



1- Zone de travaux de grands déblais en activité : au fond, talus traités par béton projeté et masques poids, au centre, masque poids et talus adouci sur déblais glissé par fauchage, à droite, murs cloués.

1- Area of main earth cut works during operations: in the background, slopes treated by shotcreting and vertical drainage blankets; in the centre, vertical drainage blanket and gentle slope on earth cut with slide due to mowing; on the right, soil-nailed walls.

Tel : 04 78 88 73 57
Fax : 04 78 97 30 68

TRAITEMENTS DE GRANDS REMBLAIS ET DÉBLAIS SUR LA SECTION LARBATACHE - LAKHDARIA DE L'AUTOROUTE EST-OUEST (ALGÉRIE)

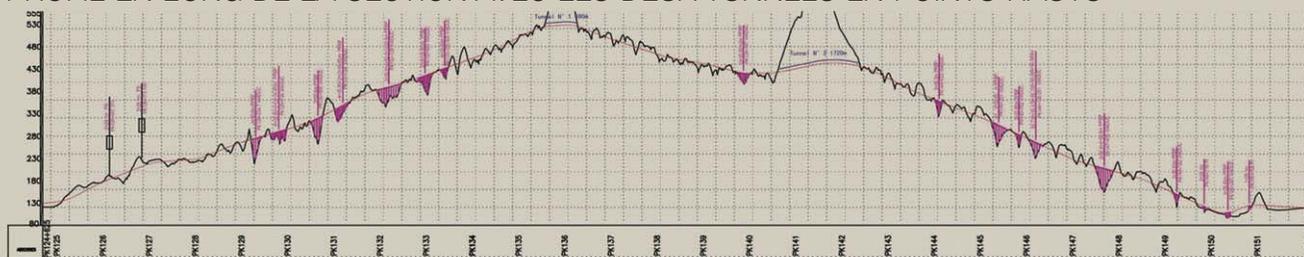
AUTEURS : ZHUO LEI DIRECTEUR GÉNÉRAL, YUAN JUN DIRECTEUR TECHNIQUE, CITIC-CRCC - ZERMANI MESSAOUD PRÉSIDENT DU CONSEIL D'ADMINISTRATION, AFITEX ALGÉRIE - BROSSIER PAUL DIRECTEUR DE PROJET, YAHIA-AISSA MOURAD INGÉNIEUR, LI NINGNING INGÉNIEUR, TERRASOL



L'AUTOROUTE EST-OUEST ALGÉRIENNE COMPORTE UNE SECTION NEUVE DE 26 KM PARTICULIÈREMENT DIFFICILE CAR ENTièrement EN MONTAGNE. CETTE SECTION EST TRÈS PROCHE D'ALGER ET REVÊT UNE GRANDE IMPORTANCE POUR LE DÉSENGORGEMENT DE LA CIRCULATION ROUTIÈRE DEPUIS ALGER VERS L'EST ALGÉRIEN. SUR LA BASE D'UNE SIMPLE ÉTUDE PRÉLIMINAIRE, LA TOTALITÉ DES ÉTUDES ET LES TRAVAUX ONT ÉTÉ ACHEVÉS EN QUATRE ANS. UNE SOURCE DE DIFFICULTÉS A RÉSIDÉ DANS LES TERRASSEMENTS DU FAIT DES INSTABILITÉS DES TERRAINS SOLlicitÉS PAR LES REMBLAIS ET DÉBLAIS. UNE PARTIE DES DIFFICULTÉS SE SONT RÉVÉLÉES EN COURS DE TRAVAUX ET DES TRAITEMENTS PARTICULIERS DES TALUS DE REMBLAIS ET DÉBLAIS ONT DU ÊTRE CONÇUS ET RÉALISÉS POUR Y FAIRE FACE.



PROFIL EN LONG DE LA SECTION AVEC LES DEUX TUNNELS EN POINTS HAUTS



2

UNE SECTION DÉLICATE DE 26 KM

Le projet d'Autoroute Est-Ouest s'étendra sur un linéaire total de 1 216 km entre la frontière marocaine et la frontière tunisienne.

La maîtrise d'ouvrage est assurée par la Direction des Projets Neufs (DPN) de l'Agence Nationale des Autoroutes (ANA), établissement public du Ministère des Travaux Publics.

Le lot centre de cette autoroute (Bordj Bou Arreridj/Alger/Chleff) ainsi que le lot Ouest ont été confiés à un groupement chinois CITIC-CRCC, CRCC étant plus particulièrement en charge du lot centre. La section Larbatache-Lakhdaria du lot centre est sans doute la plus délicate de cette autoroute. Elle se déroule sur 26 kilomètres et contourne par le sud le djebel Bouzegza. Cette section permet le franchissement de l'Atlas tellien entre la plaine de la Mitidja (sur laquelle débordent les extensions de l'agglomération d'Alger) et la vallée de l'oued Isser.

Dans cette région sauvage, inhabitée et mal connue, des difficultés importantes, dépassant souvent les prévisions les plus pessimistes, ont été rencontrées et elles ont nécessité des traitements particuliers des talus de déblais et remblais.

Les études ont été réalisées par CRCC assisté de FHIC (First Highway Institute of China) ; SETEC et TERRASOL sont intervenus comme contrôle externe et en assistant technique, AFITEX Algérie a étudié les murs ATALUS en collaboration avec TERRASOL.

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU PROJET AUTOROUTIER

Le projet dans son ensemble est conçu à 2 x 3 voies avec une plateforme de 33 m de largeur.

L'itinéraire de la section emprunte des dépressions topographiques qui imposaient ce choix d'itinéraire, et ceci bien que les morphologies en soient dictées par la conjugaison de dislocations dues aux mouvements tectoniques et à la nature argileuse ou marseuse des terrains, peu résistants.

Le tracé s'élève d'abord dans une vallée Nord-Sud puis dans une dépression Est-Ouest avec deux points hauts intermédiaires franchis par des tunnels.

L'altitude de départ de la section dans les environs de Larbatache est à 100 NGA pour atteindre la cote 500 NGA au tunnel N°1 et 450 NGA au tunnel N°2 avant de redescendre à la cote 100 NGA à Lakhdaria (photo 2).

La section a nécessité de nombreux

2- Profil en long de la section avec les deux tunnels en points hauts.

3- Mur Atalus avec vrille de raccordement à mur vertical.

2- Longitudinal profile of the section with the two tunnels at high points.

3- Atalus wall with gimlet for connection to vertical wall.

ouvrages d'art : deux tunnels bitubes respectivement de 1 700 et 700 m de longueur, 15 viaducs d'une longueur cumulée de 3 530 mètres.

Les contraintes dues au calendrier ont été particulièrement fortes : l'ordre de service de démarrage des travaux date de septembre 2006 pour un délai de réalisation de 40 mois se terminant en janvier 2010. Dans ce délai, l'entreprise devait réaliser l'ensemble des études, et tout d'abord les levés topographiques, les études géotechniques et la totalité

de l'avant projet détaillé et projet d'exécution sur la base d'une simple étude préliminaire.

Cette étude préliminaire déterminait le couloir de passage, mais, pour le projet étudié et réalisé, les normes autoroutières à appliquer (ICTAAL 85) étaient plus exigeantes que les normes utilisées par l'étude préliminaire ; la largeur de plateforme a été maintenue à 33 m sur cette section montagneuse car l'on se trouve à moins de 20 kilomètres de l'agglomération d'Alger.

Les difficultés naturelles ont été aggravées par ces choix et par la prise en compte d'une vitesse de référence de 100 km/h alors que, avec les paramètres géométriques de l'étude préliminaire, la vitesse de référence était de 80 km/h sans respecter complètement les instructions de l'ICTAAL 85.

C'est au total un projet complet qui était à étudier, valider et réaliser.

Des problèmes particuliers ont fait que les premiers terrassements de déblais sur la section n'ont été entamés que tardivement (accès des sondeuses début 2007 et pistes d'accès et de chantier entamées courant octobre 2007).

La forte pluviométrie enregistrée pendant les deux hivers 2007/2008 et 2008/2009, et caractérisée à la fois par une répartition sur une longue période et avec des épisodes particulièrement abondants, n'a fait qu'accroître les dégradations des talus (fissuration, glissement, fauchage, etc.).

Les difficultés rencontrées lors de l'exécution de cette section ont conduit le Maître d'Ouvrage à rallonger le délai d'achèvement des travaux de quelques mois.

TOPOGRAPHIE ET GÉOLOGIE

En dehors des extrémités de la section qui sont sur des coteaux à forte occupation agricole, on se trouve sur des pentes fortes occupées par des oliviers anciens, souvent abandonnés, des chênes lièges et du maquis. ▷



3



4

Les études géomorphologiques montraient divers glissements de terrains de petits volumes mais aucun phénomène de grande ampleur.

Les premiers terrassements ont montré que les formations de flyschs Crétacé mais aussi les formations tertiaires sont affectées de très nombreux plissements et fractures, qui rendent difficilement lisibles les structures majeures.

Dès l'abord, les flyschs Crétacés avaient été constatés très argileux, formés de schistes en feuillets se désagrégant à l'eau.

Les formations Eocènes, d'aspect plus rocheux sur les versants avec une morphologie différente : moins de ravinement, ressauts marqués par des affleurements gréseux, se sont avérées contenir des bancs de schistes argileux,

4- Détail de parement Atalus.

5- Mur Atalus de grande longueur, sur profils mixtes avec déblais dans massif raide à l'amont.

4- Detail of Atalus facing.

5- Very long Atalus wall, on composite profiles with earth cuts in steep rock mass upstream.

abondants à la base de la formation masqués dans la morphologie et de caractéristiques médiocres.

Les éboulis sont partout à matrice argileuse et incluent des lentilles d'argiles plastiques ; ainsi certains déblais ont révélé des lentilles argileuses bleuâtres, très plastiques, positionnées directement sur le substratum, parallèlement à la pente et supportant des nappes de versants, réduites en été mais très actives en saisons pluvieuses.

D'une manière générale, les écoulements et mise en charge des nappes de versant restent particulièrement aléatoires en dehors de quelques sources pérennes, et ne se produisent qu'au cours des épisodes pluvieux intenses des hivers et printemps algériens.

ravins, qui interdisaient la conception de remblais et déblais à parement non soutenus.

Les remblais non soutenus auraient, dans de nombreux cas, dépassé une hauteur de 30 mètres avec des doutes sur la stabilité et la nécessité de recourir à des quantités importantes de matériaux d'apports.

Ceci a conduit à concevoir le grand nombre de viaducs, mais aussi à déterminer que le projet est souvent en profil mixte et avec des traitements particuliers des remblais.

Les caractéristiques géotechniques souvent médiocres des niveaux de surface et leurs fortes épaisseurs (éboulis argileux colluvions, substratum argileux très altéré) ont été mises en évidence par les différents sondages de reconnaissance, mais surtout lors de la préparation des assises ; ils ont nécessité des travaux spécifiques pour renforcer les sols de fondations et garantir ainsi la stabilité générale des remblais.

Ces adaptations portent essentiellement sur des travaux de purge des niveaux altérés mais aussi par la mise en œuvre systématique de bèches d'ancrage en pied de remblai coté aval permettant d'intercepter les cercles de glissement potentiels.

CONCEPTION DES REMBLAIS SUR VERSANTS

ADAPTATION DES REMBLAIS AU CONTEXTE GÉNÉRAL DU SECTEUR

Avant même toute considération de la complexité du contexte géotechnique évoquée ci-avant, c'est la topographie fortement accidentée avec de fortes pentes transverses (très généralement, avec des valeurs supérieures à 15°), et la présence d'importants ressauts et



5

Les géométries des bèches ont été ajustées au cas par cas pour tenir compte des irrégularités du terrain. Par ailleurs, un drainage général des assises a été prévu, avec la mise en œuvre d'une base drainante et de drains transversaux, permettant de collecter et de canaliser les eaux vers l'aval, pour éviter toute remontée de niveau de nappes et l'altération du sol support.

REMBLAIS RENFORCÉS PAR GÉOTEXTILES

La géométrie des versants a aussi imposé le recours à des solutions de type remblais raidis par intercalation de lits de renforcement par géotextiles ; cette conception est apparue judicieuse et a reçu l'approbation de la Maîtrise d'Ouvrage.

La souplesse de ces ouvrages (capacité d'absorber les déformations du sol support), leur facilité de mise en œuvre et leur adaptation aux variations topographiques locales et leur bonne intégration dans l'environnement, ont rendu cette variante parfaitement adaptée au contexte.

En outre, les retours d'expériences sur l'utilisation de ces techniques issus de

nombreux chantiers en Algérie, ont permis à la maîtrise d'ouvrage d'accepter ces solutions (photo 3).

Le géotextile de renforcement utilisé dans notre cas est un produit de renforcement monodirectionnel nommé Rock PEC180, présentant une résistance maximale à la traction de 180 kN/ml et associant un géotextile de haute résistance non tissé, des filaments continus en polypropylène, et un réseau de câbles de renfort en polyester.

Les remblais renforcés par géotextiles sont des remblais en parement à face enveloppée ; la finition et la protection des géotextiles de renforcement en parement contre les rayons ultraviolets a été assurée au moyen d'un géotextile alvéolaire (« ALVEOTER ») permettant de fixer durablement la végétation en parement dans les conditions difficiles de durabilité de la végétation.

MURS DE SOUTÈNEMENTS TYPE ATALUS

En remplacement d'un parement à face enveloppée, certains remblais renforcés par géotextiles ont fait l'objet de parements modulaires du type Atalus.

Initialement conçu pour assurer une fonction paysagère (décoration en massifs

6- Remblai raidi par géotextile en cours de montage, les redans en arrière du remblai seront couverts par le remblai ; en partie supérieure déblais de l'autoroute en profil mixte avec chaussées décalées.

6- Backfill stiffened by geotextile undergoing assembly, the steps to the rear of the backfill will be covered by the fill; in the upper part, motorway earth cuts in mixed profile with staggered roadways.

de fleurs) pour des soutènements de faible hauteur (< 4 m), notamment pour les parkings et les agrandissements de voiries, ces parements ont été étendus à des massifs de soutènement de grande hauteur ; le parement est constitué dans ce cas d'éléments préfabriqués en béton de type Atalus 120 (120 kg par élément) permettant à la fois l'ancrage des nappes de renforcement en tête de parement par pincement entre éléments superposés, mais aussi la végétalisation rapide et permanente du parement.

Ce procédé permet d'aménager des parements à fruit variable allant de 66° à 85° selon le décalage transversal entre deux éléments modulaires superposés.

C'est la souplesse d'utilisation qui a été particulièrement intéressante pour le projet : outre la conception de parements de pente variable, permettant de traiter des raccordements latéraux avec les culées, les murs de soutènement en béton armé et les déblais renforcés par clouage ; le procédé permet aussi d'adapter rapidement la conception aux variations topographiques locales (microreliefs topographiques) et aux anomalies géologiques souvent très



brutales dans les versants de la section. Les lits de renforcement intégrés au massif améliorent les caractéristiques mécaniques des matériaux de remblai ; le dimensionnement adopté permet de justifier la stabilité interne de ces massifs. La stabilité générale est examinée en intégrant la nature et l'état du sol de fondation.

Des traitements complémentaires des assises ont été ponctuellement nécessaires pour améliorer la stabilité générale de ces massifs.

Ces renforcements ont été essentiellement des clous (ancrages passifs), des bèches d'ancrages mais aussi, dans des cas particuliers, des pieux ont été utilisés pour traverser des couloirs d'éboulis argileux (photos 4, 5 et 6).

TRAITEMENTS DES GRANDS DÉBLAIS PHÉNOMÈNES OBSERVÉS

L'exécution des déblais a mis en évidence des signes d'instabilité de talus avec localement des glissements plus ou moins importants ; les mécanismes à l'origine de ces instabilités correspondent souvent à des morphologies et des cinétiques de glissements classiques (marnes altérées et couverture d'éboulis).

Il s'agit de déblais de grandes hauteurs : 30 à 45 m de hauteur maximale par rapport à l'axe du projet, présentant des talus réglés avec des pentes de 3H/2V à 1H/1V associés à des bermes intermédiaires de 3 m de large calées tous les 8 m de haut ; soit une pente moyenne du déblai de 2H/1V à 3H/2V environ.

En fait ces déblais sont souvent de pente proche de celle du versant et l'adoucissement des pentes ne pouvait pas être une solution car conduisant à des hauteurs et des emprises déraisonnables et cela aussi bien en conception initiale qu'après ouverture du chantier. Certains glissements étaient moins classiques :

→ Les massifs peu altérés de flyschs Crétacés on montré la grande faiblesse de leurs caractéristiques en produisant des ruptures, totalement imprévues, par fauchages de couches sur des pentes moyennes de 2H/1V. Bien que ce type de mécanisme soit assez bien connu dans les grands talus rocheux, il n'en demeure pas moins qu'il est surprenant de le voir survenir dans un déblai à pente modérée. La décompression due au déblai à ouvert par gonflement les espaces inter foliaires et a joué un rôle déterminant dans les phénomènes (photos 7 et 8).



7- Détail de fauchage dans les flyschs Crétacés.

8- Vue de face du même déblai avec fauchage (la hauteur du déblai dépasse 40 m : (5 talus de 8 m entre bermes) on observe les fissures de fauchage remontant de gauche à droite.

7- Detail of mowing in the cretaceous flyschs.

8- Front view of the same earth cut with mowing (the height of the earth cut exceeds 40 m: five 8m slopes between berms); one observes the mowing cracks going upward from left to right.

→ Sur de très nombreux parements de déblais, l'altération des formations du substratum a pris un développement important et en tout cas inquiétant, et cela dès les premières pluies, déclenchant des glissements parfois importants, mais souvent d'un développement décennal avec une épaisseur métrique.

Il n'a pas semblé possible d'espérer, avec le climat algérien brulant la végétation l'été, de voir les phénomènes se stabiliser naturellement par mise en place d'un profil d'altération sous la végétation, sans laisser redouter de grands glissements après achèvement de l'autoroute ; là aussi le comportement des schistes argileux se révèle très défavorable.

→ Des zones de surépaisseurs d'éboulis, accompagnées de la présence d'une couche argileuse particulièrement plastique à l'interface substratum schisteux/éboulis servant de support aux nappes de versant (nappes perchées) sont à l'origine de comportements inattendus (photo 9).

SOLUTIONS DE CONFORTEMENTS

Dans les cas de talus de déblais qu'il s'est avéré nécessaire de renforcer

compte tenu des observations sur le comportement des formations, de nombreuses solutions de confortement ont été examinées ; de grandes surfaces de talus étaient concernées par ce type de géologie. Les analyses menées ont conduit, en dehors de solutions classiques (adoucissement de pentes, drainage, murs en béton armé fondés sur pieux) à sélectionner des solutions tenant compte du délai des travaux et des contraintes du marché de travaux. Ainsi, les techniques de renforcement mises en œuvre sont :

- Raidissement et renforcement par clouage,
- Renforcement par masques poids et drainage,
- Renforcement par clouage de confinement,
- Renforcement par pieux et chevalet de pieux.

Raidissement et renforcement par clouage

Avant même tout constat de glissements, des murs cloués ont été prévus pour traiter les zones de déblais qui coupaient des ressauts interdisant des talus non soutenus sauf à accepter des hauteurs totales de déblais excédant 50 mètres. Bien que, au premier abord, plus onéreuses que des déblais non soutenus, les solutions de traitement avec raidissement par clouage se sont vérifiées très bien adaptées au chantier malgré les doutes sur le comportement des clous dans ces schistes argileux. Deux remarques particulières au chantier peuvent être faites :

→ Le premier avantage du clouage est ici de limiter l'enlèvement de la végétation qui est un élément important de la stabilité des terrains superficiels,

→ C'est le faible prix des emprises qui maintenait économique les solutions de déblais non soutenus malgré la non réutilisation des terrains argileux-schisteux déblayés (photo 10).

Renforcements par masques poids et drainage

Les zones de talus où les glissements par fauchage s'étaient déjà produits ont nécessité le déblai des masses glissées et la mise en place de masque poids drainant ; la partie supérieure des talus a été retaillée en pente faible (2,5H/1V) avec mise en œuvre de bermes de 4 m tous les 8 m de haut associées à des éperons drainants.

Ces masques poids ont aussi été prévus et utilisés sur divers déblais courants ; la présence des bancs calcaires et gréseux dans la partie haute du djebel Bouzegza permettant de maintenir compétitive ces conceptions.



9- Gouttière d'éboulis argileux sur un substratum de schistes argileux de faible résistance (déblais ultérieurement renforcé).
10- Mur cloué de grande hauteur.



9- Gutter of clayey scree on a substratum of clayey schists of low resistance (earth cuts subsequently strengthened).
10- Very high soil-nailed wall.

Renforcement par clouage de confinement

D'autres talus dans les mêmes formations schisteuses qui n'avaient pas subis de désordres importants mais paraissaient pouvoir subir les mêmes avaries, ont été équipés de protections en béton projeté maintenues par clouages dans l'optique de limiter les infiltrations d'eau et de maintenir un confinement permanent des schistes.

Renforcements par pieux et chevalets de pieux

Dans certains cas de glissements intervenus en cours de construction, le recours à des pieux de stabilisation s'est avéré pertinent après balayage des alternatives de confortements susceptibles d'être mises en place. Le contexte contractuel et les délais de construction ont imposé le choix de pieux de diamètre 1,2 m ; compte tenu

de l'intensité des efforts à reprendre ces pieux ont été associés en doublets de pieux (chevalet de pieux) fournissant une forte rigidité à la flexion. Un avantage non négligeable de ce type de renforcement est d'autoriser un suivi des déformations au-delà de l'achèvement des travaux et de permettre un renforcement ponctuel si les efforts mobilisés sur les pieux s'avéraient plus importants que prévu.

CONCLUSIONS

Le contexte géologique et topographique de la section particulièrement difficile et très mal connu à l'origine du contrat d'études et de travaux, a nécessité une reprise complète de la conception initiale ; la réactivité de la maîtrise d'ouvrage a été sans faille pour valider cette conception. La stratégie retenue pour le raidissement des talus de remblais par l'adjonction de lit de renforcement par géotextile a trouvé ici un excellent terrain d'application. En particulier, par sa souplesse d'utilisation, le procédé ATALUS a permis le traitement des zones les plus raides en limitant les hauteurs de parement et en fournissant un aspect général très satisfaisant. La grande altérabilité des terrains d'assises, et des structures géologiques et hydrogéologiques défavorables a contraint à une protection de nombreux talus, mais aussi à des reprises et renforcements de grands talus de déblais en cours de travaux. Malgré ces difficultés, le projet est en voie d'achèvement et permettra d'ouvrir le plus important verrou offert à la circulation autoroutière entre la frontière marocaine, Alger et l'Est algérien. □

ABSTRACT

TREATMENT OF MAJOR BACKFILLS AND EARTH CUTS ON THE LARBATACHE-LAKHDARIA SECTION OF THE EAST-WEST MOTORWAY (ALGERIA)

ZHUO LEI, YUAN JUN, CITIC-CRCC - ZERMANI MESSAOUD, AFTTEX - BROSSIER PAUL, YAHIA-AISSA MOURAD, LI NINGNING, TERRASOL

The Algerian East-West motorway includes a new 26 km section which is extremely difficult because it is entirely in the mountains. This section is very close to Algiers and is of great importance to relieve traffic congestion on the road from Algiers to eastern Algeria. Based on simple preliminary design engineering, all the engineering and works were completed in four years. One cause of difficulty was due to earthworks, because of instability of the ground subjected to the stresses of backfills and earth cuts. Part of the problems became apparent during the works, and special treatments for the fill-and-cut slopes had to be designed and executed to cope with them. □

TRATAMIENTOS DE GRANDES TERRAPLENES Y DESMONTES EN EL TRAMO LARBATACHE - LAKHDARIA DE LA AUTOPISTA ESTE-OESTE (ARGELIA)

ZHUO LEI, YUAN JUN, CITIC-CRCC - ZERMANI MESSAOUD, AFTTEX - BROSSIER PAUL, YAHIA-AISSA MOURAD, LI NINGNING, TERRASOL

La autopista Este-Oeste de Argelia incluye un nuevo tramo de 26 kilómetros particularmente difícil debido a su ubicación en zona de montaña. Este tramo se encuentra en las cercanías inmediatas de Alger y tiene una gran importancia contra la congestión del tráfico viario desde Alger hacia el Este del país. Según la base de un simple estudio preliminar, la totalidad de los estudios y los trabajos fueron finalizados en cuatro años. Las principales dificultades residieron en los movimientos de tierras debido a las inestabilidades de los terrenos solicitados para los terraplenes y desmontes. Una parte de las dificultades aparecieron durante el transcurso de los trabajos y se ha debido crear y realizar diversos tratamientos específicos de los taludes de terraplenes y desmontes para remediar. □