

Dans la métropole lilloise a lieu actuellement la construction d'une nouvelle voie routière dans le but de d'améliorer la circulation urbaine.

Une des particularités techniques de ce projet géotechnique complexe est de réaliser un remblai d'accès à un ouvrage d'art enjambant une voie ferrée, sur des terrains compressibles. La technique des drains plats verticaux a été choisie par le maître d'œuvre pour accélérer la consolidation des terrains.

Après appel d'offres ouvert, Lille Métropole Communauté Urbaine a confié à l'agence Nord de Razel la réalisation des remblais d'accès et de préchargement à l'ouvrage d'art franchissant la voie ferrée industrielle.

La zone traversée, située sur des sols compressibles saturés, nécessite un phasage de chantier bien précis : réalisation des pistes et des chemins de désenclavement, construction d'un ouvrage hydraulique, drainage par drains plats verticaux sous l'emprise du remblai, drainage horizontal de la plate-forme, réalisation de talus verticaux renforcés par nappes géotextiles au droit de la voie ferrée, réalisation de remblais en craie.

# Métropole Lilloise

## Remblai d'accès à un ouvrage compressible

### ■ SITUATION GÉOGRAPHIQUE - INTRODUCTION

Dans la métropole lilloise a lieu actuellement la construction d'une nouvelle voie routière entre les villes d'Armentières - La Chapelle d'Armentières - Erquinghem Lys dans le but d'améliorer la circulation urbaine.

Une des particularités techniques de ce projet géotechnique complexe est de réaliser un remblai d'accès à un ouvrage d'art type Pipo enjambant une voie ferrée, l'ensemble sur terrains compressibles. Le présent article traite des solutions techniques mises en œuvre pour accélérer la consolidation de terrain et réaliser le remblai.



Photo 1  
Piste et chemin en recyclé  
*Track and path of recycled materials*

### ■ DESCRIPTION DES TRAVAUX

Après appel d'offres ouvert, Lille Métropole Communauté Urbaine a confié à l'agence Nord de Razel et à son sous-traitant Cofra France la réalisation des remblais d'accès et de préchargement à l'ouvrage d'art.

La future voie aura en section courante deux chaussées de 3,5 m, deux bandes cyclables de 1,5 m, un terre-plein central de 1,0 m et deux trottoirs de 1,5 m, soit un largeur totale de 14 m hors accotement.

Les travaux à réaliser consistent à exécuter les remblais d'accès au futur pont franchissant une voie

ferrée industrielle. La zone traversée, située sur des sols compressibles, nécessite un phasage de chantier bien précis :

- ◆ réalisation des pistes et des chemins de désenclavement ;
- ◆ construction d'un ouvrage hydraulique ;
- ◆ drainage par drains plats verticaux sous l'emprise du remblai ;
- ◆ drainage horizontal de la plate-forme ;
- ◆ réalisation de talus verticaux renforcés par nappes géotextiles au droit de la voie ferrée ;
- ◆ réalisation de remblais en craie.

### Les pistes et chemins de désenclavement

Une piste d'accès et des chemins de désenclavement ont été réalisés pour se trouver correctement hors d'eau et permettre aux agriculteurs de toujours accéder à leurs champs.

Après décapage des terres végétales, une épaisseur de 70 cm de concassé béton recyclé 0/60 a été mise en œuvre. Ce produit, issu de la démolition des usines Sollac à Dunkerque, associe de bonnes capacités structurelles et un pouvoir drainant non négligeable.

De plus, l'utilisation de matériaux recyclés participe à la mise en œuvre du développement durable et doit rentrer dans les habitudes de prescription dans la mesure où les produits proposés par le négociant sont de qualités géotechniques et de traçabilité correctes (photo 1).

### L'ouvrage hydraulique

Afin de réaliser le remblai, il a fallu passer au-dessus d'un cours d'eau dénommé "Becque" dans le Nord de la France. Un dalot hydraulique en béton armé B25 de 2 m x 2,50 m d'environ 40 m de longueur a été réalisé avec des éléments préfabriqués et clavetés sur site.

Après déviation de la Becque, le fond de fouille a été curé des vases sur 1 m de profondeur et le dalot a ensuite été posé sur un béton de propreté armé de 15 cm d'épaisseur.

L'étanchéité de l'extrados de l'ouvrage a été réalisée avec des feuilles bitumineuses collées à chaud. Il est nécessaire d'insister sur la protection indispensable de cette étanchéité immédiatement après réception contradictoire avec le maître d'œuvre pour s'affranchir des divers soucis de poinçonnement et de déchirures diverses occasionnées par le trafic de chantier (photo 2).

# d'art ferroviaire sur terrain

## Sondages géologiques

Les études de sol commandées par le maître d'œuvre font état de terrain de mauvaise qualité avec une nappe située à - 1,00 m/TN environ. En moyenne de - 1 à - 10 m, on trouve des silts sablonneux, de - 10 à - 22 m une argile plastique gris vert appelée "argile des Flandres" et au-delà un sol porteur constitué par un sable vert.

Les essais pressiométriques réalisés ont permis de montrer que les pressions limites étaient inférieures à 1 MPa et les modules de déformations inférieurs à 10 MPa, soit un sol de médiocre qualité. Compte tenu de la hauteur du remblai de l'ordre de 8 m maximum, il a été calculé un tassement théorique de 40 cm sur une durée de consolidation de 20 ans ce qui n'est évidemment pas compatible avec les contraintes de mise en service.

Afin d'accélérer la durée de consolidation, il a été dimensionné un maillage de drains plats verticaux en application de la théorie de Hansbo à partir du degré de consolidation naturelle de Terzaghi de manière à satisfaire la condition de tassement résiduel limité à 5 cm au bout de 1,5 année et imposée par le maître d'œuvre.

La maîtrise d'œuvre a donc fait le choix de recourir à la technique de drainage vertical.

## Traitement des zones compressibles (figure 1)

La consolidation de sols à l'aide de drains verticaux est appliquée aux sols compressibles et saturés d'eau, du type argileux ou limoneux. Ces sols sont caractérisés par un squelette mou et une grande porosité.

La maille calculée pour accélérer la consolidation est de 1,5 m x 1,5 m. Le drain est fiché par forçage jusqu'à une profondeur de 22 m.

La capacité de forçage du mât est de 32 t. La pelle hydraulique utilisée est une Liebherr 954.

Lors de la mise en œuvre de remblai sur sol à fortes teneurs en eau, des tassements importants sont prévisibles. L'importance de ces tassements, ainsi que la durée consolidation, dépendent des caractéristiques géotechniques des sols en place. La contrainte amenée par le remblai entraîne une mise en pression de l'eau interstitielle.

La durée du tassement dépend essentiellement de la durée d'évacuation de cette eau. Dans le cas de sols à faibles perméabilités (type argile ou limon), on peut accélérer les durées de consolidation par la mise en place d'un drainage vertical.

A l'aide des drains verticaux la durée de consolidation va passer de 20 ans à 1,5 an pour atteindre le même degré de consolidation. Environ 80 000 m de drains type "Mebradrain" ont été mis en place sur le chantier par Cofra (Mebradrain est une marque déposée de Geotechnics Holland BV). Il est composé d'une âme drainante à forte transmissivité entourée d'un géotextile filtrant très perméable en



Photo 2  
Dalot  
Box cuivré

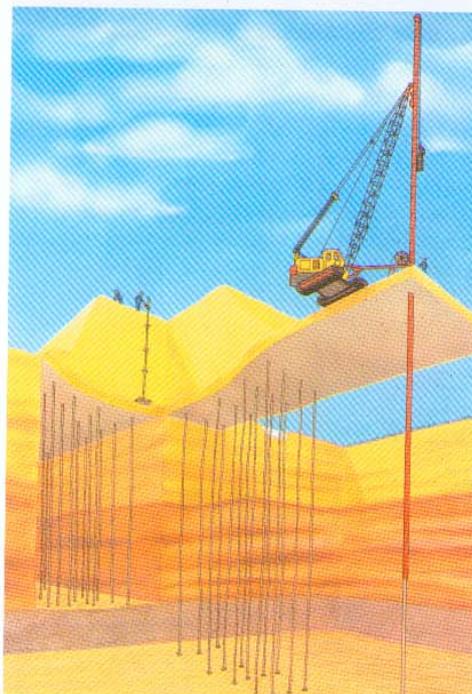


Figure 1  
Principe de drains  
verticaux  
Vertical drain  
principe



D'EXPLOITATION  
Razel



**Kees de Kroes**  
GÉRANT  
Cofra France



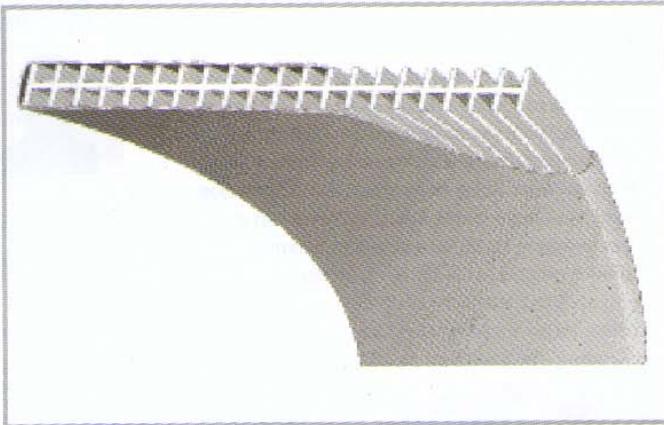
**Vincent Lecendre**<sup>1</sup>  
SERVICE GRANDES  
INFRASTRUCTURES -  
MAÎTRE D'ŒUVRE  
Lille Métropole Communauté  
Urbaine



## AMÉLIORATION DES SOLS

polypropylène (figure 2). La production du Mebradrain® est rigoureusement contrôlée selon un programme d'assurance qualité certifié ISO 9001.

Figure 2  
Détail de la structure  
du drain  
Detail of the drain  
structure



Photos 3 et 4  
Mise en œuvre  
des drains  
Drain laying



- Les principaux avantages de ce type de drain sont :
- ◆ remaniement très faible du sol en place ;
  - ◆ évacuation de l'eau interstitielle accélérée ;
  - ◆ possibilité d'adaptation du produit à chaque étude ;
  - ◆ rapidité de mise en œuvre : 4 000 à 8 000 m par jour et par engin ;
  - ◆ période de consolidation raccourcie en utilisant un maillage serré ;
  - ◆ mise en place par fonçage ne nécessitant pas d'apport d'eau ;
  - ◆ installation des drains possible jusqu'à une profondeur de 40 m.

Le filtre du drain est une composante essentielle du système de drainage.

Il est composé par un géotextile non tissé aiguilleté polypropylène de forte résistance à la traction et de porosité adaptée. L'ouverture de filtration et la permittivité du filtre permettent le passage de l'eau vers le drain en évitant tous risques de colmatage. La perméabilité du drain vertical doit être au minimum égale à la plus forte perméabilité des couches traversées par le système. La rigidité du filtre permet de conserver les capacités hydrauliques de l'âme drainante même sous forte contrainte.

La forte transmissivité du drain, permet d'assurer un drainage performant de la plupart des sols rencontrés (photos 3 et 4).

Ce drainage vertical est associé à un drainage horizontal (Somtube Afitex) assurant l'écoulement des eaux vers des fossés latéraux. Une forme en toit de 3 % a également été donnée à la plate-forme.

Le géocomposite de drainage est constitué :

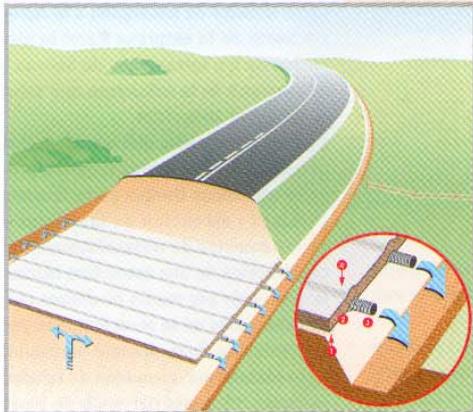
- ◆ d'une nappe filtrante non tissée aiguilletée (filtre inférieur) ;
- ◆ d'une nappe drainante non tissée aiguilletée ;
- ◆ de mini-drains perforés régulièrement selon deux axes alternés à 90° ;
- ◆ d'une nappe filtrante non tissée aiguilletée (filtre supérieur) (figures 3, 4 et 5).

### ■ REMBLAI DE PRÉCHARGEMENT EN CRAIE

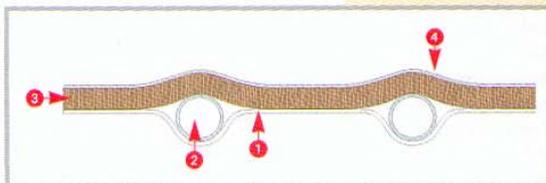
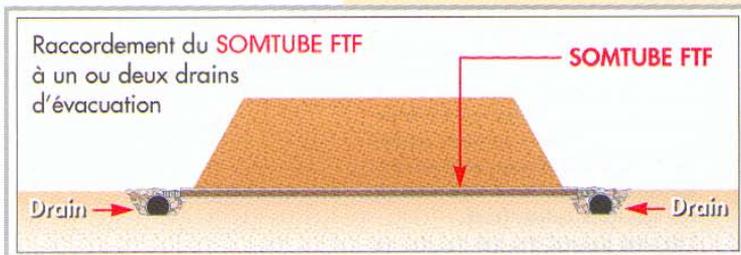
Concernant les remblais courants, Razel a choisi une craie en provenance du Pas-de-Calais qui présentait le meilleur compromis technico-économique. Sa mise en œuvre est réalisée au bouteur à raison d'une cadence de 3 000 à 4 000 t/j. Son compactage est réalisé avec un compacteur "pied de mouton".

Par ailleurs, en complément des remblais courants vient s'ajouter la mise en place d'une surcharge de 1,00 m au-dessus de la cote théorique permettant d'augmenter la pression au sol.

Le maître d'œuvre a prévu une surlargeur de compactage de façon à atteindre les compacités en rive.



Figures 3, 4 et 5  
Principe de drainage horizontal  
Horizontal drainage principle



Photos 5 et 6  
Mise en œuvre de la craie  
Laying chalk

Les caractéristiques demandées pour les essais à la plaque dans le corps de remblai sont  $EV2 > 50$  MPa, rapport  $EV2/EV1 < 2$ .

Ces dispositions constructives sont assorties d'une instrumentation sous remblai au moyen de cellules tassométriques et de pîges métalliques installées au fur et à mesure de la montée du remblai.

Cette instrumentation permettra ainsi de mesurer le tassement du sol support dans le temps (photos 5 et 6).

### Ouvrage de soutènement vertical renforcé par géotextile

L'emploi de cette technique a pour but de consolider les sols au plus près de la voie ferrée. Cet ouvrage est constitué de deux parements dont un est provisoire (celui situé au droit de la future culée) et l'autre définitif.

La technique employée consiste à monter les remblais par couche et d'intercaler des nappes de géotextiles.

Les matériaux compactés sont ainsi enveloppés dans le géotextile et afin d'obtenir un parement vertical, on utilise un coffrage amovible et des "big-bags". L'empilement de ces boudins permet alors d'échafauder une butée massive qui, bien que résistante, s'accommodera des tassements différentiels attendus sur ces sols compressibles.

Les "big-bags" sont maintenus dans le coffrage mobile par trois unités à l'aplomb du parement et ils sont remplis de matériaux 0/100 à l'aide d'une pelle mécanique. Le remplissage s'effectue simultanément dans les trois sacs avec des levées d'environ 30 cm de hauteur.

Après l'implantation des parements par le géomètre, le suivi de la verticalité est assuré au moyen d'une règle et d'un niveau par le chef d'équipe.

Le compactage en partie arrière est exécuté au V5 ou à la plaque vibrante dans les zones de proximité des "big-bags".

Au préalable, des calculs de stabilité interne et externe ont été réalisés compte tenu du caractère compressible des matériaux du site.



Photos 7 et 8  
Réalisation du mur  
de soutènement

*Construction  
of the supporting  
wall*

Les caractéristiques géométriques de ces murs sont les suivantes :

- ◆ largeur de la base : 5,5 m ;
- ◆ hauteur du mur : 7,10 m en phase provisoire et 8,10 m en phase définitive ;
- ◆ surcharge routière : 20 kN/m<sup>2</sup> ;
- ◆ nombre de nappes : six nappes de géotextile polyester 100 kN de 12,80 m pour le mur provisoire, sept nappes de 12,80 m pour le mur définitif (photos 7 et 8).

#### ABSTRACT

**Lille metropolitan area.  
Embankment for access to  
a bridge over the railway  
track on compressible  
ground**

*L. Brouet, K. de Kroes, V. Lecendre*

**In the Lille metropolitan area a new road is currently being built with a view to improving urban traffic.**

**One of the special technical features of this complex geotechnical project is the construction of an access embankment to a bridge crossing a railway track, on compressible ground.**

**The flat vertical drain technique was chosen by the project manager to accelerate consolidation of the ground.**

**Following an open invitation to tender, Lille Métropole Communauté Urbaine entrusted to Razel's northern agency the execution of access and preloading embankments for the bridge crossing the industrial railway track.**

**The area passed through, located on saturated compressible soils, requires very precise site scheduling : execution of access tracks and paths, construction of a hydraulic structure, drainage by flat vertical drains under the area covered by the embankment, horizontal drainage of the platform, execution of vertical banks reinforced by geotextile layers at the level of the railway track, execution of chalk backfills.**

#### RESUMEN ESPAÑOL

**Metrópoli de Lille.  
Terraplén de acceso a una  
estructura ferroviaria sobre  
terreno compresible**

*L. Brouet, K. de Kroes y V. Lecendre*

**Se está llevando a cabo actualmente, en la metrópoli de Lille, la construcción de una nueva vía de circulación, con objeto de mejorar el tráfico automovil urbano.**

**Una de las particularidades técnicas de este proyecto geotécnico complejo consiste en construir un terraplén de acceso a una gran estructura que pasa por encima de una vía férrea, sobre terrenos compresibles.**

**Se ha adoptado por parte del autor del proyecto la técnica de drenes planos verticales para acelerar la consolidación de los terrenos. Tras una licitación abierta, Lille Métropole Commu-**

**nauté Urbaine ha encargado a la agencia Norte de la empresa Razel la ejecución de los terraplenes de acceso y de precarga de la estructura que salva la vía férrea industrial.**

**La zona atravesada, ubicada en suelos compresibles saturados requiere proceder por etapas de obra perfectamente precisas : ejecución de las pistas y de los caminos de desenclavamiento, construcción de una estructura hidráulica, drenaje por medio de drenes planos verticales en la zona ocupada por la estructura final, drenaje horizontal de la plataforma, ejecución de taludes verticales reforzados por medio de capas de geotextiles a la perpendicular de la vía férrea, ejecución de rellenos creta-ceos.**