
Confortement, Stabilisation et Suivi du Remblai 29 sur pente.

Tronçon 3.2, Autoroute Fès - oujda

M. ALJ (ADM) & H. MANSOURI (LPEE)

alj.mohammed@adm.co.ma;

hamoumansouri@yahoo.fr

RÉSUMÉ : Le Remblai 29, objet de cette présentation fait partie de la section autoroutière reliant les villes Oued Amlil et Taza de l'autoroute Fès – Oujda.

Cette section d'autoroute empreinte le couloir de contact (dite couloir de Taza) entre deux principaux domaines géologiques : le domaine atlasique au sud et le domaine rifain au nord.

Le tracé évolue dans le domaine rifain. Il traverse des terrains à topographie sinueuse, faisant partie du domaine du pré rif externe.

Vu la faible portance des assises de remblai et un ancrage en pente en profil en travers de l'autoroute, Le projet d'exécution, complété par les recommandations de missions d'expertises a prévu des mesures de renforcement, soit par des purges d'assises, de bèches d'ancrage ou des butées de soutènement.

Pour le cas du R29, une bêche d'ancrage de 2 à 4 mètre et une butée sur 80 ml ont été prévue et ils ont été réalisés.

Suite aux pluies du mois d'Octobre 2010, l'assise du remblai côté sud a glissée et il a entraînée avec elle le remblai. Des sondages de reconnaissance complémentaires ont été réalisés et l'expertise de janvier 2011, a recommandé le démontage et la reconstitution des masses glissées avec un confortement par une butée étagée, afin de réduire au maximum l'impact de son poids sur le versant instable. Une instrumentation de suivi de comportement et de mouvement éventuelle de l'assise et du remblai a été mise en place (4 inclinomètres).

En Juin 2011, et à moins de 1 mois et demi de la date prévisible de mise en service, un déplacement avec double cinétique à 10 m et l'autre à 25 m de l'assise de remblai a été détecté. Le mouvement avant la rupture est d'une cinétique de 3mm par jour entre la période de 14juin et 19juin.

La solution de confortement définitive recommandée par les experts LPEE, consiste en la mise en place de 89 pieux à l'amont et 234 pieux à l'aval du remblai avec des poutres de liaison et des tirants d'ancrage de renforcement. Le diamètre de ces pieux varie de 1,20 m à 1,5 m et la longueur à atteint les 35 mètre pour plus de 80% des pieux.

Le détail de la solution et l'ordonnancement des travaux, ainsi que la mobilisation des moyens importants pour la réalisation de ces travaux dans un temps record (mise en service 25 juillet 2011), ainsi que le suivi de la solution durant 2 ans, seront développés lors de la présentation.

MOTS-CLÉS : le Rif, Couloir de Taza, remblai 29, Purge, butée étagée, confortement par pieu jointifs en bloc, tranchée drainante.

1. Introduction

Depuis le 25 juillet 2011, l'autoroute Fès – Oujda est ouverte à la circulation. Avec ses 320 kms s'est achevé le premier contrat programme de 1500 km confié à la ADM.

Cette autoroute, est une réalisation majeure dont la finalisation vient couronner des années d'efforts et un aboutissement de 4 ans de chantier, durant lesquels ADM et ses partenaires (Entreprises, BET, Laboratoire, Experts..) ont travaillé d'arrache-pied pour faire aboutir ce projet et levé le défi.

Pour ce projet les couloirs plausibles ne permettent pas d'éviter les contraintes géologiques et géotechniques du site. D'un autre côté l'exigence de plus en plus soulignée du respect de l'environnement et de la sécurité exige de tous les intervenants d'éviter au maximum l'impact des glissements de terrain sur l'infrastructure, son environnement et son usager.

Dans l'état actuel des connaissances, et à de très rares exceptions près, on ne sait pas prédire une catastrophe naturelle. Il est par contre possible, dans le cas des glissements de terrain, de les déceler et de localiser les principales sections où ces phénomènes ont le plus de chances de survenir. A partir de là, on peut dans le meilleur des cas chercher à les éviter ou à s'en protéger et, dans tous les cas, faire en sorte que leurs effets soient les moins dommageables possibles.

Dans ce travail nous présentons un cas d'étude qui s'inscrit dans la thématique des accidents causés par les glissements de terrains. L'objet de cette intervention est de présenter le contexte difficile du couloir de l'autoroute dans le voisinage du remblai 29 du tronçon 3.2 de l'autoroute Fès Oujda, en passant dans les divers étapes : morphologie du glissement son évaluation, solution intermédiaire et solution de confortement définitive, sachant que c'est un glissement profond à deux niveaux de rupture qui menace l'infrastructure de l'autoroute.

2. Présentation du projet

La section Oued Amlil – Taza, long de 34,5 km est l'une des sections de l'autoroute Fès – Oujda (320 km) dernier maillon de l'axe Est – Ouest du réseau autoroutier marocain.

Cette autoroute de 2x2 voies de catégorie L1 selon la norme ICTAAL 2000 a une vitesse de référence 130 km/h et une déclivité maximale en pente de 5%. Elle comprend une chaussée de 2x3,5 m dans chaque sens avec une bande d'arrêt d'urgence revêtue de 2,50 m et une berme de 0,75m. Une terre pleine centrale de 3 m sépare les 2 sens de circulation.

A l'instar de tous les chantiers autoroutiers marocains, le suivi des travaux d'exécution de ce chantier sont géré par un système assurance qualité de niveau 3, exigeant à l'entreprise de disposer de 2 niveaux de contrôles : interne et externe à la production.

3. Le contexte et les contraintes du projet :

3.1. Le contexte géologique :

Cette section d'autoroute relie le centre de Oued Amlil (PK92) à la ville de Taza (PK127,5). Elle empreinte le couloir de contact (couloir de Taza) entre deux principaux domaines géologiques : le domaine atlasique au sud et le domaine rifain au nord.

Le tracé de l'autoroute évolue plutôt dans le domaine rifain. Il traverse des terrains à topographie sinueuse, faisant partie du domaine du pré rif externe. Les formations rencontrées sont généralement de nature marneuse, d'âge Miocène.

3.2. Le tracé du projet :

La ligne rouge du projet a divisé le Profil en long en 40 déblais et 40 remblais (déclivité maximale 5%) de moyenne à grande hauteur, voir de très grande hauteur en raison d'une topographie très marquée. Sur les 40 remblais, 17 sont de grandes hauteurs ($H_{max} > 10$ m).

L'axe du projet est globalement Ouest Est. Il traverse des terrains en grande partie meuble à semi rocheux, facilement érodables et très accidentés. Ils sont ainsi très vulnérables aux conditions climatiques.

Zone R29

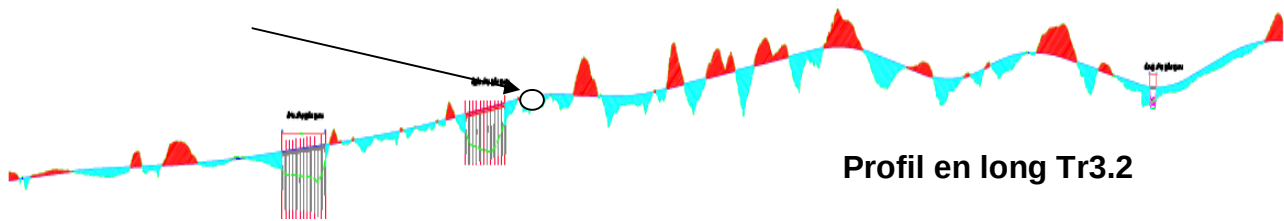


Fig1 : Profil en long du tronçon 3.2 de l'autoroute Fès - Oujda

Sur le même couloir du tracé se trouve la RN6, le chemin de fer et le gazoduc en sus des lignes THT et conduites d'AEP de la ville de Taza à partir du barrage BAB LOUTA.

3.3. Les contraintes géotechniques :

D'un point de vue géologique et géotechnique, le tracé peut être décrit comme suite :

- Du PK0+00 au PK8+00 : le tracé débute dans une zone récente du quaternaire. Il s'agit de formation alluviale et limoneuse, de l'ancienne terrasse de l'Oued Innaoune.
- Du PK 8+00 au PK18+00 : le tracé recoupe les terrains de la zone Préfaine. On rencontre les marnes jaune et grise de l'Oligocène et Miocène, et les marne limoneuse blanchâtre de l'Eocène inférieure
- Du PK18+00 au PK24+00 : le tracé traverse à nouveau les formations récentes alluviales, qui constituent les terrasses anciennes de l'Oued LAHDAR.
- Du PK24+00 au PK26+00 : le tracé traverse un complexe Pré rifain, hétérogène, constitué de marne et calcaire gréseux de l'Eocène, et de couverture de marne et blocs gréseux, salifère par endroit (Le R29, objet de la présente se trouve au niveau du PK 25+880).
- Du PK26+00 au PK34+600 : le tracé traverse la formation de marne grise du Miocène, altérées en surface.

Aussi, et au niveau de la section PK 26 – PK 27, il y a la présence d'une importante couche de sel. En effet nous notons la présence d'une mine souterraine qui exploite ce minerai, à cet endroit. Cette mine présente une exploitation par piliers, elle montre des galeries de dimension moyenne 10x10m avec des longueurs dépassant 100m



Photo1 : Entrée mine de sel, limitrophe R29

Vue ces éléments le MOE, a engagé des expertises afin de vérifier le les dispositifs de stabilité des ouvrages en terre. Ces expertises ont mis en évidence plusieurs vices sol d'assise qui ont été traités moyennant des dispositifs prévues par le support des travaux. Ces mesures concernaient principalement des purges, des butées et renforcement des dispositifs de drainage.

3.4. Les contraintes climatologiques :

La période d'exécution des travaux (2008 - 2010), a été marquée par une pluviométrie très abondante. Le cumul des précipitations enregistrées dépasse de loin le maximum enregistré durant les 30 dernières années.

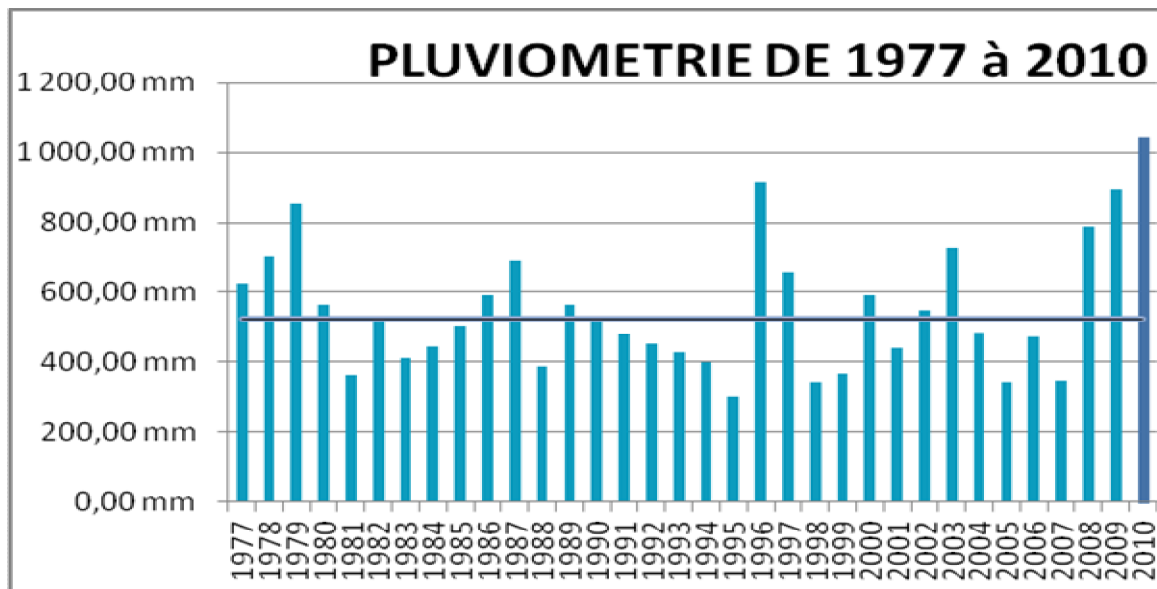


Fig 2 : pluviométrie enregistré au niveau station Taza durant la période 1977-2010

Ces pluies abondantes (particulièrement décembre 2009 – janvier 2010) ont été aussi à l'origine de crues exceptionnelles des oueds traversés par le tracé d'autoroute où les niveaux des eaux ont dépassés les PHE du projet.

4. Description du site:

Le site abritant le remblai 29 est un complexe Pré rifain, hétérogène, constitué de marne et calcaire gréseux de l'Eocène, et de couverture de marne et blocs gréseux, salifère par endroit.

Au point de vu hydrogéologique les calcaires gréseux emmagasine de l'eau et le restitue dans le sens de la pente vers le sud où ils mettent les marnes et les éboulis en charge.



Photo2: vue aérienne emplacement R29 sur tracé

5. Analyse de la situation et Chronologie des évènements :

Le versant abritant le remblai 29 a fait l'objet de plusieurs interventions pendant les travaux vu qu'il s'agit d'un site douteux à topographie accidenté.

Une fois le remblai encours de réalisation un désordre s'est produit en octobre 2010.

Ainsi des identifications complémentaires ont été réalisés (SD et SP).

3 sondages ont été réalisés et qui montrent plusieurs niveaux dans le contraste de résistance suivants l'état d'altération de la marne :

- SP1 : sol de faibles caractéristiques mécaniques sur 23m (cote tête de sondage 419)
- SP2 : marnes altérées jaunâtres entre 0 et à 6m (cote 429), la marne peu altérées de 6 à 13m sur la Marnes grises compactes.
- SP3 R29: marnes altérées sur environ 1à 6m d'épaisseur qui surmonte une marnes grise (cote 435)

Deux variantes de solution ont été proposées à savoir :

- A- Riper le tracé vers l'amont pour réduire l'épaisseur des terrains glissant sous le remblai et optimiser les confortements.

Cette possibilité est très séduisante comme le montre les sondages avec enregistrements de paramètre :

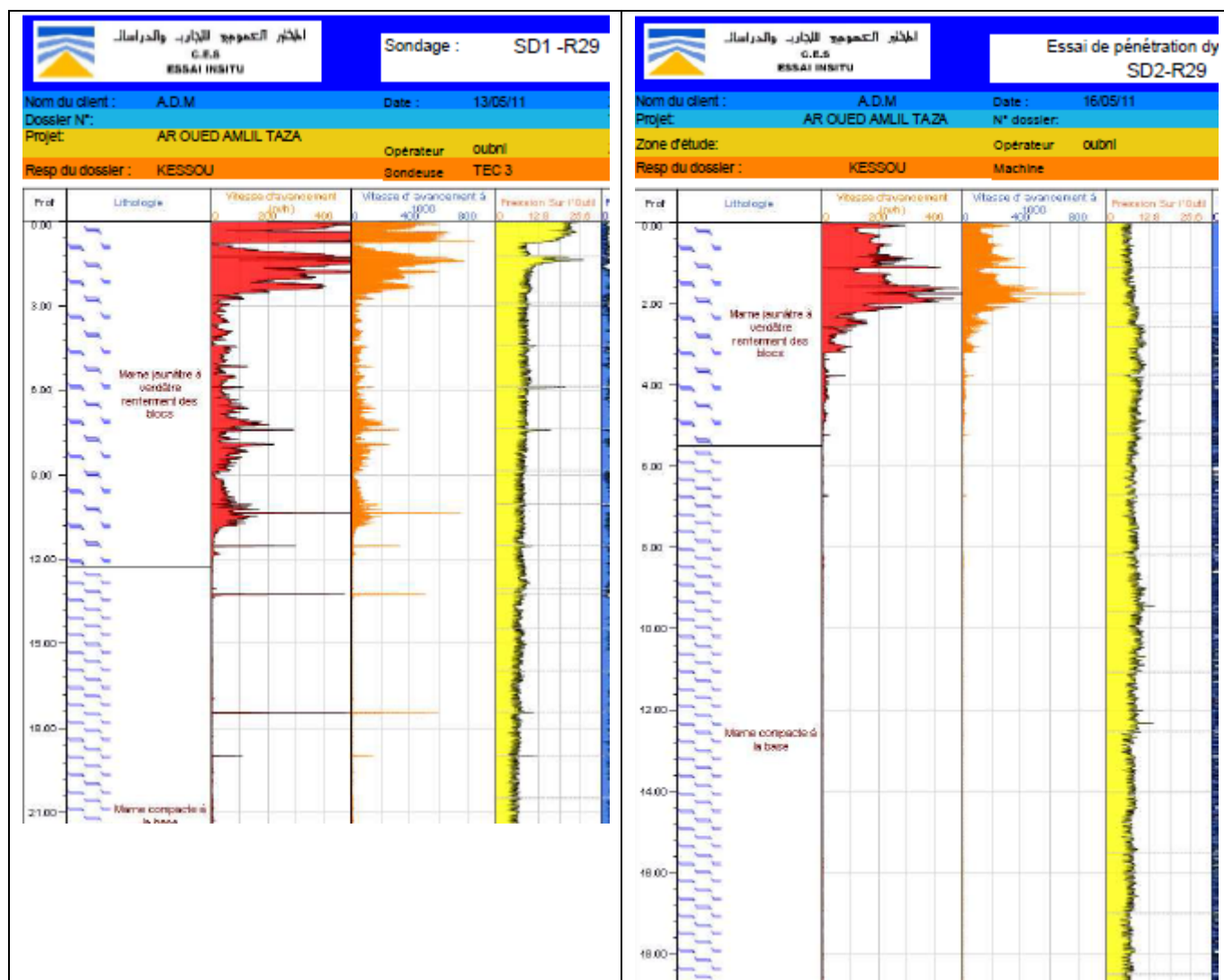


Fig 3 : En amont du tracé le terrain montre une faiblesse dans les 4 premiers mètres avec des anomalies moins prononcées qui se poursuivent en certains endroits jusqu'à 11m

Tandis qu'en aval le terrain est très douteux comme relaté dans les graphiques ci-après :

Mais cette variante ne peut être développée vu que le viaduc V6 (coté Fès) à 200 m du R29 et le (mur cloué) limitrophes sont déjà réalisés.

Aussi, et à ce stade, la solution de confortement par inclusion rigide (pieux en plusieurs rangs éventuellement renforcés par des tirants actifs, ou barrettes) a été ajournée, du fait que l'on doutait sur son apport dans un glissement dont la profondeur à soutenir atteint 26 m en certains endroits.

B- Renforcement par « une butée étagée »

Etant conscient du fait que l'on opère dans un couloir des glissements fossiles l'expertise a essayé de minimiser au maximum l'impact des remblais de l'autoroute.

Pour ce cas la purge s'avère impossible vu les profondeurs des terrains glissants qui dépassent les 20m.

Le collègue d'expert, a opté pour cette solution, dite de « terrassements » plus souple, rapide en exécution et moins coûteuse.

D'où l'idée de rentrer le mot de la butée étagée qui tient compte de la faiblesse du terrain avec renforcement du drainage il s'agit en fait des paliers de hauteurs ne dépassant pas 2,5 m :

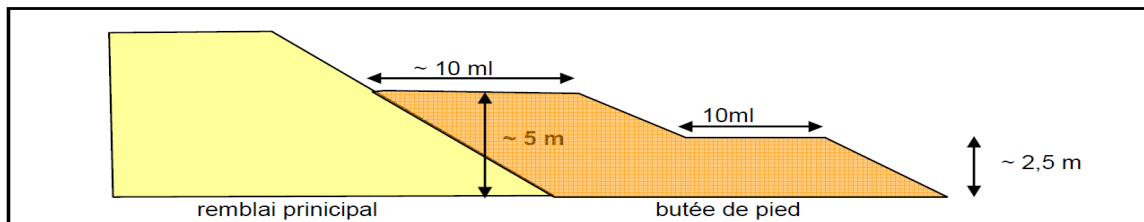


Fig4: schéma de la butée étagée

Les travaux ont été réalisés avec le phasage suivant :

1. Tranchée drainante amont continue de profondeur maximale de 5m;
2. Fossé longitudinal au TN pour recevoir les eaux de surface;
3. Décaissement des matériaux glissés,
4. Purge de 3 mètres avec réception du fond de fouille;
5. Réalisation d'une bêche aval (sur la ½ plate-forme aval) avec base drainante en matériaux frottant drainants. Trouver un exutoire à cette bêche est indispensable,
6. Réalisation d'une contrebutée de pied étagée avec une pente moyenne proche de la pente du versant,
7. Réalisation d'un collecteur de la tranchée drainante amont, à travers le remblai R29.

Pour le suivi de l'évolution du confortement, 4 inclinomètres ont été mis en place.

Avant achèvement des travaux et au niveau PST, le 2^{ème} mouvement s'est déclenché.

Les causes de ce 2^{ème} mouvement sont les suivantes :

- La quantité importante des eaux véhiculés dans une période à forte précipitations avec apparition de source et des écoulements de surface surabondante, en cette période pour la quelles le drainage provisoire n'est pas suffisant
- Le déclenchement du mouvement aval en deux niveaux vue la prédisposition du terrain marneux au glissement.

6. Solutions de confortement mise en place en juin - juillet 2011.

6.1. Conception de la solution :

A- Contexte de la solution de confortement

Malgré la proposition souple faite pour traverser ce glissement fossile, les apports importants d'eau, la faiblesse du terrain, l'existence de cavités liées à la dissolution du sel, n'ont pas permis le confortement de cet ouvrage en terre restant pour joindre les deux bords de l'autoroute de 320km à 2 mois de la mise en service.

La question qui s'est posée, c'est comment traverser ce couloir d'environ 200 m pour être au rendez-vous ?

Il est certain que même si on veut réaliser la solution pieux ou barrettes sur laquelle les experts ont toujours des réserves compte-tenu de son coût par rapport à un projet linéaire peut ne pas s'adapter pour deux raisons :

- La solution pieu n'est jamais utilisée pour des profondeurs aussi importantes (plus de 20 m),
- Le terrain est en cours de mouvement et enregistre des vitesses très importantes pouvant atteindre en certains inclinomètres 15mm pendant 24 heures. En quels cas on peut assister au cisaillement du béton des pieux à jeune âge.

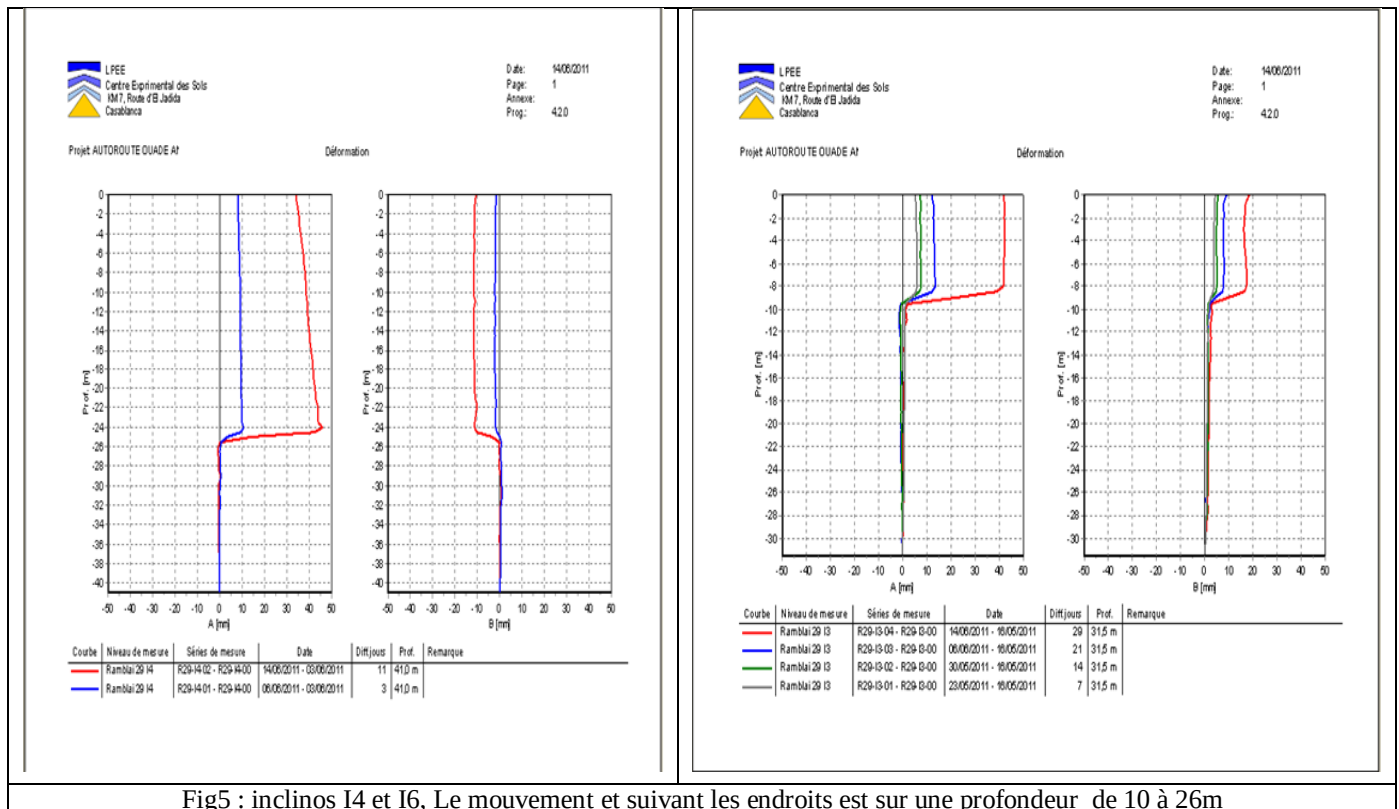
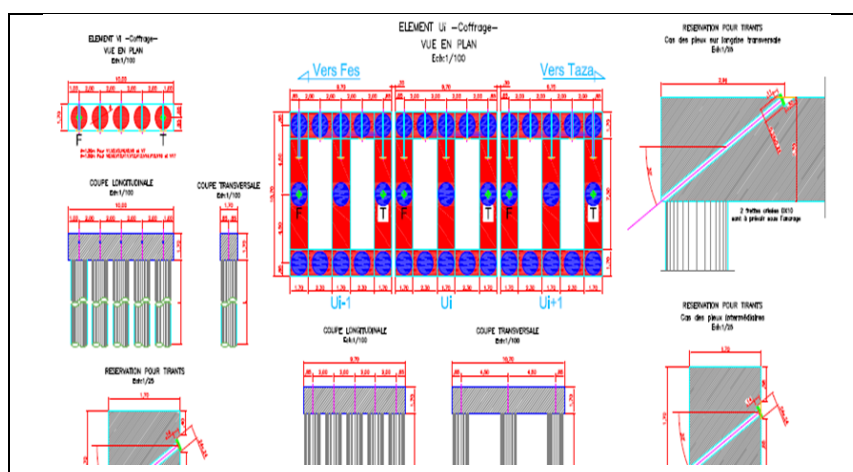


Fig5 : inclins I4 et I6, Le mouvement et suivant les endroits est sur une profondeur de 10 à 26m

B- Confortement par pieux jointifs en blocs.

Pour pouvoir sortir de cette problématique de profondeur et de la non compatibilité des pieux dans leur dispositif classique, la conception d'un dispositif de confortement en groupe de pieux jointif a été conçue. Cette conception a l'avantage de présenter une inertie globale du dispositif assez importante tout en sollicitant une grande bande du sous-sol.

Fig6 : Schéma d'unité de pieux avec détail de raccordement et réservation pour tirants



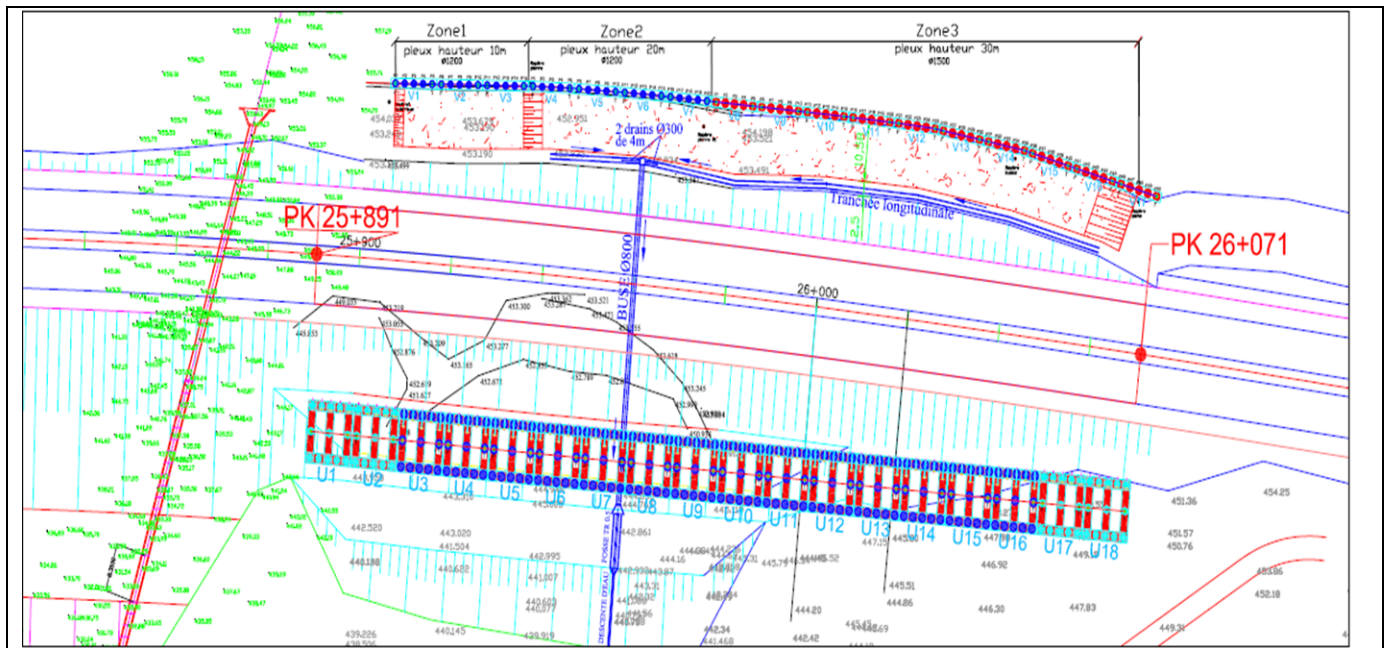


Fig7 : Schéma d'implantation des pieux amont et aval

Ce dispositif a été vérifié par éléments finis suivant le modèle géotechnique suivante :

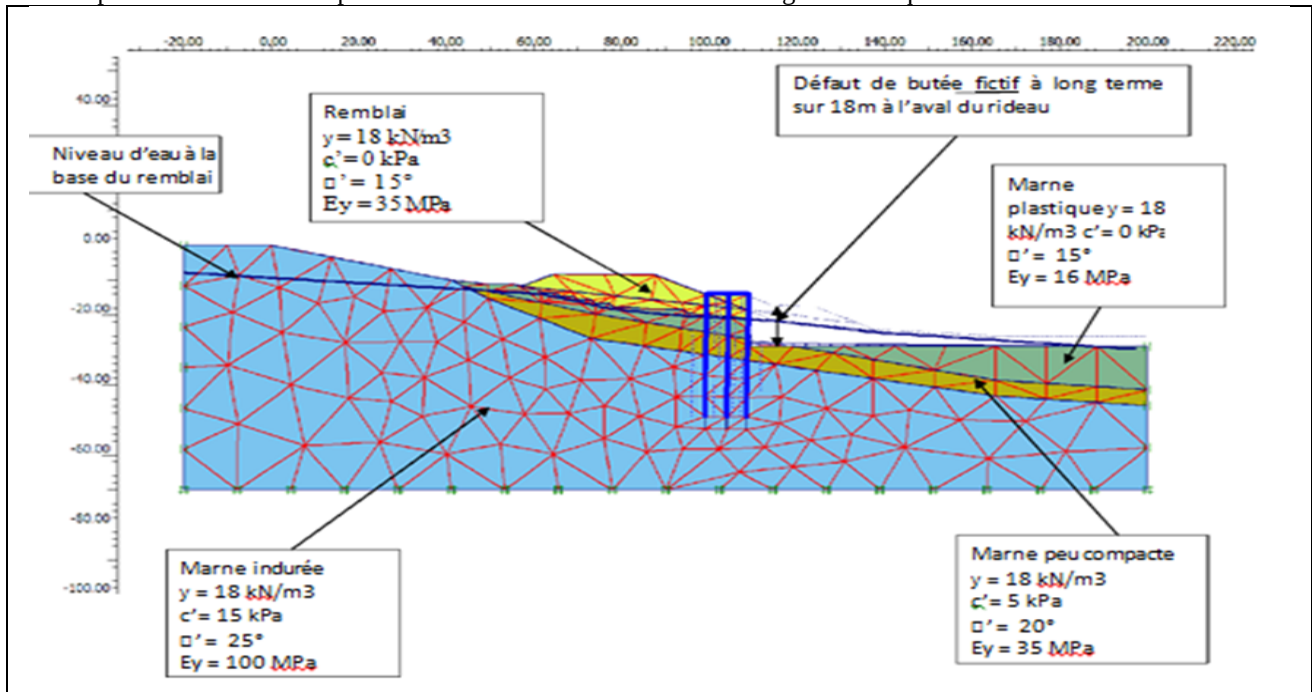


Fig8 : modélisation par éléments finis du R29.

On a obtenu par pieux :

- Un effort tranchant de 1100 KN.
- Un moment de 5 000 KN.m/m.
- Les déplacements maximum sont de 45cm

6.2 Exécution de la solution

Compte-tenu de la vitesse importante du glissement comme relaté dans l'instrumentation ci-avant et pour réaliser les pieux sans endommagement le démontage du remblai était nécessaire.

Dans ce cas la monté du remblai ne sera effectuée qu'une fois les pieux seront réalisés, ce qui peut engendrer un délai supplémentaire de l'ouverture de l'autoroute de moins 6 mois.

Même avec cette action on ne peut pas garantir la stabilisation du terrain vu que celui-ci est en cours de mouvement avec l'ouverture de fissure et leur mise n'en charge pas les écoulements souterrains.

Pour contourner cette problématique on a retenu au préalable, à la solution des unités de pieux en aval, d'une file de pieux amont à l'autoroute, avec tirant passifs (zone où le terrain glissant est à faible épaisseur) et une tranchée drainante.

La solution de confortement définitif retenu par les experts consiste en la réalisation des travaux suivants, en respectant cet ordonnancement :

1-Décaissement optimale du remblai en commençant par la bande extérieur BAU voie droite avec une pente de 3H / 2V jusqu'à la plateforme prévue pour les pieux ;

2- Réalisation de la file de pieux en amont au niveau des zones 2 et zone3 puis la zone 1, en partant du centre vers les extrémités;

3- Réalisation entre la plateforme et les pieux amont d'une tranchée drainante profonde (8 m) afin de stabiliser la plateforme des pieux avals (la diminution du mouvement constaté dans les graphiques des inclinomètres est essentiellement liée à la diminution progressive de l'eau dans les axes de drainage);

4- Parallèlement et une fois constaté la stabilisation du mouvement par l'instrumentation en place, démarrage du confortement en aval en commençant des bords;

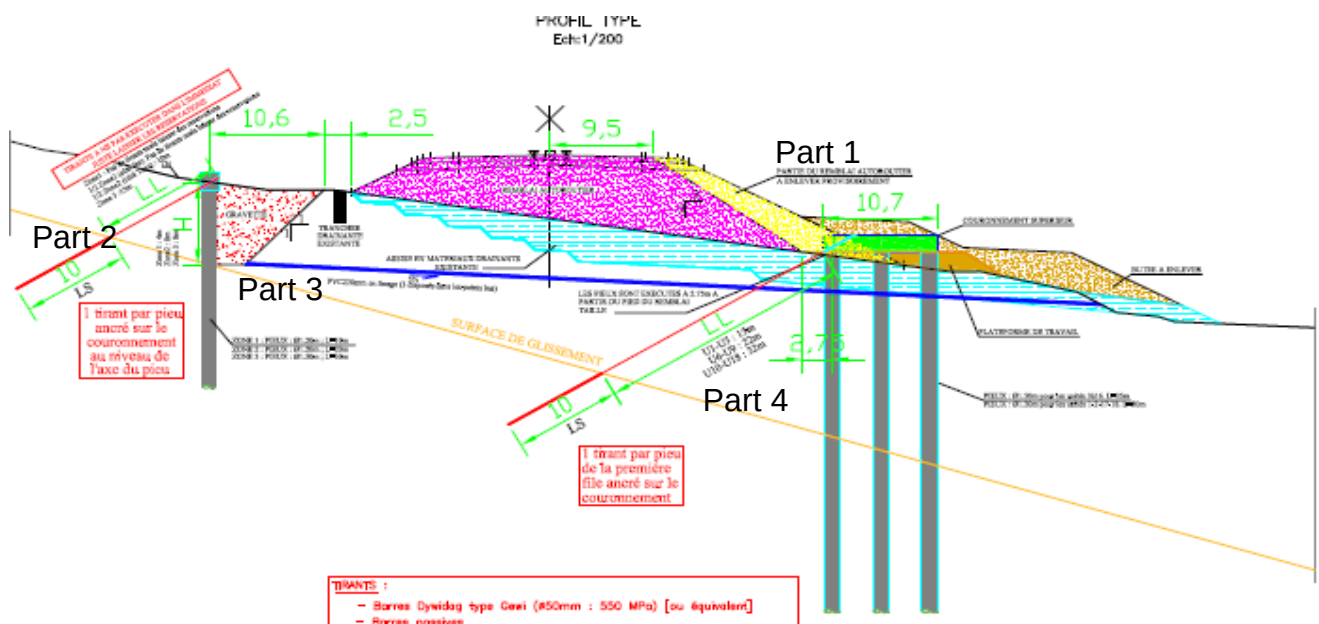




Photo3 : 4 foreuses en actions sur 180 ml



Photo4 : réalisation de la tranchée amont

Les travaux de confortement définitif ont été caractérisée par :

- Mobilisation de 3 entreprises simultanément (6 foreuses, 2 CAB, 4 grues de manutention..) afin de réaliser les travaux urgents avant mise sous circulation (30 % des travaux) dans un délai de 45 jours ;
- Gestion et ordonnancement de chantier de 3 entreprises dans un espace très confiné (moins de 2 hectares de surface)
- Organisation des travaux de chaussée restante et de la DBA dans un délai de 5 jours.

7. Suivre du confortement et du versant après l'exécution de la solution.

Le premier objectif était de suivre l'évolution dans le temps des déplacements au droit de l'ouvrage et dans le champ libre, afin de vérifier l'efficacité des pieux, en termes de réduction des mouvements, le deuxième est d'avoir une idée sur l'état des contraintes et des sollicitations dans les pieux à l'état actuel de service et leur évolution dans le temps.

L'instrumentation de suivi a été disposée comme suit :

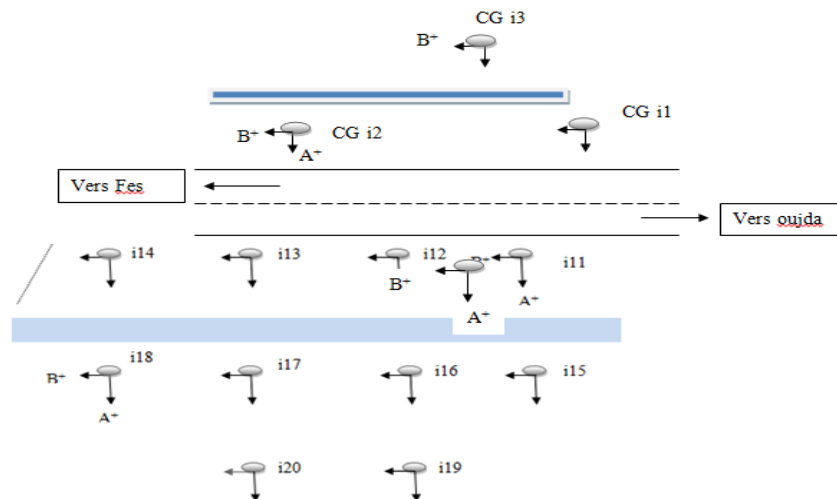


Fig10 : Schéma d'implantation des inclinomètres.

Fig11 : Les inclinomètres en amont de l'autoroute sont stables depuis leur installation en fin travaux :

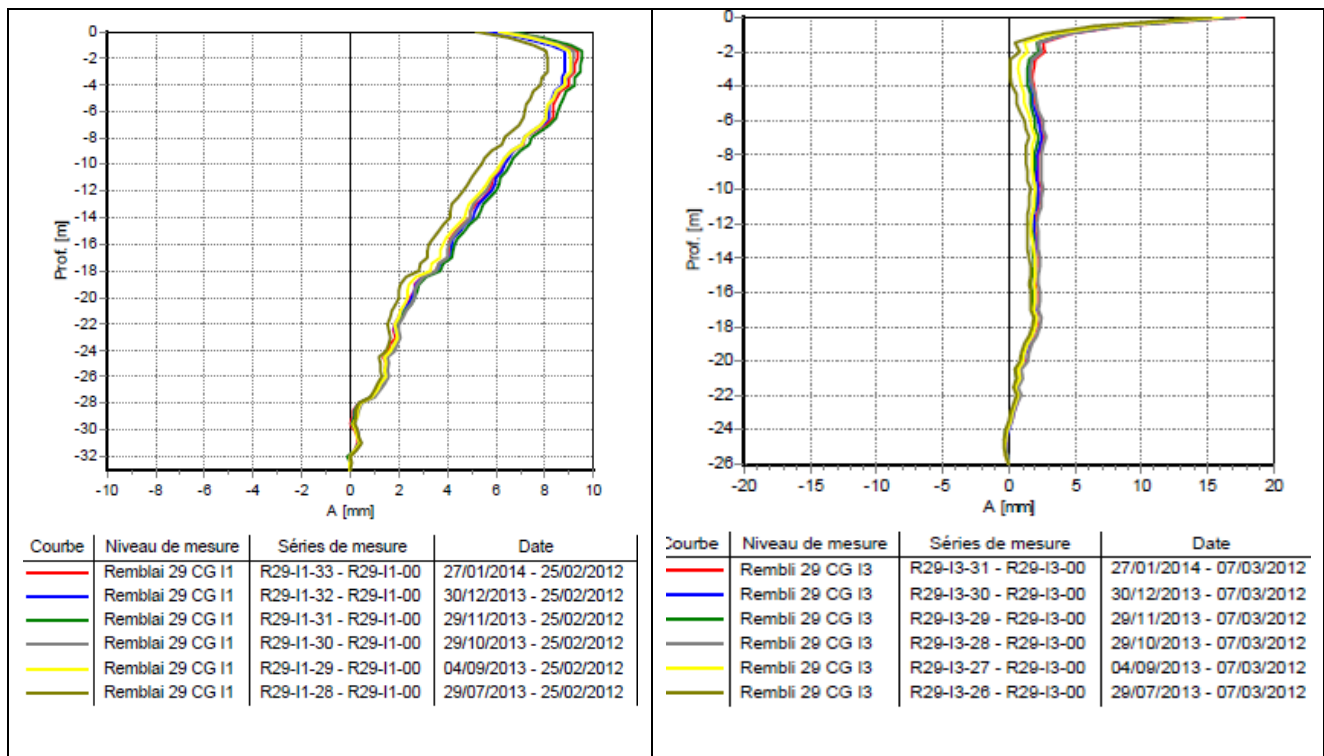
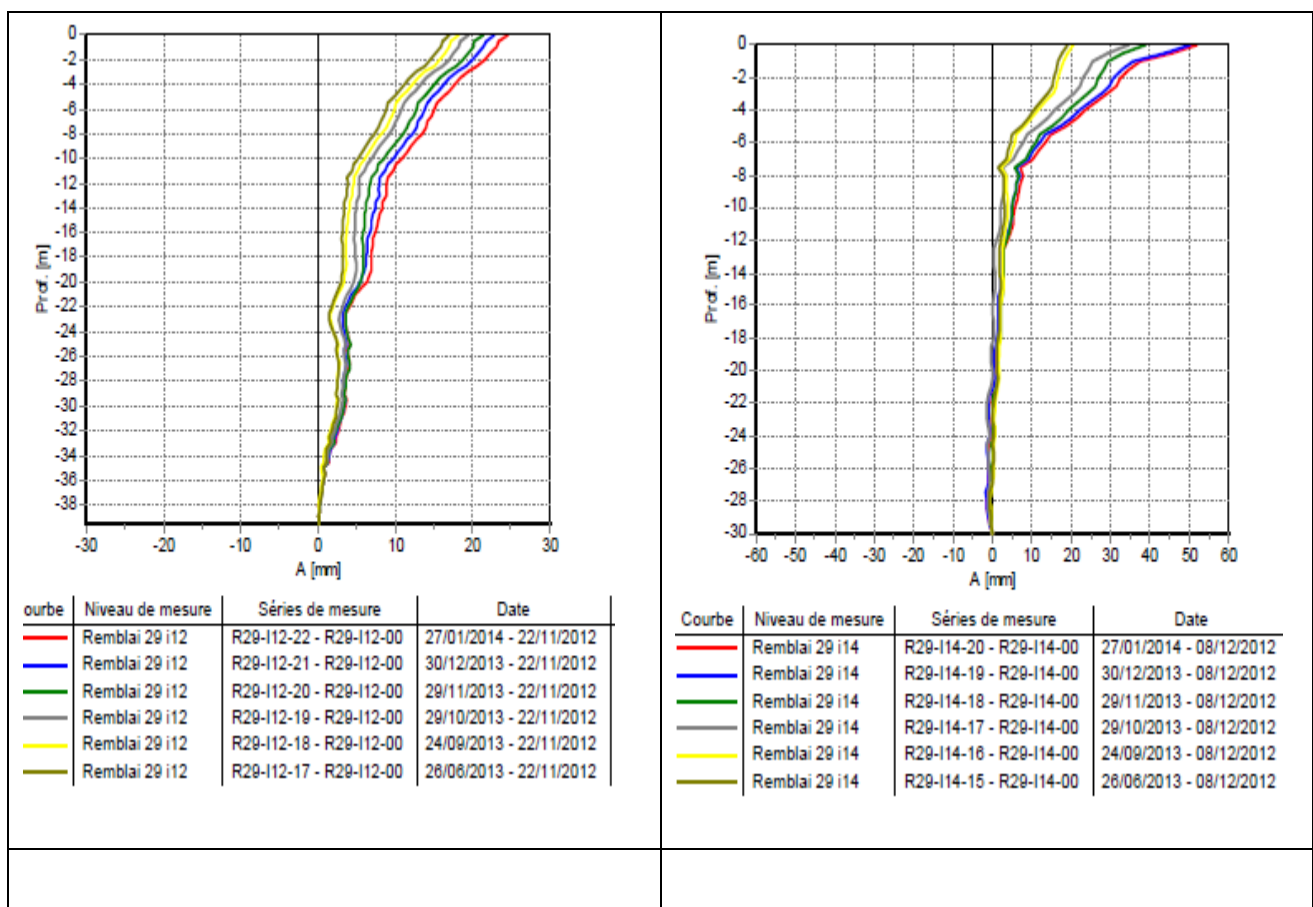


Fig12 : la File des inclinomètres entre le confortement aval et l'autoroute :



La lecture des déplacements fournie par ces instruments de suivi, permet de conclure que:

- o Le mouvement est superficiel par rapport à l'état initial du versant qui montre des glissements à des profondeurs dépassant 25 m en certains endroits. il est atténué par la présence du confortement.

- o Un mouvement superficiel existe, et il nécessite le renforcement et l'entretien du drainage pour préserver la butée en aval des pieux formé par le terrain naturel.

Les déplacements obtenues au niveau des inclinomètres à ce jour montre que ces derniers sont actuellement faibles comparés à la déformées prévu dans les pieux.

Conclusion

Les ouvrages linaires en route, autoroute et voie ferrés s'étalent sur plusieurs kilomètres et traversent des sites instables. La réalisation des ouvrages en terre en remblai ou déblai avec les nouvelles conditions hydraulique apporté par l'ouvrage ne peuvent que rompre un équilibre précaire. Parmi les défis auxquels sont confrontées les responsables de travaux est la restitution à ces sites la stabilité permettant d'assurer la viabilité de l'ouvrage, tout en optimisant les coûts des traitements.

Le remblai 29 est un cas parmi d'autre des sites instables, sa gestion en cours de chantier et après mise en service (avec d'autre cas d'instabilités dans le même couloir) a demandé de tous les intervenants (Direction Travaux, Expert et laboratoire de suivi) de donner de leur mieux pour maitriser les délais et les coûts avec tous les imprévus de chantier.

RÉFÉRENCES

1. Le projet d'exécution de construction de l'autoroute Fès – Taza, Tronçon 3.1 & 3.2 (version 2007)- BET Khatib & Alami (Liban) ;
2. Le rapport de campagne de reconnaissance géotechnique du tracé de l'autoroute (Pk 92-PK 127) Mars 2006- LPEE (Maroc);
3. Le rapport expertise confortement des ouvrages en terre – janvier 2011, Egis géotechnique (France) ;
4. Les rapports des expertises de traitement du désordre R29 (janvier, mars, juin et juillet 2011) – CES/LPEE (Maroc);
5. Le projet d'exécution de la solution de confortement du R29- juillet 2011, CID (Maroc).