date d'une mesure, le tassement résiduel, qui correspond à la différence entre le tassement actuel et le tassement final, est recherché et c'est généralement le critère déterminant sur l'admissibilité de la structure à supporter des déplacements.

2. Développement

2.1. Consolidation primaire avec loi de comportement exponentielle

Une méthode d'extrapolation des déplacements de sols sous charge constante, à partir du modèle de Terzaghi donne une solution de l'équation de diffusion de la déformation du sol en fonction du temps et de la profondeur, via le degré de consolidation de la couche compressible d'épaisseur H en fonction du temps (Recordon, 1988) :

$$U = \frac{\Delta H(t)}{\Delta H_{\infty}} = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{\left(\frac{\pi}{2}(2m+1)\right)^2} \cdot e^{-\left(\frac{\pi}{2}(2m+1)\right)^2 \frac{C_v t}{H^2}} \quad (1)$$

Avec U le degré de consolidation, $\Delta H(t)$ le tassement de l'ouvrage à l'instant t depuis le début de la consolidation primaire, C_v le coefficient de consolidation verticale et H l'épaisseur de la couche compressible.

En ne considérant que le premier terme de la série, le tassement a l'expression suivante :

$$\Delta H_p(t) = \Delta H_\infty \cdot (1 - B \cdot e^{-C \cdot t}) \quad (2)$$

Où ΔH_∞ est l'amplitude de déplacement final de consolidation primaire, B caractérise le décalage entre l'origine du phénomène de consolidation et le début des mesures, et C caractérise la courbure de la courbe de consolidation.

Il a été démontré que l'erreur commise était au maximum de 1,5% pour $U > 35\%$ et de 0,2% pour $U > 50\%$ (Recordon, 1988).

Cette méthode n'est cependant applicable que si le sol n'est pas soumis à d'autres comportements : si la courbe des mesures se cale mal avec la courbe exponentielle, la seule conclusion possible est que la déformation du sol n'est pas due au phénomène de consolidation.

2.2. Consolidation secondaire

La théorie développée par Terzaghi suppose que seule la consolidation primaire entre en compte dans le phénomène de tassement, c'est-à-dire que la consolidation ne s'effectue que par dissipation des surpressions interstitielles.

Pour des durées d'observations longues ou dans le cas de sols à forte teneur en matières organiques, la simple prise en compte de la consolidation primaire n'est pas suffisante. En effet, l'expérience montre que dans certains cas, la courbe des mesures de tassements n'atteint pas un seuil asymptotique mais au contraire présente une variation linéaire en fonction du logarithme du temps.

Ce phénomène est observable à partir d'une certaine date, notée t_0 , qui est communément acceptée comme le point de départ de la consolidation secondaire du sol dite « fluage ». En notant ΔH_s l'amplitude des tassements de consolidation secondaire, il vient :

$$\Delta H_s = D \cdot \log \left(\frac{t}{t_0} \right)_{|t > t_0} \quad (3)$$

Avec D le coefficient directeur de la droite approchant la courbe de consolidation secondaire dans le plan $(\log(t), \Delta H)$.

2.3. Consolidations primaire et secondaire

En faisant l'hypothèse que la consolidation du sol résulte de la superposition du phénomène de consolidation primaire et du phénomène de fluage, il vient :

$$\Delta H(t) = \Delta H_\infty \cdot (1 - B \cdot e^{-C \cdot t}) + D \cdot \log \left(\frac{t}{t_0} \right)_{|t > t_0} \quad (4)$$

La superposition des tassements primaires et secondaires conduit ainsi à distinguer deux intervalles de temps distincts :

- l'intervalle compris entre 0 et t_0 , correspondant à la durée durant laquelle seule la consolidation primaire intervient,
- au-delà de t_0 , la consolidation secondaire se superpose à la consolidation primaire puis devient prédominante.

2.4. Résolution

Le problème consiste à déterminer les cinq coefficients A, B, C, D et t_0 qui ajusteront au mieux le modèle sur un ensemble de mesures $\{\Delta h_i\}$ par les moindres carrés.

$$E = \text{Min} \sum [A \cdot (1 - B e^{-C \cdot t_i}) + D \cdot \log \left(\frac{t_i}{t_0} \right)_{|t > t_0} - \Delta h(t_i)]^2 \quad (5)$$

L'inconnue principale est t_0 . La connaissance de ce paramètre permet de déterminer les intervalles de temps, et donc les points de mesure, sur lesquels les autres coefficients seront ajustés.

Dans la pratique, la détermination de la partie primaire se fait en considérant successivement les k premières mesures, k étant compris entre 3 et n-2, avec n le nombre total de mesures. Ensuite, les valeurs de D et t_0 sont déterminées avec les mesures restantes, avec des critères d'admissibilité (D positif et t_0 situé après la dernière mesure utilisée pour la détermination de la partie primaire).

Parmi tous les modèles calculés, le modèle retenu est celui qui minimise l'équation (5) tout en satisfaisant les critères d'admissibilité définis ci-dessus.

3. Applications

Les modèles décrits précédemment ont été appliqués à différents cas exposés ci-après.

3.1. Suivi des tassements de bâtiments

Le dallage d'un bâtiment à usage commercial fondé sur sol compressible a fait l'objet de mesures topographiques semestrielles sur une période de plus de treize ans, qui ont montré une amplitude de tassements absolus beaucoup plus importante que celle estimée. La méthode exposée précédemment permet de caler une loi de consolidation primaire et secondaire finement avec les mesures, et met clairement en évidence la consolidation secondaire.

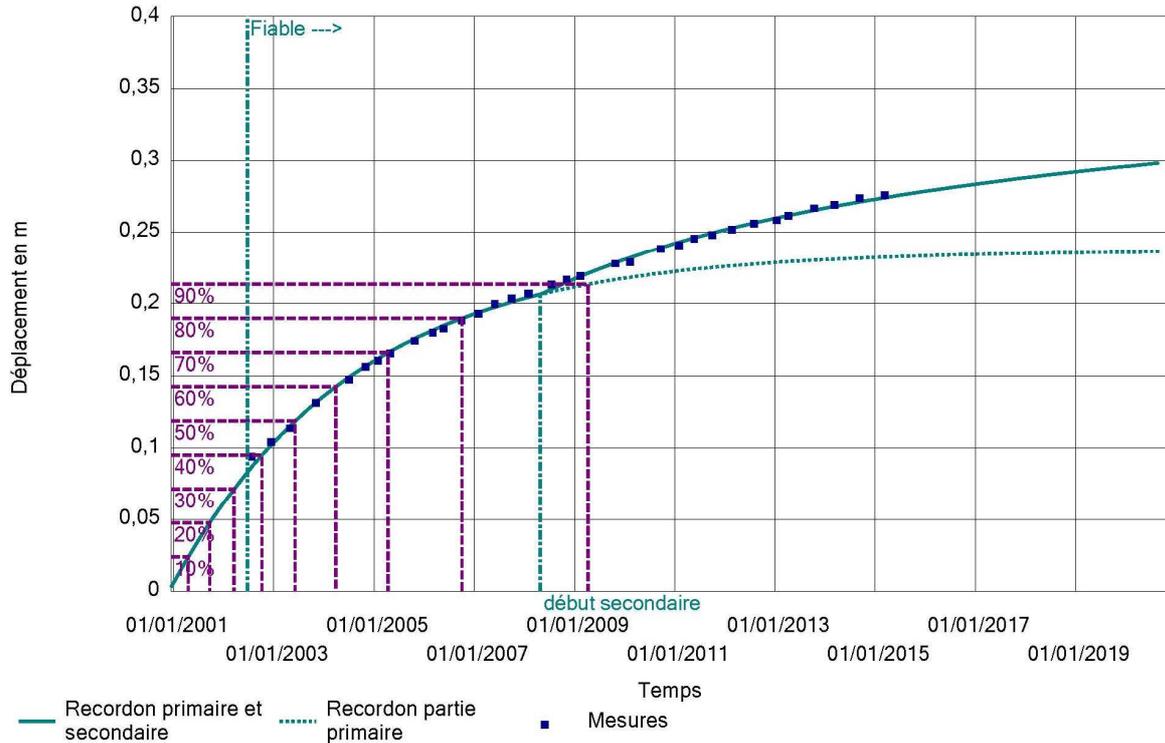


Figure 1 : Application au suivi du dallage d'un centre commercial sur sol compressible

3.2. Suivi d'ouvrages en terre

3.2.1 Suivi des tassements d'une plateforme de tramway fondé sur remblai

La construction d'une nouvelle ligne de tram nécessite la mise en œuvre d'un remblai de hauteur limitée mais de très grande largeur sur des sols faiblement compressibles, mais sollicités jusqu'à une grande profondeur compte tenu de la largeur du remblai.

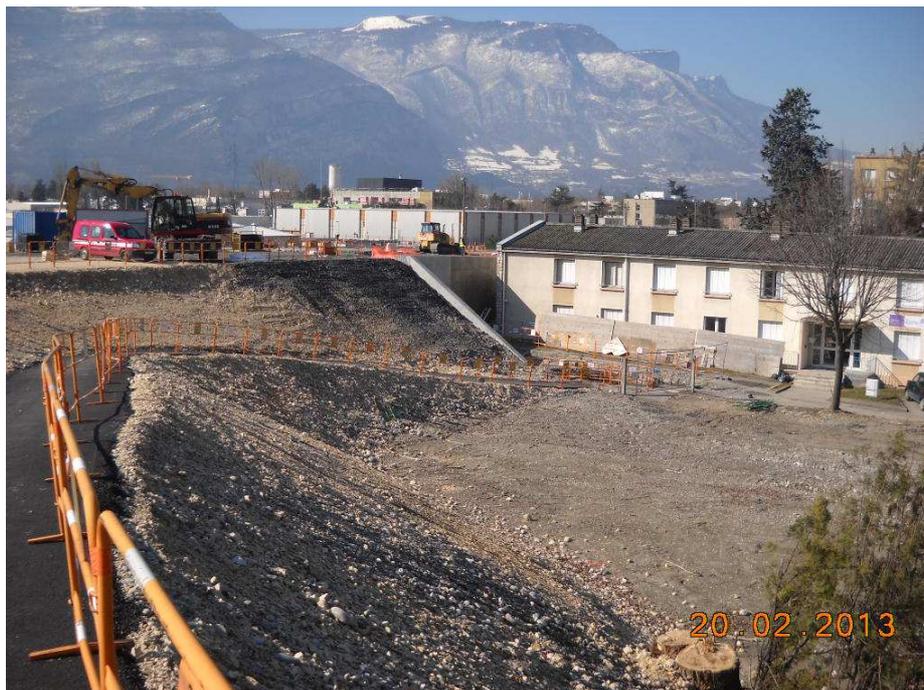


Figure 2 : Suivi des tassements d'une plateforme de tramway fondée sur remblai

Les tramways étant des systèmes sensibles aux dévers, l'interprétation des mesures sur différents profils en travers a permis de prédire l'évolution des tassements différentiels transversaux des rails, qui est un critère fondamental pour l'exploitation.

Le suivi des tassements de la plateforme sur un repère, superposé à son interprétation, est montré sur la figure ci-dessous et montre très clairement la part due au phénomène de consolidation secondaire¹.

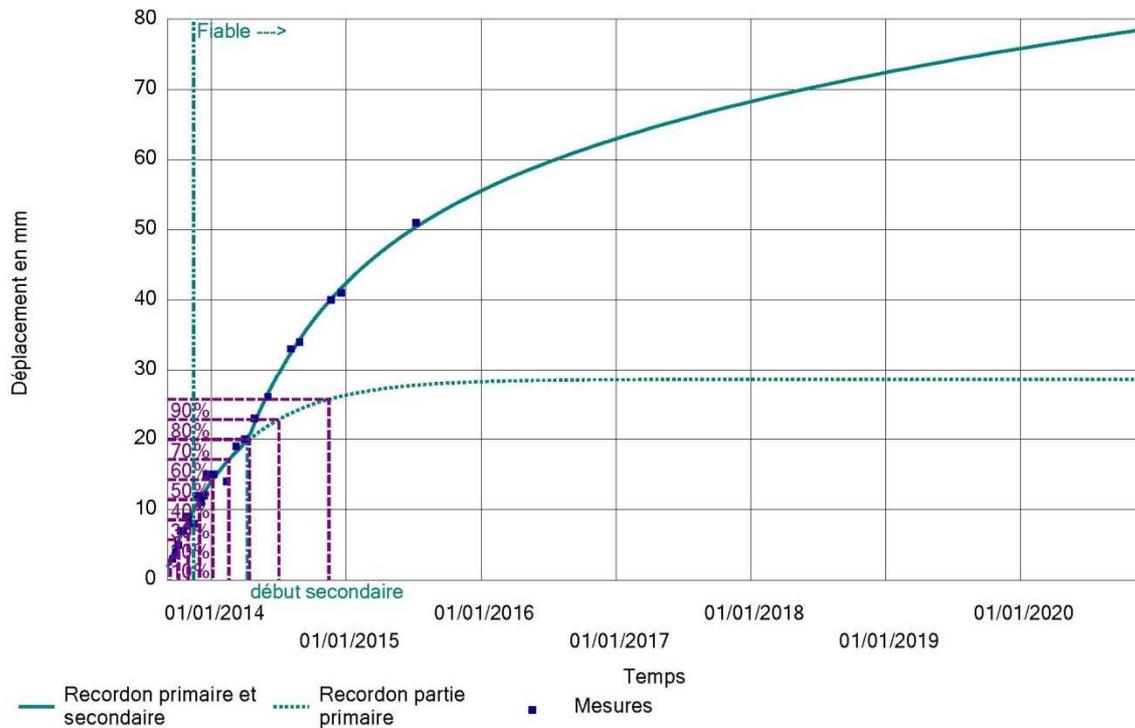


Figure 3 : Evolution des tassements d'une plateforme de tramway fondé sur remblai

¹ Dans la mesure où les tassements n'ont pas été suivis depuis l'origine, l'amplitude globale des tassements de consolidation primaire est sous-estimée.

3.2.2 Suivi des tassements de préchargement d'une plateforme autoroutière

La date d'arrêt d'un préchargement d'une plateforme autoroutière, dont le suivi et l'interprétation sont présentés ci-dessous, a pu être déterminée grâce au suivi périodique des tassements, en fonction du critère d'admissibilité des tassements résiduels. Il a par ailleurs été mis en évidence le phénomène de consolidation secondaire.



Figure 4 : Suivi des tassements d'un remblai de préchargement d'une plateforme autoroutière

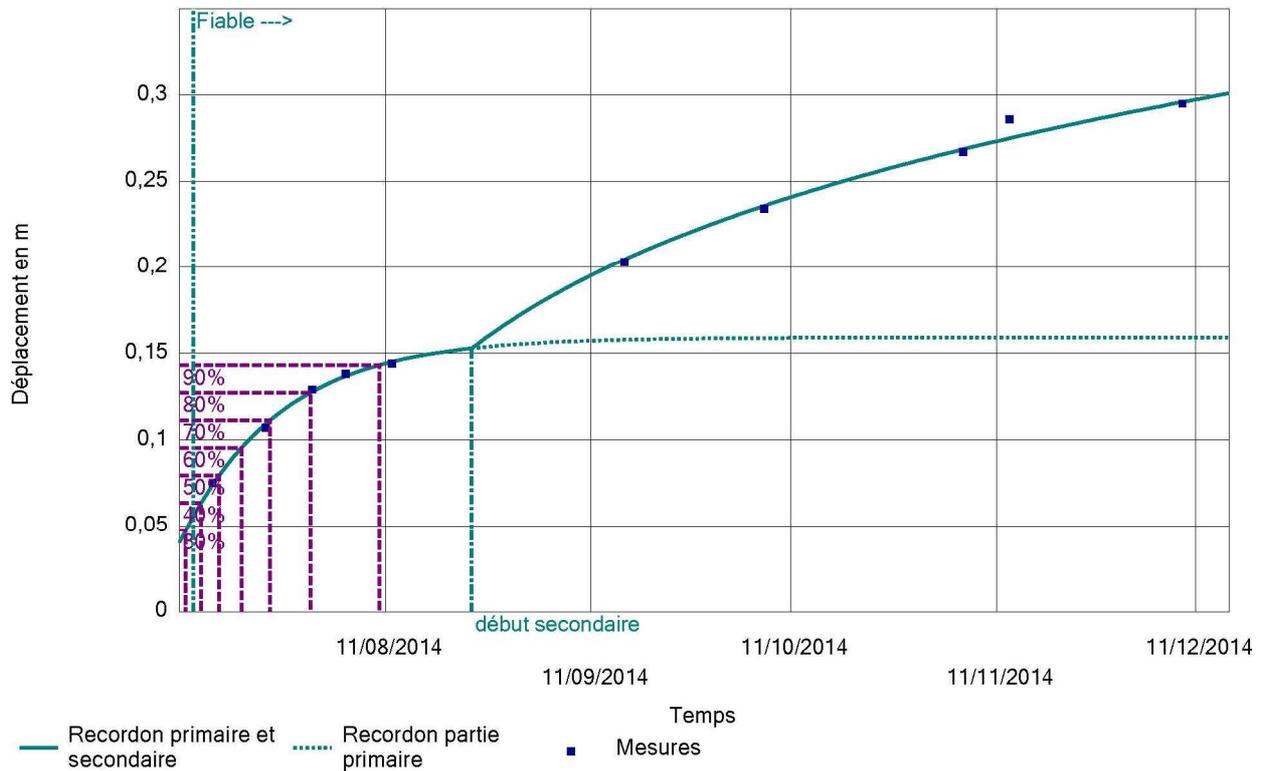


Figure 5 : Evolution des tassements d'un remblai de préchargement d'une plateforme autoroutière

4. Conclusion

La prise en compte du fluage dans l'interprétation des mesures de tassement permet de caler des modèles plus évolués, pouvant s'ajuster beaucoup mieux aux mesures de tassement d'ouvrages fondés sur sols fins. Néanmoins, il reste nécessaire dans tous les cas que les chargements n'évoluent pas en fonction du temps et que les mesures ne reflètent que le comportement du sol.

5. Références bibliographiques

Recordon E. (1988). Tassement des ouvrages au cours du temps. *Ingénieurs et architectes suisses*, n°7, pp100-104.