

ANALYSE ET RETOUR D'EXPERIENCE SUR LE CONFORTEMENT D'UN GLISSEMENT DE TERRAIN ROUTIER A BEJAIA (ALGERIE)

ANALYSIS AND FEEDBACK ON LANDSLIDES REINFORCEMENT OF THE ROAD BEJEJA REGION (ALGERIA)

Omar SADAOUI¹, Nassima ISSAADI², Samir SADAOUI³ et Ramdane BAHAR⁴

¹ *Laboratoire LGEA, Faculté de Technologie, Université de Bejaia, Algérie*

² *Bureau d'études et de réalisation en urbanisme- Bejaia, Algérie*

³ *Bureau d'Ingénieurs Conseils en Travaux Publics, Bejaia, Algérie*

⁴ *Laboratoire LEEGO, Faculté de Technologie, Université de Bab-Ezzouar, Alger (Algérie)*

RÉSUMÉ : La région de Bejaia est située à 250 km à l'est d'Alger, elle est caractérisée par de très grands glissements de terrain endémiques. La présente communication s'intéresse à un cas d'étude de glissement de terrain ayant affecté la route nationale RN24 reliant les wilayas de Bejaia et de Tizi-Ouzou au PK 226+300, lieu dit Assoumeth. Il s'agit d'une rupture brutale d'un versant de 2,2 Ha ayant engendré l'effondrement de la route sur 120m de longueur et un affaissement de l'ordre de 8m. Le diagnostic, l'étude géotechnique et la méthodologie de remise en état et du confortement de l'instabilité sont exposés et discutés.

ABSTRACT : The region of Bejaia is located, 250 km from East of Algiers is characterized by very large landslides. The resulting risk to human lives and economic losses. The causes are related to several factors: Anthropique, geological and hydrogeological. This paper presents on landslide April 17, 2012 at 21h at KP 226+ 300 RN 24 instead Assoumeth Boulimat department Bejaia- Algeria. This is a rupture a slope of 2,2 hectares who led the collapse of the national road RN 24 to 120m in length and subsidence (escarpment) of about 8m. Diagnosis of causes, geotechnical study and methodology of reinforcement in two phases will be presented and discussed

1 Introduction

La région de Bejaia est réputée par le phénomène récurrent des glissements de terrains qui touchent fréquemment les zones d'habitat et les routes traversant les zones montagneuses. Ces instabilités endémiques surviennent après les épisodes pluvieux à l'approche des premières chaleurs du printemps. D'après (Sadaoui et al., 2013; Bahar et al., 2014), les glissements affectent potentiellement les constructions perchées sur les versants montagneux à forte déclivité. Les routes nationales et les chemins de wilayas ont été sévèrement touchés à l'issue des pluies et l'enneigement, ce qui engendre de nouveaux aménagements et des travaux de confortement onéreux.

Plusieurs techniques de traitement des glissements de terrain ont été adoptées par la direction des travaux publics de Bejaia dans la remise en état des tronçons routiers endommagés. Elles consistent en général en la projection de murs de soutènement rigides en béton armé, murs souples en gabions et/ou massifs renforcés par des géotextiles (Sadaoui, 2008). Les ouvrages de soutènement et de drainage superficiels sont parfois inadéquats, d'où le recours au clouage profond pieux en béton armé.

2 . Description et ampleur des dommages

Le glissement de terrain a été survenu le 17 Avril 2012 à 21h au PK 226+300 à une distance de 200m de la mer au lieu dit Assoumeth- Boulimat wilaya de Bejaia (BICS, 2012; Sadaoui et al., 2013). Il avait occasionné l'effondrement d'une section de 120m de la route nationale RN24 en engendrant un rejet variable de 6 à 8m et d'une translation de la route sur 10m dans la direction

Sud-Nord (Figure 1 Figure 2). La route est complètement coupée à la circulation entre les wilayas de Bejaia et de Tizi-Ouzou ainsi que pour les villages avoisinants.

D'après l'investigation effectuée sur site, le périmètre d'impact du glissement de terrain touche une superficie de l'ordre de 2,2 hectares. Le volume des matériaux en mouvement est évalué à plus de 450 000 m³, tous les ouvrages de soutènement et de drainage de la chaussée ont été endommagés (Figure 3).

Le glissement de terrain est profond (ligne de rupture profonde de 15 à 20m), il est engendré principalement par les circulations d'eaux souterraines drainées par les bassins versants et l'effet de la transgression marine. La forte pluviométrie de la région de Bejaia durant le mois d'Avril 2012 avait amplifié le phénomène (Figure 4).



(a)- Glissement au PK 229+000 Boulimat

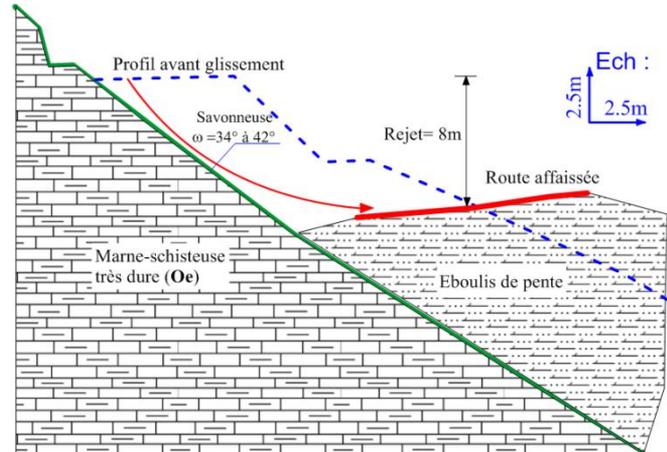


(b)-Glissement Assoumeth au PK 226+300.

Figure 1- Diverses types d'instabilités et de glissements survenue sur la route nationale RN 24.



(a)- Vue du glissement Assoumeth et influence de la transgression marine



(b)- Coupe géologique n°1 (direction S-N) du glissement d'Assoumeth RN 24 Bejaia

Figure 2- Vue du glissement Assoumeth et coupe géologique n°1

3 Contexte géologique et causes des glissements de la route nationale RN24

D'après la feuille géologique n°26 de Bejaia à l'échelle 1/50000^{ème} (Figure 5), la majeure partie des formations traversées par la route nationale RN 24 sont constituées de flyschs (oe, C¹⁻³) et de formations du quaternaire ancien (q³) avec des angles de pendage variables de 30 à 60° (Figure 2). La zone de glissement de terrain est localisée sur la carte géologique à proximité de Lazib n°Tirzert à 1,3 kms du lieu dit Assoumeth. On retrouve à cet effet d'épaisses couches d'éboulis de pente (colluvions) recouvrant les bas de pente et les dépressions.

La route nationale (RN 24) traverse des zones montagneuses sur les bas versants d'où l'on rencontre de fortes épaisseurs d'éboulis surmontant des pendages marno-schisteux très durs au

droit des synclinaux et des replats. Le débit important des eaux drainées par les bassins versants engendre la saturation des couches de colluvions masquées sur les pentes ainsi que la perte de leur résistance au cisaillement. La couche de marne schisteuse (formation de flysch Nummulitique: **Oe**) présente un angle pendage variable de 30 à 60°, elle accumule les eaux d'infiltration dans son toit imperméable, elle se lubrifie à l'interface sous forme d'une couche savonneuse et se transforme en argilite verdâtre. Cette interface constitue une ligne de rupture préférentielle pour les colluvions sous l'effet gravitaire et la pente. Ce phénomène se traduit par des affaissements de chaussées, effondrement de talus, fissures longitudinales,...etc.

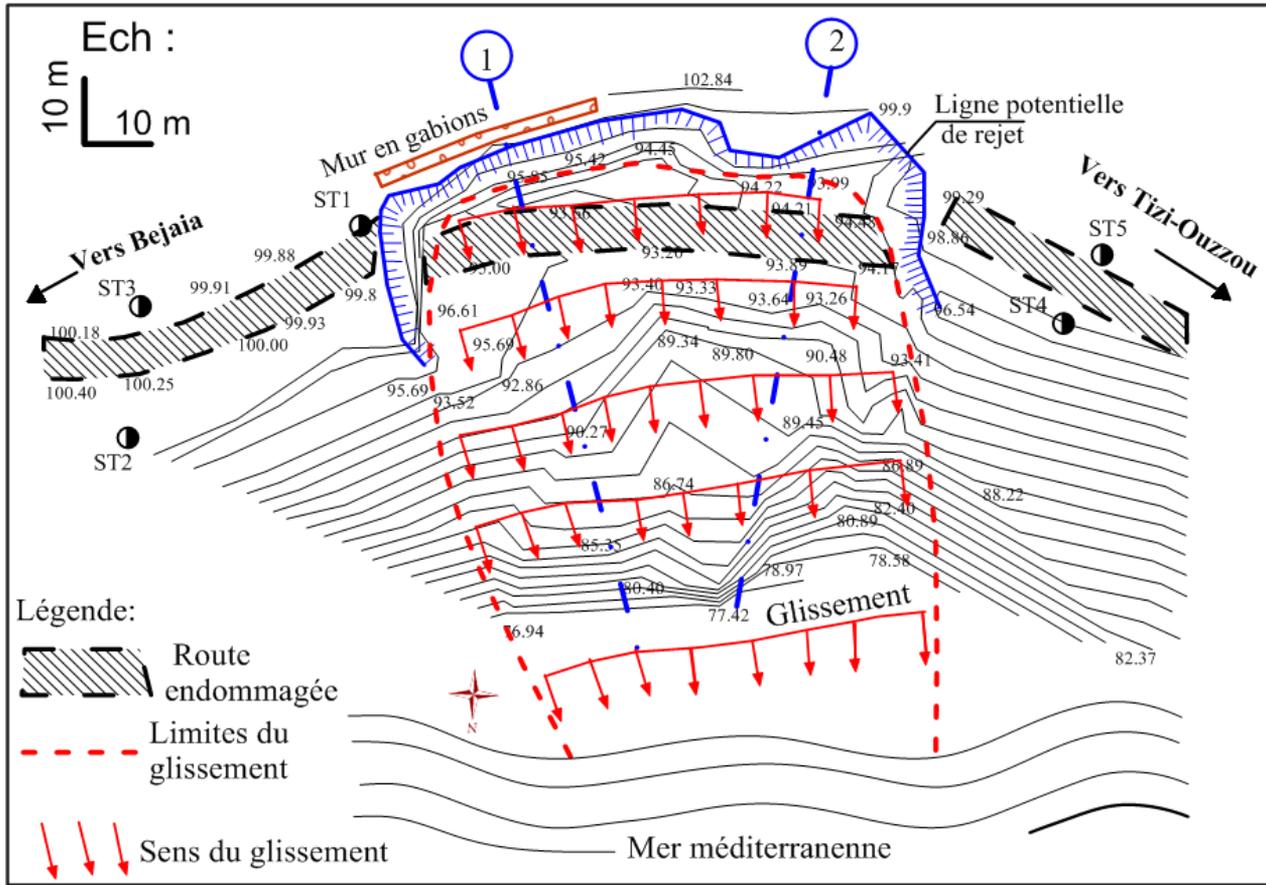


Figure 3- Relevé topographique du site du glissement d'Assoumeth, Boulimat Bejaia

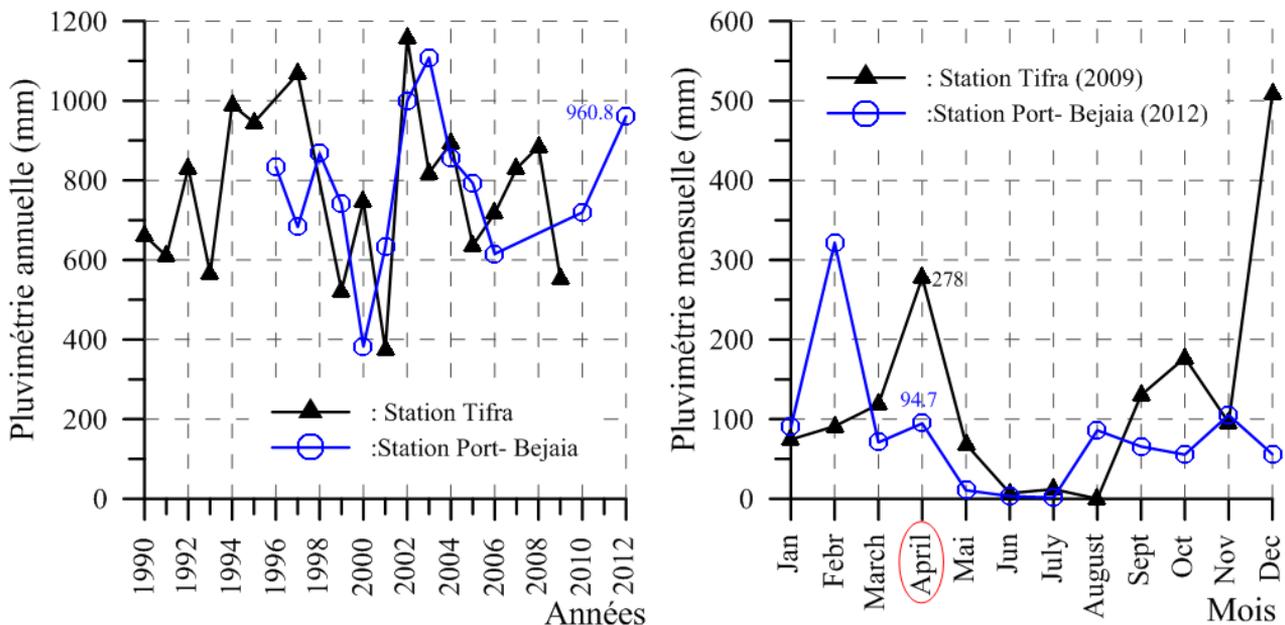


Figure 4- Données pluviométriques d'après l'Agence Nationale des Ressources Hydriques.

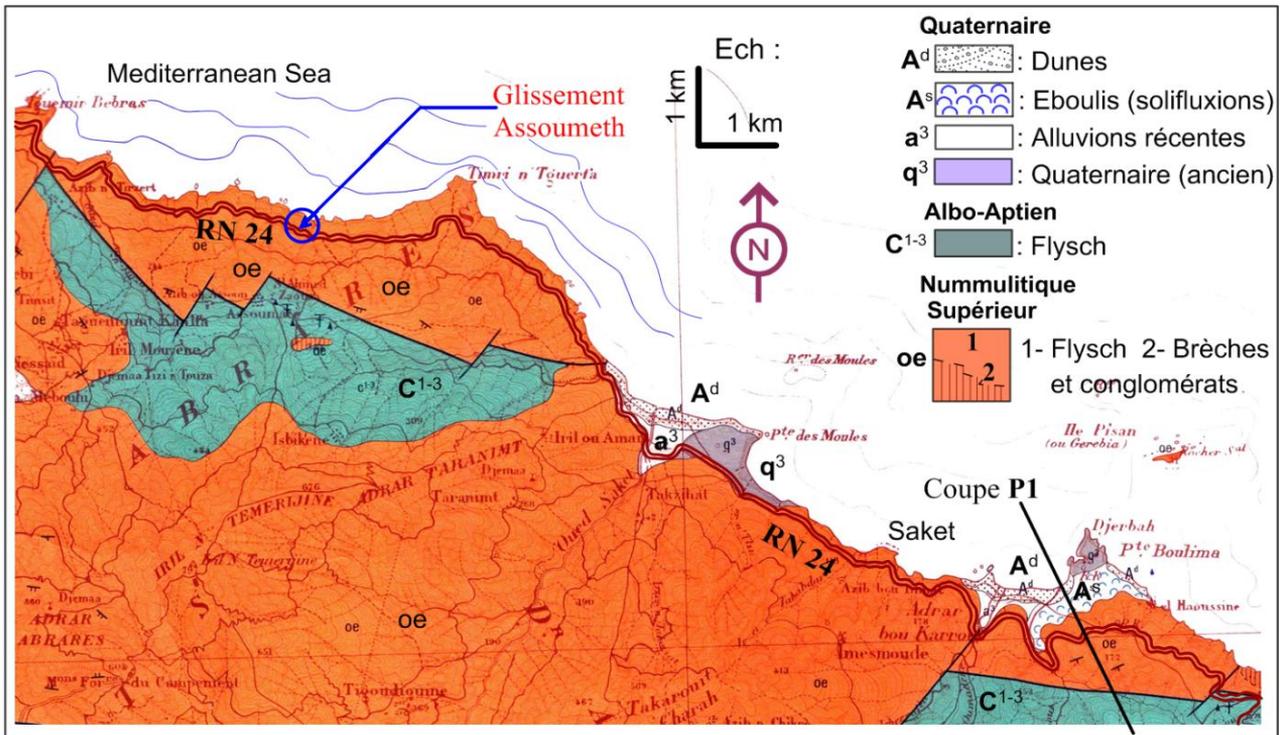


Figure 5- Extrait de la feuille géologique de Bejaia n°26, échelle 1/50000^{ème}.

Additivement à la perte de résistance des couches de colluvions, le profil en travers mixte constaté dans certaines sections est l'une des causes d'instabilités qui se manifestant souvent sous forme d'affaissements, vallonnements et orniérages de chaussées.

La section endommagée par le glissement de terrain est formée d'un synclinal mammoschisteux pelitique de pendage variable de 34 à 42° S-N très perceptible au bord de la mer, il est surmonté d'une épaisse nappe de colluvions d'épaisseur de 10 à 25m saturés d'eaux en mouvement généralisé sur le pendage.

4 Pluviométrie de la région

Les enregistrements pluviométriques analysés couvrent des périodes de temps de 22 ans (1990 à 2012) d'après les données exploitées (ANRH, 2012). Il en résulte des ces données que la moyenne pluviométrique le long des cycles enregistrés est de 831 mm. Les deux dernières décennies sont caractérisées par une moyenne pluviométrique de 750 mm.

La représentation de ces précipitations est caractérisée par des irrégularités inter- saisonnières et interannuelles (Figure 4). La répartition relative d'une manière générale est de 28,94% de Septembre à Novembre ; 39,96% de décembre à Février ; 27,30% de Mars à Mai et de 3,8% de Juin à Août. La quasi-totalité des précipitations est concentré sur une période s'étalant de Novembre à Mars, n'excédant pas cinq (05) mois : les deux tiers (2/3) du total pluviométrique sont enregistrés durant cette période.

Par ailleurs, d'après les données, un pic pluviométrique a été enregistré au mois d'avril 2012 avec une pluviométrie maximal mensuelle de 278 mm. Ce qui justifie le déclenchement de la majorité des glissements de terrain de la région de Kabylie durant cette période printanière. Par ailleurs, le niveau de l'eau mesuré sur un piézomètre implanté dans l'axe du glissement était de 14m/TN au mois de juin 2012.

5 Reconnaissance géotechnique et hydrogéologique du site

Le lendemain du glissement, des entreprises spécialisées ont été engagées par la direction des travaux publics DTP de Bejaia pour préparer des accès temporaires afin de rétablir la circulation. L'analyse de la morphologie du site et de la géologie locale met en évidence la

nécessité d'une purge des matériaux remaniés par le glissement et leur substitution par un matériau pulvérulent de meilleures qualités géotechniques en garantissant une mise en œuvre contrôlée.

5.1 Paramètres physico-mécaniques et pressiométriques

D'après les logs de sondages carottés, la lithologie est constituée d'une couche d'éboulis de pente d'épaisseur variant de 13 à 15m surmontant une marne-schisteuse pelitique très dure. L'interface entre la marne et les éboulis renferme une mince couche d'argile verdâtre très plastique (Figure 2.b). Le poids volumique de la marne-schisteuse ($\gamma_h = 25,6 \text{ kN/m}^3$) dénote un sol très compact.

Les paramètres physiques et mécaniques mesurés au laboratoire sont résumés dans le Tableau 1.

Tableau 1. Paramètres physiques et mécaniques d'après les essais de laboratoire et in situ

Couches	Epaisseur (m)	Paramètres physiques	Paramètres mécaniques
Eboulis de pente (Colluvions)	13 à 15	$14 \leq w_n \leq 20 \%$ $76 \leq s_r \leq 100 \%$ $17,5 \leq \gamma_d \leq 18 \text{ kN/m}^3$ $20,5 \leq \gamma_h \leq 21 \text{ kN/m}^3$	$c_u = 20 \text{ kPa}$ $\phi_u = 7^\circ$ $E' = 10 \text{ MPa}, \nu' = 0.35$
Marne schisteuse pelitique très dure	$\geq 15\text{m}$	$24,6 \leq \gamma_h \leq 26,6 \text{ kN/m}^3$	$c' = 160 \text{ kPa}$ $\phi' = 25^\circ$ $E' = 280 \text{ MPa}, \nu' = 0.3$

Le sondage pressiométrique effectué sur la chaussée glissée révèle que la marne-schisteuse pelitique est très dure avec une pression limite moyenne p_l de 3,5 MPa et un module E_M de 253,8 MPa. Le module d'Young E' de cette marne est de l'ordre de 280 MPa. Cependant, l'essai de cisaillement (type UU) effectué sur un échantillon argileux composant les colluvions a enregistré des paramètres de cisaillement faibles ($c_u = 20 \text{ kPa}$ et $\phi_u = 7^\circ$).

D'après les sondages carottés et les essais de laboratoire, le glissement est plan, sa ligne de rupture potentielle est profonde de 13 à 15m en contrebas de la route nationale RN24.

6 Evaluation de la stabilité du site

Compte tenu des contraintes d'aménagement de la route à l'amont au risque de déclenchement d'autres instabilités, la solution technique envisageable et à cout optimal est le décaissement des masses glissées jusqu'à la limite de rupture et sa substitution par un matériau pulvérulent noble (Tout Venant d'Oued: TVO sélectionné). Il s'agit d'un matériau alluvionnaire d'origine sédimentaire fluviatile extrait du lit d'oued Megoura à Beni-Ksila, de fuseau granulaire (0.1/50mm). Le matériau est constitué de grains roulés d'origine calcaire et de gréseux, de résistance suffisante. Le taux de fines ($< 80\mu\text{m}$) représente 3% ce qui est négligeable. L'équivalent de sable mesuré sur la frange granulaire (0/2mm) est de 30 et l'indice de Los Angeles (LA) est de 26.

Le calcul de stabilité du profil (Figure 6) effectué par éléments finis en utilisant le code Cesar, met en évidence l'instabilité du versant en présence d'eau. Ce qui se traduit par des déplacements importants et un coefficient de sécurité jugé faible (Figure 7).

6.1 Travaux de confortement du glissement

La réalisation d'ouvrages de soutènement classiques souples ou rigides s'adapte dans le cas des glissements superficiels affectant quelques mètres de profondeur. En général, la stabilité de l'ouvrage de soutènement requiert un ancrage suffisant de la fondation dans le sol stable et non remanié. Par contre, les glissements profonds nécessitent des terrassements importants pour atteindre le substratum stable, ce qui risque de se traduire par le déclenchement d'autres instabilités successives. A cet effet, le recours à l'inclusion de pieux forés ou préfabriqués (béton, profilé en acier,...etc.) sans terrassements de masse communément appelés (clouage) est une alternative afin de préserver la stabilité générale du site et de ces dépendances. Les micros-pieux ($\phi < 30\text{cm}$) constituent également une alternative dans le cas des glissements semi-profonds.

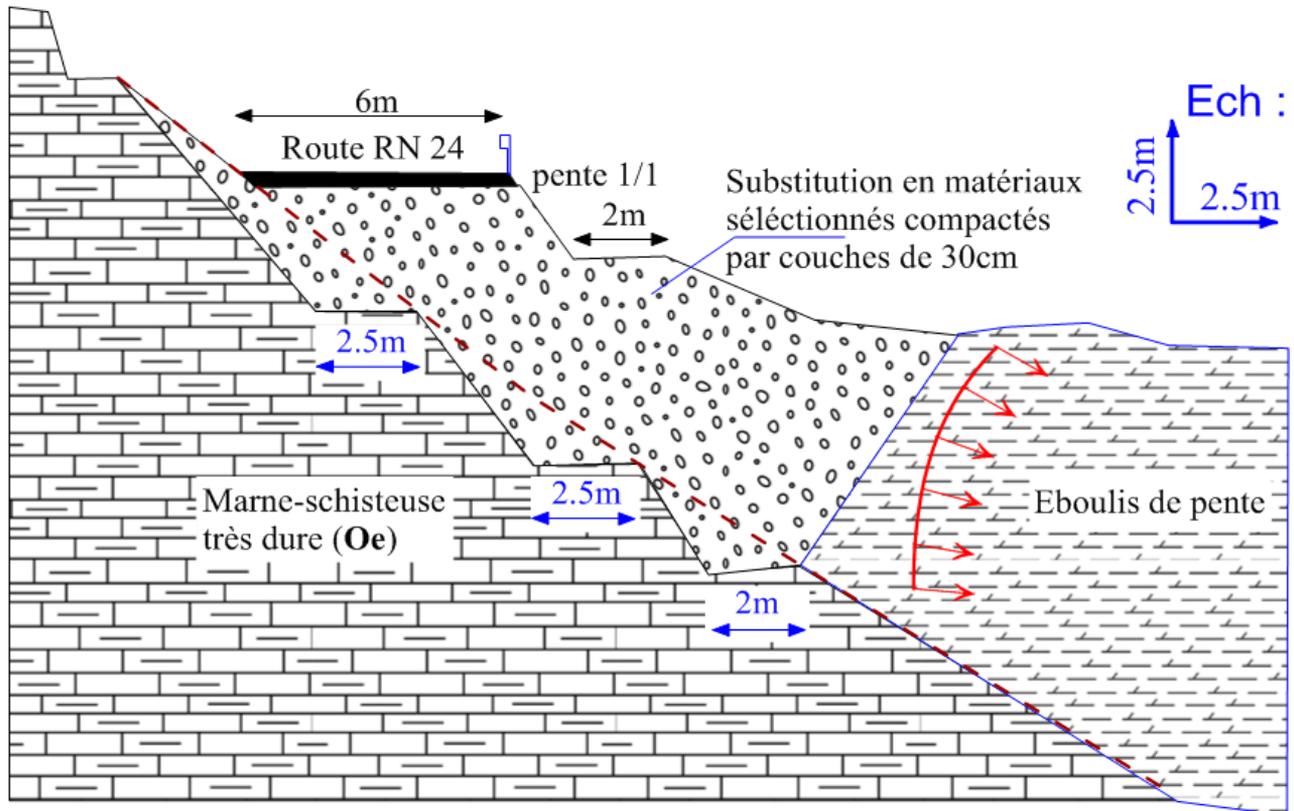


Figure 6- Remise en l'état de la route par substitution et reconstruction de la fondation.

Le trafic routier a été rétabli après aménagement d'une piste en aval de la chaussée glissée (Figure 9-a). Les travaux de purge des masses remaniées et leur substitution progressive et contrôlée par un matériau de bonnes qualités géotechniques tout en aménageant des redans dans le substratum marno-schisteux. A l'achèvement de cette phase 1, la route (RN24) a été réouverte à la circulation pour intervenir ensuite en contrebas par des travaux de clouage en pieux $\phi 1000\text{ mm}$, longueur 14m en double files alternées d'espacement 2.4m , munis d'une semelle rigide ($e=1.2\text{m}$) et d'un soutènement en tête. La présence importante d'écoulements d'eaux souterraines lors des travaux de fouille sur la rive ouest avait nécessité la réalisation d'une tranchée drainante profonde munie d'un géotextile de filtration et raccordée vers l'exutoire (mer). La Figure 8 illustre la phase définitive du confortement du glissement de terrain tout en garantissant une meilleure stabilité du site.

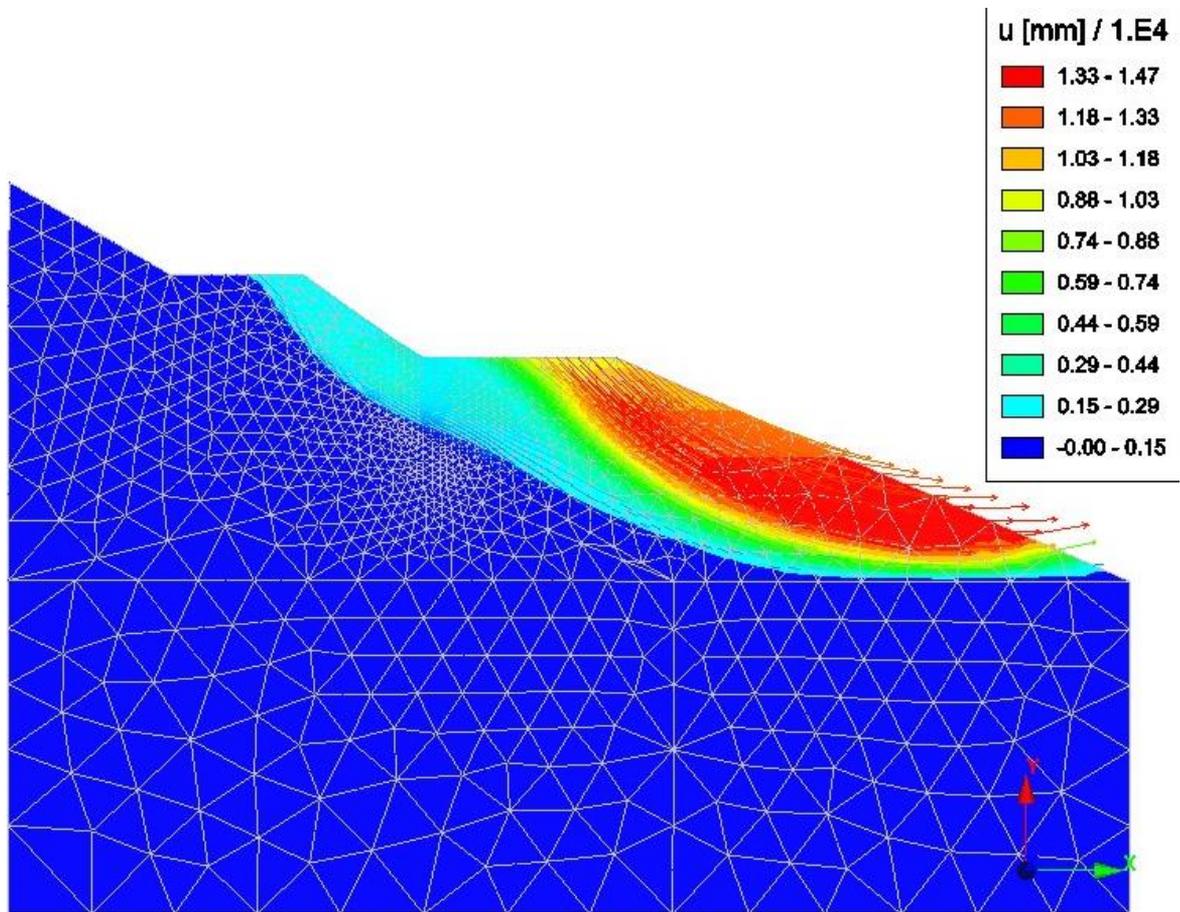


Figure 7- Résultats EF, cartographie des déplacements sans prise en compte du clouage.

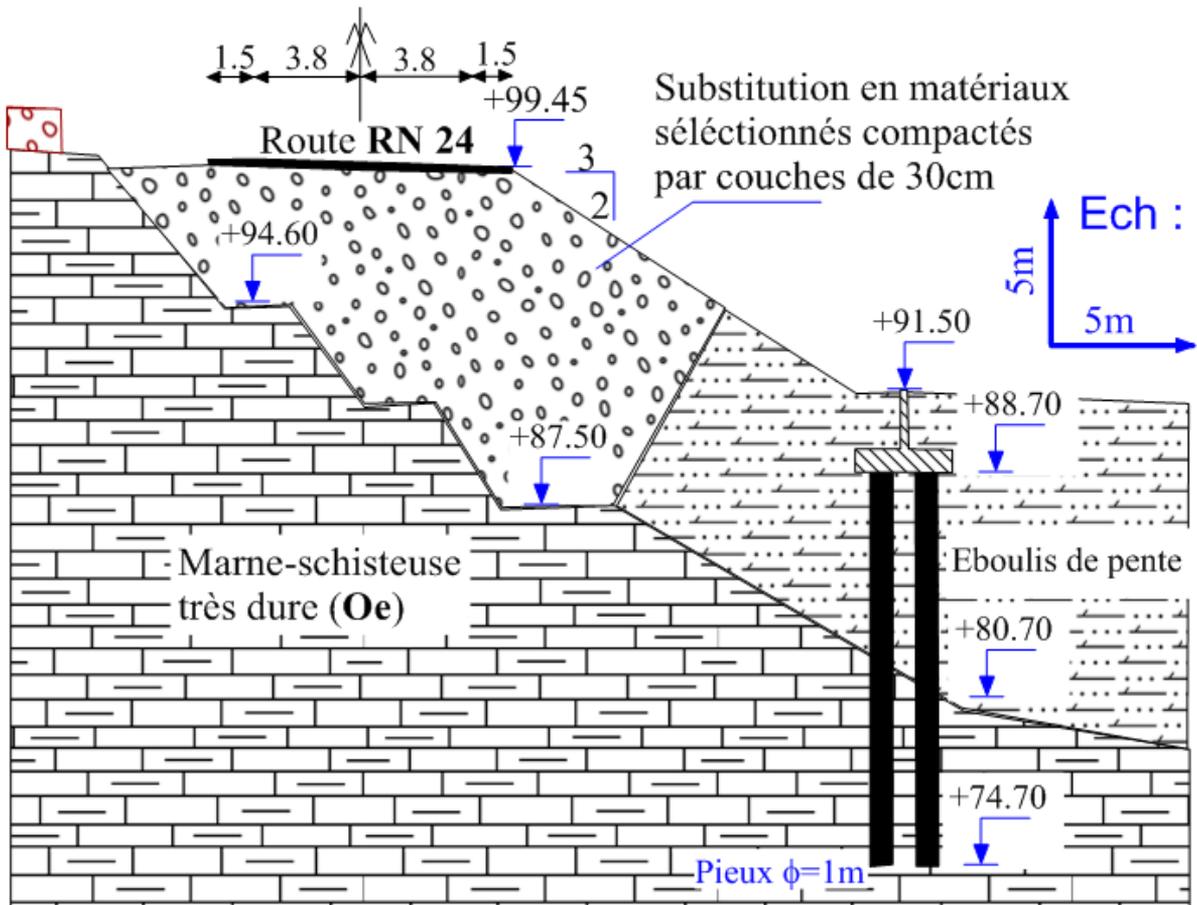


Figure 8- Coupe transversale sur le confortement définitif du glissement de terrain



(a)- Travaux de décaissement (Phase 1)
(présence d'eaux: juillet 2012)



(b)- Confortement par pieux (2ème phase)

Figure 9- Travaux de remise en l'état de la route (a) et de confortement par clouage (b).

7 Conclusion

L'étude dénote l'influence de la pluviométrie et de la géologie du site sur le déclenchement des glissements de terrains en Kabylie en générale et la route nationale RN 24 en particulier. La lithologie en milles feuilles (Eboulis surmontant les flysch) présentant des pendages élevés est très susceptible aux instabilités chroniques. La solution concrétisée en deux phases (substitution et clouage par pieux) a permis la remise de la section endommagée à la circulation routière depuis 2015 à ce jour sans enregistrer aucun signe d'instabilité du site. Les relevés topographiques n'ont révélés aucun signe de déplacement de la route malgré le flux de trafic lourd transitant quotidiennement.

8 Références bibliographiques

ANRH. (2012). Rapport d'enregistrements pluviométriques de Tifra et port de Bejaia durant la période 1990 à 2012.

Bahar R., Sadaoui O., et Sadaoui S. (2014). Landslides Induced by Intense Rainfall and Humans Interventions- Case Studies in Algeria. *Engineering Geology for Society and Territory* , 6 (DOI: 10.1007/978-3- 319-09060-3_191), pp. 1049-1053.

BICS. (2012). *Rapport de diagnostic préliminaire du glissement de terrain Assouméth Boulimat Bejaia* , p. 8 p.

Sadaoui O., Bahar R., et Sadaoui S. (2013). Case Study of landslides in Kabylie Region, Algeria. *Seventh International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering- Missouri University of Science and Technology* (2013, Apr 29 th- Mai 4 th)- *Scholars' Mine* (<https://scholarsmine.mst.edu/icchge>), p. 11.

Sadaoui O et Sadaoui A. (2008). Etude de stabilité et méthode de dimensionnement d'un massif de 12m de haut renforcé en géotextiles. *Congrès Algerien sur l'utilisation des géosynthétiques dans les travaux publics- Novembre 2008* .