

La revue technique des Travaux Publics **Travaux**

n° 859
Mars 2009

GÉOSYNTHÉTIQUES - TRAVAUX ROUTIERS

TRAVAUX

MARS 2009

N° 859

GÉOSYNTHÉTIQUES

- **Certifications et qualification Asqual**
- **Masque drainant du BP Nord-Ouest** (agglomération tourangelle)
- **A28 et A85.** Étanchéité de fossés par géomembranes structurées
- **Confortement d'un glissement de terrain par la technique du pneu-sol**
- **Aménagement du périphérique nord de Montpellier**
- **Solutions géosynthétiques d'encapsulation de déchets au centre TFA Andra**
- **Rôle d'un géosynthétique bentonitique en renforcement de barrière active**
- **Bassins d'orage.** Protection de talus
- **Renforcement par géogrilles des digues de centres de stockage de déchets**
- **Tour Oxygène Lyon.** Drainage sous dalle béton
- **Corse.** Stockage d'eau potable par couverture flottante et géomembrane

TRAVAUX ROUTIERS

- **Aménagement du carrefour Préfecture de Yaoundé**
- **Route des Tamarins.** Réalisation des chaussées
- **RN7.** Déviation de Changy et de la Pacaudière

Géosynthétiques Travaux routiers



éditorial

Les Géosynthétiques s'affichent en 2009

2009 est une année majeure pour le Comité Français des Géosynthétiques, une année où il réunit à Nantes, pour les 7^{es} Rencontres Géosynthétiques (1-3 avril 2009), la communauté des fabricants, utilisateurs et clients francophones des géosynthétiques, dans un colloque avec exposition ouvert à toutes les personnes intéressées. La revue *Travaux* a bien voulu publier à cette occasion onze articles proposés par des membres du CFG.

Ces onze articles couvrent les principales utilisations actuelles des géosynthétiques dans les domaines du génie civil et de la protection de l'environnement :

- installations de stockage de déchets ;
- dispositifs d'étanchéité : conception, comportement et contrôle ;
- infrastructures routières et ferroviaires ;
- procédés de renforcement ;
- ouvrages hydrauliques.

Ils témoignent aussi de la maturité des produits géosynthétiques et de leurs techniques d'emploi.



Jean-Pierre Magnan
Président du Comité
Français
des Géosynthétiques

Le site du Comité Français des Géosynthétiques (www.cfg.asso.fr) permet d'accéder aux travaux du comité, qui s'est donné pour mission de codifier les bonnes pratiques dans le domaine des géotextiles, des géomembranes et des produits apparentés.

On peut y télécharger librement les textes des recommandations élaborées par les membres du CFG et les communications des dernières Rencontres Géosynthétiques (Montpellier, 2006) et obtenir toute l'information utile pour participer aux Rencontres Géosynthétiques de Nantes en 2009.

Les géosynthétiques ont commencé par quelques produits expérimentés dans les années 1960 et 1970. Ces produits se sont diversifiés grâce à la créativité des producteurs et aux expérimentations menées par des ingénieurs et maîtres d'œuvre à l'esprit ouvert, qui ont souhaité développer des applications nouvelles,

en renforcement des sols, mais aussi dans la maîtrise des écoulements de liquides et de gaz dans les sols et les centres de stockage de déchets.

On ne peut qu'être frappé à l'heure actuelle, par la complexité de certains produits, qui combinent des dispositifs d'étanchéité, de protection et de transport de fluides ou qui résistent aux agressions des polluants les plus divers.

Les membres du CFG s'appliquent à diffuser l'information relative aux applications des géosynthétiques et à établir des règles consensuelles pour assurer la qualité de la pose des produits, notamment les produits d'étanchéité. Ils sont des partenaires majeurs de la normalisation française et européenne des produits et de leurs applications, mais aussi du dispositif indépendant de certification de la qualité (ASQUAL).

Notre association a le projet de poursuivre ces activités au service de la communauté des producteurs et utilisateurs de géosynthétiques français et francophones.

Géosynthétiques : Asqual

La démarche qualité globale dans les géosynthétiques s'est fortement structurée au cours des dernières années et le mouvement continue de progresser.

Les certifications et la qualification Asqual apportent leur contribution en valorisant les performances des produits : géotextiles et géomembranes, la qualité des services d'application des géomembranes – soudage et responsabilité de chantier – et l'ensemble de la politique qualité de l'entreprise par la qualification des entreprises d'application de géomembranes.

Leur succès tient largement à la confiance que les différents partenaires ont su donner (producteurs, entreprises, utilisateurs, laboratoires) aux acteurs du marché grâce notamment aux comités techniques chargés de proposer ces certifications d'abord, et la qualification d'entreprise d'application de géomembranes ensuite, qualification qui vient tout juste d'être lancée.

Cet article présente les principales réalisations actuelles.

■ La certification des géotextiles

Forte de plus de 190 certificats, la certification des géotextiles vient de se rénover avec une nouvelle présentation des caractéristiques basées sur des méthodes d'essais européennes pour des critères certifiés suivant



Figure 1

Logo « Géotextile certifié »
"Certified geotextile" logo

les fonctions retenues : filtration, séparation, drainage-filtration, renforcement, protection.

Les essais choisis concernent :

- les caractéristiques descriptives : épaisseur et masse surfacique ;
- les caractéristiques mécaniques : résistance à la traction, résistance à 5 % de déformation, déformation à l'effort de traction maximale, perforation dynamique et poinçonnement ;
- les caractéristiques hydrauliques : perméabilité, ouverture de filtration et capacité de débit dans leur plan.

Des caractéristiques complémentaires annoncées par le producteur ont été ajoutées dans la dernière version du certificat qui vient d'être mise en place très récemment, comme :

- le mode de fabrication et les polymères principaux ;
- le fluage en compression ;
- le fluage en traction.

■ La certification des géomembranes



Figure 2

Logo « Géomembranne certifiée »
"Certified geomembrane barrier" logo

Plus de 55 géomembranes sont aujourd'hui certifiées sur les cinq familles chimiques définies : PVC-P ; PP-F ; PEHD ; EPDM et géomembranes bitumineuses.

Les matériaux destinés aux ouvrages souterrains sont aussi concernés avec le PVC-P translucide, l'EC-F et les géomembranes bitumineuses.

Les caractéristiques mesurées se nomment :

- épaisseur fonctionnelle ;

Certifications et qualification

Robert Biguet
Directeur
Asqual



- masse surfacique;
- poinçonnement statique;
- traction;
- perméabilité aux liquides.

■ La certification de service « Soudage »

Plus de 300 certificats « Soudage » sont actuellement recensés.

On voit donc que cette certification s'est fortement

développée au cours des dernières années. Et elle s'applique aux différentes familles chimiques de géomembranes qui ont été précédemment listées, à savoir : PVC-P, PP-F, PEHD, EPDM et géomembranes bitumineuses.

On n'oublie pas les apports en ouvrages souterrains avec le PVC-P translucide, l'EC-F et les géomembranes bitumineuses.

Cette certification comporte une épreuve théorique par le biais d'un questionnaire à choix multiples et une épreuve pratique de soudage sur chantier.


<p>CERTIFICATION DE SERVICE «APPLICATION DE GEOMEMBRANES» SOUDAGE</p> <p>ASQUAL</p> <p>Société COMETE BRILLANTE N° 0000/00 CQ 00 certifiée suivant le « Référentiel Soudage » pour les géomembranes suivantes : PVC-P et la personne suivante : Grande OURS Date limite de validité : 00/00/2000 R. Biguet - Directeur</p> 		<p>1 - Cette carte est la propriété de la société. 2 - Limite de responsabilité : certificat délivré au vu de résultats d'épreuves théorique et pratique. Constitue donc uniquement une appréciation du service «Aptitude à l'application de géomembranes» - référentiel soudage - (voir référentiel technique pour de plus amples précisions).</p> <p>Fait à _____ le _____ Signature de la Société</p>
--	--	--

Figure 3

« Certification
de service soudage »
"Welding service certification"

Géosynthétiques : Certifications et qualification Asqual

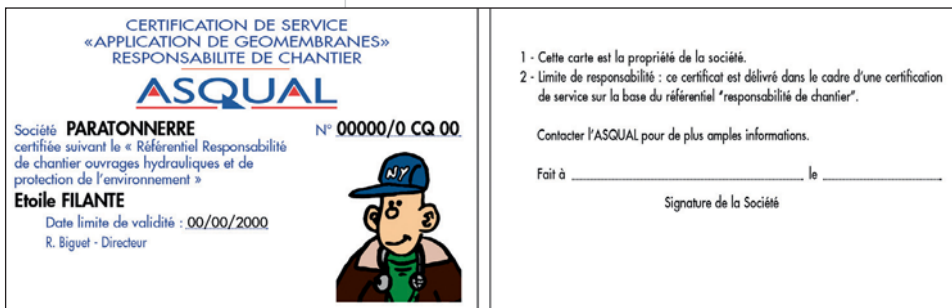


Figure 4
« Certification de service responsabilité de chantier »
"Worksite management service certification"

■ La certification de service
« Responsabilité de chantier »

Plus de 80 certificats « Responsabilité de chantier » sont maintenant opérationnels.

Cette forme de certification a donc suivi le même développement que la précédente. Rappelons d'ailleurs qu'il faut d'abord obtenir une certification « Soudage » pour une des familles chimiques avant de pouvoir postuler à une certification « Responsabilité de chantier ». Par contre, contrairement à la certification « Soudage », la certification « Responsabilité de chantier » est délivrée pour tout type de chantier, quelle que soit la géomembrane mise en œuvre.

Les épreuves retenues dans cette partie sont basées sur la réponse à un questionnaire à choix multiples beaucoup plus structuré que celui dispensé en « Soudage ».

■ La qualification d'entreprise
d'application de géomembranes

La qualification d'entreprise a pour objectif d'attester de la compétence, du professionnalisme et de la capacité d'une entreprise d'application de géomembranes à réaliser une prestation dans cette activité, en suivant les exigences générales contenues dans la norme correspondante NF X 50-091.



Figure 5
"Qualified geomembrane barrier
application contractor"

Un référentiel de qualification « Entreprise d'application de géomembranes » a ainsi été établi.

L'entreprise demande donc volontairement une qualification pour des activités précises, référencées suivant la nomenclature de la FNTF : réservoir d'eau; bassin relatif à l'épuration des eaux usées, ouvrage de stockage et de traitement de déchets, étanchéité d'ouvrage de génie civil de l'eau, étanchéité d'ouvrage et cuvelage, stockage-décharge-bassin de rétention, réhabilitation-aménagement paysager de site.

Les matériaux mis en œuvre dans les ouvrages courants sont également précisés : PVC-P, PP-F, PEHD, géomembrane bitumineuse, EPDM.

Il en va de même pour les matériaux destinés aux ouvrages souterrains : PVC-P translucide; géomembrane bitumineuse; EC-F.

De nombreux critères techniques, administratifs et organisationnels sont vérifiés par un audit au siège de l'entreprise et sur des chantiers :

- proposition précise de la prestation : matériaux; personnel; matériel de soudage et contrôle; qualité de l'organisation; délai et coût;
- réalisation conforme à la proposition avec contrôle des points clés : certification des matériaux géotextiles et géomembranes; certification soudage et responsabilité de chantier; sous-traitance limitée; engagements à la livraison de l'ouvrage; respect des délais et des coûts;
- contrôle d'engagements et attestation sur : les assurances nécessaires, le respect des exigences administratives et fiscales pour les marchés publics, la présentation de références techniques.

En complément, une enquête de satisfaction est menée par l'instructeur auprès de clients – donneurs d'ordre et utilisateurs – afin de disposer de la vision la plus complète et de permettre au Comité de qualification – composé de représentants de l'ensemble de la filière – producteurs de géotextiles, de géomembranes, donneurs d'ordre et utilisateurs, applicateurs, techniciens – de juger du niveau de la qualification de l'entreprise de pose candidate, en toute objectivité.

L'enquête de satisfaction à laquelle les donneurs d'ordre et les utilisateurs acceptent de répondre constitue un point important du processus de qualification.

■ L'Asqual au service
de la profession
des géosynthétiques

Les développements présentés ci-dessus montrent une forte activité de l'ensemble des partenaires de la filière

pour mettre en place un ensemble cohérent de signes de la qualité.

Quelques travaux complémentaires restent à finaliser avant que l'on dispose d'un système complet.

Le Comité Français des Géosynthétiques (CFG), structure de rassemblement de toutes les compétences nécessaires à la bonne organisation globale de la chaîne de la qualité, joue un rôle fédérateur important qui mérite d'être souligné. Et nous tenons à le remercier pour la confiance qu'il nous accorde et l'appui qu'il nous fournit.

L'Asqual continuera donc d'apporter son concours chaque fois qu'elle sera sollicitée pour aider à construire « le progrès par la qualité certifiée ». ■

ABSTRACT **Geosynthetic clay liners : Asqual certifications and qualification**

R. Biguet

The total quality approach in geosynthetic clay liners has become highly organised in recent years and the trend continues.

The Asqual certifications and qualification make a contribution by enhancing the performance of the products (geotextiles and geomembrane barriers), the quality of service for geomembrane barrier application (welding and worksite management) and the entire quality policy of the firm through qualification of the geomembrane barrier application contractors.

Their success is largely due to the confidence that the various partners (producers, contractors, users, laboratories) have been able to inspire in the market players, notably through the technical committees responsible first for proposing such certifications, and then the qualification of geomembrane barrier application contractors; this qualification has just been launched.

This article describes the main results at present.

RESUMEN ESPAÑOL **Geosintéticos : Certificaciones y calificación Asqual**

R. Biguet

El planteamiento calidad global en los geosintéticos se ha ampliamente estructurado durante el transcurso de estos últimos años y el movimiento sigue su progresión.

Las certificaciones y la calificación Asqual aportan su contribución al valorizar los rendimientos de los productos : geotextiles y geomembranas, la calidad de los servicios de aplicación de las geomembranas – soldadura y responsabilidad de obra – y la totalidad de la política calidad de la empresa por la calificación de las empresas de aplicación de geomembranas.

Su éxito procede en gran parte de la confianza que los distintos socios han sabido acordar (productores, empresas, usuarios, laboratorios) a los actores del mercado gracias, fundamentalmente, a los comités técnicos encargados de proponer estas certificaciones en primer lugar, y la calificación de empresas de aplicación de geomembranas en segundo lugar, calificación que acaba de ser lanzada.

Este artículo presenta las principales realizaciones actuales.

Masque drainant du Boulevard de l'agglomération tourangelle

La solution géocomposite Somtube FTF fut retenue pour l'élaboration des masques drainants dans le cadre de la construction du Boulevard périphérique nord-ouest de l'agglomération tourangelle.

Ce géocomposite de drainage, fabriqué en usine par la société Afitex, permet de substituer le matériau granulaire ainsi que le géotextile filtrant. Il est ancré en tête de talus et relié en pied à un collecteur. Il évacue les venues d'eau latérales et permet d'augmenter ainsi la stabilité de l'ouvrage. Le présent article décrit les différentes approches théoriques et calculatoires ayant permis de justifier le dimensionnement de la solution adoptée.

La construction du Boulevard périphérique nord-ouest de l'agglomération tourangelle (37) se situe dans une zone en déblai.

La présence d'eau dans les talus et la conservation des caractéristiques mécaniques des matériaux dans le temps ont rendu indispensable la mise en œuvre d'un système de drainage performant et durable dans le temps.

Le géocomposite de drainage Somtube FTF, communément mis en œuvre en géotechnique routière et en géotechnique environnementale, fut retenu pour constituer le masque drainant des talus. Ce dernier permet un gain de matériaux et de temps de réalisation.

L'entreprise Afitex, fabriquant ce géocomposite, a fourni les études complètes justifiant les débits drainés en fonction des caractéristiques géométriques des talus à drainer (pente, rampant, épaisseur de remblai).

■ Le géocomposite de drainage

Le géocomposite de drainage est décrit par la figure 1. Il est constitué :

- d'une nappe filtrante non-tissée aiguilletée en polypropylène;
- d'une nappe drainante non-tissée aiguilletée également en polypropylène;
- d'un réseau de mini-drains régulièrement perforés;
- d'une nappe filtrante non-tissée aiguilletée (en guise de filtre inférieur).

Les nappes géotextiles constituant le géocomposite sont assemblées en usine par le procédé d'aiguilletage. Les mini-drains sont régulièrement perforés selon deux axes alternés à 90° (deux perforations par gorge). La fonction de ces mini-drains est de collecter l'eau afin de l'évacuer rapidement vers les exutoires.

L'eau arrivant dans la nappe drainante du géocomposite est drainée vers les mini-drains perpendiculairement à ceux-ci. Elle est ensuite évacuée par les mini-drains. Ces derniers sont raccordés à une tranchée collectrice placée en pied de talus.

La pente, la longueur du rampant et la contrainte amenée par le remblai permettent de dimensionner le géocomposite le mieux adapté.

■ Dimensionnement du géocomposite de drainage

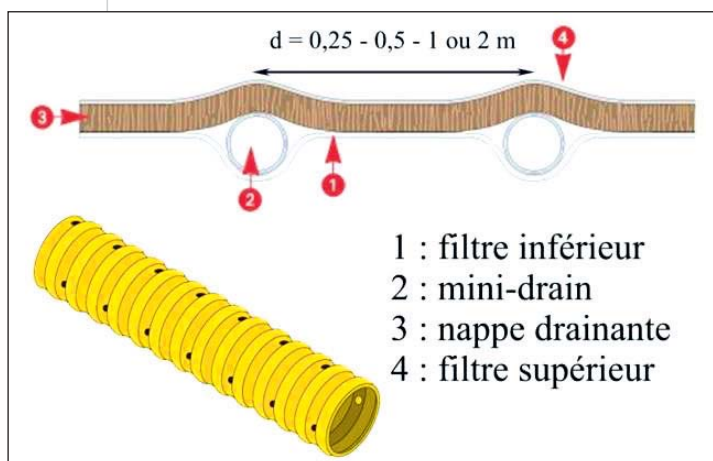
Un dimensionnement du géocomposite de drainage doit être établi afin de déterminer les capacités de drainage nécessaires. Ce dimensionnement a été réalisé à l'aide du logiciel LYMPHÉA™, développé par le fabricant du géocomposite en collaboration avec le Laboratoire régional des Ponts et Chaussées (LRPC) de Nancy et le Laboratoire interdisciplinaire de recherche impliquant la géologie et la mécanique (LIRIGM) de l'Université de Grenoble.

Les hypothèses de dimensionnement sont :

- une couche de remblai d'épaisseur 0,20 m;
- un flux uniforme;
- un espacement des mini-drains de 0,50 m, soit deux mini-drains par mètre;
- une longueur d'écoulement de 26 m;
- une transmissivité de la nappe drainante sous contrainte égale à 6.10^{-5} m²/s;
- une pente d'écoulement de 26,5° (2H/1V).

L'introduction de ces paramètres dans le logiciel permet de déterminer dans la gamme du fabricant le type de géocomposite drainant à utiliser et le flux drainé par celui-ci. Le logiciel permet donc de dimensionner le géocomposite le mieux adapté au projet et offre une

Figure 1
Description
du géocomposite
de drainage
Description
of the drainage
geocomposite



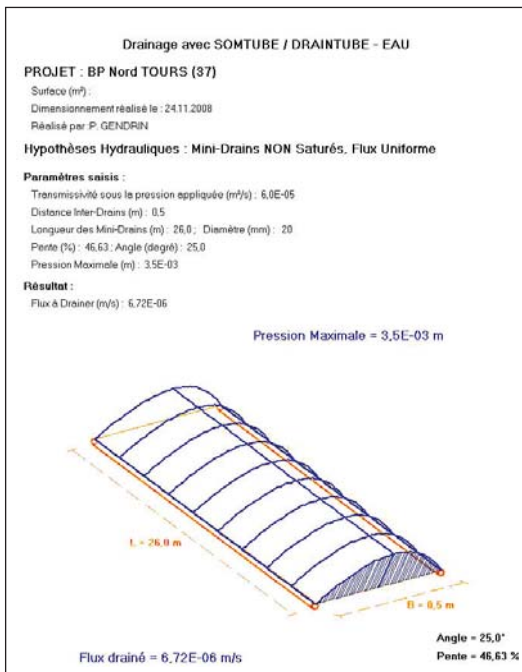


Figure 2
Feuille de calcul du dimensionnement
Sizing design calculation sheet

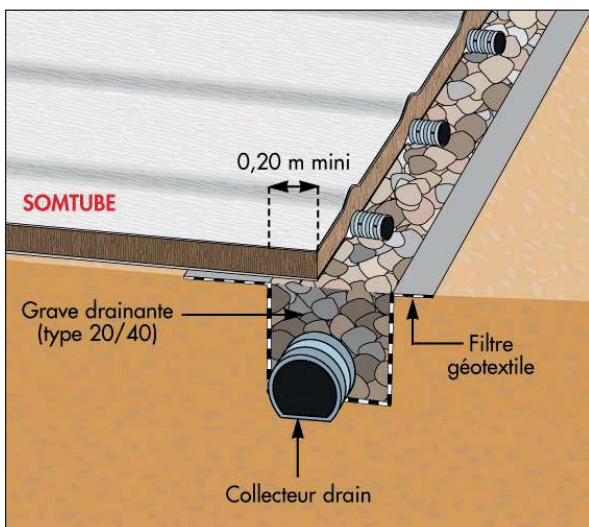


Figure 3
Réalisation de la tranchée drainante collectrice
Execution of the main drainage trench

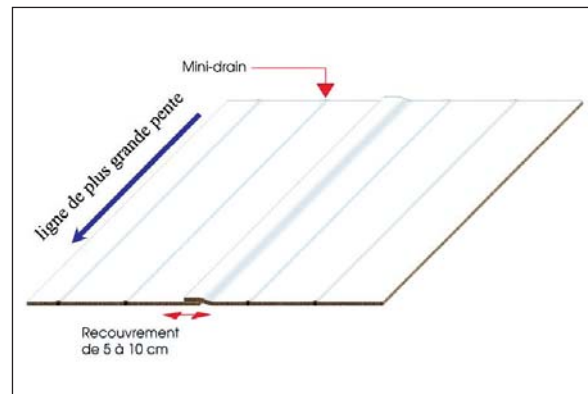


Figure 4
Principe de mise en œuvre du géocomposite de drainage
Technique for laying drainage geocomposite

visualisation de la répartition des charges hydrauliques dans celui-ci.

L'étude est réalisée en régime non saturé (sans pression au droit des mini-drains). On limite ainsi les risques d'instabilité du remblai (terres) au contact du géocomposite. Le résultat du calcul (figure 2) aboutit à un flux rentrant de $6,72 \cdot 10^{-6}$ m³/s pour une pression maximale entre mini-drains de 3,5 mm en hauteur d'eau.

■ Mise en œuvre du géocomposite de drainage

La première étape de la mise en œuvre du géocomposite de drainage est la réalisation de la tranchée drainante collectrice de pied de talus (figure 3).

Les éléments composants la tranchée sont les suivants :

- matériau granulaire : il s'agit d'une grave naturelle non sensible à l'eau de granulométrie de type 20/40 ;
- drain collecteur : le diamètre du drain est déterminé grâce à un dimensionnement spécifique suivant la longueur totale de drainage en pied de talus ;
- filtre géotextile : son rôle est d'éviter le colmatage dans le temps du matériau granulaire.

Une fois cette tranchée drainante collectrice de pied de talus réalisée, le géocomposite peut ensuite être déroulé sur toute la longueur du talus à partir du point haut. Il est positionné dans une tranchée d'ancrage en crête de talus. Cette tranchée doit être dimensionnée selon les efforts à reprendre et le type de mise en œuvre. Le géocomposite de drainage est positionné selon le sens de la plus grande pente et il ne doit pas y avoir de raccord en cours de talus (figure 4 et photo 1).

Masque drainant du Boulevard périphérique nord-ouest de l'agglomération tourangelle

Photo 1

Mise en place du géocomposite de drainage
Installation of drainage geocomposite



Photo 2

Recouvrement latéral
Side overlap



Photo 3

Fixation latérale
Side fastening

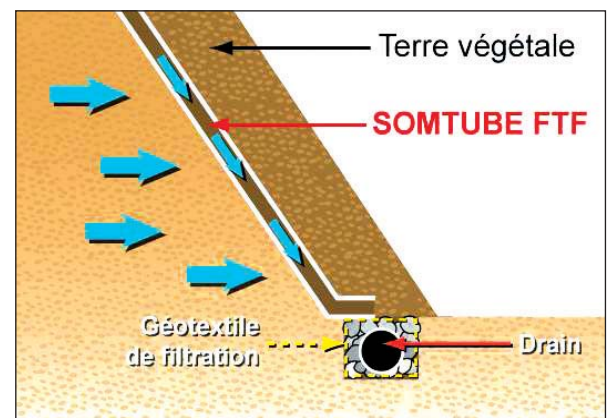


Pour éviter tous mouvements dus au vent, les recouvrements latéraux sont fixés régulièrement à l'aide de fers à béton en U (photos 2 et 3).

Le flux drainé par le géocomposite est automatiquement collecté par simple différence de perméabilité avec le matériau granulaire de la tranchée (figure 5).

Figure 5

Fonctionnement du géocomposite de drainage
Operation of drainage geocomposite



■ Conclusion

Le recul permet de constater que le talus se comporte selon les prédictions, à savoir que sa stabilité et ses performances hydrauliques et mécaniques sont parfaitement assurées.

Par rapport aux solutions traditionnelles à base de matériaux granulaires, le géocomposite de drainage offre une meilleure garantie de régularité des performances et une économie importante sur les travaux de terrassement. ■

RÉCAPITULATIF DU PROJET

Maître d'œuvre

Ingérop

Maître d'ouvrage

Conseil général Indre-et-Loire

Entreprise

NGE - Guintoli / FLI

Caractéristiques

Surface 12 600 m²

Date

Juillet - Septembre 2008

ABSTRACT

Draining facing membrane for the north-western ring road of the urban area of Tours

P. Lefèvre

The Somtube FTF géocomposite solution has been chosen for the Draining Mask of the construction of the northwest beltway of Tours. This drainage géocomposite is produced by Afitex. It allows substituting the granular material as well as the filtering geotextile. It is anchored at the head of bank and connected in foot with a collector. It evacuates the side in-rushes of water and allows to increase so the stability of the work.

This article describes the various theoretical and mathematics approaches which allowed to justify the retained solution.

RESUMEN ESPAÑOL

Revestimiento filtrante de la vía de circunvalación Noroeste de la aglomeración de Tours (37)

P. Lefèvre

La solución geocompuesta Somtube FTF fue adoptada para la elaboración de los revestimientos filtrantes en el marco de la construcción de la vía de circunvalación Noroeste de la aglomeración de municipios de Tours. Este geocompuesto de drenaje, fabricado en planta por la empresa Afitex, permite sustituir el material granular así como el geotextil filtrante. Su anclaje se efectúa en la guarda de talud y se conecta en pie de talud a un colector. Este geocompuesto permite evacuar las avenidas de agua laterales y permite también aumentar la estabilidad de la obra. En el presente artículo se describen los distintos modelos teóricos y calculatorios que han permitido justificar el dimensionamiento de la solución adoptada.

Étanchéité de fossés structurés sur l'A28

L'étanchéité des fossés autoroutiers permet de collecter les eaux météorites chargées d'hydrocarbures. Elle doit être particulièrement performante dans les zones de captage. Ainsi sur A28 et A85, le PEHD (PolyEthylène Haute Densité) a donc tout naturellement été retenu pour ses qualités de résistance chimique. Mais il restait à entériner la technique qui permettrait d'« accrocher » le matériau de couverture de la géomembrane. Plusieurs solutions ont été présentées au maître d'œuvre et c'est la géomembrane en PEHD structurée Agru qui a été choisie pour étancher les fossés des deux autoroutes sur une surface de 200 000 m².

■ Caractéristiques de la géomembrane structurée

La réalisation d'une planche d'essais a permis de valider la structure micropicots (surfaces structurées) du produit, qui avait été préconisée en rapport à la géométrie des ouvrages, au support et au matériau rapporté sur la géomembrane.

Cette structure permet d'améliorer sensiblement l'angle de frottement des interfaces avec la géomembrane. En effet, pour une géomembrane PEHD lisse,



Photo 2

Fossé A28

A28 motorway ditch

l'angle de frottement est de l'ordre de 10° alors que pour ce PEHD structuré, constitué de micropicots (60 000 unités/m²), il peut atteindre dans certains cas 45° (photo 1).

Les deux faces de la géomembrane ne sont pas identiques : généralement, celle qui a le meilleur coefficient de frottement (par rapport aux matériaux du site) est placée du côté du support afin de limiter les contraintes mécaniques sur l'étanchéité.

Photo 1

Détail de la structure

Detail of the structure



autoroutiers par géomembranes et l'A85

Jean-Luc Meusy
Ingénieur
technico-commercial
Agru Environnement
France



Photo 3
A28 - Mise en oeuvre de la terre
A28 - Placing earth



Photo 4
Profil type d'un talus
Typical profile of an embankment

Les structures font partie intégrantes de l'étanchéité, il n'y a donc pas de risque de laminage des micropicots comme on peut l'observer pour une géomembrane texturée.

De plus, la structure de la géomembrane est homogène ce qui ne peut pas être le cas des géomembranes texturées.

■ Les contraintes de fabrication

La géomembrane structurée est fabriquée à partir de résines vierges, par extrusion et calandrage, en une seule opération : sans soudure, ni collage, ni projection, à la largeur demandée, jusqu'à 7 m.

Les empreintes des calendres donnent la structure finale de la géomembrane.

■ La pose

Une pelle mécanique suffit à dérouler l'étanchéité au-dessus de l'ouvrage. Ces rouleaux peuvent atteindre 300 m de long sans raccord et sont fabriqués à la largeur du fossé permettant une mise en œuvre rapide, sans chutes et donc à moindre coût.

L'étanchéité est fichée sur les bords pour la maintenir provisoirement en place.

Le raccordement des lés se fait par « tuilage » sauf dans les sections non pentues où des soudures sont effectuées.

Au final, une couche de terre végétale est mise en place directement sur l'étanchéité.

■ Le bilan

Cette solution pérenne protège la nappe phréatique des agressions chimiques, tout en protégeant l'étanchéité des UV et des agressions mécaniques, et contribue à la bonne intégration de l'ouvrage dans son environnement. ■

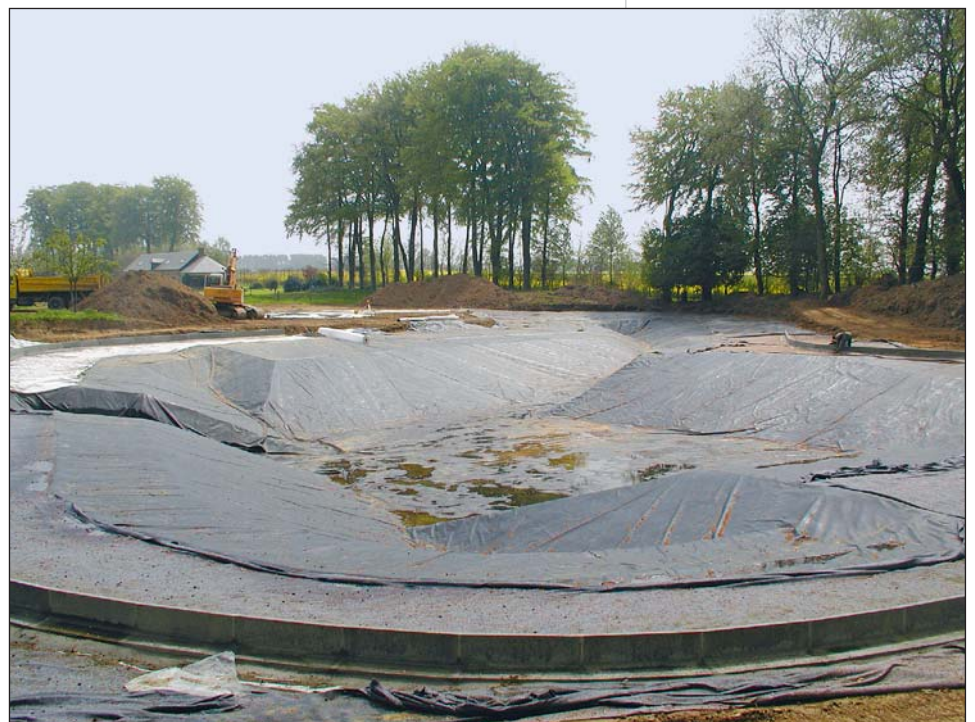


Photo 5
Raccordement des fossés aux bassins
Connecting ditches to reservoirs

Confortement d'un glissement par la technique du pneu-sol

Dans les Pyrénées Atlantiques sur la commune de Cardesse, la route départementale n° 9 reliant Mourenx à Oloron Sainte-Marie, suite à de très fortes pluies, a été affectée au début de l'année 2008 par un important glissement du remblai sur la pente, profond de cinq mètres environ, et sur plus de cent vingt mètres de longueur (photo 1).

Le contexte hydrologique et géomorphologique très défavorable de cette route en coteaux supportant un trafic de poids lourds important explique le déclenchement de ce glissement. On note ainsi au cours des périodes très pluvieuses la présence de nombreuses venues d'eau sur le flanc de la colline et des colluvions argilo-graveleuses saturées.



Photo 1

Vue du glissement sur la RD 9 à Cardesse (64)

View of the landslide on county road RD 9 at Cardesse

Le confortement classique consistant à mettre en place une butée de pied en enrochements s'est révélé insuffisant dans un premier temps pour garantir la stabilité de la route départementale. La technique dite du « remblai pneu-sol » (d'après les travaux de thèse de Long, 1993) proposée par le bureau d'études IMS-RN a alors été retenue en réparation ultime (photo 2). Les trois objectifs recherchés étaient l'allègement du remblai qui porte la route, le drainage

des eaux internes provenant du flanc de la colline, et le soutènement local du talus naturel penté à 1/1 (le pneu-sol est alors considéré comme un mur poids).

Le dispositif mécanique de 6 m de hauteur et de 5 m de largeur a combiné des nappes superposées de pneus usagés de poids lourds (de 1,1 m de diamètre environ), des nappes géosynthétiques non tissées Terram T51 (traction de rupture de 16,1 kN/ml) et des couches

Photo 2

Vue du remblai de substitution en pneu-sol en cours de montage (pneus liaisonnés, nappe géosynthétique, matériau granulaire intercalaire)

View of the substitute tyre-soil backfill being placed (attached tyres, geosynthetic layer, separating granular material)



de terrain important

Thierry Dubreucq
 Responsable du
 domaine Géotechnique
 au LRPC Bordeaux
 CETE du Sud-Ouest

Nicolas Pezas
 Responsable du service
 Infrastructures
 Direction
 de l'aménagement,
 de l'environnement
 et de l'équipement -
 Conseil général
 des Pyrénées Atlantiques

intercalaires de 20 cm d'épaisseur d'un matériau granulaire 20/40 compacté (figure 1). La mise en œuvre et le compactage ont fait l'objet d'une planche d'essais préalables. Les travaux se sont déroulés durant l'été 2008 par temps sec. Près de huit mille pneus ont été posés au final. Une couche de remblai granulaire de 80 cm d'épaisseur a ensuite été mise en œuvre sur le remblai pneu-sol pour obtenir une portance de la plate-forme suffisante.

L'allègement, tout relatif, provient du vide préservé dans chacune des chambres des pneus et conduit à un poids volumique du remblai en pneu-sol de l'ordre de 12 kN/m³ dans le cas présent. Le confortement a été complété à l'arrière du remblai pneu-sol par un dispositif de filtration et de séparation des sols par une nappe de géotextile non-tissé de masse surfacique 160 g/m², et à l'aval, par un drainage des sols en place au moyen d'éperons en matériaux granulaires drainants. L'allègement et le drainage ont permis de relever le coefficient de sécurité au grand glissement de plus de 30 % (valeur requise par le guide technique LCPC de stabilisation des glissements de terrain, 1998).

Les pneus ont été disposés horizontalement en quinconce, et reliés deux à deux par six boucles de feuillard polyester FEFAF13 fermées avec un gros nœud plat (photo 3), afin de constituer un remblai renforcé pour reprendre localement la poussée des terres à l'arrière.

Des essais réalisés au LRPC de Bordeaux (photo 4) ont montré que la traction de rupture de 12 brins (soit six boucles) était de 14,5 kN.

Un coefficient de sécurité de cinq a été introduit pour évaluer la traction disponible à long terme. Pour le dimensionnement interne du remblai en pneu-sol renforcé, le calcul de la traction dans les ligatures a été mené en étudiant l'équilibre local d'un volume de sol entourant le lit de pneus étudié, compris entre le parement et le point de traction maximale. Cette traction dépend de la contrainte verticale au niveau du lit. Celle-ci est obtenue en considérant l'équilibre de toute la partie du massif situé au-dessus du lit qui est alors considérée comme une fondation superficielle soumise à une charge excentrée (combinaison du poids

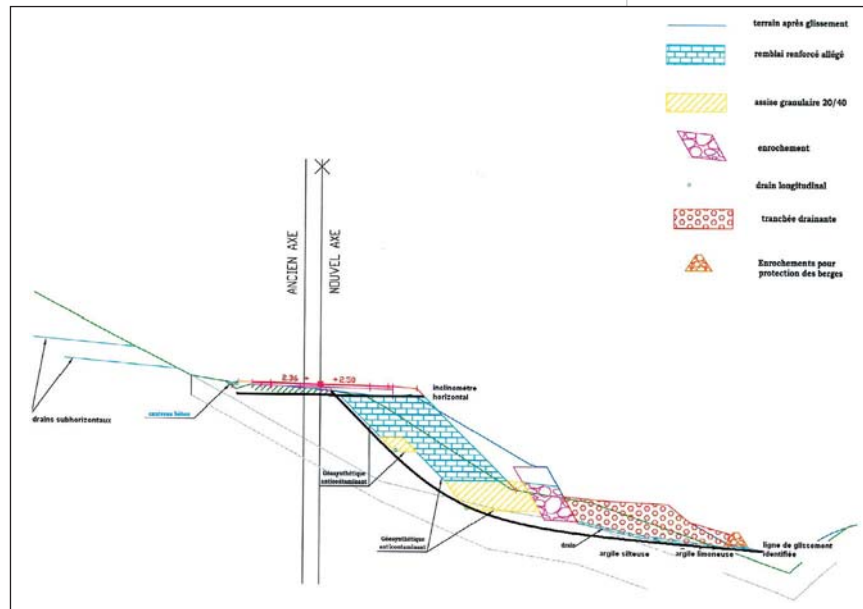


Figure 1
 Coupe de principe du confortement du glissement
 Schematic cross section of landslide consolidation



Photo 4
 Essais de traction des ligatures
 Tie tensile tests



Photo 3
 Opération de ligature des pneus
 Tyre tying operation

Confortement d'un glissement de terrain important par la technique du pneu-sol

propre, de la surcharge routière et de la poussée arrière sur le remblai armé en pneu-sol).

Enfin, la plate-forme a été instrumentée par un inclinomètre horizontal pour suivre les tassements en service de la route. Celle-ci a été rouverte à la circulation en octobre 2008. Les tassements du remblai en pneu-sol mesurés deux mois plus tard s'élevaient à un peu plus d'un centimètre.

Les travaux de confortement situés à Cardesse et liés au pneu-sol ont coûté au total près de 400 000 € TTC (y compris la structure de chaussée) au Conseil général des Pyrénées Atlantiques, à la fois maître d'ouvrage et maître d'œuvre. Ces travaux ont été réalisés par les entreprises Laborde et Eurovia, à partir des reconnaissances et études géotechniques effectuées par la société IMS-RN (Ingénierie des mouvements de sol et des risques naturels, à Saint-Gaudens).

Le Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Bordeaux (CETE Sud-Ouest) a apporté son assistance au maître d'œuvre.

Enfin le recours à cette technique, qui a également permis de valoriser un stock très important de pneumatiques situé à moins de 40 km du chantier, s'inscrit complètement dans la démarche de développement durable que le CG 64 entend mener notamment dans le cadre de son Agenda 21. Ainsi d'ores et déjà, deux autres chantiers utilisant cette technique, certes plus modestes, sont programmés pour 2009. ■

ABSTRACT

Consolidation of a major landslide by the tyre-soil technique

Th. Dubreucq, N. Pezas

In the Pyrénées Atlantiques region of France, in Cardesse district, following very heavy rainfall, county road No. 9 linking Mourenx to Oloron Sainte-Marie was affected in early 2008 by a major backfill landslide. The "tyre-soil backfill" technique adopted for repairs was applied in the summer of 2008. The three objectives were lightning of the backfill which bears the road, drainage of the internal waters coming from the hillside, and local supporting of the natural earth bank. Lightning and drainage made it possible to raise the major-landslide safety factor by more than 30 %. The use of this technique, which also made it possible to recycle a very large stock of tyres located less than 40 km from the site, fits in completely with the sustainable development policy of the "Conseil général" (County Council).

RESUMEN ESPAÑOL

Consolidación de un importante deslizamiento de terreno mediante la técnica del neumático-suelo

Th. Dubreucq y N. Pezas

En los Pirineos Atlánticos en el municipio de Cardesse, la carretera departamental nº 9 que pone en comunicación Mourenx con Oloron Sainte-Marie, y a raíz de muy fuertes lluvias, fue afectada a principio del año 2008 por un importante deslizamiento de terraplén. La técnica de "terraplén neumático-suelo" seleccionada para la reparación se ha puesto en aplicación durante el transcurso del verano de 2008. Los tres objetivos consistían en la reducción del peso del terraplén que sostiene la carretera, el drenaje de las aguas internas procedentes de la ladera del monte, y el sostenimiento local del talud natural. La reducción del peso y el drenaje han permitido aumentar el coeficiente de seguridad del gran deslizamiento de más de 30 %. El recurso a esta técnica, que además, ha permitido la valorización de un stock sumamente importante de neumáticos ubicado a menos de 40 kilómetros de la obra, se inscribe completamente en el modelo de desarrollo sostenible de la Diputación provincial.

Aménagement du périphérique Nord de Montpellier

Luc Chalot
Directeur
Bec Frères SA

Les équipes du département étanchéité de Bec Frères ont travaillé plusieurs mois sur « le Lien », la liaison Saint-Gély-du-Fesc – Assas dans l'Hérault (34).

Beaucoup de précautions ont été prises sur ce chantier qui se situe à quelques centaines de mètres de la source du Lez, septième source vaclusienne (résurgence d'un cours d'eau souterrain) de France. Celle-ci assure l'alimentation en eau potable de la ville de Montpellier et de nombreuses communes périphériques.

Lors de sa conception, le tracé de la voie s'est adapté à la nature et non l'inverse, en respectant la flore, la faune, l'insertion dans le paysage et la ressource en eau. Toute pollution accidentelle sur cette route aurait eu de graves conséquences.

La zone concernée, soit 6 km de cunettes et noues, a donc été étanchée avec 100 000 m² de géomembrane, et trois bassins de stockage des EP d'une surface 60 000 m² ont complété l'ensemble.

La décomposition des DEG mis en œuvre a été la suivante :

- cunettes et noues :
 - > géotextile inférieur 600 g certifié Asqual,
 - > géomembrane PEHD 15/10^e certifiée Asqual,
 - > géotextile supérieur de maintien des terres;
- bassins (talus et fond) :
 - > géotextile inférieur 400 g certifié Asqual,
 - > géomembrane PEHD 15/10^e certifiée Asqual,
 - > géotextile supérieur 500 g certifié Asqual,
 - > grille de renforcement (talus).

Cette liaison a été ouverte à la circulation en décembre 2008 et le département étanchéité de l'entreprise continue de poursuivre son engagement en faveur du développement durable. ■



Photo 1



Photo 2

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Conseil général de l'Hérault

Maître d'œuvre

Conseil général de l'Hérault - Service Infrastructures

Entreprise mandataire

Buesa Frères (Villeneuve-les-Béziers)

Solutions géosynthétiques au centre de stockage TFA

Le site Andra à Soulaines-Dhuys dans l'Aube stocke des déchets très faiblement radioactifs. Les fonctions variées des produits géosynthétiques ont été largement mises à profit pour la construction des alvéoles de stockage et pour leur couverture provisoire et définitive distinctes : étanchéité, renforcement contre les fontis, stabilisation de la couverture provisoire de 5 ans aux UV et au vent, drainage et stabilisation de la couverture définitive. L'aménagement des alvéoles de stockage réalisé sous abri a commencé en 2003 et la première phase d'aménagement de la couverture définitive en 2007. Un nouveau marché a été passé pour une durée de sept ans à partir de début 2009.



Photo 2
Aménagement d'une alvéole
Development of a compartment

Photo 1
Ancrage
des géosynthétiques
Geosynthetic clay
liner anchorage



■ Introduction

L'activité humaine nucléaire crée des déchets qu'il s'agit ensuite de gérer pour protéger l'environnement. Les déchets très faiblement actifs présentant une radioactivité faible sont stockés au centre de Soulaines Dhuys dans l'Aube (10). Le démarrage de la construction du centre a démarré en 2003 et se poursuivra jusqu'en 2015. Les alvéoles de stockage de 30000 m³ chacune sont creusées dans une argile en place, puis équipées de DEG¹ géosynthétiques, remplies de déchets, puis encapsulées par un DEG soudé à celui de l'alvéole.

Toutes ces opérations se déroulent sous un abri textile amovible qu'on appellera « bâtibulle ». Celui-ci est

1. DEG : dispositif d'étanchéité géosynthétique

ensuite déplacé au-dessus de l'emplacement du creusement de l'alvéole suivante et ainsi de suite. Les alvéoles ainsi encapsulées restent exposées pour une durée de 5 années avant la phase de remblayage de la couverture définitive de plusieurs mètres de hauteur. La couverture définitive est à son tour drainée et protégée de l'érosion par des géosynthétiques de drainage et d'accroche terre.

L'article ci-après décrit les phases de construction et quelques aspects spécifiques de l'emploi des géosynthétiques.

■ Creusement et aménagement des alvéoles

Ancrage des géosynthétiques dans les alvéoles

Afin de gagner en volume de stockage, les tranchées d'ancrage ont été remplacées par des ancrages mécaniques sur les longrines de fondation du bâtibulle (photo 1). Ces ancrages sont utiles pendant la phase de remplissage jusqu'à la phase d'encapsulation. Le DEG des flancs des alvéoles (photo 2), est constitué par une géomembrane PEHD 2 mm protégée par une nappe non-tissée anti-poinçonnante de 1800 g/m², qui sont

d'encapsulage de déchets

Andra de Soulaines-Dhuys

Thierry Larcher
Chargé d'affaires
Socotec

Patrick Brochier
Gérant
Teragéos



Photo 3
Puits de drainage de l'alvéole
Compartment drainage shaft

naturellement entraînées vers le fond lors du remplissage des déchets. Les efforts sur les géosynthétiques en traction ont été estimés et les ancrages mécaniques linéaires sous forme de grosses cornières calculés en conséquence. Ces cornières sont démontées après chaque encapsulage et transférées à la construction de l'alvéole suivante.

Drainage des alvéoles

Toute la période de construction se déroule à l'abri des intempéries pour éviter tout apport d'eau dans les déchets. La seule eau qu'on puisse trouver dans l'alvéole est celle éventuellement rentrée avec les déchets, celle résultant de la condensation, et celle résultant d'une non-étanchéité de l'enveloppe une fois encapsulée.

Un caniveau de drainage est penté vers un puits fondé sur le DEG (photo 3), et la protection de la géomembrane du fond est assurée par une couche de non-tissée 1800 g/m², incorporant un réseau de mini-drains perforés de 20 mm de diamètre.

Ce réseau Teradrain® est placé transversalement au grand axe de l'alvéole et au caniveau de drainage (photo 4).

Le test de résistance à l'écrasement ASTM D2412-02 a mis en évidence une résistance de 4100 kPa des mini-drains. Une couche de matériaux drainant et une couche de transition constituent ensuite la fondation des déchets posés en fond.

Tout drainage de l'alvéole potentiellement contaminé, doit être recyclé dans l'alvéole.

Rampe d'accès dans l'alvéole

La rampe d'accès dans l'alvéole (photo 5) permet la descente des convois de colis. En béton armé, elle est ancrée dans le fond de forme argileux par des bèches. Le système de raccord des bèches et de la rampe se fait grâce à des pièces en inox calculées au cisaillement et arrachement, et conçues pour se raccorder étanches à la géomembrane.



Photo 4
Protection et drainage
de la géomembrane
Protection and drainage
of the geomembrane barrier



Photo 5
Bèche d'ancrage de la rampe
Ramp anchorage cutoff wall

Solutions géosynthétiques d'encapsulation de déchets au centre de stockage TFA Andra de Soulaines-Dhuys

Photo 6

Rampe d'accès dans l'alvéole
Compartment access ramp



Photos 7 et 8

Couche support du dispositif d'étanchéité géosynthétique sur l'alvéole remplie
Supporting layer for the geosynthetic sealing system on the filled compartment

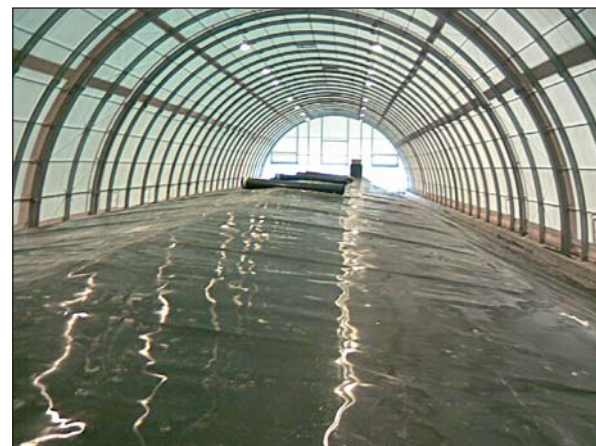
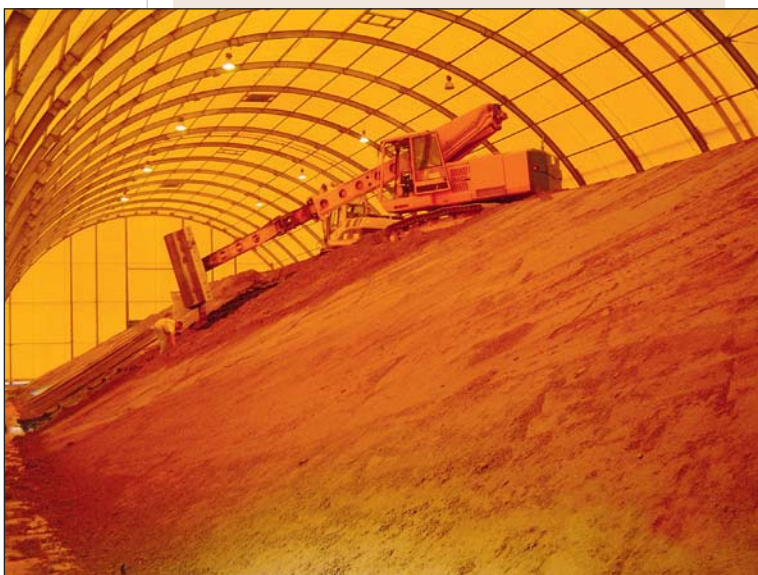


Photo 9

Géomembrane de fermeture
Closing geomembrane barrier



■ Encapsulation et couverture provisoire des alvéoles remplies

Couches support du DEG

Une fois l'alvéole remplie, une première couche de sable (photos 7 et 8) est mise en œuvre pour servir de support à un géosynthétique de renforcement calculé pour reprendre les efforts de la future couverture définitive de plusieurs mètres d'épaisseur, en cas de présence de vide dans l'alvéole entre les colis.

Mise en œuvre du DEG

La géomembrane est mise en œuvre et soudée au DEG du creusement sur toute la périphérie (photo 9).

Les couches géosynthétiques de protection de la géomembrane ont pour rôle la protection anti-poinçonnante, le drainage, la participation au renforcement, la fonction anti-UV et enfin le lestage.

La protection, le drainage et le renforcement sont fournis par un géocomposite incorporant des câbles polyester dans une nappe non tissée de fibres de gros deniers.

La protection anti-UV est assurée par une nappe tissée garantie 5 ans, assemblée par couture.

Le lestage est réalisé par un réseau à maille carrée de sacs de lestage reliés par des cordes, le tout assurant une sorte de filet de lestage de l'ensemble (photo 10). Il est calculé pour reprendre les efforts de dépression créés par le vent sur le site.



Photo 10
Protection et lestage
Protection and ballasting

■ Couverture définitive des alvéoles

Étanchéité autour du puits de drainage

Le puits de drainage est monté par éléments béton successifs au fur et mesure du remplissage de l'alvéole. À la traversée du DEG de fermeture, un système de coulisseau en PEHD permet un débattement étanche sur 1 mètre.

Les pièces du coulisseau sont réalisées en plaques PEHD 10 et 20 mm d'épaisseur (photo 11).

Structure de la couverture définitive

Tout est conçu pour repousser toute entrée d'eau dans l'alvéole (figure 1).

La couverture définitive est constituée par un remblai argileux remanié de l'Aptien, identique à l'argile excavée. Elle est mise en œuvre après avoir installé un écran géosynthétique drainant Teradrain® RIV en



Photo 11
Coulisseau du puits de drainage
Drainage shaft slide

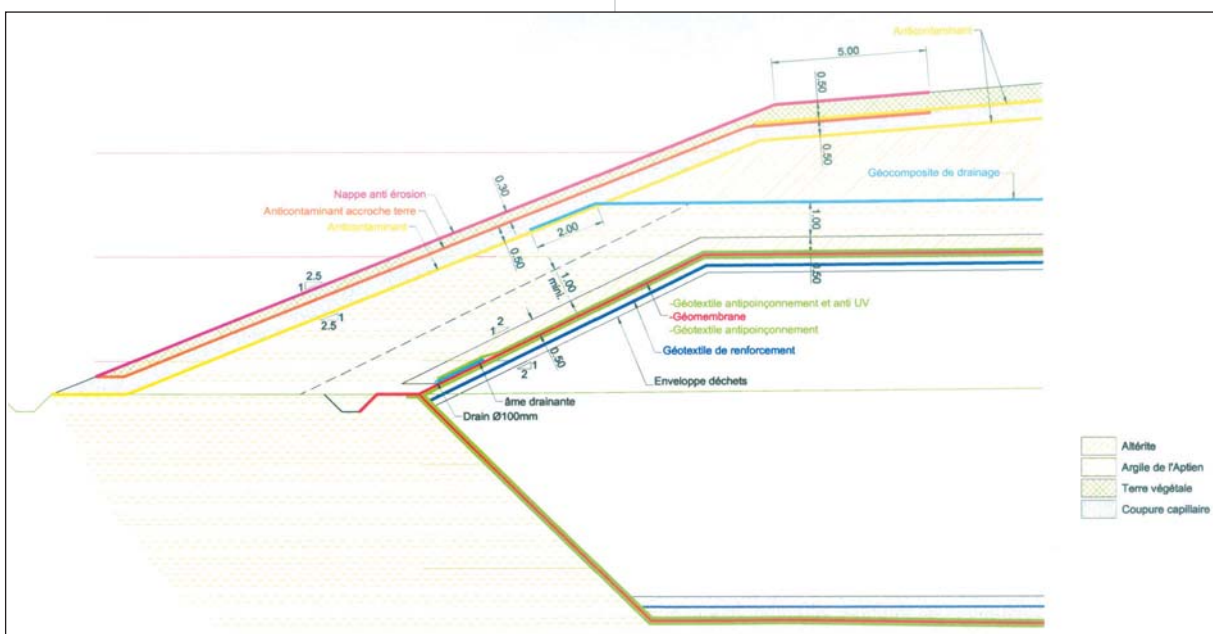


Figure 1
Coupe de l'ouvrage
Cross section of the structure

Solutions géosynthétiques d'encapsulation de déchets au centre de stockage TFA Andra de Soulaines-Dhuys



Photo 12

Système de protection, drainage et accroche de la terre
Earth protection, drainage and fastening system

► pied de talus. Cet écran comporte un réseau de mini-drains de diamètre 20 mm orientés dans le sens de la pente vers le collecteur principal dans la poche filtrante et régulièrement espacés chaque mètre.

Cet écran collecte les venues d'eau qui proviendraient de la couverture provisoire, mais il faudrait pour cela que les infiltrations aient franchi les premières barrières dans les couches supérieures.

En effet, entre l'argile de l'Aptien et le remblai sommital en altérites, une nappe drainante constituée d'un géotextile composite tricouche intégrant un réseau serré de mini-drains de diamètre 20 mm assure la reprise d'infiltrations résiduelles qui traverseraient la coupure capillaire supérieure. Celle-ci est composée d'une couche de matériaux perméables en 20/40 entourée par deux géotextiles non tissés filtrants sur le dôme.

Sur les pentes extérieures de la couverture définitive, cette filtration est assurée par un composite Teracro® constitué d'un fond filtrant, de reliefs d'accroche filtrants de hauteur 13 cm, et d'un réseau intégré de mini-drains perforés orienté dans la pente vers le pied de talus (photo 12).

■ Conclusions

Les produits géosynthétiques ont trouvé de nombreuses applications dans le concept de stockage du projet TFA. Ils ont été développés et adaptés aux exigences fonctionnelles du client et ont permis la réalisation de stockage sécurisé de façon économique, en respectant les délais. Les produits géocomposites ont notamment permis d'optimiser la construction. ■

ABSTRACT

Geosynthetic waste encapsulation solutions at Andra's Soulaines-Dhuys storage centre for very-low-level wastes

Th. Larcher, P. Brochier

Andra's Soulaines-Dhuys facility in the Aube region of France stores very-low-level radioactive wastes.

The varied functions of geosynthetic products have been exploited extensively for construction of the storage compartments and for their separate temporary and permanent coverings : sealing, reinforcement against subsidence cavities, stabilisation of the 5-year temporary covering against UV rays and wind, drainage and stabilisation of the permanent covering. Development of the storage compartments, performed under shelter, began in 2003 and the first phase of development of the permanent covering began in 2007. A new contract was signed for a period of seven years starting at the beginning of 2009.

RESUMEN ESPAÑOL

Soluciones geosintéticas de encapsulado de residuos en el centro de almacenamiento TFA Andra de Soulaines-Dhuys

Th. Larcher y P. Brochier

Las instalaciones de Andra en Soulaines-Dhuys en el departamento de Aube almacena diversos residuos cuya radiactividad es sumamente baja.

Las funciones variadas de los productos geosintéticos fueron ampliamente aprovechadas para la construcción de los alvéolos de almacenamiento y para su cobertura provisional y definitiva distintas : hermeticidad, refuerzo contra los socavones, estabilización de la cobertura provisional de 5 años a los UV y al viento, drenaje y estabilización de la cobertura definitiva.

La ordenación de los alvéolos de almacenamiento ejecutada bajo cubierta dio comienzo en 2003 y la primera etapa de ordenación de la cobertura definitiva en 2007. Se formalizó un nuevo contrato para una duración de siete años a partir de principios de 2009.

Rôle d'un géosynthétique bentonitique (GSB) en renforcement de barrière active de l'ISDND d'Attainville (95)

Les GSB sont souvent présents sous le niveau étanche de la barrière de sécurité active (BSA) en fond et/ou flanc des installations de stockage des déchets non dangereux (ISDND) en renforcement de la barrière de sécurité passive (BSP). Dans ce contexte ils protègent la géomembrane si la BSP contient des éléments susceptibles de l'endommager, et sur le long terme ils limitent le débit de fuite et son rayon d'action au droit d'un défaut de la géomembrane. En revanche, les GSB sont peu utilisés au-dessus de la géomembrane.

Cet article montre l'utilité d'un tel usage destiné à pallier un défaut éventuel de la barrière active constituée d'une géomembrane et contribuer à la protection de cette dernière. Ce dispositif a été mis en œuvre (photo 1) précédemment à l'ISDND d'Attainville (95) après avoir démontré en laboratoire le bien-fondé d'un tel dispositif permettant de réduire considérablement la sollicitation de la BSP au droit d'éventuels défauts de la géomembrane.

En France, le stockage des déchets se base sur la présence de barrières de confinement multiples. La première dite « active » est mise en œuvre à la base des déchets et demeure à son contact pendant toute la durée de vie de l'installation (exploitation et post-exploitation) : il s'agit classiquement d'un dispositif d'étanchéité-drainage (DEDG) constitué de haut en bas par un matériau naturel (ou synthétique) drainant, un géosynthétique de protection et une géomembrane en PEHD.

La seconde, dite « passive », est composée par le milieu géologique naturellement en place et lorsque ce milieu est absent en termes de perméabilité ou d'épaisseur, sa reconstitution artificielle est engagée. Dans ce cas, le dimensionnement de la barrière s'appuie sur le principe de l'équivalence en étanchéité passive (MEEDDAT, 2008). Cette seconde barrière est complémentaire à la première dans le sens où sa sollicitation n'est envisagée qu'en cas de défaillance de la première, en s'opposant alors à la migration des lixiviats dans l'environnement. En toute logique, cette sollicitation ne devrait intervenir qu'à long terme, en tout cas, à un moment où la totalité de la charge polluante des lixiviats aura disparu. Toutefois, il est reconnu que les géomembranes placées en fond d'installation de stockage de déchets (ISD) subissent, après leur mise en œuvre, des sollicitations



Photo 1
ISDND d'Attainville,
vue du dispositif d'étanchéité-
drainage en fond
Attainville non-hazardous
waste storage facility, view
of the sealing-drainage system
in the background

Gérard Didier
Chef de projet
INSAvalor/INSA de Lyon

Alain Couradin
Chef de projet
INSAvalor/INSA de Lyon

Luc Chalot
Directeur
Bec Frères SA

Marc Deburaux
Directeur
CETCO Europe LTD

Franck Le Magourou
Directeur général délégué
Val'Horizon (groupe Sita)

Rôle d'un géosynthétique bentonitique (GSB) en renforcement de barrière active de l'ISDND d'Attainville (95)

Photo 2

Renforcement de la barrière de sécurité active par GSB
 Reinforcement of the active safety barrier with bentonite GCL



mécaniques qui peuvent conduire à des endommagements.

Ces endommagements sont à l'origine de l'essentiel des débits de fuite au travers du dispositif d'étanchéité global (BSA + BSP). Il est donc nécessaire pour les limiter, de qualifier le type de protection envisagé.

L'éventuel endommagement à la mise en œuvre du matériau drainant ne pouvant se faire que *in situ* par la réalisation d'une planche d'essai, en laboratoire nous n'avons qualifié la fonction protection apportée par le GSB que sous la contrainte maximale de service en fin d'exploitation.

Parmi les solutions de protection envisageables, certaines visent à renforcer les performances hydrauliques à l'aide d'une gamme spécifique de géosynthétiques, les géotextiles bentonitiques constitués de deux géotextiles (support et couverture) liaisonnés par aiguilletage sur toute leur surface et entre lesquels est contenue une couche de bentonite (XP P 84-700, 2008).

Si la fonction première de ce type de géosynthétiques bentonitiques (GSB) est d'assurer le renforcement de l'étanchéité globale de l'ouvrage (BSP), d'autres fonctions peuvent lui être associées, comme celle de « réparation » définie comme l'aptitude à colmater et limiter une fuite ponctuelle sur l'élément principal de l'étanchéité (CFG, 1998) et de protection dans le cas des étanchéités combinées.

C'est sur ce fondement que la conception du dispositif d'étanchéité global du site d'Attainville exploité par Sita a été envisagée et c'est dans ce contexte qu'un

essai de performance a été mené au laboratoire géotechnique de l'INSA de Lyon.

Les conditions de réalisation de l'essai se sont rapprochées de celles rencontrées sur site en phase finale d'exploitation, notamment en reconstituant son DEG complet (y compris le limon, sous la géomembrane perforée, en vue de reconstituer le niveau de faible perméabilité de la barrière passive), en appliquant sur le DEDG la contrainte de service rencontrée en fin d'exploitation et en utilisant comme fluide d'essai, le lixiviat réel en provenance du site.

Les résultats indiquent que le GSB pouvait pallier le défaut créé dans la géomembrane et assurer sa protection contre les risques de poinçonnement statique. De ce fait, le maître d'ouvrage a retenu la mise en place d'un tel dispositif pour la barrière de sécurité active en fond de l'ISDND d'Attainville (95) (photo 2).

Dans la cellule d'essais décrite dans la norme NF P 84-705 (Afnor, 2008), ont été superposées de bas en haut, les couches suivantes :

- le limon (classé A2) de la barrière passive, ayant après compactage une teneur en eau de 23 %, un poids volumique sec de 15,8 kN/m³ et une perméabilité inférieure à 1.10⁻⁹ m/s. Lors d'un essai préliminaire une couche de sable perméable avait été utilisée;
- une géomembrane lisse en PEHD de 2 mm d'épaisseur comportant en son centre un défaut circulaire de 12 mm de diamètre;
- un géosynthétique bentonitique aiguilleté (Bentomat SS100 de CETCO) ayant une masse surfacique de ben-

tonite sèche de 5,056 kg/m². Sa face non tissée (200 g/m²) est placée en contact avec la géomembrane;

- le matériau de drainage 20/40 mm en grès concassé ayant, après mise en place, un poids volumique sec de 14 kN/m³. Il est en contact avec la face tissée (110 g/m²) du GSB.

Ainsi pour le DEDG étudié sous une contrainte de 10 kPa et une différence de charge hydraulique en lixiviat de 0,3 m, le débit de fuite n'est que de 0,5 ml/jour. On peut imaginer que ce débit serait plus élevé si sous cette contrainte la géomembrane n'avait pas été protégée par un GSB. Dans ce cas, dès le début de l'exploitation, la barrière de sécurité passive serait sollicitée et continuerait à l'être, même sous forte contrainte, si le contact de la géomembrane sur le support n'est pas assuré.

Avec le GSB, ce débit de fuite passe à une valeur égale à 0,2 ml/j pour une contrainte de 300 kPa et une différence de charge hydraulique en lixiviat de 0,4 m.

En fin d'essai, une autopsie a été réalisée sur le dispositif. Après démontage de l'essai et retrait des matériaux granulaires, il apparaît que l'épaisseur du GSB varie en partie courante de 8 mm à 13 mm, soit un écart de l'ordre de 5 mm sensiblement identique au tassement total mesuré sous 300 kPa. La géomembrane est lisse et n'a pas été endommagée ou déformée par le matériau granulaire 20/40.

Dans le contexte de l'ISDND d'Attainville (95), ces résultats montrent qu'un GSB contribue à la protection de la géomembrane et qu'il permet de corriger un défaut de celle-ci pouvant générer une fuite.

De ce fait, il améliore l'étanchéité de la barrière active présente en fond d'installation de stockage de déchets. ■

FICHE TECHNIQUE

Maîtrise d'ouvrage

Sita

Entreprise d'application des géosynthétiques

Bec Frères groupe Fayat

Fournisseur du géotextile bentonitique

CETCO Europe

Quantité de géosynthétiques d'étanchéité mis en œuvre

15000 m² pour un coût de 200 k€

ABSTRACT

Role of a bentonite geosynthetic clay liner in reinforcing the active barrier of the Attainville non-hazardous waste storage facility

G. Didier, A. Couradin, L. Chalot,
M. Deburaux, Fr. Le Magourou

GCL's are often implemented under the geomembrane of bottom and/or side of composite liners of waste landfill for the reinforcement of the mineral liner. In this context, they protect the geomembrane from puncturing from coarse elements from the mineral liner and on the long term they limit the advective flow and the wetted area due to the existence of a defect in geomembrane. However, the GSB are rarely used upon the geomembrane. This paper shows the interest of such a use intended to provide the function of protection and repairing of geomembrane defects. This system was implemented recently in the Attainville (F-95) waste landfill after having demonstrated in the laboratory the good effect of such an association that considerably reduces the solicitation on the mineral liner under the location of possible geomembrane defects.

RESUMEN ESPAÑOL

Función de un geosintético bentonítico (GSB) en el refuerzo de una barrera activa del ISDND de Attainville (95)

G. Didier, A. Couradin, L. Chalot,
M. Deburaux y Fr. Le Magourou

Los GSB se encuentran frecuentemente por debajo del nivel estanco de la barrera de seguridad activa (BSA) en el fondo y/o en los laterales de las instalaciones de almacenamiento de residuos no peligrosos (ISDND) como refuerzo de la barrera de seguridad pasiva (BSP). En semejante contexto, permiten proteger la geomembrana en caso de que la BSP contiene diversos elementos susceptibles de deteriorar su funcionamiento y en el largo tiempo limitan el flujo de escape y su radio de acción a la altura de un defecto de la geomembrana. En cambio, los GSB se utilizan poco en la parte superior de la geomembrana.

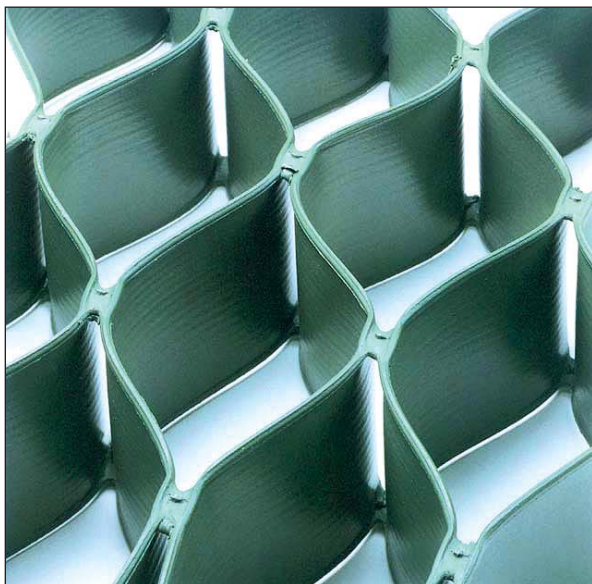
El presente artículo permite demostrar la utilidad de parecido empleo destinado a prevenir un eventual fallo de la barrera activa formada por una geomembrana y contribuir en la protección de esta última. Este dispositivo fue puesto en aplicación precedentemente en el ISDND de Attainville (95) después de haber demostrado en laboratorio lo buen fundado de este dispositivo que permite reducir considerablemente la sollicitación de la BSP a la altura de eventuales defectos de la geomembrana.

Bassins d'orage près Protection de talus par

Photo 1

Détail de l'alvéolaire

Detail of geocell



De nombreux ouvrages hydrauliques sont soumis à l'érosion par les conditions météorologiques, les phénomènes de marnage, le batillage, le remplissage ou la vidange rapide, les infiltrations...

Dans le cas des bassins d'orage de la rocade de Caen, un géoconteneur a été posé sur une géomembrane PEHD permettant la protection de cette dernière, des UV et des diverses agressions, tout en limitant son entretien.

■ La géométrie des ouvrages

Les talus ont une pente de 3/2 pour un développé de 10 m environ. La surface des talus représente 10000 m².

■ Le choix de la technique et du matériau

Un géosynthétique alvéolaire TENWEB a été choisi, à la fois pour sa structure en PEHD et pour ses caractéristiques techniques et hydrauliques. Il permet de confiner une épaisseur constante de matériau jusqu'à des pentes de 45° et contribue à limiter l'érosion superficielle.

■ Les caractéristiques de la géoalvéole (photo 1)

Pour ce chantier, le produit est présenté en panneaux de 5 m x 10 m x 10 cm de hauteur constante, les alvéoles, à structure nid-d'abeilles, ont un diamètre de 30 cm. Afin d'obtenir une résistance élevée aux jonctions, la fabrication est réalisée par extrusion en continu. Sa structure en PEHD évite le colmatage et assure la résistance aux agressions chimiques. La connexion hydraulique entre chaque cellule (figure 1) est assurée par une

Photo 2

Pose de l'alvéolaire TENWEB sur géogrille

Placing the TENWEB geocell on geogrid



de Caen géosynthétiques alvéolaires

Jean-Luc Meusy
Ingénieur
technico-commercial
Agru Environnement
France

fente verticale de 7 cm de hauteur. Enfin, le matériau est présenté de couleur verte pour une meilleure intégration dans l'environnement.

■ La pose

Dans le cas présent où le géoconteneur est posé sur une géomembrane, les efforts sont repris par une géogrille extrudée. La liaison géoalvéole/géogrille est effectuée par des colliers plastiques (photo 2).

La densité des fixations est fonction du développé du talus, de l'angle de la pente et de la hauteur de matériau rapporté.

En fonction des contraintes du chantier, le bureau d'études préconise les produits et le plan de calepinage des attaches. La géogrille ainsi calculée a une résistance de 30 kN/m, elle doit être impérativement extrudée pour garantir un matériau homogène. Les attaches ont été positionnées en quinconce, toutes les trois alvéoles, horizontalement et verticalement.

Note : Lorsque la géoalvéole est posée directement sur le terrain naturel, les efforts sont repris au moyen de fiches métalliques.

■ Le remplissage des alvéoles

Le remplissage est réalisé mécaniquement. La semi-rigidité du PEHD évite l'écrasement des alvéoles qui sont remplies de terre (photo 3). Dans certains cas, elles peuvent être remplies de cailloux (photo 4) si on veut casser le flux lors d'arrivée d'eau importante.

La hauteur de remplissage est de 10 cm (hauteur de l'alvéole). Elle peut être plus importante si le matériau rapporté a un angle de frottement supérieur à l'angle du talus ou si on y ajoute un accroche terre.

■ Le bilan

Après quelques semaines, plus aucun géosynthétique n'apparaît, la végétation a recouvert tous les talus des bassins.

Autres utilisations de la géoalvéole :

- Bassins de rétention autour de cuves de stockage pour casser l'effet vague en cas de rupture d'une citerne.
- En talus, dans les casiers de centre d'enfouissement technique pour assurer la protection mécanique à la géomembrane et le drainage des lixiviats. ■

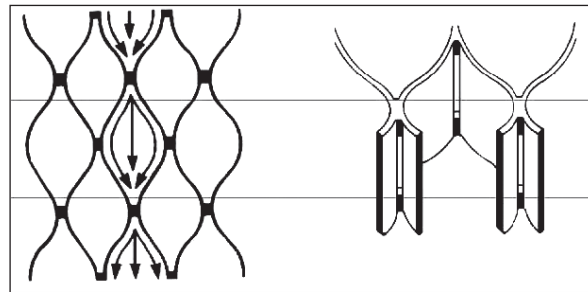


Figure 1

Connexion hydraulique des alvéoles
Hydraulic interconnection of cells



Photo 3

Après quelques semaines...
After a few weeks...



Photo 4

Bassin d'orage.
Les alvéoles remplies de cailloux
*Stormwater basin.
Cells filled with stones*

Renforcement par géogrilles des digues de centres de stockage de déchets

Alain Hérault
Responsable technique
Colbond Geosynthetics
France

Laurent Thiery
ANTEA Rhône-Alpes
Méditerranée



Photo 1

Les travaux en cours
au centre de stockage
de déchets de Chagny
*Work in progress at the
Chagny waste storage centre*

La création de trois nouvelles alvéoles sur le centre de stockage de déchets ultimes de Chagny (71) nécessita la construction d'une digue périphérique de 5 à 6 m de hauteur pour limiter l'emprise des déchets. À l'origine, l'arrêté d'autorisation prévoyait une inclinaison du talus externe de 3H/1V (soit un peu plus de 18°), le concepteur du projet, la société ANTEA, proposa à l'exploitant de la décharge, le

SMET Nord Est 71 (Syndicat mixte d'étude et de traitement des déchets), une solution alternative remplaçant le talus à 3H/1V par un massif en sol renforcé à parement incliné à 1H/5V (soit plus de 78°). Cette nouvelle configuration d'aménagement permettait de gagner 14 m d'emprise de stockage sur environ 300 m de longueur de digue, ce qui créait un volume de stockage supplémentaire de 25 000 m³.

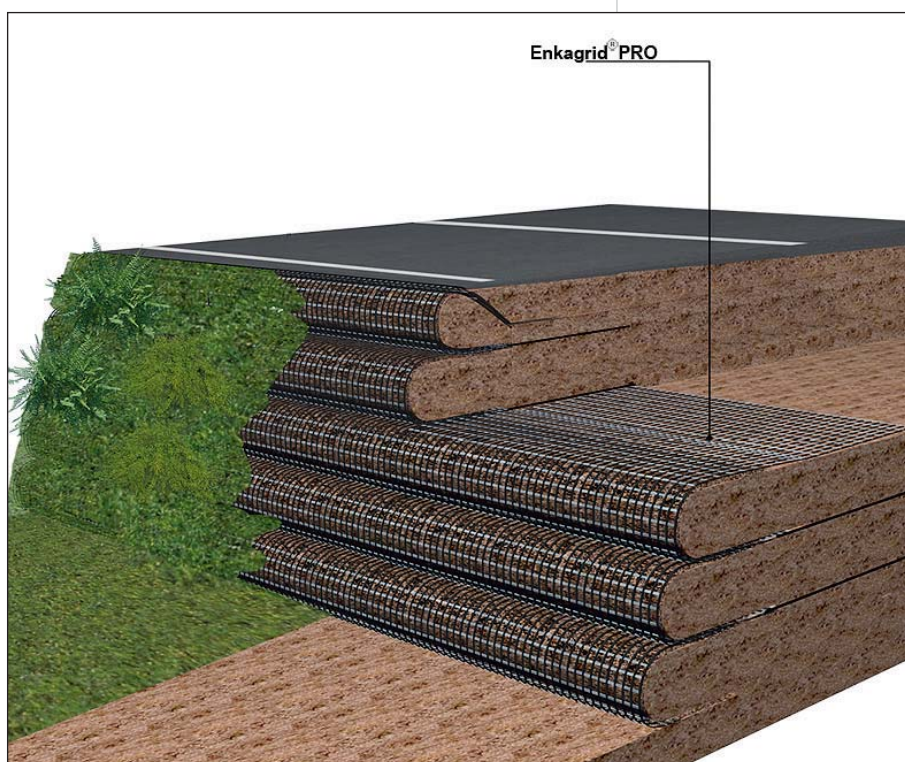


Photo 2

Vue 3D Enkagrid®
3D view of Enkagrid®

Renforcement par géogrilles des digues de centres de stockage de déchets

	Solution arrêté préfectoral	Solution massif sol renforcé
Profil extérieur	3H/1V	1H/5V
Profil intérieur	Inchangé (3H/2V)	
Stabilité	Solutions équivalentes (cf. étude ANTEA)	
Étanchéité	Solutions identiques : dans les deux cas, le corps de digue est constitué de matériaux argileux issus des terrassements du site. L'étanchéité du casier de stockage est assurée par la présence sur la face interne d'un géocomposite bentonitique (GSB) et d'une géomembrane PEHD	
Volume de stockage	~ 212 000 m ³	~ 237 000 m ³
Durée d'exploitation prévisionnelle	~ 30 mois	~ 35 mois
Volume de digue (matériaux argileux)	~ 50 000 m ³	~ 38 000 m ³
Volume de matériaux excédentaires (hors besoin pour couverture)	~ 19 000 m ³	~ 31 000 m ³
Coût travaux / tonnage enfouis	8,34 €/tonne	8,45 €/tonne

Tableau I
Tableau comparatif
Comparative table



Le tableau comparatif (tableau I) a permis de justifier la demande d'une dérogation aux dispositions de l'arrêté d'autorisation.

Les revenus induits par le supplément de volume de stockage compensant largement le surcoût des travaux, la solution fut immédiatement adoptée par le maître d'ouvrage.

Les travaux ont été réalisés par l'entreprise Rougeot TP.

Le renforcement du corps de digue a été réalisé avec les géogrilles Enkagrid® Pro de chez Colbond Geosynthetics. Doubles en parement d'un géomatelas Enkamat® 7010, elles permettent une totale végétalisation du parement par simple hydro-ensemencement.

Outre l'intérêt environnemental d'une meilleure intégration paysagère, cette technique amène et garantit une souplesse maximale à l'ouvrage qui peut ainsi mieux résister aux sollicitations sismiques et supporter des tassements différentiels importants (5 % selon la norme NF EN 14475) sur sol support compressible, cas assez fréquent en centres de stockage de déchets. ■

Photo 3

Centre de stockage de déchets ultimes de la Communauté d'Agglomération de Montpellier.

Maître d'ouvrage : Communauté d'Agglomération de Montpellier – Maître d'œuvre : Ginger Environnement et Infrastructures – Entreprise : Buesa Frères SAS.

Cet ouvrage d'une hauteur de 10,50 m présente la particularité de se situer dans une carrière encore en exploitation, il a donc dû être dimensionné pour résister à une charge explosive instantanée de 50 kg située à 25 m du parement et à 15 m de profondeur. Ce calcul (C. Plumelle + Ginger) a été effectué en 3D (modèle axisymétrique) avec le module dynamique du logiciel PLAXIS (méthode aux éléments finis)

Final waste storage centre of the Montpellier inter-municipal association ("Communauté d'agglomération").

Client : Communauté d'Agglomération de Montpellier – Project Manager : Ginger Environnement et Infrastructures – Contractor : Buesa Frères SAS.

A feature of this 10.50-metre-high structure is its location in a quarry that is still in service, so that it had to be designed to resist an instantaneous explosive charge of 50 kg located 25 m from the face at a depth of 15 m. This calculation (C. Plumelle + Ginger) was performed in 3D (axisymmetric model) with the dynamic module of the PLAXIS software (finite element method)

Drainage sous dalle béton Tour Oxygène à Lyon



Pierre Gendrin
Docteur en Mécanique
des sols
BE Géoroute Ingénierie

À proximité de la gare de la Part Dieu à Lyon, deux ouvrages avec parkings de grandes profondeurs ont été réalisés en 2008 (photo 1). Le premier est le parking La Villette comportant cinq niveaux de parking souterrains en parois moulées avec butonnage en poutre béton armé. Le second est la Tour Oxygène (115 m de hauteur) comportant quatre niveaux de parking enterrés en parois moulées avec tirants d'ancrage.

La situation géographique de ces ouvrages (entre la Saône et le Rhône) les rend particulièrement sensibles aux problèmes de remontées de nappe risquant d'entraîner de fortes pressions hydrauliques sous le dallage de fond.

La proximité de la gare et des voies TGV entraîne une obligation particulière sur la limitation des tassements et désordres pouvant subvenir en phase travaux et en phase définitive. Pour des raisons économiques et de rapidité d'exécution, la solution de radier porteur n'a pas été retenue.

Le terrassement à proximité de bâtiments existants et de la voie rapide rend le chantier particulièrement sensible (photo 2).

Les débits importants ($> 200 \text{ m}^3/\text{h}$) nécessitent un système de drainage performant, certifié et de faible épaisseur.

La société Afitex, fabricante de ce géocomposite, en collaboration avec le bureau d'études Géoroute Ingénierie, a pu fournir les études complètes justifiant le débit drainé en limitant au minimum les sous-pressions afin de conserver un dallage d'épaisseur 15 cm.

■ Contexte géotechnique et hydrologique

Pour la Tour Oxygène plus particulièrement, les essais et sondages réalisés ont donné le contexte géologique suivant :

- des remblais en surface sur une épaisseur de l'ordre de 6,00 m ;
- des sables et graviers correspondant aux alluvions du Rhône sur une épaisseur d'environ 15,00 m ;
- des sables molassiques jaunes à rares graviers correspondant aux formations molassiques du miocène en fond de fouille.

Ces sols molassiques correspondent au niveau de fond de plate-forme à drainer.

Des essais Lefranc ont permis d'obtenir des valeurs de perméabilité pour les différents sols en place (figure 1),

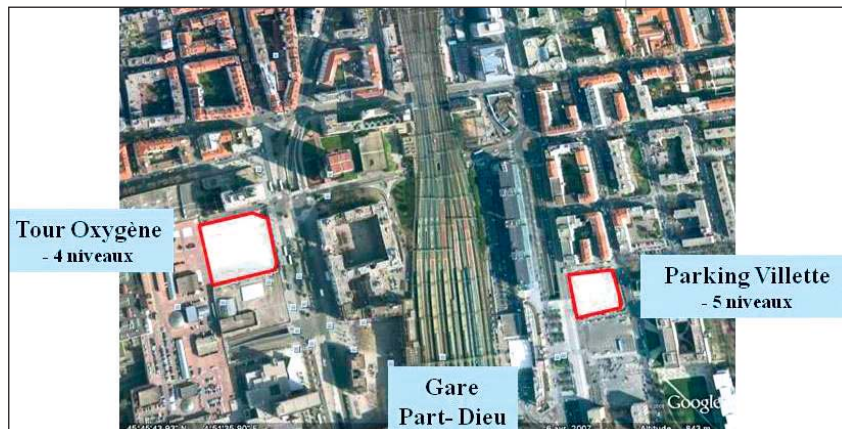


Photo 1
Vue aérienne du site
Aerial view of the site



Photo 2
Vue du fond de forme en fin de terrassement
View of the foundation level on completion of earthworks

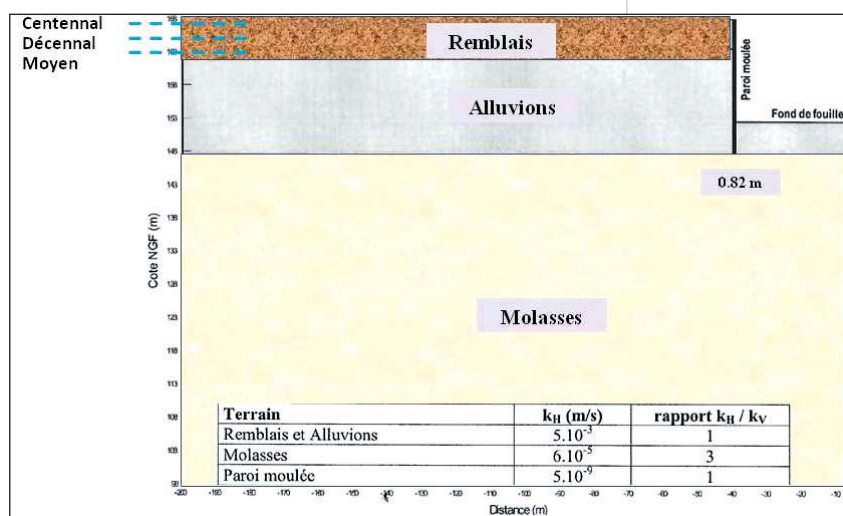
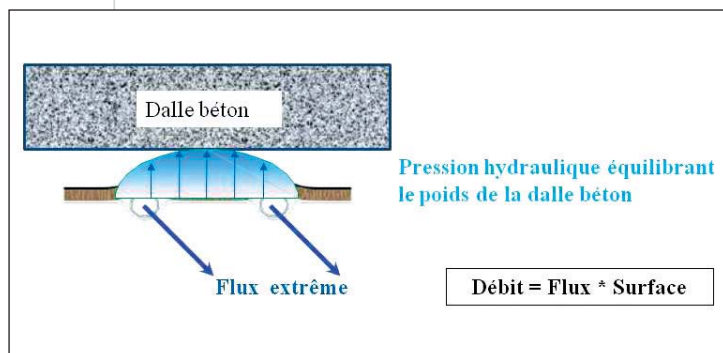


Figure 1
Coupe schématique des sols en place
Schematic cross section of in-situ soil

Drainage sous dalle béton - Tour Oxygène à Lyon

Figure 2

Principe de fonctionnement du géocomposite (pression, flux)
Operating principle of the geocomposite (pressure, flows)



et ainsi une valeur de débit maximal de l'ordre de 200 m³/h.

Ce débit prend en compte l'influence des parois mouillées de grande profondeur nécessaires à la réalisation de la fouille.

À noter que ce débit drainé est réinjecté dans les circuits de chauffage de la tour (géothermie).

■ Solutions de drainage

La solution de base pour effectuer ce drainage est un tapis drainant de 0,80 m de matériaux granulaires type 20/40 avec des drains intermédiaires de collecte (hérisson drainant).

La solution variante proposée à l'entreprise est le Somtube FTB 4 constitué (de haut en bas) par :

- un film polyéthylène;
 - une nappe drainante en géotextile non tissé aiguilleté polypropylène;
 - des mini-drains en polypropylène annelés et perforés (deux perforations par gorge selon deux axes alternés à 90°);
 - un filtre géotextile non tissé aiguilleté polypropylène.
- Ces quatre composants seront assemblés entre eux par aiguilletage (photo3).

Ce géocomposite bénéficie d'un Avis Technique du CSTB (n° 16/05-501 validité 31/12/2010), qui garantit la validité du procédé (fabrication et mise en œuvre).

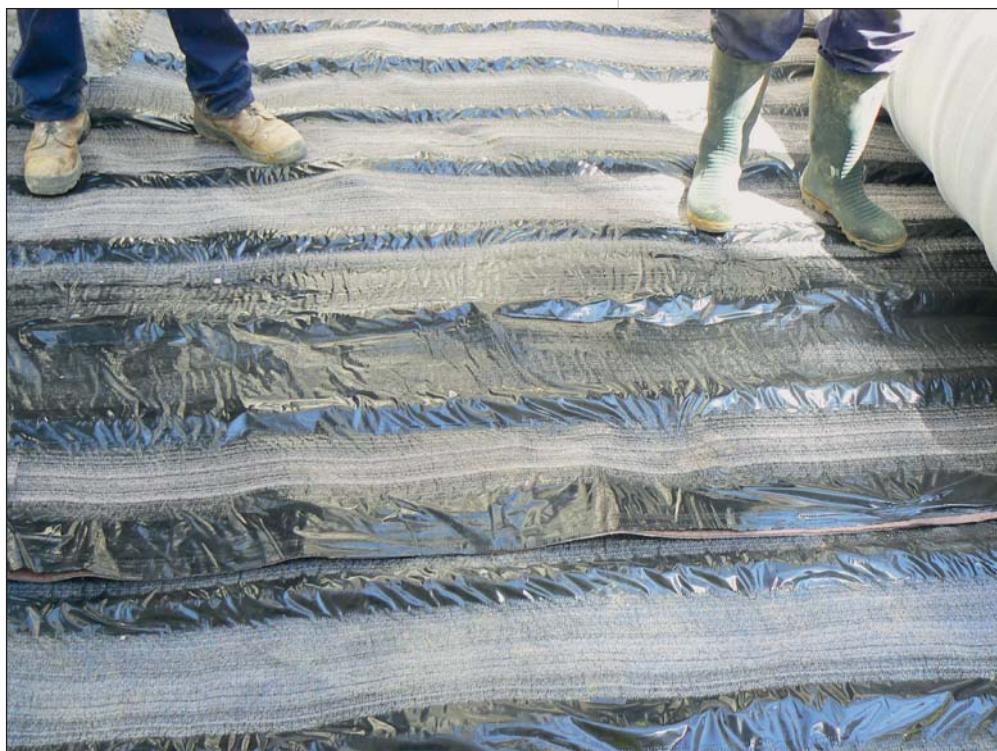
Il est utilisé pour drainer les arrivées d'eaux sous dalle (nappe phréatique) et ainsi limiter les sous-pressions pouvant apparaître à des valeurs très faibles (< 0,1 kPa), afin de ne pas risquer de fissurations de la dalle béton. Des sous-pressions quasi nulles permettent de dimensionner la dalle uniquement en fonction des surcharges et de la portance du sol support.

Du point de vue économique et mise en œuvre, le géocomposite de drainage (épaisseur 2 cm) permet de limiter le volume de terrassement (mise en décharge) et l'apport de la couche de matériaux drainants pouvant atteindre 0,80 à 1,00 m d'épaisseur en cas de débits importants.

De plus, le gain de terrassement (environ 0,80 m) a une

Photo 3

Vue du géocomposite (film polyéthylène supérieur)
View of the geocomposite (top polyethylene film)



influence sur la profondeur des parois ancrées (fiche) et sur le dimensionnement des tirants d'ancrage.

■ Méthode de calcul

Après positionnement des tranchées collectrices et des fosses de relevage (en collaboration avec l'entreprise), et selon l'épaisseur de la dalle et la pente d'écoulement, le logiciel LYMPHEA (mis au point par le LRPC de Nancy et le LTHE de Grenoble) permet de déterminer le flux drainé. La méthode de calcul de ce dernier est décrite et validée dans l'Avis Technique du CSTB. Ce dimensionnement s'effectue en deux étapes :

1. Calcul du flux maximum drainé avec une pression entre mini-drains correspondant au poids de la dalle.
2. Application d'un coefficient minorateur de 10 sur ce flux et calcul de la nouvelle pression engendrée (figure 2).

Ce flux F est alors à comparer à la perméabilité k des sols concernés par la remontée de la nappe phréatique en respectant la loi de Darcy ($F = k \cdot i$) avec i le gradient hydraulique dépendant en partie de la nature et granulométrie des sols.

Pour ce chantier, l'épaisseur de dalle béton est de 15 cm et le flux drainé de $1,4 \times 10^{-5}$ m/s.

Cette valeur de flux est compatible avec la vitesse de remontée des eaux, suivant les valeurs de perméabilité mesurées *in situ*.

La position des tranchées collectrices de reprise du flux drainé par le géocomposite a été optimisée en fonction des positions des semelles et des grues en phase chantier. ■

FICHE TECHNIQUE

Maître d'ouvrage

SCI Tour Oxygène (Lyon)

Maître d'œuvre

Arte Charpentier (Paris)

Entreprise

GFC Construction

Quantités

5400 m² de surface drainée

ABSTRACT Drainage under concrete slab. Tour Oxygène in Lyons

P. Gendrin

Close to the the Part Dieu railway station in Lyon (69), two car parks projects with deep underground were realized in 2008.

The most important one, the Oxygene tower (115 m high) includes an underground park consisting of 4 levels buried in diaphragm walls with bootstraps of anchoring

The geographical situation of these projects (between Saône and Rhône) make them particularly sensitive to the problems of rise of water level table and then to high hydraulic pressures under the thorough tiled floor.

The important flows to be drained require a successful system and a certified drainage solution. A geocomposite solution was adopted.

The manufacturer of the Somtube FTB which is the Afitex company, in association with the Design office Georoute, supplied the studies checking the drained flow by limiting at least the hydraulic pressures to preserve a tiled floor of 15 cm.

The present article describes the various stages of calculation allowing to justify the drained flows, taking into consideration the local geotechnical and hydrogeological conditions.

RESUMEN ESPAÑOL Drenaje bajo losa de hormigón. Torre Oxígeno en Lyon

P. Gendrin

En la proximidad de la estación de la Part Dieu en Lyon, se han ejecutado en 2008 dos obras con aparcamientos a grandes profundidades.

La obra más importante, la torre Oxígeno (115 m de altura), integra un aparcamiento de cuatro plantas en pantallas continuas con tirantes de anclaje.

La situación geográfica de estas obras (entre el río Saône y el Ródano) aumenta particularmente su sensibilidad a los problemas de elevación de capa que pueden acarrear fuertes presiones hidráulicas debajo del enlosado de fondo.

Los importantes flujos que se tratan de drenar precisaban un sistema eficaz y certificado. La solución del geocompuesto fue adoptada.

La empresa Afitex, fabricante del Somtube FTB, en colaboración con la oficina de estudios Géoroute Ingeniería, ha proporcionado los estudios completos justificando el flujo drenado al limitar al mínimo las subpresiones con objeto de conservar un enlosado de 15 cm de espesor.

Este artículo presenta las diversas etapas de cálculo que permiten justificar los flujos que se tratan de drenar, teniendo en cuenta diversas condiciones geotécnicas e hidrogeológicas locales.

Stockage d'eau potable par et géomembrane en PVC.

Pour faire face à l'affluence touristique estivale en Corse, il est nécessaire de stocker l'eau potable en grande quantité pendant plus de 6 mois et ceci au niveau de communes dont les capacités financières sont réduites. L'emploi de géomembranes et de couvertures flottantes en PVC agréé pour l'eau potable permet de stocker et protéger l'eau pendant plus de 6 mois sans donner de goût à l'eau. Avec un retour d'expérience de plus de 15 ans très positif sur cette technique, l'OEHC vient de réaliser un stockage de plus de 80000 m³ pour la région de Cargèse. Ce type de solution revient dix fois moins cher qu'un réservoir de même capacité avec fond en géomembrane et couverture en béton et répond parfaitement aux besoins.

Comme de nombreuses régions touristiques, et même si le « bétonnage » des côtes a été relativement contrôlé, la Corse est confrontée chaque année à l'explosion de la population sur des sites qui n'étaient autrefois que de petits villages. La Corse culminant à 2700 m d'altitude, les précipitations sont importantes en hiver, assurant une ressource en eau bien plus abondante que les besoins. Par contre, en été, le débit des cours d'eau et des sources est très réduit, voire nul, alors que les besoins sont multipliés par 10 ou plus. Il est donc indispensable de stocker des volumes d'eau importants l'hiver, pendant 4 à 6 mois, pour en disposer pendant la saison touristique, en par-

ticulier en juillet et août où la fréquentation est maximale et la ressource en eau au plus bas.

Ceci nécessite des volumes de stockage très importants. De plus, ces stockages doivent être couverts, pour maintenir la qualité de l'eau pendant la longue période de stockage et éviter des traitements coûteux au moment de l'utilisation. Cependant, la capacité financière des communes concernées est réduite. L'Office d'équipement hydraulique de la Corse (OEHC) a donc développé des techniques originales et économiques, utilisant des réservoirs terrassés étanchés par une géomembrane PVC et couverts par une couverture flottante également en PVC.

La première réalisation de ce type est le réservoir de Rogliano, situé dans le Cap Corse et alimentant le village et le port de plaisance de Macinaggio. Construit en 1994, il a une capacité de 45000 m³, pour une hauteur d'eau de 7 m et une surface de géomembrane et de couverture de 10500 m².

Le réservoir d'Ersa, proche du précédent, a été construit en 2000. Sa capacité est de 15000 m³ pour une hauteur d'eau utile de 7,20 m et une surface de géomembrane et de couverture de 5000 m².

Ces deux ouvrages ont été décrits dans la revue *Travaux* n° 786 de mai 2002.

Le comportement de ces ouvrages a été pleinement satisfaisant, tant du point de vue de l'exploitation que de la durabilité des composants, vérifiée par des essais de laboratoire sur des prélèvements effectués après 6 et 13 ans d'existence. Fort de ces résultats, un ouvrage nettement plus important a été entrepris en 2008 pour la ville de Cargèse.

Photo 1

Vue d'ensemble du bassin 1, couverture en cours de finition

General view of basin 1, cover undergoing finishing



couverture flottante

L'expérience corse

Paul-Félix Benedetti
Responsable
du département
traitement d'eau
OEHC

Daniel Fayoux
Gérant
Appligeo

Sébastien Verbrughe
Directeur
Sotrap-ATG

Gaëtan Potié
Directeur
Renolit France

■ Définition du projet du réservoir de Cargèse

La ville de Cargèse a des besoins très importants en été, estimés à 2500 m³/jour en 2016. Elle est actuellement alimentée par pompage dans la nappe du Chiuni, situé au nord de Cargèse.

Le débit de cette petite rivière est très faible en été et le débit des pompages ne doit pas excéder 1250 m³/jour, ce qui est insuffisant pour la consommation estivale actuelle. Le projet prévoit une production mixte forage/réserve d'eau.

En période hivernale, les forages du Chiuni alimenteront un réservoir avec géomembrane couverte de 80000 m³. À la fin du mois d'avril, cette réserve doit être pleine. Le remplissage débute à l'automne au débit de 800 m³/jour.

Pour la période estivale, la nappe alluviale sera sollicitée jusqu'au débit maximum de 1250 m³/jour. Au-delà, pour satisfaire la demande, la réserve assurera un complément de ressource.

Les forages alimenteront en permanence la réserve d'eau. Le débit disponible excédentaire par rapport à la consommation instantanée servira à la reconstitution de la réserve.

■ Caractéristiques de l'ouvrage

L'ouvrage est constitué par deux bassins jumelés de 40000 m³ de capacité théorique chacun. L'emploi de deux bassins permet une plus grande souplesse dans la gestion et la maintenance du système.

Compte tenu des terrassements réalisés, avec une partie dans du rocher très dur et après une légère modification du niveau maximum, les capacités réalisées sont de 41000 m³ pour le bassin 1 et de 40000 m³ pour le bassin 2.

La dimension en crête de chaque bassin est de 90 x 87 m, pour une hauteur d'eau utile de 8,1 m, et une surface de géomembrane et de couverture flottante de 8500 m². Le volume de terrassement global pour les deux bassins est de 70000 m³.

La conception de chaque bassin est similaire à celle utilisée pour les réservoirs de Rogliano et Ersa.

La géomembrane assurant l'étanchéité des bassins est une géomembrane PVC Alkorplan 35052 de 2 mm d'épaisseur disposant de l'attestation de conformité sanitaire, et la couverture une géomembrane PVC armée d'une grille polyester de 1,5 mm d'épaisseur, de même formulation, mais avec une résistance aux UV renforcée.

■ Principe de fonctionnement

Le réservoir est un bassin terrassé semi-enterré, étanché par une géomembrane PVC homogène, agréée pour le contact avec l'eau potable. La couverture est une géomembrane PVC armée qui est installée sur la première. Les deux géomembranes sont ancrées en tête sur une longrine béton, par une platine et de la boulonnerie inox (figure 1).

L'eau est stockée entre la géomembrane inférieure et la couverture. Lorsque le niveau d'eau s'élève, la surface apparente de la couverture diminue. Pour éviter des plis aléatoires, un dispositif assure une légère mise sous tension de la couverture quel que soit le niveau de remplissage. Ce dispositif, dit « gorge de mise en tension », est constitué par une ligne de lest continue (« tube » de géomembrane armée remplie de sable) et par deux lignes de flotteurs disposées de part et d'autre du lest. La ligne de lest est légèrement en retrait du pied de talus. La distance lest/flotteur correspond à la profondeur du pli quand la couverture est à sa cote maximale.

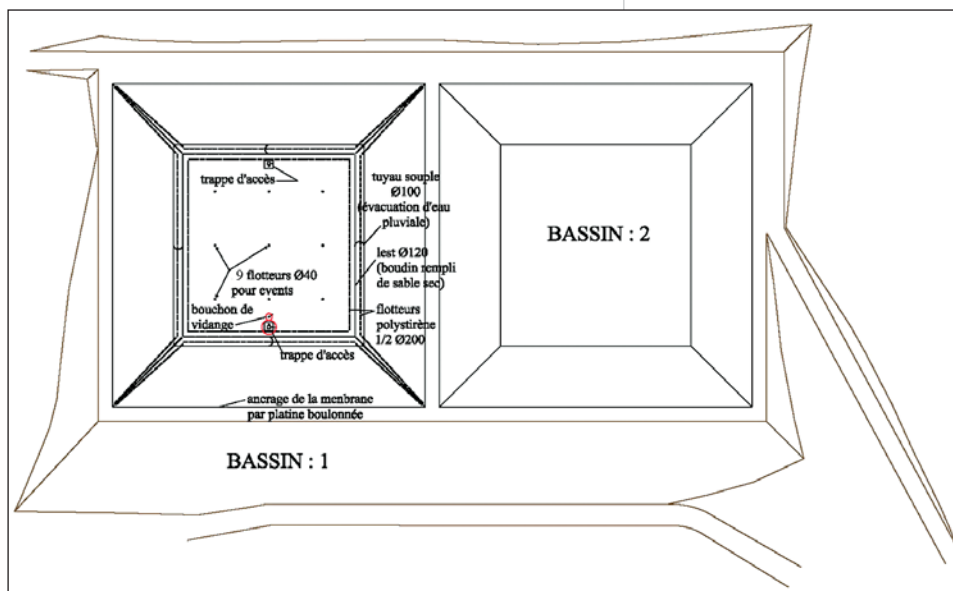


Figure 1

Vue en plan des bassins de Cargèse, montrant les dispositifs mis en œuvre : gorge de mise en tension, ancrage en tête sur longrine béton, deux trappes d'accès, neuf vents et deux évacuations d'eau pluviale

Plan view of the Cargèse basins, showing the systems employed : tensioning groove, top anchorage on concrete tie beam, two access hatches, nine vents and two rainwater drains

Stockage d'eau potable par couverture flottante et géomembrane en PVC. L'expérience corse

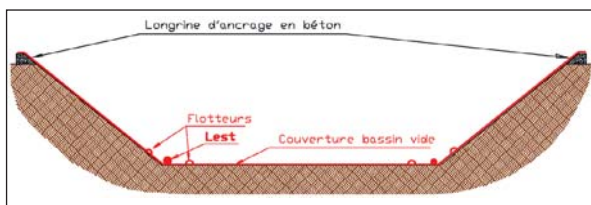


Figure 2

Position de la couverture, bassin vide
Position of the cover, empty basin

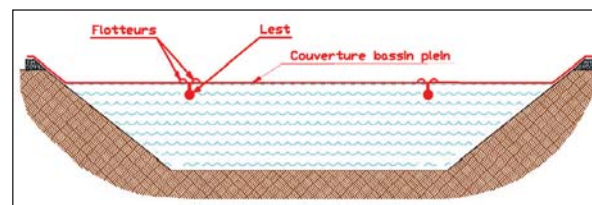


Figure 3

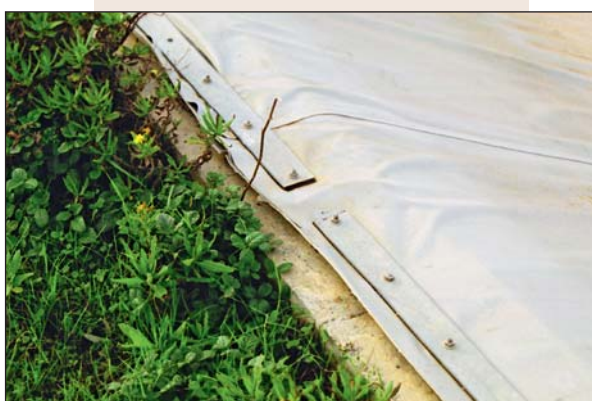
Position de la couverture flottante et forme de la gorge de mise en tension, bassin plein
Position of the floating cover and shape of tensioning groove, full basin

Photos 2 et 3

Détail de l'ancrage en tête sur longrine béton, et évent dans l'ancrage (photo 3 : détail d'un de ces évènements à Rogliano).

En pied de talus, on voit les lignes de flotteurs et la ligne de lest qui forment le dispositif de mise en tension

Detail of top anchorage on concrete tie beam, and vent in the anchorage (photo 3 : detail of one of these vents at Rogliano). At the base of the embankment can be seen the lines of floats and the ballast line which form the tensioning system



Les figures 2 et 3 montrent la position de la couverture et l'évolution de la gorge de mise en tension, bassin vide et bassin plein.

Les flotteurs sont simplement une sécurité pour que la surface de la couverture reste tendue, même en cas de forte submersion par des eaux de pluie, accompagnée d'un fonctionnement défectueux du drainage de la couverture.

D'autres dispositifs sont indispensables pour assurer le bon fonctionnement et la maintenance de ce type d'ouvrage :

- évacuation des eaux de pluie, assurée gravitairement par des tuyaux souples connectés au bas de la gorge de mise en tension et reliés à un exutoire passant sous une digue;

- évènements répartis sur la surface de la couverture pour permettre l'échappement de l'air provenant du dégazage de l'eau stockée;
- deux trappes d'accès de 0,80 x 0,80 m. Celles-ci sont complétées par des orifices de gonflage permettant d'assurer le gonflage de la couverture à l'aide d'un ventilateur basse pression. Ce dispositif est réservé à des interventions exceptionnelles.

■ Déroulement de l'opération

Comme pour les autres ouvrages, la mise en œuvre de la géomembrane et de la couverture a été faite par la société ATG Sotrap (ou Griltex à l'époque de Rogliano).

Les terrassements, ouvrages béton et canalisations ont été réalisés par l'entreprise S.N.T. Petroni.

Les principales dates de réalisation sont reportées en encadré.

■ Conclusions

Le stockage d'eau potable dans des réservoirs terrassés semi-enterrés, étanchés par géomembrane PVC et avec couverture flottante en PVC, s'est avéré une solution rapide à mettre en œuvre, fiable, efficace, et bien adaptée à des sites touristiques qui ont besoin de grande capacité de stockage, mais dont les moyens financiers sont limités.

LES DATES CLÉS

- 2007 : étude et mise au point du procédé
- Janvier 2008 : début des travaux
- Juin 2008 : remplissage du premier bassin
- Janvier 2009 : fin des travaux



Photo 4

Trappe de visite
Inspection hatch

Cette solution permet un stockage sur une période de plusieurs mois sans altération importante de la qualité de l'eau, tant sur le plan gustatif que de la propreté. Le système résiste parfaitement aux vents forts et aux tempêtes.

La durabilité est satisfaisante, compte tenu du prix et de la facilité de remplacement de la couverture.

En effet, le coût de cette solution est au moins dix fois inférieur à celui d'un ouvrage de même capacité, réalisé par un bassin terrassé étanché par géomembrane, mais avec une couverture en béton (le réservoir de Salvi par exemple), et à fortiori encore bien plus avantageux par rapport à un ouvrage intégralement en béton. Atout qui ne manquera d'intéresser de nombreuses collectivités locales!



Photo 5

Évent en fond de couverture
Vent at bottom of cover

ABSTRACT
*Potable water storage
with PVC floating cover
and geomembrane barrier.
Corsica's experience*

*P.-F. Benedetti, D. Fayoux,
S. Verbrugge, G. Potié*

To cope with the number of summer tourists in Corsica, large quantities of potable water must be stored for more than six months, in districts with limited financial resources. The use of geomembrane barriers and floating covers in PVC approved for potable water makes it possible to store and protect water for more than six months without altering the water's taste properties. With more than 15 years of very positive experience feedback on this technique, the Corsican river development authority OEHC recently constructed a storage facility of more than 80,000 cu. m for the Cargèse region. This type of solution is ten times less expensive than a tank of the same capacity with a geomembrane barrier bottom and a concrete cover, and meets the needs perfectly.

RESUMEN ESPAÑOL
*Almacenamiento de agua
potable mediante cobertura
flotante y geomembrana
de PVC. La experiencia
en Córcega*

*P.-F. Benedetti, D. Fayoux,
S. Verbrugge y G. Potié*

Para hacer frente a la afluencia turística veraniega en Córcega, es necesario almacenar el agua potable en grande cantidad durante más de 6 meses y ello en municipios cuyas capacidades financieras son reducidas. El empleo de geomembranas y de coberturas flotantes de PVC certificadas para el agua potable permite almacenar y proteger el agua durante más de 6 meses sin dar ningún olor al agua. Con una recuperación de experiencia de más de 15 años sumamente positiva sobre esta técnica, el OEHC acaba de realizar un almacenamiento de más de 80000 m³ para la región de Cargèse. Este tipo de solución sale diez veces más barato que un depósito de capacidad similar con fondo en geomembrana y cobertura de hormigón y responde perfectamente a las necesidades.

Aménagement du carrefour

Ce projet urbain, situé au cœur de la capitale camerounaise, permettra de fluidifier le trafic via la création d'un axe souterrain principal surmonté d'un giratoire de circulation. Principales difficultés : espace confiné, géologie différant des prévisions et réseaux mal identifiés.

Imaginez un chantier de 24 mois qui consisterait à réaménager la place de l'Étoile. Les problèmes de circulation dans Paris intra-muros seraient évidemment considérables. Ajoutez au tableau les habitudes de conduite des automobilistes camerounais et vous aurez un aperçu, toutes proportions gardées, du formidable casse-tête logistique et technique que représente le projet de restructuration de la place Djoungolo, communément appelée Carrefour Préfecture, identifiée comme le principal point noir de la ville de Yaoundé.

■ Canalisation baladeuse

Dans la pratique ce chantier, obtenu après une procédure d'appel d'offres international, consiste à aménager une voie principale entre le carrefour de Longak et le

ministère des Affaires étrangères, axe identifié comme le plus fréquenté parmi ceux qui innervent le Carrefour Préfecture, la nouvelle artère assurant le franchissement dudit carrefour en souterrain. Pour ce faire, les travaux nécessitent de construire un double portique (6,00 x 10,00 m) de 100 m de longueur, prolongé par deux tranchées ouvertes, de 140 m, à chaque extrémité. En surface, un giratoire permettra l'interconnexion entre les autres voiries.

Première difficulté : la mise au point d'un phasage de circulation le plus précis possible, incluant des périodes d'intervention nocturnes, afin de limiter au maximum les gênes occasionnées aux usagers. Une phase d'études bien menée puisque l'impact des travaux semble, quelques mois après le démarrage du chantier, plus faible que ne le laissaient augurer les prévisions.

Second problème : la présence d'une conduite, de 600 mm de diamètre, qui alimente en eau potable une partie de l'agglomération camerounaise. Cette canalisation d'adduction, qui était introuvable à l'emplacement attesté par les relevés, a dû faire l'objet d'une campagne de fouilles minutieuses et délicates, le conducteur de la pelle ayant tâtonné patiemment avec son godet avant de la repérer à environ une centaine de mètres de sa position théorique, à l'aplomb du futur tunnel souterrain et non pas au niveau d'une

Photo 1

Fondations tranchées ouvertes
Open-trench foundations



Préfecture de Yaoundé



Pascal Legrand
Directeur de Projets
Afrique
Razel

des rampes d'accès, comme prévu. Cette localisation aléatoire, à laquelle venait s'ajouter une imprécision générale sur l'ensemble des implantations de réseaux, a obligé de modifier considérablement le planning en adaptant les terrassements en quasi temps réel.

La conduite, qui devait être initialement détournée hors de l'emprise des travaux durant les creusements, puis reconstruite à l'issue du génie civil, n'a finalement été déviée que de quelques mètres afin de pouvoir exécuter une des rampes d'accès puis terrasser, sur une dizaine de mètres, la fouille de la future tranchée couverte. Une fois cette section de tunnel achevée, la conduite sera alors reconstruite à son emplacement initial tandis que les travaux de terrassements se poursuivront à l'identique sur la seconde section.

■ Géologie discontinue

En termes de bétonnage, l'exécution des piédroits de l'ouvrage cadre ainsi que le coulage du voile central s'effectueront par plots de 10 m, au moyen de coffrages métalliques Péri à peau en contreplaqué, eu égard à la qualité de parement requise. Trois jeux de coffrages neufs ont été acquis pour le projet, tandis qu'un quatrième outil assurera la construction de la dalle supérieure de 50 cm d'épaisseur, l'ensemble de ces éléments étant manutentionnés par l'intermédiaire de deux grues de 40 t. La production du béton sera, quant à elle, assurée par une centrale spécialement installée à proximité du chantier, le déficit d'espace vital étant, bien entendu, une des spécificités de ce projet urbain.

Côté fondations, la géologie a elle aussi réservé quelques mauvaises surprises, celles-ci étant mises en évidence lors de l'étude géotechnique complémentaire que nous devons mener. Contrairement aux études de reconnaissance initiales, le sol rocheux attendu était plus complexe, un faciès argileux venant s'interposer dans certaines zones.

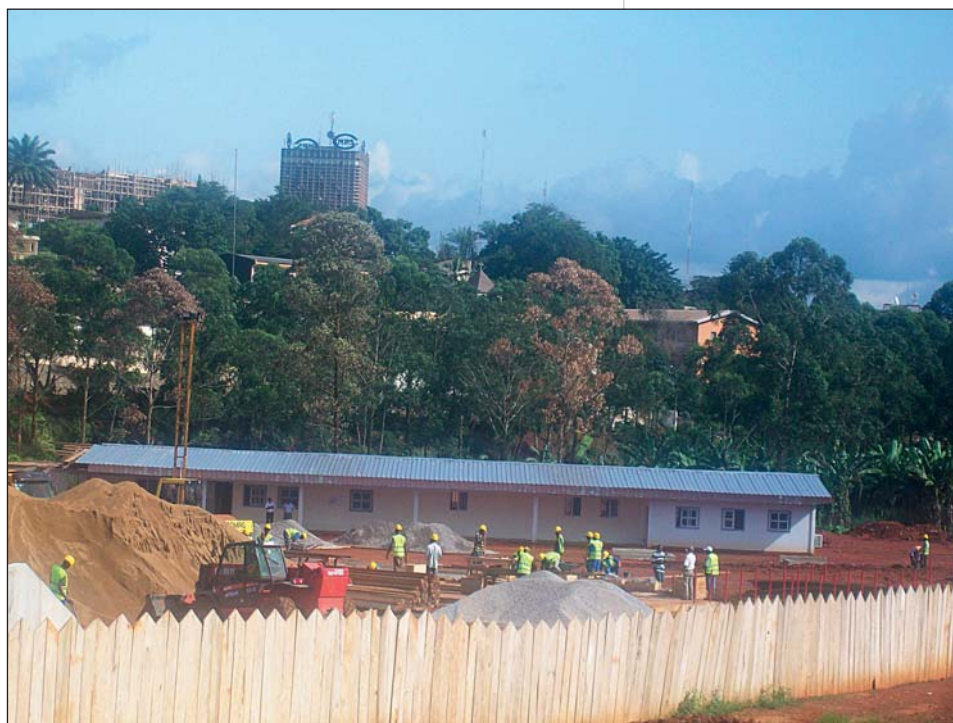


Photo 2
La base technique
Technical base

Cette hétérogénéité du terrain, susceptible de provoquer des tassements différentiels, a conduit à réviser le système de fondations prévues. Les 100 m de la partie souterraine seront ainsi divisés en deux, voire trois sections différentes, chacune faisant l'objet d'un traitement spécifique : les parties reposant sur un sol dur seront fondées sur des puits de 1 à 3 m de profondeur, selon les caractéristiques d'affleurement du rocher, exécutés en traditionnel, tandis que celles situées dans les zones argileuses feront l'objet d'une campagne de substitution, la couche argileuse étant remplacée par un béton maigre.

Des essais complémentaires, effectués au pénétromètre, permettront par ailleurs de déterminer les hauteurs exactes du matériau de substitution.

À noter que ce projet, assez inhabituel par rapport aux chantiers routiers classiques qui se faisaient jusqu'alors au Cameroun, a été l'occasion de mettre en place une organisation assez originale, notamment au niveau de la réalisation des plans d'exécution. Il a en effet été décidé de promouvoir la même organisation que celle adoptée par Razel dans l'Hexagone, autrement dit sous-traiter les études à un bureau externe, en l'occur-

FICHE TECHNIQUE

Maître d'ouvrage

Communauté Urbaine de Yaoundé

Maître d'œuvre

Egis Cameroun

Bureau d'études

Cabinet Félix Mba

Entreprise

Razel

Montant des travaux

16 764 480 euros TTC

Financement

- Fonds PPTE (Pays pauvres très endettés) multilatéral (10 852 507 euros)
 - Fonds PPTE C2D (C2D : Contrat de désendettement et de développement) (5 911 973 euros).
- Inscrits dans le Budget d'investissement public (BIP) du ministère du Développement urbain et de l'Habitat

Délais d'exécution

24 mois à compter du 2 avril 2008

Aménagement du carrefour Préfecture de Yaoundé



Photo 3

La centrale à béton
Concrete mixing plant

rence local, le contrôle extérieur étant assuré par notre département Techniques & Méthodes. Cette démarche, qui permettra d'accroître la synergie entre le siège et l'Afrique, sera également un moyen de développer le savoir-faire de nos partenaires camerounais. ■

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Terrassements généraux : 72000 m³
- Chaussées avec revêtement BB : 28200 m²
- Caniveaux et dalots : 5050 m
- Béton armé : 4680 m³
- Jardins paysagers : 6500 m²

ABSTRACT

Development of Préfecture de Yaoundé intersection

P. Legrand

The renovation of Préfecture de Yaoundé intersection requires the construction of a frame structure 100 m long extended by two access ramps, each 140 m long. This tunnel, located on the main road artery linking Longak square with the Ministry of Foreign Affairs, will pass under a roundabout which, on the surface, will ensure interconnection between the other arteries.

The lack of information concerning the precise location of the various networks was one of the main difficulties, especially regarding a potable water supply duct serving the city.

The traffic and the urban nature of the project of course engendered major constraints with regard to work scheduling and plant layout. The geology, which proved more complex than expected, requires that the structure be divided into several sections, to avoid the occurrence of differential subsidence, with each section having specific foundations depending on the precise nature of the ground encountered.

RESUMEN ESPAÑOL

Ordenación del cruce Prefectura de Yaoundé

P. Legrand

La reordenación del Cruce Prefectura de Yaoundé precisa la construcción de una estructura marco de 100 metros de longitud prolongada por dos rampas de acceso de 140 metros cada una. Este túnel, implantado sobre el eje principal que pone en comunicación la plaza de Longak con el ministerio de Asuntos Exteriores estará dotado de una glorieta en superficie que, permitirá la interconexión entre las demás arterias.

La carencia de informaciones relativas a la localización exacta de las distintas redes, ha constituido una de las principales dificultades, principalmente a nivel de un conducto de aducción de agua potable que alimenta la ciudad.

El tráfico y el carácter urbano del proyecto han venido a generar importantes imperativos en términos de planificación e implantación de las instalaciones. La geología, que se ha revelado más compleja de lo previsto, necesita la descomposición de la estructura en varias secciones, con objeto de evitar la aparición de asentamientos diferenciales, cada una de estas secciones es objeto de cimentaciones específicas acorde al género preciso de los terrenos encontrados.

La Route des Tamarins

Réalisation des chaussées

Patrick Amiot
Directeur de travaux
Appia Grands Travaux

Yves Monnier
Directeur technique
Appia Grands Travaux

Appia Grands Travaux, filiale du pôle Grandes Infrastructures Linéaires d'Eiffage Travaux Publics, achève actuellement la construction des chaussées de la Route des Tamarins sur l'île de la Réunion.

Forte de ses expériences à l'export, Portugal et Guyane, l'entreprise a dû surmonter les contraintes de l'insularité et trouver des solutions techniques pour formuler des matériaux de chaussée performants avec les granulats de l'île et un bitume provenant du marché local (Afrique du Sud).

La Route des Tamarins s'étend sur 33 km de Saint-Paul à Étang Salé. Elle boucle la liaison par route express des deux capitales, Saint-Denis au nord et Saint-Pierre au sud. Son tracé contourne les communes du littoral ouest de Saint-Paul, Saint-Gilles et Saint-Leu par les hauts. Il est ponctué par plus de quarante ouvrages d'art, dont quatre exceptionnels, pour les neuf diffuseurs et le franchissement des brèches que constituent les nombreuses ravines intersectées (photo 1).

Ce projet de 1,09 milliard d'euros (valeur 2008) est porté par la Région Réunion et piloté par différents maîtres d'œuvre :

- la DDE pour la section 1 : 2 x 3 voies entre Saint-Paul et la RD 10;
- Egis pour la section 2 : 2 x 2 voies entre la RD 10 et Étang Salé;
- Arcadis pour la ravine Trois Bassins;
- Setec pour la Grande Ravine;
- Greisch pour la ravine Fontaine.

La mise en service des 33 km est prévue pour juin 2009, après 6 ans de travaux.

Appia Grands Travaux termine les travaux du lot Sud des chaussées de la section 2 et prépare la mise en œuvre de l'étanchéité et des enrobés du viaduc de Saint-Paul (Eiffage TP), ainsi que l'achèvement des chaussées de la section 1 (photo 2).

Ces marchés « chaussées » comprennent l'ensemble des prestations nécessaires au parachèvement du projet hormis les équipements finaux de signalisation et glissières métalliques :

- terrassement du raccordement à Étang Salé et de part et d'autre des grands ouvrages;
- joints de chaussées des ouvrages d'art;
- collecte et traitement des eaux de plate-forme;

- chaussées de la section courante et des diffuseurs;
- génie civil des réseaux de télécommunications;
- dispositifs de retenue en béton;
- solde de modelages paysagers et engazonnement.

Le groupe Eiffage est présent sur le lot Sud au travers du groupement des entreprises Appia Grands Travaux (mandataire), Eiffage TP Réunion et Ouest Concassage (Holcim).



Photo 1

La trace du projet et la côte ouest
Project route and the West Coast



Photo 2

Saint-Paul et son viaduc de 750 ml en extrémité nord du projet

Saint-Paul and its 750-linear-metre viaduct at the northern end of the project

La Route des Tamarins. Réalisation des chaussées

Appia Grands Travaux est le spécialiste des chaussées autoroutières au sein d'Eiffage Travaux Publics. Eiffage TP Réunion est un établissement créé à l'occasion du chantier de la Route des Tamarins. Il dispose de moyens locaux pour la réalisation de terrassements, de génie civil et bénéficie de l'expérience des nombreuses contributions du groupe à la réalisation de ce projet. Enfin, Ouest Concassage, filiale de Holcim, est un important producteur de granulats de l'île. Il en assure la fourniture pour ce marché (cf. encadré).

LE MARCHÉ « CHAUSSÉES » SECTION 2 – LOT SUD EN QUELQUES CHIFFRES

- 13 km de route à 2 x 2 voies
- 14 ouvrages d'art à franchir dont la tranchée couverte de Saint-Leu
- 180 000 t d'enrobés dont 12 000 tonnes de liants hydrocarbonés
- 130 000 t de GNT
- 22 km de tranchées pour collecteurs et fourreaux
- 23 km d'ouvrages en béton extrudé
- 10 km de murets créoles
- 16 mois de travaux
- 30 M€ valeur 2007

Type d'enrobés	Spécification normalisée	Spécifications complémentaires
EME 0/14	Classe 2	Bitume de pénétrabilité inférieure à 30 x 0,1 mm
BBSG 0/10	Classe 3	Bitume pur, modifié ou avec additifs Profondeur d'ornièrre à 30 000 cycles limitée à 3 %
BBTM 0/6	Classe 2	Bitume modifié Granulats présentant un PSV supérieur à 50 Profondeur d'ornièrre à 3 000 cycles limitée à 10 %
BBME 0/10	Classe 3	
BBSG 0/14	Classe 3	

Tableau I

Spécifications du marché des enrobés
Asphalt contract specifications

Photo 3

Aire de réchauffage électrique des conteneurs de bitume
Area for electric heating of bitumen containers



■ La structure de chaussées

La structure de chaussées est issue du catalogue 1998 des structures neuves du réseau national : 2,5 cm BBTM 0/6 - 6 cm BBSG 0/10 - 9 cm EME 0/14 - 10 cm EME 0/14 (TC630/PF3).

Le matériau EME de classe 2 a été choisi en raison de son coût global inférieur. Une étude de faisabilité technique et logistique a montré que cette technique était réalisable sur l'île avec les moyens locaux et qu'il était possible d'importer des liants durs.

Le dimensionnement métropolitain de cette structure a été validé malgré une température de service plus élevée sur l'île d'au moins 5 °C. Le CETE Méditerranée a en effet considéré que la perte de module de rigidité est compensée par un gain de résistance en fatigue.

Une couche de réglage de 10 cm de GNT 0/20 est d'abord mise en œuvre sur la couche de forme granulaire PF23 (EV2 ≥ 100 MPa) livrée par les terrassiers des marchés TOARC (Terrassements ouvrages d'art et rétablissement des communications). L'actualisation des prévisions de trafic et la perspective d'une portance à long terme conforme à l'objectif initial (120 MPa) ont permis de ne pas devoir redimensionner les chaussées.

Les structures des diffuseurs font appel à des couches de roulement épaisses, BBME sur giratoires et BBSG sur bretelles, mises en œuvre sur une assise en EME.

■ Les matériaux

Les spécifications du marché pour les enrobés sont reportées sur le tableau I.

Pour l'ensemble des enrobés, les granulats sont produits par Ouest Concassage à partir d'alluvions basaltiques extraits aux Buttes du Port.

Les basaltes constituent la seule ressource géologique de l'île en raison de son origine volcanique (Piton des Neiges). Les alluvions des Buttes du Port proviennent de l'érosion des massifs charriés par la rivière des Galets.

Les caractéristiques mécaniques des granulats sont élevées (LA₂₀, MDE₁₅ et PSV₅₀) mais leur grande porosité nécessite de recourir à de fortes teneurs en liant pour la formulation des enrobés. Une contrainte similaire est à prendre en compte pour la définition des formules de bétons et leur fabrication. Leur affinité avec les bitumes d'origine sud-africaine disponibles sur l'île est assez moyenne. Le dopage des bitumes est nécessaire pour l'obtention de la résistance en fatigue de l'EME et de la tenue à l'eau des enrobés de surface conforme aux prescriptions.

Le choix des liants hydrocarbonés a été essentiellement orienté par les contraintes logistiques liées à l'insularité et le résultat des nombreux essais de qualification et validation menés par le laboratoire central de Eiffage Travaux Publics à Corbas :

- aptitude et conformité aux normes européennes;
- comparaison des performances en module et fatigue;
- formulation des enrobés.

Pour l'EME, le bitume 20/30 de la raffinerie Engen (Petronas) de Durban en Afrique du Sud a été préféré à un mélange de bitume 35/50 de la même provenance avec de l'asphaltite (bitume solide naturel) comme la gilsonite extraite aux USA.

Pour le BBSG de liaison, ce même bitume 20/30 a été retenu plutôt qu'un grade 35/50 avec ajout de polyéthylène basse densité.

Pour le BBTM, un bitume modifié est importé d'Italie. La fabrication sur l'île a été envisagée mais elle s'est avérée trop contraignante pour la sécurité et l'environnement compte tenu du faible tonnage.

La capacité du terminal bitumier du Port s'est révélée également insuffisante pour satisfaire les besoins en vrac des deux chantiers « chaussées » de la section 2 de la Route des Tamarins et des autres chantiers courants de l'île sans risque de rupture. L'entreprise a opté pour une solution « logistique » régionale. En effet, le choix d'Eiffage Travaux Publics s'est porté sur le transport par conteneurs spéciaux Termcotank (MSC) en provenance de la raffinerie Engen. La fréquence des liaisons par porte-conteneurs rend cette solution plus souple que le recours à des navires bitumiers trop peu nombreux sur cette zone de l'océan Indien. Les conteneurs arrivent au Port chargés de 30 t de bitume froid. Ils sont ensuite convoyés par la route jusqu'à l'aire de fabrication. Le bitume est réchauffé en quelques heures par une batterie de résistances électriques placées en partie basse du conteneur pour diminuer sa viscosité. Il peut ensuite être pompé et transféré vers les cuves de stockage de la centrale d'enrobage.

Cette solution de transport et de stockage de bitume est couramment adoptée pour des chantiers routiers en régions isolées, sur le continent africain en particulier. Le chantier a toutefois subi deux ruptures d'approvisionnement de plusieurs jours en raison d'aléas météorologiques et techniques intervenus lors du transport et du raffinage et malgré un stock tampon de 60 conteneurs.

Une nouvelle provenance proposée par l'importateur Termcotank a été agréée moyennant de nouvelles études de vérification des performances. Il s'agit de la raffinerie Eni de Livourne en Italie.



© Eiffage Travaux Publics

Le parc à liant de la centrale permet le réchauffage simultané de six conteneurs et la production quotidienne de 3000 t d'enrobés (photo 3).

■ La GNT de réglage

La GNT 0/20 de catégorie 3 est produite par Ouest Concassage à Saint-Paul. Elle est transportée de jour par camions bennes. Un stock tampon permet d'approvisionner le chantier malgré les perturbations quotidiennes du trafic sur la côte ouest de l'île.

La mise en œuvre est assurée par un finisseur grande largeur Vogele Super 2500. La table du finisseur est guidée en nivellement par un système DPS qui garantit le respect de la tolérance fixée à ± 1 cm. Une rampe d'humidification a été installée dans la chambre de répartition pour ajuster la teneur en eau à la valeur OPM (2,32 t/m³ à 9 % d'humidité). Une citerne tractée assure l'alimentation en eau. L'ajout d'eau sur chantier est de l'ordre de 3 à 4 % (photo 4).

L'atelier de compactage est constitué de deux compacteurs vibrants monobilles de classe VM4 suivis d'un compacteur à pneus de classe P1. Le plan de compactage arrêté à l'issue des planches d'essai et de référence prévoit 12 passes de vibrants et 10 passes de pneus (photo 5).



© Eiffage Travaux Publics

Photo 4

Mise en œuvre de la GNT en couche de réglage

Placing untreated graded aggregate as a finishing layer

Photo 5

Compactage de la couche de réglage en GNT

Compacting the untreated graded aggregate finishing layer

La Route des Tamarins. Réalisation des chaussées

Photo 6

Redémarrage de l'application de GNT après un ouvrage
Restarting the application of untreated graded aggregate after a road structure



© Eiffage Travaux Publics



La couche est réceptionnée en nivellement (± 1 cm) et en déformabilité (déflexion caractéristique sous essieu de 130 kN ≤ 1 mm). Elle est revêtue chaque soir d'un enduit d'imprégnation.

Le franchissement des multiples PI qui enjambent les ravines est une contrainte forte pour la mise en œuvre des couches et le respect des spécifications d'uni longitudinal. La réalisation des joints de chaussées de ces ouvrages fait partie des prestations de l'entreprise. L'ouvrage exceptionnel de Ravine Fontaine, qui constitue l'extrémité nord du lot, sera franchissable en mars 2009 (photo 6).

Photo 8

L'aire de fabrication des enrobés en bordure de la trace
The asphalt manufacturing area on the edge of the route



© Eiffage Travaux Publics



Photo 7

La centrale TSM 25 Senior juste montée en juillet 2008
The TSM 25 Senior mixing plant recently assembled in July 2008

Les spécifications d'uni longitudinal sont identiques à celles fixées pour les autoroutes neuves de métropole. Egis a volontairement retenu celles de la circulaire ministérielle « uni » n° 2000 – 36 pour une vitesse de référence de 130 km/h alors que le projet est établi pour 110 km/h.

L'entreprise a confié le contrôle de l'uni au LRPC d'Aix-en-Provence. La sous-traitance a été préférée pour des raisons de compétences, en mesurage et interprétation, et d'impartialité. Une remorque APL NBO bi-trace et le matériel connexe d'acquisition et de traitement des mesures ont été mis à disposition sur l'île. L'entreprise a fait équiper un Renault Scenic d'un attelage spécifique. Un technicien du LRPC intervient sur l'île pour le contrôle des cinq couches. Il procède sur place au traitement et à l'interprétation des mesures qu'il restitue ensuite à l'entreprise.

■ La fabrication et la mise en œuvre des chaussées

La centrale d'enrobage Ermont TSM 25 Senior a été transférée par la route de Vila Réal au Portugal, où elle était installée pour les chaussées de la concession Scut Interiore Norte, à Porto, puis sur l'île par bateaux via le port d'Anvers en Belgique (photo 7). Elle est opérationnelle depuis août 2008 sur la plateforme de stockage et de fabrication de 4,7 hectares aménagée à Saint-Leu en bordure de la trace du projet (photo 8).

Cette aire accueille la centrale, les stocks de granulats et de bitume, une aire de réchauffage des conteneurs de bitume et un atelier mécanique. Elle permet de stocker jusqu'à 100000 t de granulats et 2000 t de



Photo 9
 Répandage et compactage
 de la couche de liaison
*Spreading and compacting
 the base course*

© Eiffage Travaux Publics

bitume. Ces constituants sont approvisionnés pour partie de nuit pour ne pas aggraver les bouchons quotidiens de la route côtière. L'aire retrouvera son état initial à l'issue des travaux, conformément à l'arrêté ICPE dont la demande a fait l'objet d'études détaillées. Un architecte paysagiste suivra ce réaménagement.

La formulation des enrobés et particulièrement des EME a nécessité de très nombreux essais et itérations. Ces études, démarrées dès la notification du marché en août 2007, ont conduit aux formules reportées sur le tableau II un an plus tard.

L'atelier complet de mise en œuvre des enrobés est identique à celui employé sur des sections autoroutières métropolitaines :

- alimentateur en continu Franex F392;
- finisseur grande largeur Vogele Super 2500 et trémie de réception;
- finisseur additionnel à table extensible Vogele Super 1800;
- trois compacteurs doubles billes vibrants Hamm HD130 et HDO120 (vibrant et oscillant) (photo 9).

Les plans de compactage, validés à l'issue des planches de référence, sont :

- deux passes lisses, dix passes vibrées et deux passes lisses pour la couche de fondation;

	EME 0/14 classe 2	BBSG 0/10 classe 3	BBTM 0/6 classe 2
Sable 0/2			19.4 %
Grave 0/4	50 %	49 %	
Gravillon 4/6	9 %	9 %	72 %
Gravillon 6/10	14 %	36.4 %	
Gravillon 10/14	20.8 %		
Fines d'apport (ciment)			3 %
Bitume 20/30	6.2 %	5.6 %	
Bitume Eliflex HD			5.6 %

Tableau II
 Formulation des enrobés
Asphalt mix design

- deux passes lisses, six passes vibrées et deux passes lisses pour la couche de base;
- six passes vibrées pour la couche de liaison.

Les couches d'assise en EME et de liaison en BBSG sont achevées. Elles respectent les spécifications fixées par le marché et en particulier celles d'uni. Il ne manque plus que la couche de roulement en BBTM qui sera mise en œuvre en janvier et février 2009.

Le contrôle externe est placé sous la responsabilité d'un assistant technique. Il dirige une équipe de deux à trois techniciens de laboratoire. Le laboratoire de chantier est installé à proximité des bureaux du groupement à Saint-Leu.

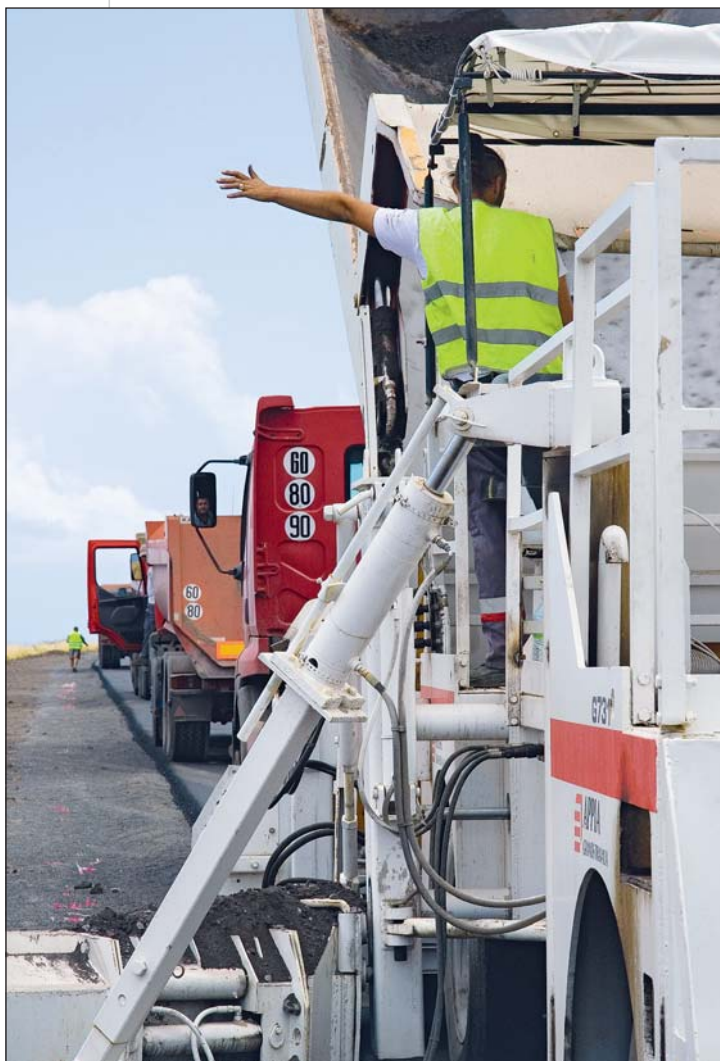
La GNT d'assise de BAU et TPC est mise en œuvre



La Route des Tamarins. Réalisation des chaussées

Photo 10

Répondage
de la GNT en BAU
*Spreading untreated
graded aggregate
on the hard shoulder*



© Eiffage Travaux Publics

Photo 11

Réalisation d'un fossé
en béton avec une machine
à coffrage glissant
*Execution of a concrete ditch
with a slip-form paver*



© Eiffage Travaux Publics



© Eiffage Travaux Publics

Photo 12

Insolite, le transport de la canne n'a pas attendu la mise en service!

Most unusual, cane transport did not wait for commissioning!



avant la couche de liaison au moyen d'un épandeur latéral (photo 10).

L'ensemble des engins, y compris les deux chargeurs à pneus de la centrale, a été transféré par bateau depuis la métropole au printemps 2008.

La maintenance des engins est assurée par des mécaniciens de l'entreprise affectés au chantier. Pour les travaux spécifiques, ils font appel à des sociétés locales spécialisées et reconnues dans les domaines de l'électronique, de l'hydraulique et de la chaudronnerie.

■ Les bétons extrudés et les « murets créoles »

La mise en œuvre des nombreux ouvrages linéaires (cunettes, fossés, bordures, caniveaux, séparateurs GBA et DBA) est assurée par une machine à coffrage glissant type Miller 8800, elle aussi arrivée de métropole par bateau avec ses multiples moules (photo 11).

Les bétons sont fournis par des centrales BPE habituées à produire des bétons à extruder depuis que cette technique s'est développée sur l'île. L'emploi de granulats concassés conduit à introduire une petite proportion de sable éolien dans ces formules pour améliorer leur ouvrabilité et la qualité des parements. Pour maîtriser le dosage en eau des bétons malgré la porosité élevée des granulats, les stocks sont arrosés.

Un linéaire important du dispositif central de retenue est prévu en « muret créole ». Il s'agit d'un muret entièrement maçonné à parements en moellons basaltiques jointoyés au mortier. Pour cet ouvrage courant sur l'île, le groupement fait appel à des artisans locaux spécialisés.

■ Conclusion

Après avoir terrassé près de la moitié des volumes du projet et construit de nombreux ouvrages d'art, dont un viaduc de 750 m et une tranchée couverte, Eiffage achève les chaussées de la Route des Tamarins.

Ces chantiers s'apparentent à ceux que le groupe a coutume de traiter sur le continent européen : exigences techniques élevées et délais courts nécessitant des moyens industriels lourds. L'insularité le rend toutefois plus singulier aux plans logistique et humain.

Appia Grands Travaux, spécialiste des chaussées autoroutières, bénéficie de l'expérience locale d'Eiffage TP et de l'apport industriel du groupe Holcim.

La direction du chantier, assurée par Patrick Amiot (Appia Grands Travaux) et l'encadrement de l'entreprise ont rapidement pris la mesure des contraintes insulaires pour ce chantier industriel. La préparation minutieuse, menée sur l'île et en métropole, a permis de concevoir et de mettre en œuvre des solutions techniques et logistiques fiables comme l'importation de bitume en conteneurs.

La fabrication des enrobés et leur mise en œuvre se termineront en février 2009 pour le lot Sud de la section 2 et en mai pour la section 1, quelques semaines avant l'ouverture de la Route des Tamarins en juin (photo 12). ■

ABSTRACT *Route des Tamarins highway. Pavement construction*

P. Amiot, Y. Monnier

Appia Grands Travaux, subsidiary of the Major Linear Infrastructure arm of Eiffage Travaux Publics, is currently completing construction of the pavements for Route des Tamarins highway on Reunion Island.

Applying the experience acquired in export markets such as Portugal and French Guiana, the contractor had to overcome the constraints of insularity and find technical solutions for the mix design of high-performance pavement materials using the aggregates on the island and bitumen coming from the local market (South Africa).

RESUMEN ESPAÑOL *La Carretera de los Tamarindos. Ejecución de los pavimentos*

P. Amiot e Y. Monnier

Appia Grands Travaux, filial de la división Grandes Infraestructuras Lineales de Eiffage Travaux Publics, está finalizando actualmente la construcción de los pavimentos de la Carretera de los Tamarindos en la isla de La Reunión.

Con la pujanza que supone sus experiencias para la exportación, Portugal y Guyana, la empresa tuvo que sobrepasar los imperativos de la insularidad y encontrar diversas soluciones técnicas para formular materiales de pavimento de elevado rendimiento con los áridos de la isla y un betún procedente del mercado local (África del Sur).

RN7 - Déviation de Changy Terrassements, assainissement



Figure 1
Plan synoptique
de la déviation
Block diagram
of the bypass



Cette opération qui a débuté en avril 2007 s'inscrit dans le cadre de l'aménagement de la RN7. Elle consiste en la réalisation d'une chaussée à 2 x 2 voies de 8,5 km dans le département de la Loire (42), pour la déviation des communes de Changy et de la Pacaudière (figure 1 et photo 1).

Les travaux comprennent les terrassements, l'assainissement, huit ouvrages d'art (quatre PI et quatre PS), la couche de forme, les rétablissements sur ouvrages et les réseaux secs. Après une période de préparation de chantier de trois mois, le délai de réalisation, suite à l'affermissement des cinq tranches conditionnelles est de 24 mois, objectif extrêmement ambitieux compte tenu du caractère exceptionnel des intempéries de l'année 2007.

Les travaux de terrassement, couche de forme, génie civil, assainissement sont désormais achevés. Il reste à finaliser le modelage des dépôts, l'équipement hydraulique des bassins et les réseaux secs.

Un groupement d'entreprises dont Forézienne d'Entreprises est le mandataire, a été créé pour mener à bien cette opération dont le montant s'élève à 16,5 millions d'euros (HT).



Photo 1
Vue générale de la déviation
General view of the bypass

et de la Pacaudière et couches de forme

Jean Nannini
Vincent Fougereuse
Conducteurs de travaux
Forézienne d'Entreprises

Frédéric Abauzit
Responsable du Bureau
d'Études techniques
Forézienne d'Entreprises

Laurent Béard
Responsable
du Laboratoire central
Terrassement
Eiffage Travaux Publics GD

■ Les acteurs du projet

Les travaux ont été réalisés pour le compte de la DRE Rhône-Alpes (maître d'ouvrage) et la DIR Centre-Est (maître d'œuvre). Le groupement comprend les entreprises suivantes :

- Forézienne d'Entreprises - Perrier TP : terrassements - assainissement - couche de forme traitée;
- Eiffage TP : ouvrages de génie civil;
- Eiffage Travaux Publics (Établissement Loire-Auvergne) : chaussées des rétablissements et enduit de protection des couches de forme;
- Forclum : réseaux secs, réseau d'appel d'urgence et fibre optique.

Les études de traitement des parties supérieures des terrassements (PST) et des couches de forme (CdF) ont été confiées au Laboratoire central Terrassement d'Eiffage Travaux Publics.

■ Caractéristiques des travaux

Le détail des travaux se présente comme suit :

- le mouvement de terre comprend : le décapage de terre végétale soit 255 000 m³, les déblais pour 1 150 000 m³ et les remblais pour 345 000 m³;
- les matériaux mis en dépôt ou en merlon représentent un volume de 690 000 m³;
- la reprise et mise en œuvre de terre végétale sur talus est faite sur 300 000 m²;

- la reprise et mise en œuvre de terre végétale sur dépôt est de 400 000 m².

La couche de forme est réalisée en matériaux traités à la chaux et au liant hydraulique routier (110 000 m³).

Les quantités de liant pour les opérations de traitement sont les suivantes :

- fourniture de chaux pour traitement (remblais - PST - CdF) : 15 500 t;
- fourniture de liant hydraulique pour traitement (PST - CdF) : 13 500 t.

Les ouvrages de drainage comprennent :

- une base drainante pour plusieurs remblais de 60 000 m³;
- des drains routiers d'une longueur de 19 000 m;
- un linéaire de tuyaux béton (Ø 400 à Ø 1 400) de 5 800 m;
- un linéaire de fossés engazonnés de 18 000 m;
- un linéaire de fossés bétonnés de 4 800 m.

Les eaux sont recueillies dans sept bassins (ouvrages de régulation et de by-pass).

Le linéaire de réseaux secs est de 12 500 m.

■ Matériels utilisés

Les terrassements en pleine masse ont été réalisés avec des pelles de 80 et 60 t accompagnées de tombereaux VOLVO A40 (photo 2).

Les bases drainantes et les remblais ont été mis en œuvre avec des bouteurs CATERPILLAR D6 et D8.



Photo 2

Terrassements
pleine masse
Mass
earthworks

RN7 - Déviation de Changy et de la Pacaudière. Terrassements, assainissement et couches de forme

Photo 3

Traitement
et recyclage
*Treatment
and recycling*



Les arases et couches de forme ont été réglées avec des niveleuses CATERPILLAR 14 M DPS et 14H GPS (photo 3). Le traitement des PST a été réalisé avec un boteur CATERPILLAR D8 à charrue à socles.

Pour le traitement de la couche de forme, quatre épan-
deurs Panien de 16 m³ et un malaxeur WIRTGEN ont
été utilisés (photo 4).

Une arroseuse enfouisseuse à débitmètre électronique
a permis une bonne maîtrise des teneurs en eau.
Le compactage a été assuré par quatre compacteurs
vibrants type VM5.

■ Réalisation des arases terrassement et des couches de forme

Nature géotechnique des matériaux du site

Les matériaux rencontrés sur ce chantier ont été prin-
cipalement des argiles plus ou moins sableuses de
classe GTR A1/A2 pour les remblais et les PST; des
sables argileux plus ou moins grossiers de classe GTR
B5/B6 pour les couches de forme.

Objectifs

La partie supérieure AR12 est traitée à 3 % de chaux
sur 0,35 m d'épaisseur.

La couche de forme PF3, d'épaisseur 0,40 m, est consti-
tuée de matériaux prétraités à 1 % de CaO et 5 % de
ciment. Compte tenu de l'épaisseur à mettre en œuvre,
une insuffisance de compactage en fond de couche a
été démontrée.

Sur les conseils, et en collaboration avec le
Laboratoire central Terrassement Eiffage Travaux
Publics, le groupement d'entreprises Forézienne
d'Entreprises - Perrier TP a donc proposé une solution
de surclassement de l'arase en AR2, au lieu d'une
AR12 initialement prévue, afin de diminuer l'épaisseur
de la couche de forme de 5 cm, tout en atteignant les
performances d'une PF3.

Une planche d'essai a été effectuée en début d'année
2008 pour vérifier en place la compacité (au gamma-
densimètre), mesurer la déflexion et la résistance en
compression sur carottes à 28 jours.

Parallèlement, les études réalisées par le laboratoire
ont permis de démontrer que les performances méca-
niques à atteindre (zone 4, classe mécanique 5) à 90
jours étaient conformes au cahier des charges.

Le couple PST-CdF a donc été modifié.



Photo 4

Traitement de la couche de forme
Capping layer treatment

Réalisation des travaux

La PST a été traitée sur 0,35 m avec 1 % de CaO et 3 % de Ligex 103 HRB30. La couche de forme, sur la même hauteur, a été traitée avec des matériaux stockés en 2007 prétraités avec 1 % de CaO et retraités en place avec 5 % de Ligex 103 HRB30.

Suite aux fortes intempéries de 2007 et début 2008, le chantier a été fortement retardé. D'importants moyens ont été donc proposés au maître d'ouvrage par le groupement à compter du printemps 2008, pour pouvoir terminer l'opération dans les délais prévus (avril 2009) et en particulier les couches de forme avant l'hiver 2008-2009. Les ateliers de traitement ont notamment été doublés et le personnel d'encadrement renforcé.

Contrôles

En plus des suivis classiques en laboratoire, le contrôle d'élaboration de la couche de forme a été particulièrement sévère sur ce chantier. Des appareils de type « Troxler » mesuraient en permanence les compacités, auxquels s'ajoutait un contrôle hebdomadaire au gammadensimètre pour vérifier la qualité du compactage. Après étude de traitement de niveau II, l'utilisation d'une arroseuse enfouisseuse à débitmètre électronique a permis de maîtriser la fourchette de teneur en eau

afin d'assurer une prise optimum du mélange. En outre, des éprouvettes ont été élaborées pour caractériser les valeurs de résistance en traction (R_t) et les modules, en vue de positionner les matériaux traités par rapport à leur classe mécanique (Guide de traitement GTS).

Des essais de déflexions ont été également effectués pour vérifier les valeurs de portance. Une dernière campagne de contrôle sera réalisée mi-mars 2009 pour démontrer qu'en tout point à 90 jours, les exigences du marché sont satisfaites.

■ Environnement

Certifiée ISO 14001, cette opération a donc réservé à l'environnement en général une attention constante, et en particulier au traitement des eaux (rejets en milieu naturels, traitement des eaux polluées, installations de chantier, mesures périodiques des cours d'eau avoisinant le projet, traitement et tri de la totalité des déchets de chantier...).

100 % des matériaux ont été utilisés sur le chantier dont 30 % en remblais, 15 % en merlons, 45 % en dépôts modelés et 10 % en couche de forme.

Seuls les bases et masques drainants ont nécessité 60 000 m³ de matériaux d'apport extérieur.



Photo 5
Contrôles de compacité
Compaction tests

RN7 - Déviation de Changy et de la Pacaudière. Terrassements, assainissement et couches de forme

Conclusion

En ce début 2009, il reste à réaliser les réseaux secs, l'équipement hydraulique des bassins et le modelage de deux dépôts. Malgré les intempéries, l'engagement de terminer les travaux dans les délais impartis (avril 2009) sera tenu.

En ce qui concerne l'environnement, aucune observation ni pollution n'ont été enregistrées.

Finalement ce sont 100000 m³ de couche de forme, plus de 270000 m² de plate-forme d'arase qui ont été traités et réglés en un temps record (5 mois) pour s'achever, conformément au planning initial, avant l'hiver 2008-2009.

Malgré les intempéries qui laissaient entrevoir une fin des travaux à la fin octobre 2009, le chantier sera livré sans retard, grâce à la mobilisation d'importants moyens matériels et humains mis en place par le groupement. ■

ABSTRACT

RN7 Highway - Changy and La Pacaudière bypass. Earthworks, drainage and capping layers

J. Nannini, V. Fougerouse, Fr. Abauzit,
L. Bérard

This project, which began in April 2007, forms part of the development of the RN7 highway. It involves the construction of an 8.5-km two-lane dual-carriageway road in the Loire region of France, for the bypass around the districts of Changy and La Pacaudière.

The work involves the execution of earthworks and drainage, the construction of eight civil engineering structures (four underpasses and four overpasses), the capping layer, road reconnection on engineering structures and dry utilities.

Following a site preparation period of three months, the completion time, after confirmation of the five conditional tranches as firm tranches, is 24 months, which is an extremely ambitious objective given the exceptional weather conditions in 2007.

The earthmoving, capping layer, civil engineering and drainage works are completed. Depot modelling, basin hydraulic equipment and dry utilities works remain to be performed.

A consortium led by Forézienne d'Entreprises was set up to carry out this project, worth 16.5 million euros (excluding VAT).

RESUMEN ESPAÑOL

RN7 - Variante de Changy y de La Pacaudière. Movimiento de tierras, saneamiento y explanada mejorada

J. Nannini, V. Fougerouse, Fr. Abauzit
y L. Bérard

Esta operación, que dio comienzo en abril de 2007 se inscribe en el marco de la ordenación de la carretera nacional RN7. Esta operación consiste en la ejecución de un pavimento de 2 x 2 carriles de 8,5 kilómetros en el departamento del Loira (42), para la variante de los municipios de Changy y de la Pacaudière.

Los trabajos consisten en la realización de movimientos de tierras, del saneamiento, la realización de ocho obras de ingeniería civil (cuatro PI y cuatro PS), de la explanada mejorada, de los restablecimientos sobre estructuras y de redes secas.

Tras un período de preparación de obra de tres meses, el plazo de ejecución, a raíz de la puesta en arrendamiento de los cinco tramos condicionales es de 24 meses, objetivo sumamente ambicioso a la vista del carácter excepcional de las intemperies del año 2007.

Los trabajos de movimiento de tierras, explanada mejorada, ingeniería civil, saneamiento están finalizados, y únicamente queda por ejecutar la conformación de los depósitos, el equipamiento hidráulico de los estanques y las redes secas.

Una agrupación de empresas, de la cual Forézienne d'Entreprises es el mandatario, se ha creado para realizar esta operación cuyo importe asciende a 16,5 millones de euros (IVA no incluido).