

**8ème Congrès National de la Route. Ifrane, 3 et 4 juin 2010.**

**Thème 3 : Techniques innovantes et développement durable.**

**Titre de la Communication :**

**« Quelques aspects de terrassement et de confortement des sols redécouverts à grande échelle dans les grands projets routiers et autoroutiers du Nord du Maroc  
- Retour d'expériences et perspectives de développement-»**

**Auteurs :**

- Nabil BENAZZOUZ** : Ingénieur expert Génie Civil et Directeur **IDAFA** : Cabinet de conseils et d'expertises chargé de l'assistance au management de la réalisation des travaux de plusieurs projets au nord Marocain (Autoroutes, voies ferré, Rcade routière,...).
- Mustapha AMAL** : Docteur ingénieur et consultant **IDAFA**, ex Chef de mission d'assistance technique du projet de l'autoroute Tétouan Fnideq (28 km).
- Kamal CHENNAOUI** : Ingénieur géologue consultant **IDAFA**, ex chef de mission d'assistance technique du projet de l'autoroute Tanger Oued Rmel lot 3.1 (13 km).

**Coordonnées :**

e-mail : [idafa1@gmail.com](mailto:idafa1@gmail.com)  
Site Web : [www.idafa-advice.com](http://www.idafa-advice.com)  
Phone : 00212 5 37 757506  
Mobile : 00212 6 61 150426  
Adresse : 24 Rue Oulad ZIANE Quartier de l'Aviation Rabat Maroc.

**Texte :**

Si généralement la conception et la réalisation d'ouvrages ont toujours été des actes d'ingénierie originaux et spécifiques à chaque ouvrage, ces activités s'avèrent particulièrement élaborées pour le cas des ouvrages de la région du Nord Marocain. En effet, le dynamisme inédit que connaît ces dernières années cette région dans le domaine des infrastructures a révélé un nouveau champ d'action redécouvert à grande échelle par les différents intervenants dans l'acte de bâtir : Maîtres d'ouvrages et d'oeuvre, concepteurs, constructeurs, contrôleurs, experts...

Les problèmes d'instabilité, de médiocrité des sols, des assises et de pénurie de matériaux nobles, tels sont les principaux défis qui ponctuent le quotidien des phases de réalisation des ouvrages dans cette région. Aussi a-t-il été jugé opportun de traiter dans cette communication du retour d'expériences acquises dans un certain nombre de projets comme : les sections 3 et 5 de la Rocade Méditerranéenne et l'accès autoroutier du Port Tanger Méditerranée.

S'agissant d'auteurs dotés de longue expérience de terrain et opérant dans le cadre de mission d'assistance technique aux entreprises proposée par le cabinet de conseils et d'expertises IDAFA spécialisé dans l'ingénierie de matériaux et le management de projet, cette communication traite davantage de dispositions concrètes adoptées au pied d'œuvre pour la résorption des problèmes posés.

Pour chacun de ces témoignages, la conception initiale, les expérimentations, les adaptations encourus de réalisation et le suivi d'exécution seront relatés dans une brève approche de synthèse pour aboutir surtout à un certain nombre d'enseignements et de recommandations pour de futurs défis géotechniques.

### ■ **Rocade Méditerranéenne Autoroute Tétouan Fnideq :**

La Rocade Méditerranéenne traverse des zones instables caractérisées par des glissements de talus, sapements de la plate-forme par la mer et éboulements. Les travaux consistent à améliorer les caractéristiques géométriques de la route existante en adoptant un nouveau tracé pour certains tronçons et renforcer et élargir la chaussée pour présenter un profil en travers de 7 m.

La rocade routière méditerranéenne représente environ 250 km de routes existantes à réaménager et 300 km de routes nouvelles.

|                                                                                                                                       |                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|  <p style="text-align: center;"><b>Sections</b></p> | <p style="text-align: center;"><b>Longueur (Km)</b></p> |
| <b>Tanger - Ksar Sghir</b>                                                                                                            | <b>30</b>                                               |
| <b>Ksar Sghir - Fnideq</b>                                                                                                            | <b>30</b>                                               |
| <b>Autoroute Fnideq -Tetouan</b>                                                                                                      | <b>28</b>                                               |
| <b>Tetouan - Jebha</b>                                                                                                                | <b>120</b>                                              |
| <b>Jebha - Ajdir (Al Hoceima)</b>                                                                                                     | <b>103</b>                                              |
| <b>Ajdir (Al Hoceima) - Ras Afrou</b>                                                                                                 | <b>84</b>                                               |
| <b>Ras Afrou - Ras Kebdana</b>                                                                                                        | <b>92</b>                                               |
| <b>Ras Kebdana - Saidia</b>                                                                                                           | <b>20</b>                                               |

La section objet de ce paragraphe est celle reliant Tétouan et Fnideq et concédée à la Société « Autoroutes du Maroc » et fait donc partie de l'armature autoroutière du Royaume.

Il s'agit de la section la plus circulée de la Rocade avec une pointe en été pouvant atteindre 20 000 véhicules / jour voire 30 000 Véh. /j en 2015.

Le coût au kilomètre des travaux a été de l'ordre de 36 MDH bien supérieur à celui d'une autoroute courante dans d'autres régions. La consolidation d'une zone compressible de plus de 2 km de longueur, l'adoption de fondations profondes sur pieux et le confortement de certains versants instables dont notamment un déblai de plus de 70 m de hauteur justifient largement ce coût.



Lors des travaux, des plots et des planches d'essais ont été réalisés pour bien cerner et maîtriser la mise en œuvre des drains verticaux et des matériaux de l'assise drainante pour les zones compressibles, la mise en place de matériaux extraits de déblais comme le R62/C1B5 et R61/C1B3.

Le suivi de la stabilité des versants a été opéré pour un certain nombre de déblais.

### ■ **Rocade Méditerranéenne Tronçon Jebha Beniboufrah :**

Le tronçon objet du présent paragraphe est celui du lot 1 de la 5<sup>ème</sup> section de la Rocade reliant El Jebha et Beniboufrah en direction d'Ajdír, d'une longueur d'environ 60 Km. Les travaux sont financés par l'Union Européenne, dans le cadre du Programme MEDA 1. Le montant des travaux de construction a été environ de 18 millions DH au km soit autant que l'autoroute Rabat Fès construite entre 1995 et 1999.





Des volumes de Terrassements importants (environ 9 millions de m<sup>3</sup> de déblais), des murs de soutènement à voile en béton armé ou à gabions totalisant 8000 ml, des parois clouées avec une longueur totale de clous de plus de 155 000 ml, des fondations profondes sur pieux pour trois grands viaducs et enfin des murs en terre armée dits « Freyssisol » sur 21 ouvrages avec une surface totale de 13 700 m<sup>2</sup> sont à l'origine de ce coût élevé.



Des essais de convenance ont été réalisés avant le démarrage des travaux spéciaux :

- ✓ de clouage par ancrages passifs des parements constitués par terrains du type flysch marneux ou marnes. Ces terrains, en couches allant de 0,4 à 1 m d'épaisseur, sont très déformés et fracturés, et montrent le faciès écaillé typique des marnes. Les marnes sont intercalées par de couches, d'épaisseur moyenne entre 7 et 12 cm, de calcaires marneux aussi très fracturés.
- ✓ Des plots d'essais de mise en place de terre armée.

Un suivi de la stabilité des déblais a été également effectué pour certaines zones sensibles et a permis d'anticiper sur un certain nombre de solutions de confortement ou de délestage.

Les paysages de cette route sont marqués par une multitude de risbermes disposées en escalier bétonnées et reliées par un dispositif de drainage. Les travaux d'assainissement et de drainage ont été particulièrement importants compte tenus de la topographie et de la nature des sols en place.



## ■ Accès au Port Tanger Méditerranée Autoroute Tanger Oued Rmel :

Afin de relier le Grand Port Tanger Méditerranée aux zones franches et de connecter la zone économique spéciale dépendant du port Tanger-Med au reste du pays, une infrastructure intégrant l'ensemble a été lancée dont notamment:

- ✓ Une liaison autoroutière reliant la zone commerciale au port.
- ✓ **Une autre de 54 kilomètres reliant l'autoroute du Nord (Rabat-Tanger) à la zone économique spéciale Oued Rmel.**
- ✓ Une route expresse à deux voies reliant le port à Fnideq, notamment au site choisi pour le développement d'une zone franche commerciale.
- ✓ Une voie de chemin de fer de 45 kilomètres connectant la zone économique spéciale au réseau ferroviaire national.

La nature géologique du site dans lequel se trouvent ces projets est caractérisée par une structure plissée complexe et une forme arquée d'origine tectonique. Cette unité est constituée de plusieurs écaillés délimitées par des surfaces de chevauchements concentriques à pendages centripètes. En raison de cette nature, les déblais rencontrés sur les tracés sont souvent composés d'un complexe de blocs rocheux de nature gréseuse, cimentés par un liant de nature marneuse. Le fort pendage des bancs de grès et de marne a rendu les sondages carottés non exploitables après ouverture des fronts des déblais.

Ajouté à ces difficultés naturelles, le challenge des délais. En fait, une véritable course contre la montre a été vécue par les différents acteurs dans ces projets exigeant une mobilisation optimale de tous les moyens disponibles pour mener à bien les différentes tranches séparées en lots, et qui sont réalisées simultanément par une dizaine de sociétés nationales et internationales aux références professionnelles reconnues.

Le projet objet de ce paragraphe est la liaison autoroutière assurant l'arrimage du port au réseau national, c'est l'autoroute Tanger Oued Rmel et plus précisément le tronçon Lechbaa RN16 (14 km). Il s'agit en fait du tronçon où le coût du kilomètre a été le plus élevé (au moins 94 millions de DH).

Non seulement, les travaux comportaient un traitement des zones compressibles par drains verticaux analogue à celui du projet de Tétouan mais également la mise en œuvre de colonnes ballastées.

La mise en place des remblais sur les sols mous a exigé donc les opérations suivantes :

- ✓ Traitement par colonnes ballastées
- ✓ Traitement par drains verticaux
- ✓ Assise drainante
- ✓ Remblai de hauteur contrôlée et avec différents phasages ainsi que des banquettes latérales et ceci afin d'accélérer la consolidation du terrain dont le suivi a été assuré par des mesures de tassements.



Par ailleurs, c'est un projet qui a été ponctué par un certain nombre de glissements de terrain et d'instabilités qui ont été souvent traités par la mise en place de :

- ✓ Masque drainant,
- ✓ Pieux au niveau du pied de talus de certains déblais
- ✓ Eperons drainants, tranchées drainantes et enrochement au niveau d'autres déblais.



Il est à noter que la configuration topographique complexe de la base des remblais de grande hauteur munie en plus de tranchées drainantes à différents niveaux et profondeurs et le réseau de ramification de sous tranchées qu'elle engendre ont amené à subdiviser l'aire à remblayer en zones et sous zones à même de permettre un meilleur suivi de mise en place et compactage des couches.

Le tableau statistique suivant récapitule le nombre de couches réalisées par remblai :



| <i>Remblai n°</i> | <i>Total</i> |
|-------------------|--------------|
| 1                 | 52           |
| 2                 | 164          |
| 3                 | 188          |
| 4                 | 65           |
| 5                 | 54           |
| 6                 | 94           |
| 7                 | 155          |
| 8                 | 95           |
| <b>9</b>          | <b>582</b>   |
| <b>10</b>         | <b>828</b>   |
| 11                | 114          |
| <b>12</b>         | <b>623</b>   |
| 13                | 92           |
| 14                | 136          |
| 15                | 10           |



Pour faire face à la pénurie des matériaux, la Partie Supérieure de Terrassement a été mise en place selon trois méthodes :

- ✓ Traitement à la chaux des matériaux B5 sur une épaisseur de 35 cm en provenance des emprunts situés localement.
- ✓ PST non traitée avec l'utilisation de matériaux concassés type D3 (classe GTR) qui évoluent généralement après compactage vers C2B3 sur une épaisseur de 50 cm disponibles à proximité du projet également.
- ✓ Utilisation des matériaux C1B5 sur des épaisseurs de 35 et 50 cm selon les réceptions géotechniques pour les rétablissements et les pénétrantes.





## Enseignements et recommandations :

A la lumière de l'observation du déroulement des travaux et de leur organisation, un certain nombre d'enseignements et de recommandations pour les chantiers futurs peut être prononcé :

- Pour des régions comme le nord Marocain, région à vocation essentiellement touristique riche en paysages et en sites historiques avec une hydrologie très abondante, La planification des zones de dépôts a été intégrée dans le cadre d'une vision globale de développement durable et de protection de l'environnement, ceci a été assuré grâce aux efforts déployés par les différents intervenants production, contrôle externe et extérieur pour adapter en conséquence et au fur et à mesure la réalisation d'un projet déjà assez complexe géo techniquement. Des audits environnementaux ont été d'ailleurs programmés pour évaluer ces adaptations et les valider.
- Bien qu'il ne soit pas toujours possible de tout définir au stade des études préliminaires, certains matériaux de déblais devraient faire l'objet d'une attention particulière quant à leur excavation et leur mode d'utilisation au préalable du lancement des travaux.
- Pour des zones particulières comme les zones compressibles, une approche spécifique doit être adoptée pour les différentes phases des chantiers à zones compressibles :
  - ✓ Des reconnaissances approfondies pour d'abord bien délimiter et identifier ces zones. Autrement on risque de traiter inutilement des zones peu compressibles.
  - ✓ Une conception appropriée des moyens de drainage adaptée d'une manière rapprochée de la réalité du terrain
  - ✓ Une instrumentation soigneusement conçue pour accompagner la réalisation et surtout permettre de rectifier le tir en terme d'exigences et de dispositions pratiques en temps opportun.
  - ✓ Un suivi très concerté de certaines parties d'ouvrages entre les différents acteurs : Maître d'œuvre, contrôle externe Entreprise, ... à l'instar de ce qui a été pratiqué et particulièrement réussi dans les deux chantiers à zone compressible précités.

Cette approche anticipative et participative qui risque certes de se révéler coûteuse, peut éviter ou du moins minimiser en période de travaux le coût engendré par la recherche de solutions issues de tractations, d'arrêts et d'hésitations souvent motivés légitimement par des enjeux contractuels. De plus, pour des solutions enfantées dans de telles circonstances et

aussi élaborées et originales qu'elles soient, l'optimisation globale pour le projet n'est pas toujours assurée.

- Pour de tels projets dont chaque partie constitue en elle-même un ouvrage d'art, la présence d'un géotechnicien expérimenté de l'entreprise accompagnant l'exécution des travaux et menant la réflexion avec les autres intervenants sur les solutions à prendre a été déterminante. Cet accompagnement même ponctuel a été à même de conférer une pro activité indispensable pour certaines situations devant être gérées sans délais. La présence de géologue de terrain voire même d'hydro géologue confirmé est également vivement souhaitée.
- De même, l'entreprise devrait disposer d'un bureau technique suffisamment proactif et anticipatif pour permettre l'élaboration de plans d'adaptation dynamiques pouvant épouser la configuration du terrain sans cesse en mutation et objet de surprises géotechniques diverses.
- L'adoption par les Maîtres d'ouvrages d'un système de management de projet selon un Plan d'Assurance Qualité niveau C a contribué au bon suivi des travaux et a permis de disposer de la traçabilité nécessaire pour la multitude d'adaptation et de décisions prises au cours de l'exécution des travaux, mais les efforts de tous les intervenants doivent toujours concourir vers une simplification continue des supports en nombre et en forme afin de pouvoir en assurer un traitement instantané et éviter tout différé à même d'engendrer une gestion lourde et peu efficiente. L'exigence de formalisation des actes de réalisation du projet ne doit en aucun cas rester à la traîne de la succession de décisions prises par les acteurs sur chantier pour faire face à la complexité technique opérationnelle du projet. La conception des supports de cette formalisation doit être donc à même de pouvoir accompagner la réactivité technique et décisionnelle qu'impose le projet.
- Cette préservation de la traçabilité ayant déjà permis de recueillir l'expérience acquise dans les chantiers passés devra être soutenue, perfectionnée et communiquée davantage pour léguer aux managers des futurs projets des repères objectifs et des réalités éprouvées leur évitant ainsi d'avoir à les redémontrer « à chaud » en cours de réalisation.

Fin de texte