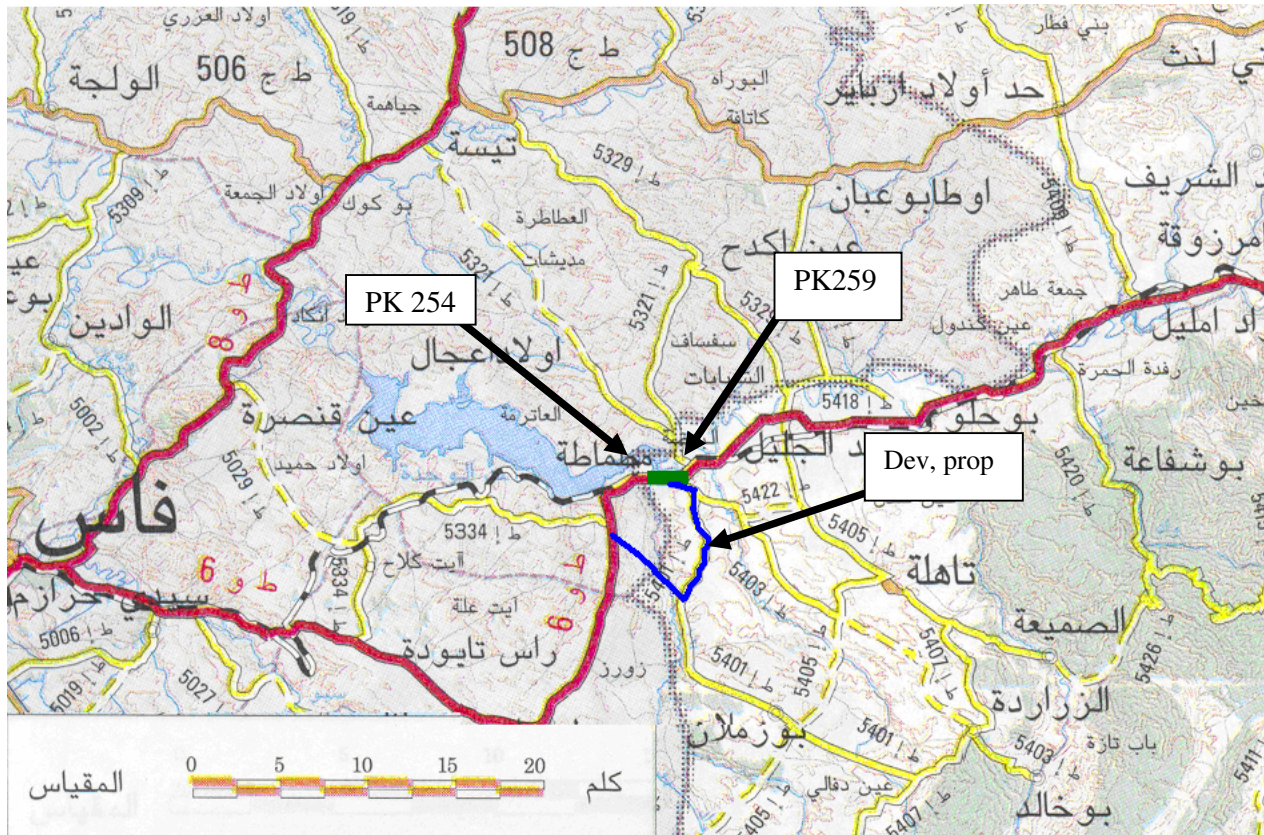


CONFORTEMENT DU GLISSEMENT DE TERRAIN AU NIVEAU DU PK 255 DE LA RN 6 LIAISON FES – TAZA

Par FAKIHI M. / DPE Essaouira

I - HISTORIQUE ET ETAT DES LIEUX

1 - Situation de la section de glissement :



2 - Historique :

La section de la RN6 longeant le retenue du barrage Idiss 1^{er} entre les PK 254 et 259 au lieu dit Matmata a subi d'importantes dégradations et déformations de la chaussée et son environnement.

En effet il s'agit de la déviation de la route Nationale réalisée au moment de la construction du barrage Idiss 1^{er} qui a commencé après sa mise en service en 1984 à connaître des problèmes d'Instabilité.

De même l'axe ferroviaire desservant l'oriental et se développant le long de cette route a été aussi dévié au niveau de Matmata et a fait l'objet de constatation de dégâts sur le remblai du Talus.

Les deux organismes concernés ont entamé les travaux d'entretien et de maintenance nécessaires à la sauvegarde des deux axes qui jouent un rôle primordial au niveau Socio-économique de la région car il s'agit du seul point de transit entre le Maroc oriental et le centre du pays.

Cette situation qui a commencé à se sentir d'une manière sensible depuis les années 1990 s'est aggravée avec le fil du temps et plus particulièrement au niveau du PK 255 où se situe le mûr de soutènement du remblai de la voie ferrée.

Les tronçons affectés au niveau du PK 255 sont au nombre de trois dont un principal de 140 ml et deux autres de part et d'autre de ce point portant la longueur totale à environ 250 ml.

La DPE de Taza a déployé l'ensemble de ses moyens et efforts pour la maintenance de cette section afin d'assurer la pérennité de la circulation dont la Trafic est trop fort pouvant atteindre les 10.000 v/j en période de pointe dont la prépondérance est le poids lourd.

3 Etat des lieux

Au niveau du PK 255 et à partir du sommet du versant on peut voir deux dépressions en cascade en amont du remblai de la voie ferrée parfaitement alignés sur l'axe du glissement affectant la route comme indiqués sur la photo ci-après. Apparemment il s'agit de deux glissements emboîtés.



La même vue montre une dépression laissant apparaître des chicots de conglomérats **P 1** et témoignant d'un transfert de matériaux marneux vers le pied du versant.

Des affaissements nets sont notés aussi bien sur le remblai de la voie ferrée partie aval que sur la route, mouvement témoignant d'une pathologie sentie avec beaucoup d'évidence au niveau des joints du mur de soutènement du remblai ferroviaire.

Des fissures de traction très ouvertes sur l'accotement côté mur de soutènement atteste d'un mouvement continu du remblai de la route.

Parmi les dégradations observées on cite entre autres :

- Affaissement très important de la chaussée avec des fissurations et rupture de sol entraîné en masse vers le lac du barrage.
- Sapement des berges de la retenue du barrage contribuant de façon nette au départ des matériaux
- Endommagement total du fossé bétonné le long du mur de soutènement du remblai de la voie ferrée
- Basculement localisé du mur de soutènement du remblai de la voie ferrée

- Présence d'indices d'instabilité sur le remblai de la voie ferrée qui se matérialisent par de nets affaissements. On y relève également des fissures et inclinaison des arbres vers le bas de pente
- Rupture et colmatage des ouvrages hydrauliques de la chaussée et remblai de la voie ferrée. (Photos 2 et 3)

Ainsi à partir du mois de Mai 2004 la situation est devenue critique menaçant de rupture totale les tronçons en glissement et le blocage de la circulation aussi bien routière que ferroviaire et ce malgré les efforts considérables consentis par la DPE de TAZA.

Etat des lieux



Affaissement principal au droit du mur de soutènement

P 2

Etat des lieux avant travaux



P 3

II - CAUSES DES INSTABILITES

1 - Contexte géologique et morphologique de la région du glissement :

Il convient tous d'abord de signaler que la section de la RN6 affectée par le glissement en question est située dans l'unité pré rifaine de la chaîne du Rif qui est caractérisée par une forte instabilité de ses sols à cause d'une part de la géologie et de la morphologie particulière des terrains et d'autre part des précipitations qui les affectent.

Ces manifestations ont donné au pré-rif son aspect géologique fait d'écailles relativement rigide entremêlées dans une gigantesque pâte marneuse broyée et sans continuité entre elles. La formation géologique traversée par les sections instables de la RN6 correspond aux marnes miocènes à zones plus ou moins sableuses. Le Miocène marneux de ce secteur a été quelque fois plissé et faillé en cours d'une phase tectonique attribuée au pliocène.

En fait le site de la région est soumis à des manifestations tectoniques importantes et il est marqué par de nombreux décollements au niveau des couches épaisses très plastiques rapportés au Trias et au Crétacé.

La morphologie des versants étudiés est marquée par un relief doux avec des pentes en moyenne de l'ordre de (2H/IV à 3H/IV) . Ces versants à dominante marneuse présentent un important ravinement. Toutes les ravines entaillant les versants examinés sont de direction N-S avec un écoulement vers la retenue du Barrage Idriss 1^{er}. Il est important de signaler que le niveau de la retenue normale du barrage est calé à la cote 270.00 NGM selon les données de la Direction des Aménagements Hydrauliques

2- Causes des instabilités

Les instabilités relevées le long de la section en glissement peuvent être causées par plusieurs facteurs.

Parmi ces facteurs en cite:

- les pentes du versant

Les pentes sont douces de l'ordre de 3 à 3,5 H/1V ne pouvant être à l'origine de la rupture d'équilibre du sol en question.

- l'eau

Le problème de drainage est posé. En effet les infiltrations d'eau sur les versants passent dans les remblais et entraînent sa désorganisation avec lessivage des matériaux fins et une chute de ses caractéristiques intrinsèques.

Les barbacanes du mur de soutènement sont insuffisantes pour drainer correctement les eaux d'infiltration créant ainsi un effet de barrage et entraîne le fluage de la couverture superficielle.

Les ouvrages de drainage sont complètement colmatés et cassées.

CAS DE SURFACE DE GLISSEMENT

Des indices de glissement ont été observés au niveau du PK 255, une ancienne cicatrice de glissement actuellement érodée sans décrochement net est soupçonnée à mi-pente du versant Nord de Koudiat Bou Seba ou se situe la Zaouia de Sidi Abdeljalil. La morphologie concave de cette colline pourrait être l'héritage d'un grand escarpement rotationnel situé au sommet. Les compartiments effondrés auraient été érodés d'où les pentes assez douces.

FLUAGE DE LA MARNE

Le fluage de la marne sous le remblai routier correspond au cas de figure qui pourrait contribuer au déclenchement des anomalies observées.

Les dégâts observés sur le corps de la chaussée (fissures ouvertes, rupture des ouvrages hydrauliques) peuvent être liés au fluage de la marne sous remblai le long des berges des ravins.

La route est ainsi affectée par des affaissements et fissurations longitudinales qui ont amorcé des fractures à décrochement vertical sur les talus extérieurs.

TASSEMENT

Le phénomène de tassement pourrait se manifester dans le cas des instabilités de la section de la RN6 sous deux formes:

- Soit qu'il s'agit d'un tassement du sol sous le poids de remblai .
- Soit qu'il s'agit d'un tassement de la structure de remblai elle-même.

Or, des indices particuliers de tassement du sol sous le poids du remblai ont été relevés sur le site tel que:

- o L'enfoncement vertical du remblai
- o L'enfoncement vertical combiné au déplacement latéral du sol de fondation sous l'emprise du remblai.
- o Le déplacement latéral de sol (formation de bourrelet) hors de l'emprise du remblai.

En conclusion les facteurs prépondérants qui sont à l'origine des dégâts observés sont liés aux conditions de drainage et aux mouvements par fluage et/ou tassement des remblais mis en place.

De même le marnage de la retenue du barrage Idris 1^{er} est à l'origine du sapement du pied basal en bas du versant de la route et par conséquent des ruptures d'équilibre en période pluvieuse affectant superficiellement et de manière échelonnée les dépôts de couverture.

En effet la retenue du barrage Idris 1^{er} a atteint en janvier 2004 son taux de remplissage record grâce aux fortes pluies et chutes de neige qu'a connu la région courant années 2003 et 2004 sans compter les déversements du barrage autorisés par l'Agence du bassin de Sebou.

III - DIAGNOSTIC SUR LES GLISSEMENTS ET QUELQUES NOTIONS SUR LEURS CAUSES

1 - Diagnostic sur les glissements

Les glissements de terrain se manifestent généralement par des fissures en crête de talus perpendiculaires à la direction générale du mouvement. Sur un profil, on observe une dépression vers le haut et un bombement vers le pied.

Les fissures de traction, quand elles ne sont pas cicatrisées, renseignent en plus sur l'actualité de l'instabilité par contre, il est difficile de tirer des dépressions et des bombements des informations du point de vue temporel.

Lorsqu'il y a dénivellation des deux lèvres de la fissure de traction, on parle alors d'escarpement. De même, l'escarpement peut témoigner de l'actualité de l'instabilité si son miroir est nu (absence de végétation) et franc.

La solifluxion est un signe évocateur des mouvements lents de surface : **fluage, reptation.**

L'alternance séchage, mouillage des sols plastiques peut aussi donner lieu à une solifluxion.

L'inclinaison des éléments verticaux (arbres, poteaux, pylônes) est un autre signe révélateur de ces mouvements lents de surface.

Enfin les dommages infligés aux constructions, tels que les affaissements des chaussées, sont sans nul doute les symptômes qui concrétisent le mieux l'instabilité du sol en pente leur faisant fondation.

Ces indices peuvent indiquer une instabilité qui peut donner suite à un glissement généralisé dans un intervalle de temps plus au moins long : quelques heures à plusieurs années...

2 - Quelques notions sur les causes des glissements:

2-1- Géométrie :

- a. Pente des talus trop importante, hauteur des remblais ou déblais trop forte, l'un et l'autre pouvant résulter de la conception ou de la réalisation;
- b. Agents extérieurs: De nombreuses actions de l'homme peuvent être particulièrement néfastes pour la tenue des talus: tous travaux en tête de déblais (à une distance de la crête inférieure à environ deux fois la hauteur du talus de déblai), suppression des butées naturelles ou artificielles en pied, et d'une manière générale tous les terrassements abusifs au voisinage des ouvrages ou affouillements dus à l'action des eaux des courants.

2-2- Hydraulique :

- ❖ Absence ou insuffisance d'un système de drainage ou d'évacuation des eaux;
- ❖ Drainage préalable (en construction) déficient, notamment au contact entre remblai et terrain naturel ou en crête du talus de déblais;
- ❖ Actions externes résultant de l'érosion superficielle, percolation d'eau dans les réseaux de fissures, entraînement de fines, érosion par batillage des talus situés en zone inondables ou au bord de l'eau;
- ❖ Actions internes résultant des pressions interstitielles au sein du matériau, à la construction ou après remontée de la nappe (notamment dans les remblais sur pente, insuffisamment drainés au contact entre le remblai et le terrain naturel) ou accumulation d'eau (dus souvent à la mauvaise qualité du matériau ou à une réduction locale des possibilités de circulation de l'eau dans le massif)
- ❖ Actions de la neige et des cycles de gel et de dégel.

2-3 - Géologie et géotechnique :

- ❖ Présence de failles ou de zones broyées, de fissures ou micro-fissures, notamment dans les zones de déblais;
- ❖ Substratum forte pente
- ❖ Présence ponctuelle de couches de caractéristiques particulières;
- ❖ Terrain naturel tourmenté avec traces éventuelles d'arrachements, d'anciens talwegs comblés de matériaux glissés ou ayant des caractéristiques médiocres;
- ❖ Utilisation des matériaux de remblai inadaptés (caractéristiques mécaniques trop faibles, matériau sensible à l'eau);
- ❖ Compactage ou traitement du sol insuffisant;
- ❖ Utilisation incorrecte ou abusive de l'explosif en l'absence de prédécoupage;
- ❖ Evolution des caractéristiques mécaniques traduisant un vieillissement du matériau dû au fluage ou des actions physico-chimiques.

2-4 - Autres causes :

- ❖ Influence du trafic et des charges roulantes.
- ❖ Opérations de déboisement mal conduites sur les talus dont la stabilité superficielle est assurée par la présence de végétaux.

IV - SOLUTIONS DE CONFORTEMENT

Plusieurs solutions de confortement du glissement de terrain au niveau du PK 255 ont été préconisées.

La première solution proposée consiste à réaliser un remblai stabilisant et un dispositif de drainage adéquat tout en renforçant la structure routière existante.

Cette solution est écartée du fait qu'elle ne tient pas compte du fluage de la marne abritée par le remblai.

La deuxième solution basée sur les reconnaissances spécifiques et les recommandations de différents intervenants consiste à réaliser un système de confortement basé sur l'utilisation des nappes en géosynthétique.

Cette solution a été aussi écartée du fait qu'elle n'est pas basée sur une étude approfondie réalisée par un bureau d'étude agréée.

La troisième solution avancée en 2002 consiste en l'excavation de la tranche de sol considérée comme instable sur une profondeur de cinq mètres et sa substitution par un remblai léger de type polystyrène expansé avec confortement du mur de soutènement de la voie ferrée par des barrettes en béton armé de dimension (1mx3mx10m).

Cette solution était basée sur l'hypothèse présentée qui considère que les sols d'assise du remblai de la voie ferrée ne sont pas affectés par les instabilités qui affectent la route et que le mur de soutènement est autostable.

Cette solution n'a pas été validée par l'ONCF qui considère que son ouvrage est en équilibre limite et que le mur de soutènement n'ayant stabilisé le site qu'au prix de déformations très importantes pour mobiliser une butée.

En Octobre 2003 une réunion est provoquée par la DPE de Taza avec l'ensemble des intervenants. Au cours de cette réunion il a été proposé entre autres de ficher suffisamment les barrettes afin de les ancrer dans les marnes compactes.

Après avoir pris connaissance des nouvelles hypothèses le BET chargé de l'étude a abandonné cette solution pour la principale raison que la mobilisation d'une butée suffisante sur les barrettes pourrait s'accompagner d'une réactivation des déplacements dans le remblai amont et notamment des tassements au niveau des voies.

Une nouvelle proposition a été apportée au projet en substituant les barrettes par deux rangées d'ancrage, Cette solution technique a été approuvée sur le principe sous réserve de veiller aux respects des règles de l'art dans le dimensionnement.

Elle est retenue par toutes les parties concernées et consiste à stabiliser la route par des matériaux légers dont le but d'alléger le sol d'assise pour diminuer les forces appliquées sur le cercle de glissement du talus. Elle sera complétée par la réalisation de tirants d'ancrage afin de conforter le mur existant soutenant le remblai de la voie ferrée.

Concernant le poids des terres la substitution des terrains en place par du polystyrène permet de diminuer le moment moteur et donc d'améliorer le coefficient de sécurité vis-à-vis du glissement. Elle sera réalisée selon la technique mis au point par S.C.R.E.G en 1982 dénommée Compostyrène.

C'est un procédé de remblai léger sur sols compressibles ou instables ou pour diminuer les charges permanentes d'ouvrages de génie civil.

Il utilise les qualités de résistance et de la légèreté du polystyrène expansé.

Sa réalisation s'appuie sur une étude complète qui intègre les contraintes géotechniques ainsi que les sollicitations de service. Cette étude permet le dimensionnement du remblai ainsi que des ouvrages qui l'accompagnent : assainissement, soutènement etc...

Le polystyrène expansé est produit par moulage de blocs parallélépipédiques et les dimensions des blocs sont déterminées et fixées par un plan de calepinage.

V - Déroulement des travaux

1 - Organisation de la circulation

En 2002 lors de la première proposition de la technique du compostyrène il a été prévu d'utiliser l'ancienne route comme déviation Cette mesure est devenue difficile du fait que la retenue du barrage Idriss 1^{er} a atteint pratiquement sa côte maximale vers le mois de mai 2004.

Malgré les difficultés la circulation a été organisée comme indiquées sur les photos ci-après

Démarrage des travaux



Reprofilage de la chaussée existante et aménagement de la première déviation et plateforme de travaux de foration côté mûr ONCF

P4



P 5



P 6

Après achèvement des travaux de réalisation de la première ligne d'Ancrage la circulation est déviée du cote du mur de soutènement ce qui a permis à l'entreprise de réaliser ses travaux de terrassement consistant à purger les matériaux instables sur la moitié de la plateforme

(Photo N° 7,8et 9)



Travaux 2^{ème} déviation achevés

P7



Travaux déblais en cours côté Lac

P 8



**Coupe montrant les différentes couches de matériaux affaissés
(Travaux d'entretien réalisés au fil des années)**

P 9

De même après l'achèvement de ces travaux cette partie a servi de troisième déviation pour la circulation (Photos N°10)



3^{ème} déviation de la circulation aménagée du côté du lac du Barrage

P 10

2 - Réalisation des tirants d'Ancrage

En appelle tirant d'Ancrage injecté une armature métallique constituée de tubes, barres, fils ou toron introduite dans un forage et scellée au terrain par des injections de coulis ou de mortier sous pression plus ou moins élevée.

Les Tirants d'ancrage réalisés sont des tirants de 20 ml et 16 ml de longueur de 120 mm de diamètre avec des barres HA40mm

La première rangée sera disposée un mètre sous le sommet du mur de soutènement et la deuxième rangée à la base de ce mur à raison de deux ancrages reliés par une bride en béton armé devant chaque barrette du mur.

Les forages sont réalisés en roto percussion à l'air comprimé, la partie éboulante de surface sera forée sous l'abri d'un tubage à l'avancement.

L'atelier de forage est composé principalement d'une machine foreuse sur chenille pouvant réaliser des forages à des inclinaisons de 10 ° à 90 ° (dans notre cas l'inclinaison est comprise entre 10 ° et 20 °)

Les ancrages seront injectés par le fond à travers un tuyau alcatène, l'injection sera menée à faible pression (1 à 3 bars) jusqu'à remplissage du forage.

La centrale d'injection est constituée d'un mélangeur haute turbulence, d'un bac de reprise et d'une pompe rotative. (Photos N° 11 et 12)



P11



P12

Les barres sont des barres GEWI de 40 mm équipées de manchons spéciaux pour la mise en place, La corrosion prise sur le diamètre est de 4 mm.

3 -Travaux de compostyrène

La purge des matériaux à été faite jusqu'à rencontrer la marne grise à – 5 mètres. Elle est réalisée dans un premier temps sur la première moitié de la plateforme de la route où il a été procédé à la mise en place d'un géotextile anti-contaminant d'épaisseur 5 mm suivi par des enrochements 600/1000 puis 150/250 .Ensuite il a été procédé à la pose d'un autre géotextile sur les enrochements 150/250 destiné à recevoir les matériaux 20/40 en même temps que la mise en place de la moitié de l'ouvrage busé.(Photos 13)



**Mise en place du géotextile sur les enrochements 150/250
destiné à recevoir les matériaux 20/40**

P 13

Après cela les travaux de décaissement côté mur de soutènement de la voie ferrée et côté parement ont été entamés par alternance pour permettre au fur et à mesure l'exécution de la ligne inférieure d'Ancrage (photos 14 et 15).



Travaux de décaissement en cours côté mûr de soutènement et parement en B.A (En alternance)

P 14



- décaissement achevé
- Ligne inférieure d'ancrage achevée
- **Brides en béton reliant les encrages par Deux**

P 15

Une fois ces travaux terminés on procède comme ci avant à la pose des enrochements et du géotextile puis les matériaux 20/40 .

A ce niveau la pose du compostyrène est entamée suivant les dispositions constructives ci après (photo N° 16 et 17)

- Les blocs sont découpés au fil chaud en usine et les coupes particulières à réaliser sur le chantier sont effectuées à l'aide d'une tronçonneuse thermique.
- Le massif de compostyrène est monté à la verticale grâce au coefficient de poisson du polystyrène qui est voisin de zéro. En fait les charges appliquées n'induisent aucune poussée latérale.
- Pour une meilleure stabilité du massif du compostyrène les rangées de blocs sont montées en s'entrecroisant d'un rang à l'autre.
- La liaison entre deux rangées de polystyrène est assurée par des connecteurs métalliques et des barres HA10 de longueur 1,50 m disposées en bord du remblai. Ces connecteurs permettent d'éviter les glissements des blocs pendant la réalisation. Elle est assurée aussi par de la colle, les blocs de rives sont collés par la colle polyuréthane de type polyuréthane mono-composant.
- la protection des parements est assurée par l'utilisation d'un béton grillagé projeté d'épaisseur 5 cm.
- Une assise en béton armé est réalisée directement sur le dernier rang de polystyrène sur une épaisseur de 15 cm.
- Des barres HA16 traverse cette assise de béton tous les mètres et remonte derrière le ferrailage des longrines en béton armé. Ces barres permettent de reprendre les efforts dus à un choc sur les glissements. (Photos 49, 50, et 51 en annexe).
- Afin de pouvoir coffrer les longrines le dernier rang du polystyrène est décalé de 30 cm. Ce rajout est découpé après coulage et décoffrage du béton.

Le rôle de l'assise du béton est multiple, elle permet à la fois de répartir les charges des véhicules sur les polystyrènes et de comprimer le massif compostyrène pour un fonctionnement optimal .Elle permet aussi la stabilité de ce massif.





P 17

Par ailleurs les longrines permettent de coffrer la chaussée et de fixer les platines destinées à supporter les glissières.

Le lit de pose est constitué de matériaux de granulométrie 20/40 concassés disposés sur 20cm d'épaisseur sur un géotextile anticantaminant. Cette granulométrie permet aux matériaux de poinçonner le polystyrène en assurant ainsi un frottement important entre le premier rang et la base du remblai. L'utilisation des matériaux concassés supprime tout risque de glissement latéral du polystyrène.

4 - Travaux de drainage

L'eau sera maîtrisée par réalisation d'un drainage à la base de l'ouvrage et les eaux de ruissellement seront collectées par un caniveau en béton réalisé côté mur de soutènement de la voie ferrée et positionné contre le massif compostyrène.

Il est protégé par une membrane étanche type COLETANCHE NTP1 qui déborde jusqu' au mur de soutènement.

Le drainage sous le massif du polystyrène en amont est assuré pour un tube crépine de 100 mm de diamètre.

L'ouvrage busé endommagé est remplacé par trois busé Φ 800 en béton pour la collecte des eaux pluviales issues de la buse sous le remblai ferroviaire que des caniveaux dont la pente est de 3% de chaque côté du puisard groupant ces buses.

Les eaux de ruissellement des demies chaussées sont collectées par des caniveaux bétonnés réalisés côté longrines pour qu'elles soient évacuées à l'extrémité du massif compostyrène vers le puisard.



- G.N.A réalisée et réceptionnée
- Enduit projeté pour protection du compostyrène en cours

P 18



- chaussée imprégnée
- Tapis d'enrobé en cours

P 19



- Signalisation Horizontale réalisée
- Glissière de sécurité posée
- Route ouverte à la circulation

P 35