

NOTE D'INFORMATION TECHNIQUE

APPLICATION DE LA TECHNOLOGIE DE L'AUSCULTATION À TROU PROFOND DU DÉPLACEMENT DANS LA CONSTRUCTION DES AUTOROUTES APPLICATION OF DEEP HOLE DISPLACEMENT MONITORING TECHNOLOGY IN HIGHWAY CONSTRUCTION

Réception : 03/09/2023

Acceptation : 24/09/2023

Publication : 04/01/2024

ZHONG Huaxiang¹, HE Xu²

CSCEC Algérie, Cité des 56 logements, Rue des frères CHIKIROUS, Staoueli,
zhong_huaxiang@cscec.dz

CSCEC Algérie, Cité des 56 logements, Rue des frères CHIKIROUS, Staoueli,
he_xu@cscec.dz

China Construction Fifth Engineering Division Corp., Ltd, Changsha, 410004, China; 2. Algeria Branch of China State Construction Engineering Corp., Ltd., Algiers, 16101, Algeria)

Résumé : Dans la construction des travaux, on rencontre souvent des glissements de terrain et des talus instables, ce qui présente des risques de sécurité pour la réalisation et l'exploitation du projet. Afin d'éviter la perte de vies humaines et de biens, une surveillance de déformation est très nécessaire. Les résultats de mesure de l'inclinomètre de forage peuvent refléter le déplacement de la structure des appuis souterrains, le changement de contrainte et l'état des fouilles, afin de connaître l'état des installations environnantes. Le présent article cite en exemple la surveillance du déplacement pour les talus d'entrée et de sortie du tunnel au niveau de l'autoroute nord-sud (Algérie), pour introduire la technologie de l'auscultation à trou profond du déplacement.

Mots-clés : glissement de terrain ; inclinomètre ; auscultation à trou profond ; auscultation du déplacement.

Abstract : In the construction works, landslides and unstable embankments are often encountered, which presents security risks for the construction and operation of the project. In order to avoid loss of life and property, deformation monitoring is very necessary. The measurement results of the borehole inclinometer can reflect the displacement of the underground bearing structure, the change of stress and the state of the excavations, in order to determine the state of the surrounding facilities. This article cites as an example the displacement monitoring for the entrance and exit slopes of the tunnel at the level of the north-south highway (Algeria), to introduce the technology of deep-hole displacement auscultation.

Key words : landslide; inclinometer; deep hole auscultation; displacement monitoring.

1. Introduction

L'auscultation à trou profond du déplacement fait partie importante du système de surveillance de glissement de terrain, elle est largement utilisée dans la surveillance des talus, des glissements de terrain et des fouilles profondes urbaines. Dans le domaine de l'ingénierie géotechnique, l'inclinomètre est principalement utilisé pour mesurer les mouvements du sol, tels que les talus instables (glissements de terrain) ou les éventuels mouvements latéraux dans le processus de déblai, il peut aussi être utilisé pour surveiller la stabilité des barrages et des murs à noyau d'argile. La méthode de l'inclinomètre est généralement utilisée pour surveiller le fluage interne de la roche et du sol sur les talus (glissements de terrain), en particulier le vecteur de déplacement de la surface de glissement. À travers le tube d'inclinomètre dans le trou de forage, on peut mesurer le changement du déplacement de la roche profonde au fur et à mesure de la profondeur du trou, et montrer une courbe < déplacement – profondeur >. À travers cette courbe, on peut localiser la surface de glissement et surveiller la valeur et la vitesse du déplacement de la surface de glissement [1].

2. Système de l'inclinomètre de forage

L'inclinomètre est très nécessaire pour la sécurité de la réalisation et la stabilité à long terme dans la construction des travaux. Son application attire plus en plus d'attention. Nous citerons en exemple l'inclinomètre de forage TL-06C pour présenter ses composants principaux.

2.1. Composants du système

Le système de l'inclinomètre de forage TL série est composé des trois parties : une sonde, un appareil de lecture et un logiciel de traitement des données.

(1) Sonde

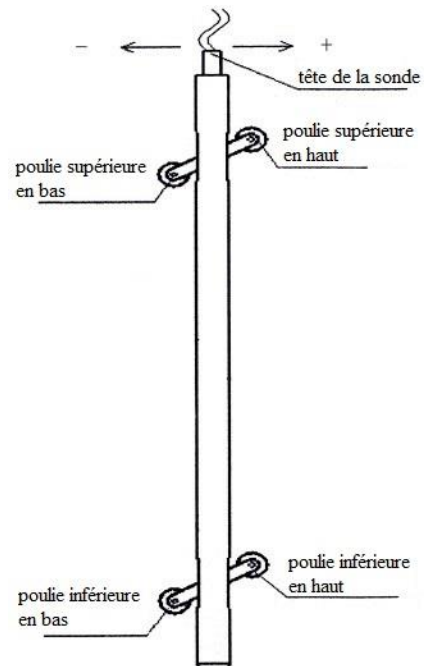


Figure 1 : Dessin de la sonde.

Figure 1: Drawings of the probe.

La sonde est un composant central du système de l'inclinomètre (voir la figure 1). Elle est équipée de capteurs de précision pour détecter l'angle des points de mesure à profondeurs différentes par rapport à la verticale, et puis calculer la valeur de changement de déplacement entre ces points de mesure. La précision de mesure du système de l'inclinomètre dépend de la précision de mesure de la sonde, et le composant central de la sonde est l'accéléromètre de flexion de quartz.

(2) Appareil de lecture

L'appareil de lecture est un appareil secondaire pour la sortie de données de l'inclinomètre, qui est utilisé pour réceptionner, montrer et stocker les données de la sonde, et transmettre ces données à l'ordinateur.

(3) Logiciel de traitement des données

Le logiciel marche dans l'ordinateur avec Windows. Il peut réceptionner les données de l'appareil de lecture, calculer la valeur de déplacement et dessiner le tableau.

2.2. Caractères de performance

1) Caractères techniques généraux

- Temps de service : en cas de la batterie complètement chargée, l'inclinomètre peut fonctionner sans interruption pendant plus de 8 heures ;
- Portée de mesure : angle d'inclinaison du trou $\leq 50^\circ$;
- Tolérance globale : $\leq \pm 4\text{mm}/15\text{m}$ (profondeur) ;
- Température de travail : $-10\text{C} \sim 50\text{C}$;

2) Caractères techniques de la sonde

- Sensibilité des capteurs : $0.02\text{mm}/8''$;
- Écartement des poulies : 500mm ;
- Dimension de la sonde : $\Phi 32\text{mm} \times 660\text{mm}$

3. Principe

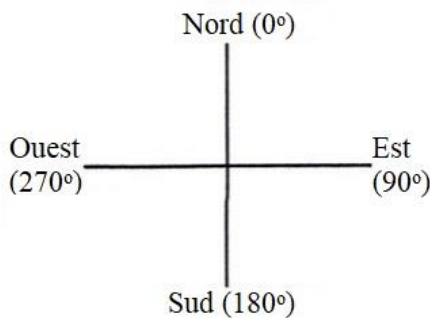


Figure 2 : Définition des angles d'azimut

Figure 2 : Definition of azimuth angles

À travers l'inspection et la conception, on peut déterminer le point de surveillance de déplacement à trou profond, percer un trou et y enterrer le tube spécialisé de guidage de surveillance, pour faciliter le levage et l'abaissement de la sonde. Il existe deux ensembles de rainures de guidage perpendiculaires l'un à l'autre dans le tube de guidage. La sonde de l'inclinomètre est équipée d'un capteur, à savoir l'accéléromètre de flexion de quartz. Lorsque la sonde est dans un état vertical, l'axe sensible du capteur est à la position zéro, à ce moment le signal de sortie est appelé < décalage zéro >. Afin d'éviter l'influence du décalage zéro, deux mesures positives et négatives sont prises, et leur somme

algébrique est prise comme résultat de mesure d'un seul azimut. Selon le principe de la sonde, dans la mesure réelle, il est recommandé d'aligner la poulie supérieure de la sonde vers le nord ou l'est, qui est considéré comme azimut positif du test. Voir les détails dans la figure 2 : définition des angles d'azimut.

Le principe de calcul du déplacement est comme suit :

Dans la figure 3, lorsqu'il existe un angle entre l'axe sensible de la sonde et l'axe de référence (l'axe de gravité de la planète Terre), on peut calculer la valeur de sortie $\langle U \rangle$ pour l'accéléromètre de la sonde, voir les détails dans la formule 3-1 :

$$U = A + K \cdot g \cdot \sin \theta \quad \text{formule (1)}$$

Où :

A : Valeur de décalage de l'accéléromètre (décalage zéro)

g : Facteur d'échelle de l'accéléromètre

G : Accélération de la pesanteur à la surface de la Terre.

θ : Angle d'azimut

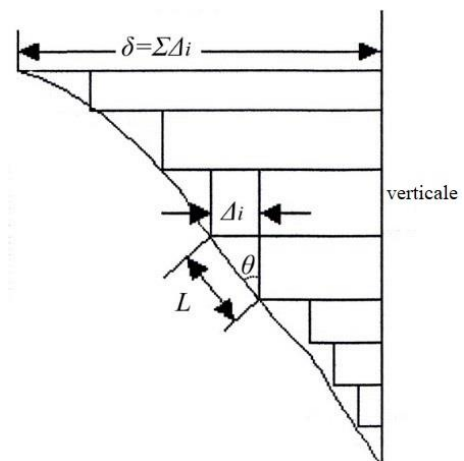


Figure 3 : Principe de mesure

Figure 3 : Principle of measurement

Afin d'éviter l'influence du décalage zéro de l'accéléromètre, deux mesures positives et négatives sont prises. Par exemple, on prend tout d'abord un test sur l'est dont les données sont marquées comme U1, et puis on prend un test sur l'ouest dont les données sont marquées comme U2, enfin U1 moins U2 :

$$U_1 - U_2 = 2Kg \sin\theta \tag{2}$$

Dans la figure du principe de l'inclinomètre :

$$\sin\theta = \Delta_i / L \tag{3}$$

Où :

L : Valeur d'écartement entre les poulies : 500mm

Δ_i : Déplacement horizontal (mm)

θ : Angle d'azimut

On met la formule 3-3 dans la formule 3-2 :

$$\Delta_i = (U_1 - U_2)L / 2KG \tag{formule 3-4}$$

Pour un trou de mesure, dans une direction fixe, la somme des valeurs de déplacement pour chaque point de mesure est comme suit : $\Delta_{\text{total}} = \sum \Delta$

4. Réalisation et opération

4.1. Procédure de la technologie

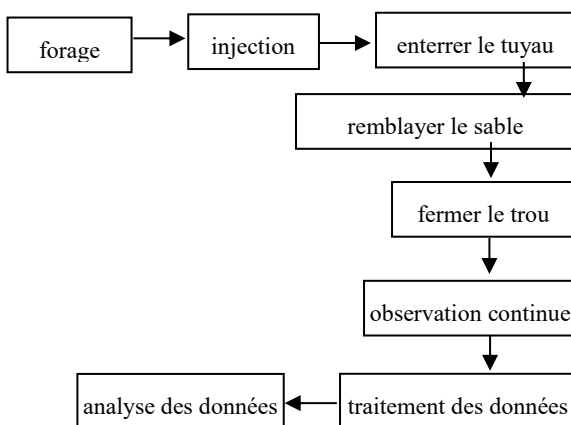


Figure 4 : Procédure de la technologie de l'auscultation à trou profond du déplacement

Figure 4: Procedure for Deep Hole Displacement Auscultation Technology
Préparation des ressources

Le matériel principal est comme suit : l'inclinomètre, la machine de forage et la machine de terrassement. La machine de terrassement est utilisée pour niveler le terrain et faciliter l'opération de la machine de forage.

Les matériaux principaux sont comme suit : le tuyau inclinométrique, le sable fin et le coulis de sable.

Le personnel est comme suit : 1 responsable, 2 géomètres, 1 électricien et 2 opérateurs.

4.2. Réalisation

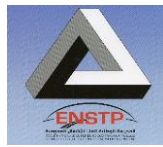
(1) Forage

1) Disposition d'un point d'auscultation

Pour un terrain ou un ouvrage, la disposition du point d'auscultation doit être raisonnable et convenable conformément à la situation réelle. En général, la distance horizontale entre deux points d'auscultation n'est pas inférieure à la profondeur d'un trou de forage, le nombre des points d'auscultation peut aussi être augmenté ou diminué selon le niveau de l'ingénierie géotechnique. Lors de la réalisation, le forage doit s'exécuter verticalement, et l'angle de tolérance est inférieur à 2°. Le diamètre du trou définitif est supérieur à celui externe du tuyau inclinométrique, la profondeur du trou est supérieure à celle de la zone de déplacement la plus profonde de 5m.

2) Formation du trou

Le forage doit s'exécuter avec la machine de forage. Concernant un trou avec une profondeur ne pas supérieure à 20m, on utilise une tête de forage $\Phi 127\text{mm}$. Concernant un trou avec une profondeur supérieure à 20m, soit on utilise une tête de forage $\Phi 127\text{mm}$ selon l'état géotechnique et on creuse un trou jusqu'au fond, soit on utilise tout d'abord une tête de forage $\Phi 108\text{mm}$ pour ouvrir un trou, et puis on utilise une tête de forage $\Phi 127\text{mm}$ pour élargir ce trou. Tous les trous doivent être réceptionnés et répondre aux exigences avant l'enterrement du tuyau inclinométrique.



positive de la roue de guidage. Lorsqu'elle est conforme à la direction positive de la coordonnée de déplacement mesurée (+X), la valeur observée est positive, sinon elle est négative. Ensuite, selon les marques sur le câble, mesurer et lire l'angle de l'axe du tuyau inclinométrique par rapport à l'axe de référence à chaque longueur de base.

Le test doit respecter les deux points suivants :

(1) Lorsque la partie inférieure du tuyau inclinométrique est fixée de manière fiable dans le substratum rocheux (la profondeur d'enfouissement doit être supérieure à 5m), il est confirmé qu'il n'y a pas de déplacement du substratum rocheux. À ce moment, on peut mesurer de bas en haut, jusqu'à l'embouchure du tuyau.

(2) Lorsque le fond du tuyau inclinométrique est suspendu (le fond n'est pas fixé au substratum rocheux), l'embouchure du trou doit être considérée comme point de référence, et on utilise un appareil de mesure pour mesurer les coordonnées et l'élévation de l'embouchure du trou. À ce moment, l'inclinomètre doit être effectué de haut en bas.

4.4. Collection et analyse des données

En général, la collection et l'analyse des données se font via le système de traitement automatique et intégré. Ce système peut collectionner et traiter automatiquement les données, ce qui double l'efficacité et la qualité du travail. Il s'agit d'un programme informatique établi sur la base de paramètres de l'inclinomètre et de formules de calcul, et ses résultats sont produits sous forme de tableaux et de graphiques.

4.5. Mesures pour diminuer la tolérance de mesure

Afin d'améliorer la précision de la mesure, lorsque les quatre roues de guidage n'entrent pas complètement dans la rainure de guidage dans

une certaine section de mesure au cours de la mesure, la valeur moyenne arithmétique U changera considérablement. Par conséquent, les quatre roues de guidage doivent entrer complètement dans la rainure de guidage pendant la mesure. Il est à noter qu'on peut mesurer plusieurs fois au niveau de la tête du tube. Si la valeur de la somme d'un ou deux points s'écarte trop de la valeur normale, elle peut être rejetée. Cela est dû au fait que certaine roue de guidage ne se trouve pas dans la rainure de guidage, ce qui se produit souvent au niveau de la tête du tube.

Afin d'éliminer la tolérance du système, le déplacement (angle) de chaque direction ($\pm X$, $\pm Y$) doit être mesuré section par section en suivant la direction positive et la direction négative, et on prend la valeur de moitié de la différence pour calculer le déplacement de chaque section.

La moitié de la somme des deux valeurs mesurées dans les directions positive et négative au niveau de toutes les sections du tout tube inclinométrique égale la lecture de l'inclinomètre à l'état vertical théorique, qui doit être une valeur fixe.

Si les lectures sont discrètes, cela peut être causé par les quatre situations suivantes :

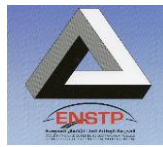
1) La ligne reliant les centroïdes géométriques des roues de guidage avant et arrière de l'inclinomètre n'est pas complètement parallèle pendant les deux mesures, positive et négative ;

2) La coordination entre la roue de guidage et la rainure de guidage n'est pas bonne ;

3) L'écart entre la roue de guidage et le cadre de roue est trop grand ;

4) Le tube inclinométrique n'est pas bien consolidé avec la bentonite ou le sable de sol original.

En conséquence, la fiabilité de l'appareil doit être vérifiée pendant la préparation, et il faut accorder une attention à l'utilisation correcte de l'appareil au cours de l'observation, pour



répondre aux exigences de la précision de la mesure et assurer la fiabilité des résultats de la mesure. S'il existe une différence majeure entre une certaine valeur d'observation et ses deux valeurs d'observation précédente et suivante, il faut vérifier si cette différence est causée par une erreur d'observation accidentelle^[2], ou si la valeur d'observation initiale est fautive. Il faut trouver la raison ou éliminer cette valeur d'observation.

5. Contrôle de qualité et mesures de sécurité

5.1. Contrôle de qualité

La fréquence de surveillance est étroitement liée à l'activité du terrain de glissement, et on peut décider la fréquence de surveillance selon les exigences des études. Pour le projet du dédoublement de la RN01 entre CHIFFA et BERROUAGHIA sur 53KM, la date de début de la surveillance globale du projet est la journée après 6 mois des travaux, à compter de la journée de l'entrée du tunnel. S'il n'y a pas de déplacement ou S'il y a peu de déplacement, la fréquence de surveillance est comme suit : une fois de surveillance chaque trois jours pendant les premiers neuf jours ; une fois de surveillance chaque semaine à compter du dixième jour ; une fois de surveillance chaque mois à compter du trentième jour. Si le déplacement est important, après la surveillance dynamique, il faut tout d'abord traiter immédiatement les données enregistrées originales, ensuite distinguer et vérifier ces données, enfin calculer, analyser et arranger ces données considérables (retirer les scories et sélectionner l'essence, jeter le faux et garder le vrai), vérifier et corriger les données sur site en cas de nécessité, pour garantir que les données de surveillance sont sécuritaires, précis et fiables. A travers l'analyse technique des données originales, on peut obtenir une courbe du changement de déplacement pendant chaque surveillance au fur et à mesure du changement de la profondeur.

5.2. Mesures de sécurité

5.3.

(1) Effectuer une inspection complète de tous les composants de la machine de forage avant de démarrer la machine, et éliminer tout défaut à temps.

(2) Lors du forage, la surface de stationnement doit être plate. Lorsque la machine opère sur un sol incliné, le bas des patins de chenille doit être fermement bouché avec des cales.

(3) Il est interdit d'opérer la chenille lorsqu'elle est à moins de 2m du bord de la falaise, l'opération verticale est utilisée lorsque la chenille est de 2m à 3m du bord de la falaise, et l'opération oblique est utilisée lorsque la distance est supérieure à 3m.

6. Exemples

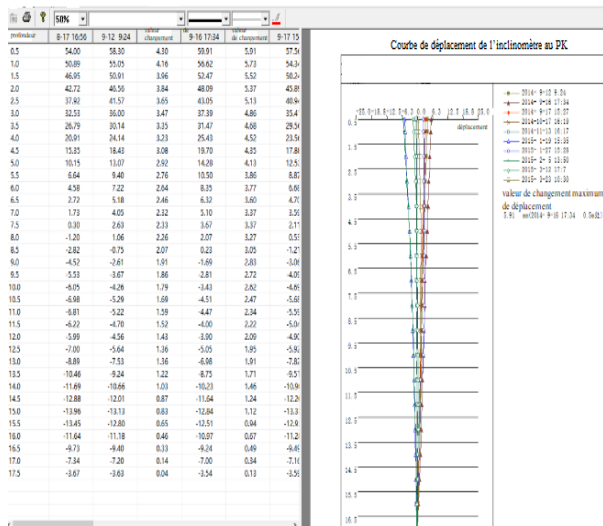
Pour le projet du dédoublement de la RN01 entre CHIFFA et BERROUAGHIA sur 53KM, la technologie de l'auscultation à trou profond du déplacement est tout d'abord utilisée dans la surveillance de la stabilité des talus de l'entrée et la sortie au niveau des tunnels T1 et T2. Quatre trous inclinométriques sont installés, dont un trou se trouve au portail gauche du tunnel T1 et trois trous au portail du tunnel T2. La profondeur totale de ces quatre trous est de 209m. A travers l'observation et l'analyse, après les travaux de protection du portail et l'excavation du tunnel, les résultats de surveillance montrent que les portails sont dans un état stable, ce qui affirme que les études de protection du portail sont raisonnables.

La figure 6 ci-dessous montre les données déjà traitées du trou inclinométrique C01. Cette figure relève que la couche du sol est progressivement stable, ce qui montre que les talus du tunnel T1 après l'excavation du tunnel sont dans un état de sécurité.

Tableau 6 : Traitement des données de l'inclinomètre

Table 6: Inclinometer data processing

ystème de gestion des données de l'inclinomètre coulissant ASIT CO., LTD.



7- Conclusion

Pour le projet du dédoublement de la RN01 entre CHIFFA et BERROUAGHIA sur 53KM, au cours des travaux des talus au niveau de l'entrée et la sortie du tunnel, du haut remblai (déblai) de la plate-forme, la technologie de l'auscultation à trou profond du déplacement a été utilisée pour surveiller leur déplacement dans plusieurs points. Au cours de la surveillance, on a confirmé la stabilité des talus à travers le déplacement transversal du point d'observation, ce qui montre que cette technologie a été bien appliquée et obtenu de bons résultats. Vu les effets de la tension biaise pour le portail gauche du tunnel T1, avant l'excavation du tunnel, il est difficile de décider s'il y a la déformation au niveau des talus ; donc, à partir de l'excavation du tunnel jusqu'à ce que la longueur d'excavation arrive à 200m, à travers la surveillance de l'inclinomètre de forage, on a analysé la fiabilité des données et vérifié la tolérance accidentelle, leur résultat relève que les talus sont dans un état stable. La technologie de l'auscultation à trou profond du déplacement est aussi utilisée dans 15 positions au niveau du portail du tunnel et dans la zone à haut remblai, les résultats montrent que : les données de l'inclinomètre de forage ont une bonne valeur de référence dans les études du terrain de glissement. Donc, pendant les travaux, il est viable d'utiliser les données sur la reconnaissance géographique et les données de l'inclinomètre pour confirmer si le terrain de glissement interne est stable.

Bibliographie

[1] CAI Qinge, ZHAO Dong, XIA Wangmin, *Analyse des données sur la surveillance du déplacement dans les positions profondes du glissement*, calamité, 2018, 33 (S1) : 156-160.
 [2] FU Min, DENG Qinglu, HUANG Xiaoming, *Application de la technologie de surveillance du déplacement profond dans la surveillance de déformation du glissement*, Yangtze River, 2017, 48 (8) : 44-48.