

ROUTES

Ciments - Liants hydrauliques routiers - Bétons
Travaux et équipements routiers - Terrassements - Aménagements urbains - Aéroports



RÉFÉRENCE

Le Grand-Quevilly (Seine-Maritime) : une roseraie contemporaine, habillée de béton désactivé et de béton brossé à bords lissés

DOCUMENTATION TECHNIQUE

Etude comparative en technique routière
Traitement des sols vs Emprunts granulaires

LE POINT SUR

Ardèche : parfaite harmonie entre béton désactivé et pierre naturelle

2 ÉDITORIAL

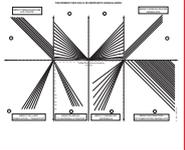
3-6 LE POINT SUR

Ardèche : parfaite harmonie entre béton désactivé et pierre naturelle



7-14 DOCUMENTATION TECHNIQUE

Etude comparative en technique routière
Traitement des sols vs Emprunts granulaires



15-17 RÉFÉRENCE

Seine-Maritime
Le Grand-Quevilly : une roseraie contemporaine, habillée de béton désactivé et de béton brossé à bords lissés



18-19 CHANTIER

Marne
Contournement autoroutier sud de Reims : 14 km de terrassement traités au liant hydraulique routier



20 LE SAVIEZ-VOUS ?

En couverture : dans la cité de Cruas (Ardèche) ondule, au milieu du cheminement, une magnifique rivière en béton désactivé.

TREMTI 2009 : un succès, malgré tout !

Le 3^e Symposium International sur le traitement et le retraitement des matériaux pour travaux d'infrastructures TREMTI 2009 s'est tenu du 11 au 13 novembre 2009 à l'hôtel Casa Santo Domingo - Antigua, Guatemala.

Répondant à la demande exprimée à Paris, l'Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala (ICCG) a organisé cet événement qui a été placé sous le triple patronage de la FICEM, du Syndicat de la chaux du Guatemala et de l'Association mondiale de la route (AIPCR).

Malgré les restrictions budgétaires liées à la crise économique mondiale, la troisième édition de TREMTI a atteint les objectifs visés :

- **Une bonne mobilisation des acteurs et, tout particulièrement, en Amérique latine** : 176 participants de 19 pays, parmi lesquels la France (7 participants), le Portugal (4), l'Espagne (2), l'Angleterre (1), l'Allemagne (1), la Belgique (1), l'Afrique du Sud (1).
- **Un contenu scientifique et technique** soulignant et confirmant les avancées techniques et les progrès technologiques accomplis depuis le Symposium TREMTI 2005 de Paris. Le comité scientifique a retenu 53 publications, qui ont été classées selon 5 thèmes : **Technologie** (normalisation, conception, matériel : 7 communications), **Matériaux** (13), **Retraitement** (8), **Traitement et recyclage** (13), **Essais et tests** (12).
- **Un programme dans la continuité de Salamanque 2001 et de Paris 2005.** Le symposium s'est déroulé sur trois jours et a fait l'objet de 9 sessions avec 34 communications sélectionnées et présentées oralement, dont 3 conférences magistrales qui ont permis de couvrir les 5 thèmes abordés ci-dessus. De nombreuses communications ont fait état d'expériences valorisant des matériaux locaux par traitement à la chaux ou au ciment.
- **Des domaines ciblés et des techniques répondant aux besoins exprimés et dans le respect des principes du Développement Durable.** En plus du traitement et du retraitement des matériaux, les communications ont couvert le domaine en plein développement du recyclage par traitement à la chaux, au ciment et aux liants hydrauliques routiers, des matériaux de déconstruction en provenance du bâtiment et des travaux publics.
- **Une prise de conscience collective à l'égard de l'environnement** : une volonté d'épargner et de préserver les ressources naturelles, affichée par tous les acteurs et de tous les pays représentés.

TREMTI 2009 s'est déroulé dans un contexte international difficile, en pleine crise économique. Mais, grâce à l'organisation, la convivialité et l'hospitalité de nos amis au Guatemala, grâce aux échanges techniques entre les pays, je pense que nous avons atteint les objectifs visés.

Je vous donne rendez-vous en 2013 pour la 4^e édition de TREMTI.

Joseph ABDO
Cimbéton

CIMbéton

CENTRE D'INFORMATION SUR
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

7, Place de la Défense
92974 Paris-la-Défense cedex

Tél. : 01 55 23 01 00

Fax : 01 55 23 01 10

Email : centrinfo@cimbeton.net

Site Internet : www.infociments.fr

Pour tous renseignements concernant les articles de la revue, contacter Cimbéton.

Directeur de la publication : Anne Bernard-Gély
Directeur de la rédaction, coordinateur des reportages et rédacteur de la rubrique *Remue-ménages* : Joseph Abdo - **Reportages, rédaction**

et **photos** : Marc Deléage, Romualda Holak, Yann Kerveno, Michel Levron, Jacques Mandorla - **Réalisation** : Ilot Trésor, 83 rue Chardon Lagache, 75016 Paris - Email : mandorla@club-internet.fr - **Direction artistique** : Arnaud Gautelier - **Maquette** :

Dorothee Picard - **Dépôt légal** : 4^e trimestre 2009 - ISSN 1161 - 2053 1994



Aubenas (Ardèche) : le béton désactivé du rond-point de la Médiathèque a été employé pour marquer les différents usages des espaces (routier, piétonnier ou arrêts des bus).

Ardèche : parfaite harmonie entre béton désactivé et pierre naturelle

Des bourgs perdus à plus de 1 000 mètres d'altitude dans les montagnes jusqu'aux berges du Rhône, l'Ardèche est un pays de contrastes où la pierre naturelle joue un très grand rôle. C'est donc tout logiquement que les voiries en béton désactivé se sont parfaitement intégrées dans ce paysage.

En bordure de la vallée du Rhône et s'étendant jusqu'au massif central, le département de l'Ardèche est aujourd'hui l'un des joyaux du tourisme français. Les aménagements en béton y ont conquis l'ensemble de l'espace, depuis les villes jusqu'aux petits bourgs reculés.

■ Aubenas : du béton pour bien séparer les espaces

Principale agglomération du département avec Privas, la préfecture, Aubenas a souvent recours au béton désactivé. Parmi les références récentes réalisées dans la ville, l'avenue Jean Mathon, l'une des artères principales, représente 2500m² de béton désactivé, réalisé avec des granulats de porphyre rouge et de concassé blanc. Le béton désactivé trouve aussi sa place dans des aménagements à vocation



Aubenas : pour le béton désactivé des arrêts de bus du rond-point de la Médiathèque, deux granulats différents ont été mis en œuvre : un 14-20 clair et un basalte 10-14.



Bourg Saint-Andéol : avec du béton désactivé dans lequel ont été scellés des galets et des dalles de pierres, l'aménagement réalisé sur la place du Champ-de-Mars fait la part belle aux matériaux naturels.

Cruas : une rivière en béton serpente dans la rue

Toujours le long du Rhône, Cruas, commune de 3000 habitants, s'est offert un aménagement fort réussi en centre-bourg, destiné à relier la place de la mairie et la route principale qui traverse le village. Ce chemin, en pente assez prononcée, permet d'accéder ainsi à l'entrée de l'école.

Conçue à partir d'un granulat roulé 15-25 de la vallée du Rhône, une magnifique rivière en béton ondule au milieu du cheminement : son dessin, élaboré par les architectes, rappelle l'ancien ruisseau de Crûle passant à proximité, aujourd'hui refaite à neuf pour relier deux quartiers de la ville. À noter qu'elle sert aussi de caniveau les jours de pluie puisque plusieurs bouches d'évacuation y sont incluses. La rue est rythmée par des incrustations de pavés en béton bleu jusqu'à la place débouchant devant la mairie.

Guy Pelaprat, architecte du projet, avec le paysagiste Jean-Marc Viot et les architectes Yolaine Arnichand et Jean Juan, précise : "Cette rue est essentielle dans le développement urbain de la ville : elle permet un accès à l'école, mais elle assure surtout une liaison importante entre le village et la plaine d'urbanisation plus récente avec,



Cruas : la place de la mairie, autour du monument aux morts, est un espace piéton réalisé en béton désactivé et en dalles béton.

plus utilitaire, comme le rond-point de la Médiathèque, dominé par l'imposant bâtiment rouge qui semble suspendu au-dessus du carrefour.

"Le béton désactivé nous permet de jouer avec les couleurs et offre beaucoup plus de libertés que le béton balayé classique" explique Éric Duroy, directeur adjoint des services techniques de la ville d'Aubenas. "C'est aussi un matériau qui se révèle très facile à l'usage : grâce aux joints de retrait sciés à intervalles réguliers, on peut casser et reprendre facilement lorsqu'il faut intervenir sur les réseaux". Deux types de granulats ont été mis en œuvre pour cet aménagement, un 14-20 de Sauveterre et un basalte 10-14 de Saint-Jaud.

Pour Pierre Combe, maître d'œuvre de cet aménagement et gérant du bureau d'études Eurocrea : "Nous avons voulu vraiment marquer les différents espaces et les différentes fonctions, en réservant l'enrobé pour les parties empruntées par les véhicules, un béton désactivé pour les trottoirs et les circulations piétonnes, et un autre béton désactivé, plus robuste, pour les aires destinées à accueillir les bus. Pour ces derniers, nous avons associé la basaltine, pierre très dure, au béton car elle ne craint pas l'usure" poursuit le maître d'œuvre, qui insiste

sur la nécessaire préparation des chantiers. "Il faut réaliser ce type d'aménagement avec soin, afin de ne pas y revenir dans le futur. Il est donc important de se poser, au départ, la question des réseaux qui passent dessous, pour savoir s'il faut les remettre à niveau auparavant ou ajouter des fourreaux supplémentaires".

Bourg Saint-Andéol : des galets scellés dans le béton

Dans ce chef-lieu d'arrondissement de 8000 habitants situé dans le sud du département, 3500 m² de béton désactivé ont été mis en œuvre pour la refonte de la place du Champ-de-Mars.

Le vaste espace, arboré de platanes et servant de parking, a été entouré d'un cheminement en béton désactivé réalisé avec des granulats 6-16 venus du Gard voisin.

Associés au béton, des galets sciés scellés dans le béton et des dalles de pierre naturelles ont été employés sur l'ensemble de la place. Tandis qu'en bordure de celle-ci, de l'autre côté de la voie de circulation qui la dessert, les trottoirs traités en désactivé s'harmonisent, à l'entrée de la vieille ville, avec des pavés de pierres.



Cruas : la rivière qui ondule rappelle la présence d'un ancien ruisseau de crue passant par cette ruelle, aujourd'hui refaite à neuf. Des pavés de béton ont été incrustés dans le désactivé pour parfaire le dessin du site.

entre les deux, une grande partie des bâtiments administratifs”.

“La ville de Cruas s'est un peu développée par et pour le ciment” explique encore l'architecte. “Cet aménagement urbain figurait, depuis longtemps, dans les réflexions de la municipalité : il manquait, en effet, un axe Est-Ouest pour compléter l'axe Nord-Sud qui traverse déjà la ville. Nous avons eu la chance de travailler avec une municipalité qui a su se donner les moyens financiers de ses aménagements, ce qui n'est pas toujours le cas ailleurs” conclut Guy Pelapat.

■ Lavilledieu : reconquête de l'espace public villageois

Sur les hauteurs d'Aubenas, dans “les terres” cette fois, Lavilledieu est un village ardéchois typique de 1800 habitants. Pierre Gadoin, architecte-paysagiste a conçu et supervisé, avec le bureau d'études Poyry, la refonte de tout le village intra-muros : “Le parti pris de départ était de limiter la voiture du centre du village et de donner aussi toute référence au caractère routier des rues à l'intérieur de la commune” explique-t-il en préambule. On imagine assez vite, en

effet, en parcourant les rues et ruelles du village, combien la présence d'automobiles devait auparavant se révéler gênante pour la circulation des piétons.

“L'idée de départ était de rendre sa vocation villageoise et rurale au bourg : nous souhaitons donc redonner sa place

à la pierre, retrouver au sol ce qui était visible sur les façades et avoir ainsi un aspect très rustique grâce au béton” poursuit l'architecte-paysagiste.

Une volonté qui permet de bien comprendre le choix du granulat, un concassé 14-20 venu de l'autre côté du Rhône, du département de la Drôme.

“Autre raison du choix du béton : l'étroitesse des rues nous empêchait d'avoir recours à un enrobé pour réaliser les bandes de roulement, car il était impossible de faire entrer un finisseur sur le chantier”.

Les pavés de pierres dans les petites rues et les dalles dans les espaces plus ouverts, venant en complément du désactivé développé sur 1500 m², confèrent ainsi au village rénové l'aspect recherché par l'architecte : rusticité et confort.

La couleur claire de l'ensemble permet, de plus, de faire entrer la lumière jusque dans les recoins les plus sombres.

Ce projet, d'un budget total de 640 000 euros, avait été bien accueilli par les habitants du village conviés à une réunion publique de présentation avant le début des travaux. Et qui, aujourd'hui, sont définitivement conquis.



Lavilledieu : l'ensemble du vieux village a été recomposé en béton désactivé et en pavés. Le granulat concassé 14/20 de la Drôme s'accorde parfaitement aux façades en pierre des vieilles maisons du village.

■ Sagnes-et-Goudoulet : du béton associé au basalte

"Les bétons que nous mettons en œuvre en Ardèche sont particulièrement conçus pour résister aux outrages du temps" explique Mickaël Pélissier, de la société Sols. "Nous répondons souvent aux demandes des maîtres d'ouvrage et des maîtres d'œuvre qui souhaitent des matériaux, d'une part, esthétiques et, d'autre part, capables de résister aux grands froids, à la neige et aux travaux de déneigement, fréquents dans cette région. Ainsi, l'hiver dernier, certains villages ont été enfouis sous deux mètres de neige !".

Perché dans la montagne ardéchoise, dans l'enceinte du parc naturel régional des monts d'Ardèche, à plus de 1 200 mètres d'altitude et à quelques virages des sources de la Loire au Mont Gerbier de Jonc, Sagnes-et-Goudoulet fait partie de ces communes qui sont soumises à de rudes hivers.

Pour la rénovation des principales rues de ce petit bourg de 140 habitants, là encore il a été fait appel au béton désactivé, réalisé avec un granulat 6-20 de Marvejols rehaussé d'un calepinage en grosses pierres de taille et en pavés pour les bordures.

"Nous avons choisi le matériau béton afin de remplacer un revêtement bicouches et, à certains endroits, de la

terre battue" précise Christian Levêque, le maire de la commune. "La solution béton présente trois avantages. Elle est nettement moins chère que les pavés de pierre. Elle s'accorde bien, du point de vue esthétique, avec le basalte qu'on trouve partout dans le village. Enfin, l'entrée dans le bourg en béton désactivé incite les conducteurs à la prudence, par le seul changement de couleur de la route".



Sagnes-et-Goudoulet : le béton désactivé rappelle parfaitement la pierre naturelle de l'église de style roman.



Sagnes-et-Goudoulet : perché à plus de 1 200 mètres d'altitude, le village a choisi le béton désactivé pour moderniser toute sa voirie. La couleur des granulats s'harmonise avec celle des façades de ce village de 140 habitants.

Le maire est aujourd'hui pleinement satisfait du résultat et conclut, non sans une pointe de fierté : *"On nous félicite souvent pour la qualité de cet aménagement !".*

Dans toute l'Ardèche, le béton désactivé a donc parfaitement su s'imposer, en proposant ses qualités d'esthétisme et de durabilité, et en s'harmonisant avec la pierre naturelle, partout présente dans ce pays au climat rude et très contrasté.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Aubenas

Maître d'ouvrage : Ville d'Aubenas

Maître d'œuvre : Eurocrea (bureau d'études)

Entreprise (béton désactivé) : Sols

Fournisseur du béton : ABPE

Fournisseur du ciment : Lafarge Ciments

Bourg-Saint-Andéol

Maître d'ouvrage : Ville de Bourg Saint-Andéol

Maître d'œuvre : Oligéry (architecte)

Entreprise (béton désactivé) : Sols

Fournisseur du ciment : Lafarge Ciments

Cruas

Maître d'ouvrage : Ville de Cruas

Maître d'œuvre : Guy Pelaprat, Yolaine Arnichand et Jean Juan (architectes), Jean-Marc Viot (architecte-paysagiste)

Entreprise (bétons désactivés) : Sols

Fournisseur du ciment : Lafarge Ciments

Lavilledieu

Maître d'ouvrage : commune de Lavilledieu

Maître d'œuvre : Pierre Gadoin (architecte-paysagiste, Agence Kanopé), Poyry (bureau d'études)

Entreprises : Eurovia et Sols (béton désactivé)

Fournisseur du béton : ABPE

Fournisseur du ciment : Lafarge Ciments

Sagnes-et-Goudoulet

Maître d'ouvrage : mairie de Sagnes-et-Goudoulet

Maître d'œuvre : BET Roux (Privas)

Entreprise (béton désactivé) : Sols

Fournisseur du ciment : Lafarge Ciments

Etude comparative en technique routière Traitement des sols vs Emprunts granulaires

Les travaux de remblais et de couche de forme peuvent faire appel à deux techniques : celle des Emprunts granulaires, qui consiste à utiliser des matériaux granulaires en provenance de ballastières ou de carrières, et celle du Traitement des sols en place aux liants hydrauliques, qui consiste à valoriser les sols naturels en les mélangeant avec un liant hydraulique et de l'eau. Pour évaluer et comparer ces deux techniques au niveau économique ou environnemental (Énergie et CO₂), une méthode graphique de comparaison a été mise au point, dont les principes sont présentés dans cette documentation technique ci-après.

INTRODUCTION

Pour construire des routes, des autoroutes, des aires aéroportuaires, ou tout aménagement d'aires à caractère industriel, commercial ou logistique, il est nécessaire de concevoir et de réaliser, au préalable, une plate-forme support de capacité portante minimale, permettant la construction de la structure de chaussée proprement dite. La réalisation de la plate-forme support, qui fait partie du domaine des terrassements routiers, consiste à effectuer des travaux de nivellement (déblais, remblais) et à exécuter une couche structurelle qu'on désigne par "couche de forme".

Les techniques des emprunts granulaires et de traitement des sols en place aux liants hydrauliques présentent des avantages et des inconvénients, tant sur le plan économique qu'environnemental.

La technique des emprunts granulaires, faisant appel à des granulats dont l'extraction et la fabrication n'ont que peu d'impact en matière économique et environnementale, peut être handicapée par les impacts générés :

- par le transport des granulats (un produit pondéreux), dès que la distance carrière-chantier dépasse un certain seuil.
- par le transport des sols excédentaires, du chantier jusqu'à la décharge.

La technique de traitement des sols en place aux liants hydrauliques nécessite l'utilisation d'un liant hydraulique, dont la fabrication représente un impact non négligeable tant sur le plan économique qu'environnemental, mais ce liant est utilisé en faible dosage et les quantités à fabriquer et à transporter sont faibles, comparées à celles des emprunts granulaires.

Ainsi, en fonction du contexte propre à chaque projet

(distance carrière-chantier, distance chantier-décharge, dosage du liant et distance usine-chantier), l'une ou l'autre technique peut s'imposer sur le plan économique et/ou sur le plan environnemental.

Cette documentation technique présente les principes d'une méthode graphique qui permet l'évaluation et la comparaison d'ordre économique ou environnemental (Énergie et CO₂) entre la technique de Traitement des sols et la technique des Emprunts granulaires.

Cette méthode possède un double avantage :

- elle permet à l'utilisateur de choisir, en fonction des données locales de ses projets, les valeurs des paramètres à chaque étape de l'étude,
- elle aide à estimer et à comparer, rapidement et visuellement, selon une progression cumulative, laquelle des deux techniques Traitement des sols ou Emprunts granulaires est la plus adaptée sur le plan économique ou environnemental.

Elle prend en compte les impacts de fabrication (liant, granulats), de transport (liant, granulats, sols excédentaires) et de mise de œuvre des matériaux (Sol traité, Emprunts granulaires).

Elle n'intègre pas certains facteurs qui auraient avantagé la technique de Traitement des sols et qui sont : le coût de mise en décharge des sols excédentaires, le coût d'entretien du réseau routier qui aurait été dégradé par le trafic occasionné par le chantier (transport des matériaux) et le coût sociétal pour les riverains lié à ce trafic (risques d'accidents, nuisances...).

L'élaboration du diagramme Economique est une adaptation de l'abaque publié dans l'annexe 4 du guide technique "Traitement des sols à la chaux et aux liants hydrauliques" (GTS - SETRA/LCPC - 2000). Les diagrammes Environnement (Energie et CO₂) ont été conçus selon la même méthode, mais sont totalement inédits.

PRINCIPES FONDAMENTAUX

Le découpage en 2 zones comparatives

Chacun des 3 graphiques proposés dans ce document est divisé en 2 zones (la Zone 1 en vert à gauche et la Zone 2 en rouge à droite), chaque zone représentant une technique spécifique qui est, elle-même, répartie en 4 quadrants.

La Zone 1

Elle couvre la moitié gauche des graphiques et concerne **la technique de Traitement des matériaux en place.**

Dans cette zone, le paramètre prépondérant est le liant, qu'il faut fabriquer, transporter jusqu'au chantier où le processus de mise en œuvre (épandage en petites quantités, de l'ordre de 30 kg/m², malaxage, arrosage, nivellement, compactage et cure) est mené jusqu'à son terme.

Ceci permet d'obtenir un matériau traité pour une utilisation en remblais (impact évalué au m³ de Sol traité) ou en couche de forme (impact évalué au m² de Sol traité).

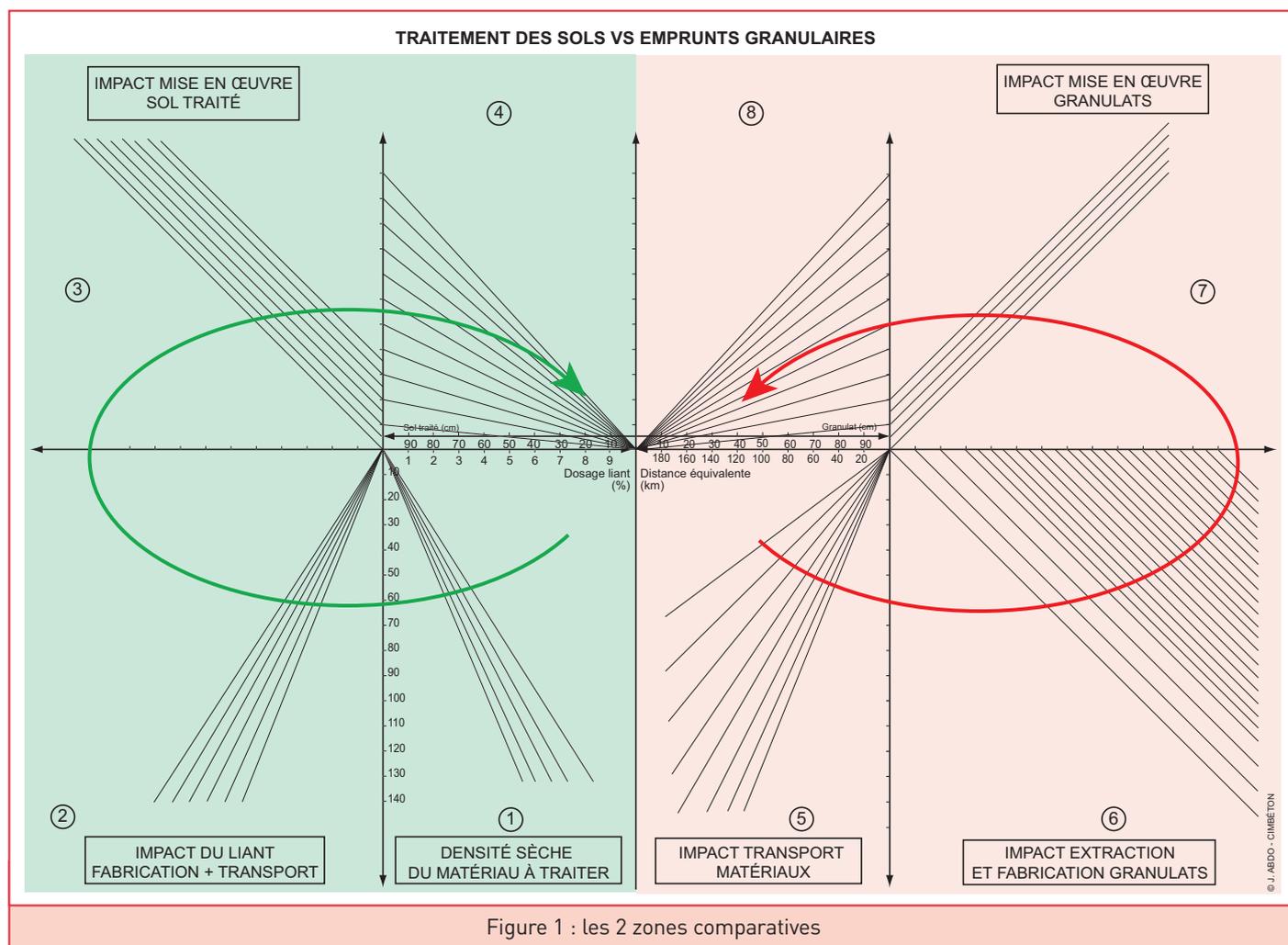
Dans la Zone 1, il est donc évident que l'étude de comparaison débute par le dosage du liant.

La Zone 2

Elle couvre la moitié droite des graphiques et concerne **la technique des Emprunts granulaires.**

Dans cette zone, le paramètre prépondérant est la distance équivalente, qui est la somme des distances carrière-chantier et chantier-décharge. En effet, la technique des Emprunts granulaires nécessite, outre l'extraction et la fabrication des granulats, et leur mise en œuvre (nivellement, arrosage, compactage), le transport d'un matériau pondéreux, pour une utilisation en forte épaisseur dans le cas de remblais et en grandes quantités (à raison d'une tonne par m²) dans le cas d'une couche de forme, et surtout la mise en décharge des sols excédentaires.

Dans la Zone 2, il est donc évident que l'étude de comparaison débute par la distance équivalente.



ETUDE DE LA ZONE 1 TRAITEMENT DES SOLS

Cette zone se décompose en 4 quadrants numérotés 1, 2, 3 et 4, dont voici les caractéristiques essentielles de chacun.

Quadrant 1

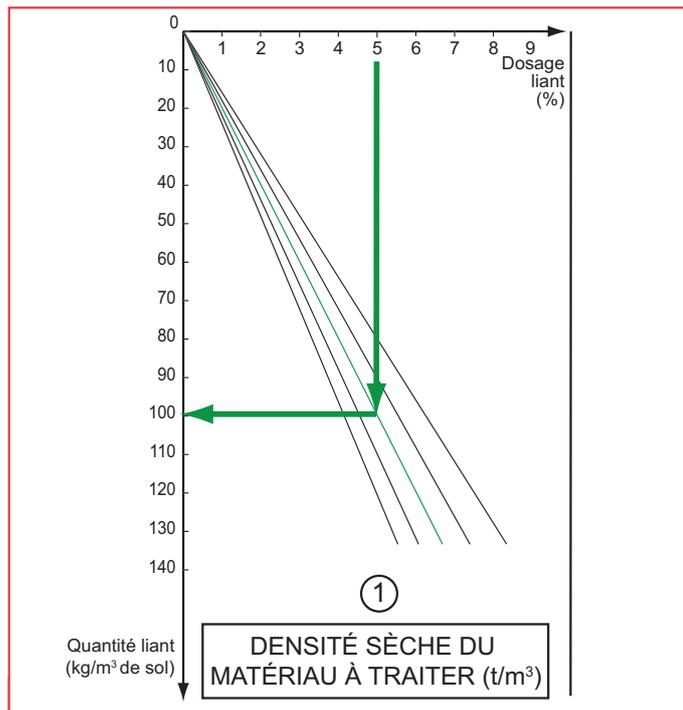


Figure 2 : zone Sol traité - Quadrant densité sèche matériau

Il permet de calculer la quantité de liant nécessaire par m³ de sol pour obtenir les performances recherchées du matériau traité, dans le cadre du projet étudié.

Dans ce quadrant figurent une famille de droites (passant par l'origine) qui représentent différentes densités sèches, correspondant à une large gamme de matériaux qu'on peut rencontrer dans la nature (figure 1).

Ainsi, pour un projet donné, lorsqu'on connaît la densité sèche du sol et le dosage en liant, il suffit de tracer une verticale descendante à partir du chiffre du dosage liant jusqu'à l'intersection avec la droite de densité sèche choisie : on lit alors directement, sur l'axe vertical de ce Quadrant, la quantité de liant au m³ de sol qu'il faut prévoir afin de traiter ce sol.

Quadrant 2

La quantité de liant pour un m³ de sol ayant été déterminée par le Quadrant 1, le Quadrant 2 permet alors de calculer son impact sur le plan économique ou sur le plan environnemental (Energie ou CO₂). Dans ce Quadrant figurent des droites (passant par l'origine) qui, selon le graphique utilisé, seront d'ordre économique ou d'ordre

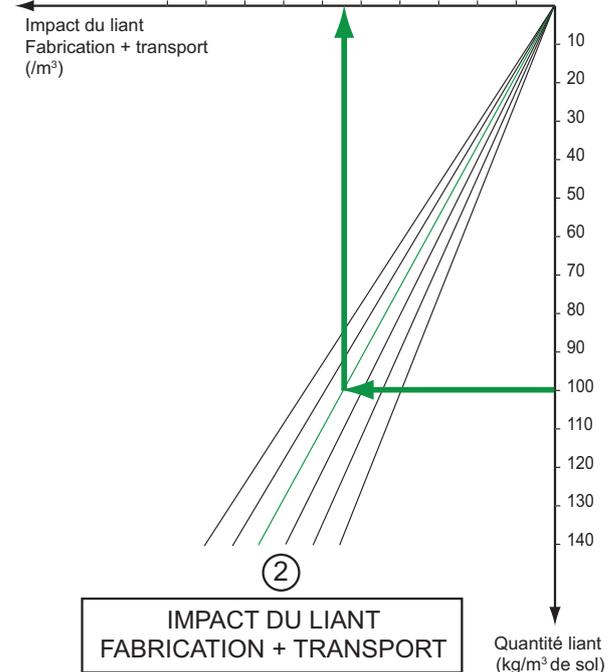


Figure 3 : zone Sol traité - Quadrant impact liant

environnemental (Energie ou CO₂).

Chacune de ces droites a une valeur d'impact qui prend en compte la fabrication et le transport du liant entre l'usine et le chantier (figure 2).

Ainsi, pour un projet donné, lorsqu'on connaît l'impact total (fabrication + transport) d'une tonne de liant, il suffit de prolonger horizontalement la droite du Quadrant 1 jusqu'à l'intersection avec la droite correspondant à l'impact choisi : on lit alors directement, sur l'autre axe du Quadrant 2, l'impact du liant par m³ de Sol traité.

Quadrant 3

Il concerne l'impact de la mise en œuvre.

Dans ce Quadrant figurent des droites parallèles qui correspondent à différentes hypothèses, relatives aux impacts de l'atelier de mise en œuvre (épandeur, malaxeur, arroseuse, compacteur, niveleuse).

Ces droites ont été tracées afin d'intégrer le cumul des impacts des Quadrants 2 et 3 : elles sont donc inclinées à 45° et possèdent des ordonnées à l'origine équivalentes aux valeurs des impacts qu'elles représentent (figure 4).

La valeur de l'impact du liant au m³ de Sol traité ayant été déterminée par le Quadrant 2, il suffit de prolonger verticalement, vers le haut, la droite obtenue jusqu'à l'intersection avec la droite représentant l'impact de l'atelier de mise en œuvre : on lit alors directement, sur l'autre axe du Quadrant 3, l'impact cumulé total d'un m³ de Sol traité.

C'est cette valeur qui sera considérée pour comparer l'impact de la technique de Traitement des sols et celle des Emprunts granulaires, dans le cas de l'utilisation en remblais.

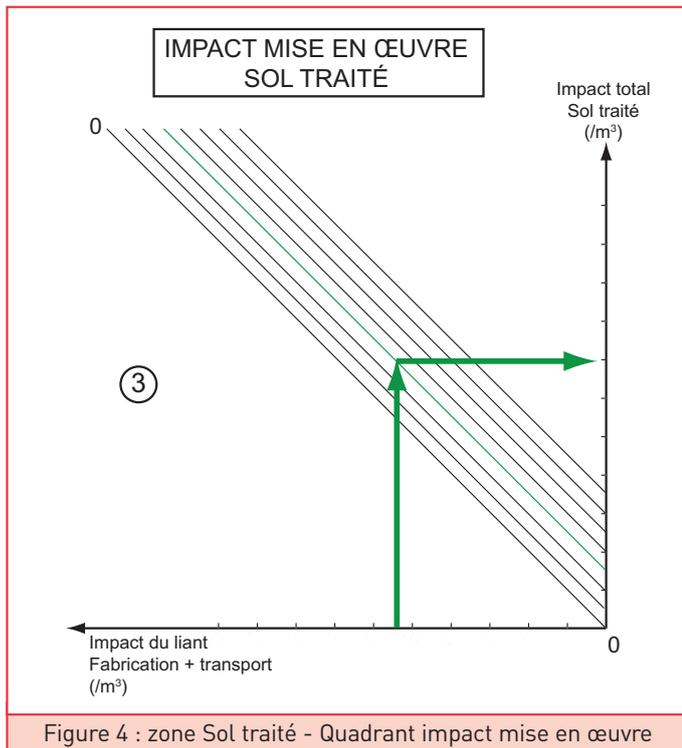


Figure 4 : zone Sol traité - Quadrant impact mise en œuvre

Quadrant 4

Il permet de passer, moyennant une construction géométrique simple (théorème de Thalès), de l'impact au m³ de Sol traité à l'impact au m² de Sol traité (figure 5). C'est cette valeur qui sera considérée pour comparer l'impact de la technique de Traitement des sols à celui des Emprunts granulaires, dans le cas de l'utilisation en couche de forme.

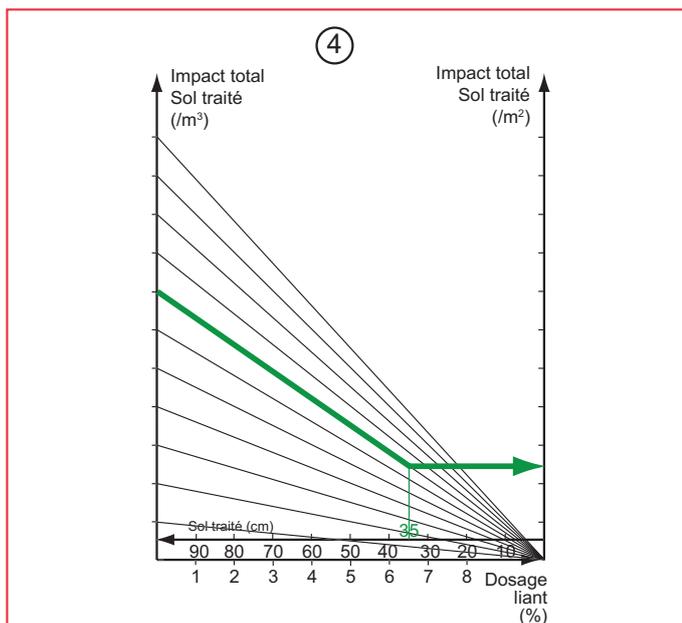


Figure 5 : zone Sol traité - Quadrant impact total (/m³ et /m²)

ETUDE DE LA ZONE 2 EMPRUNTS GRANULAIRES

Cette zone se décompose en 4 quadrants numérotés 5, 6, 7 et 8, dont voici les caractéristiques essentielles de chacun.

Quadrant 5

Il mesure l'impact du transport des matériaux qui sont :
 - les Emprunts granulaires, de la carrière au chantier,
 - les sols excédentaires (dont le volume est supposé, dans ce document, équivalent à celui des Emprunts granulaires), du chantier à la décharge.

Les droites de ce Quadrant passent par l'origine et représentent les impacts économiques ou environnementaux (Energie ou CO₂) de différents modes de transports utilisés. Pour un projet donné, connaissant la distance carrière-chantier ainsi que la distance chantier-décharge, on définit une distance de transport équivalente, somme des distances carrière-chantier et chantier-décharge. Cette distance équivalente déterminée, connaissant l'impact transport d'un m³ de matériaux (sols excédentaires + granulats), comme l'indique la figure 6.

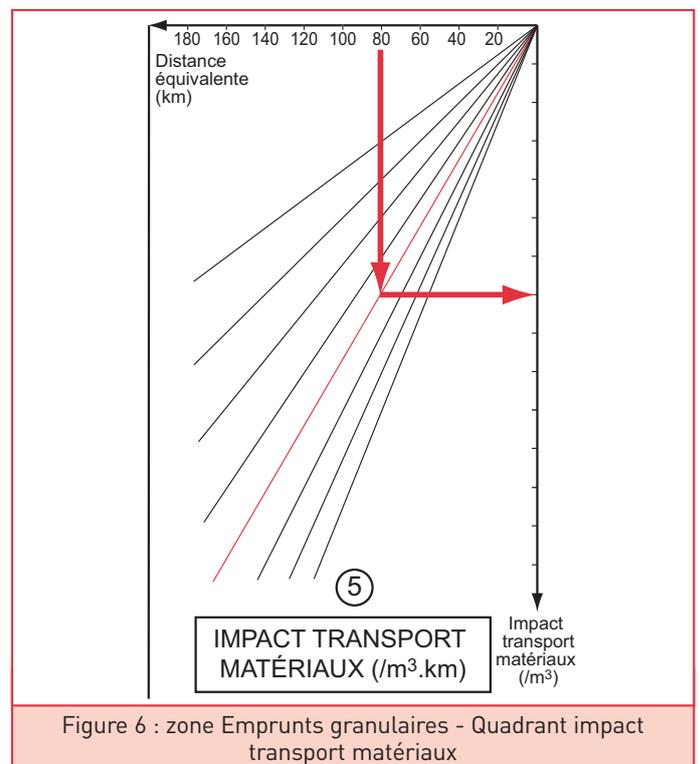
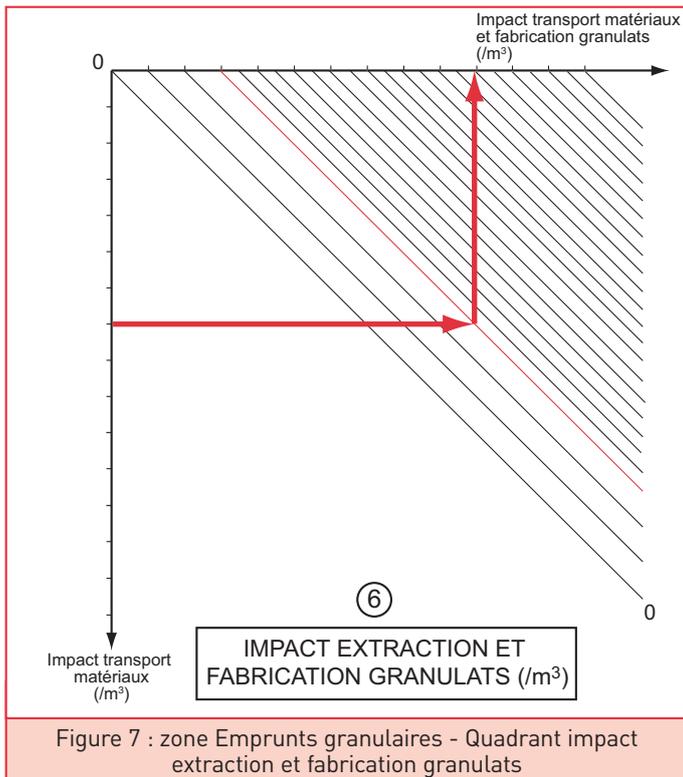


Figure 6 : zone Emprunts granulaires - Quadrant impact transport matériaux

Quadrant 6

Il mesure l'impact de l'extraction et de la fabrication d'un m³ de granulats. Dans ce Quadrant figurent plusieurs droites parallèles, correspondant aux impacts de différentes natures



d'Emprunts granulaires (granulats roulés, granulats concassés, roches dures, roches tendres...).

Ces droites ont été tracées afin d'intégrer le cumul des impacts des Quadrants 5 et 6 : elles sont donc inclinées à 45° et possèdent des ordonnées à l'origine équivalentes aux valeurs des impacts qu'elles représentent (figure 7).

L'impact transport ayant été déterminé au Quadrant 5 et connaissant localement, dans le cadre de ce projet, les impacts d'extraction et de fabrication, le Quadrant 6 permet d'évaluer, de façon cumulée :

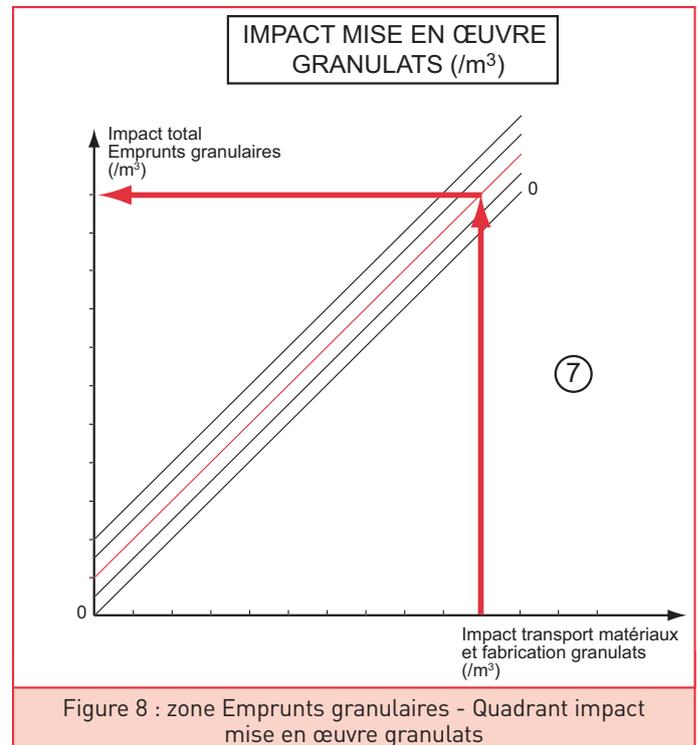
- l'impact de mise en décharge d'un m³ de sols excédentaires,
- l'impact d'extraction, de fabrication et de transport d'un m³ de granulats.

Quadrant 7

Il mesure l'impact de la mise en œuvre des Emprunts granulaires. Dans ce Quadrant figurent des droites parallèles qui correspondent à différentes hypothèses, relatives aux impacts de l'atelier de mise en œuvre (niveleuse, arroseuse, compacteur). Ces droites ont été tracées afin d'intégrer le cumul des impacts des Quadrants 5, 6 et 7 : elles sont donc inclinées à 45° et possèdent des ordonnées à l'origine équivalentes aux valeurs des impacts qu'elles représentent (figure 8).

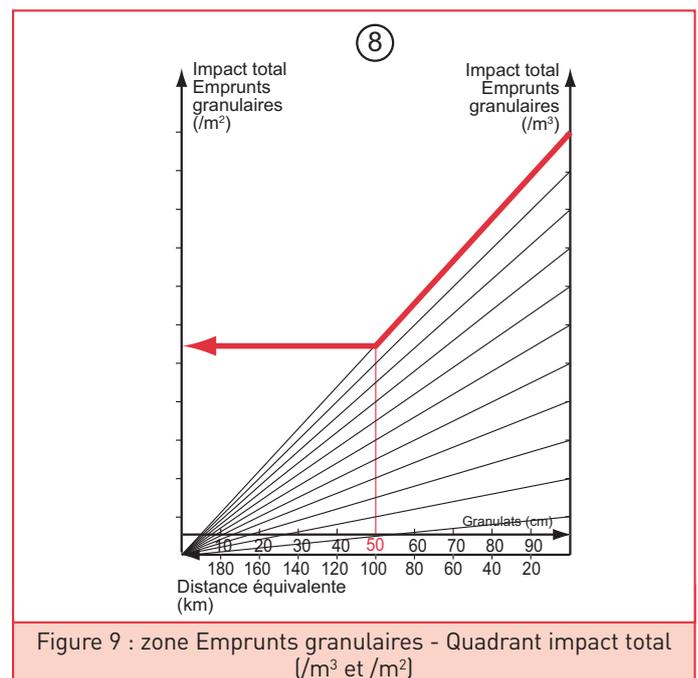
L'impact extraction, fabrication et transport ayant été déterminé au Quadrant 6, et connaissant localement, dans le cadre de ce projet, l'impact de la mise en œuvre, le Quadrant 7 permet d'évaluer, de façon cumulée, l'impact total de mise en décharge d'un m³ de sols excédentaires et d'extraction, fabrication, transport et mise en œuvre d'un m³ de granulats. C'est cette valeur qui sera considérée pour comparer l'impact

de la technique d'Emprunts granulaires à celui du Traitement des sols, dans le cas de l'utilisation en remblais.



Quadrant 8

Il permet de passer, moyennant une construction géométrique simple (théorème de Thalès), de l'impact au m³ de couche granulaire à l'impact au m² de couche granulaire (figure 9). C'est cette valeur qui sera considérée pour comparer l'impact de la technique d'Emprunts granulaires à celui du Traitement des sols, dans le cas de l'utilisation en couche de forme.



APPLICATION AUX REMBLAIS ET COUCHES DE FORME

L'application de la méthode sur les 4 Quadrants de la Zone 1 et sur ceux de la Zone 2 permet d'effectuer une comparaison entre les impacts de la technique de Traitement des sols et ceux de la technique des Emprunts granulaires.

Pour le cas de l'utilisation en **remblais**, la comparaison s'effectue au **m³** de matériau (figure 10).

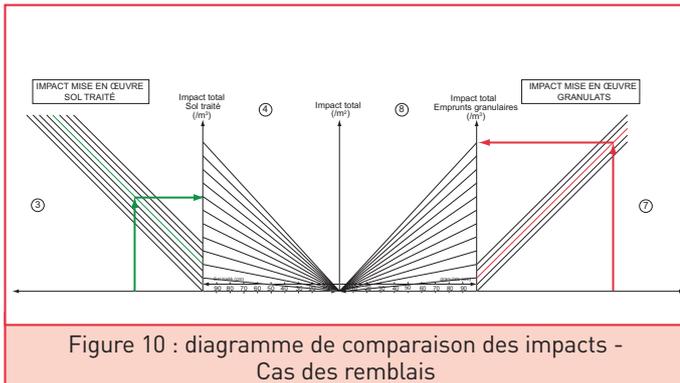


Figure 10 : diagramme de comparaison des impacts - Cas des remblais

Pour le cas de l'utilisation en **couche de forme**, la comparaison s'effectue au **m²** de matériau (figure 11).

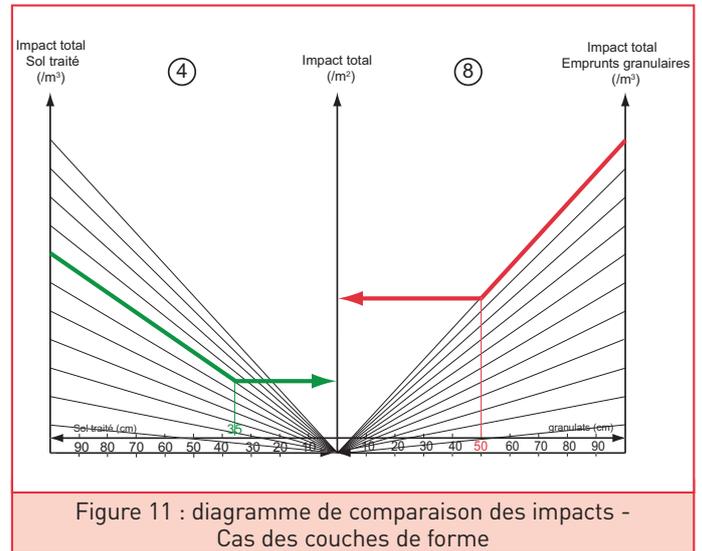


Figure 11 : diagramme de comparaison des impacts - Cas des couches de forme

COMPARAISON ÉCONOMIQUE

L'application de la méthode sur les 4 Quadrants de la Zone 1 et sur ceux de la Zone 2 permet d'effectuer une comparaison entre les coûts de la technique de Traitement des sols et ceux de la technique des Emprunts granulaires telle qu'illustrée sur le diagramme de la figure 12.

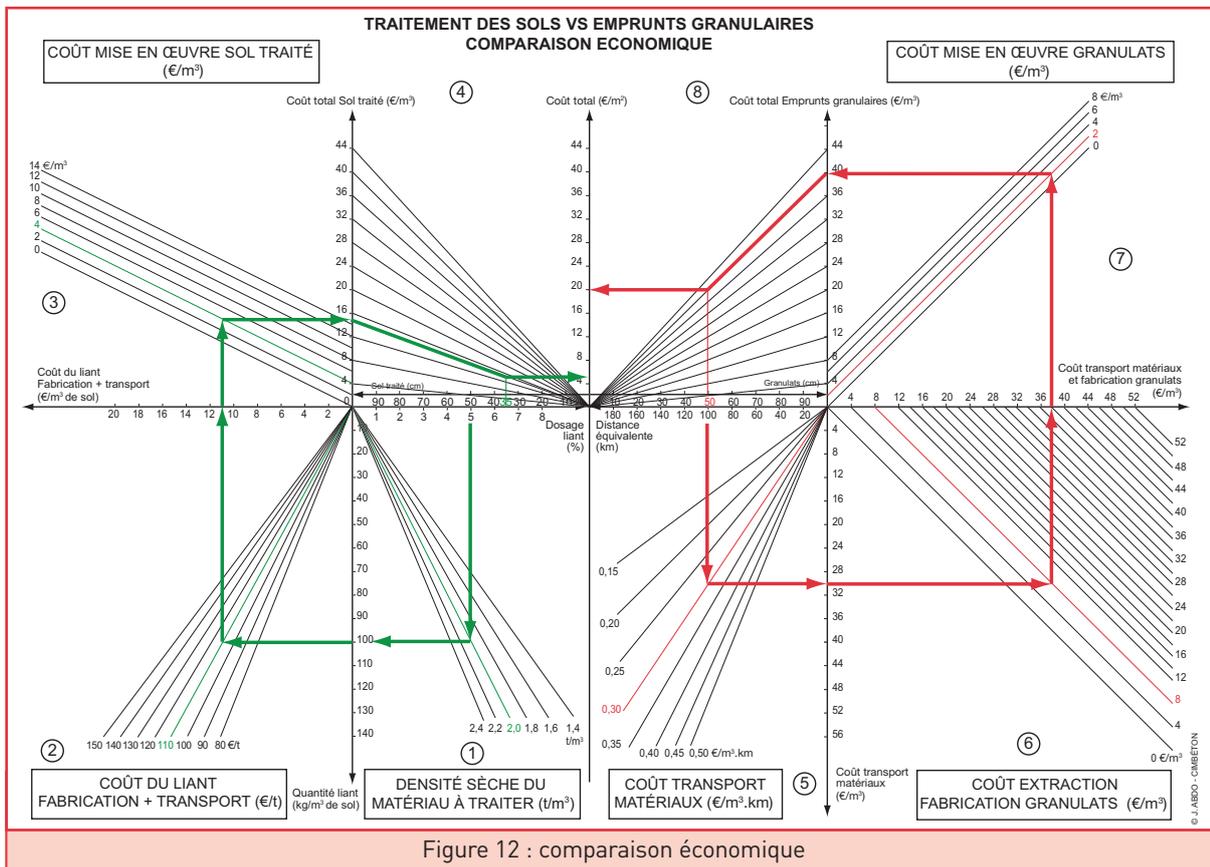


Figure 12 : comparaison économique

© J. JARRO - CIMBÉTON

COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE - INDICATEUR ENERGIE

L'application de la méthode sur les 4 Quadrants de la Zone 1 et sur ceux de la Zone 2 permet d'effectuer une comparaison entre les énergies de la technique de Traitement des sols et celles de la technique des Emprunts granulaires telle qu'illustrée sur le diagramme de la figure 13.

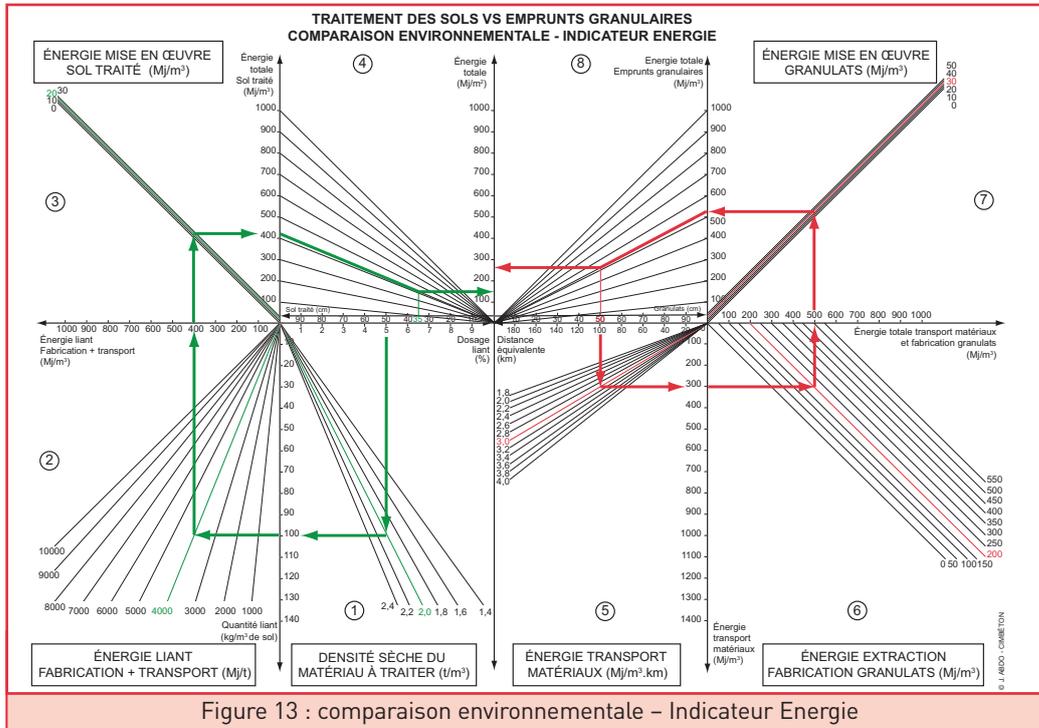


Figure 13 : comparaison environnementale - Indicateur Energie

COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE - INDICATEUR CO₂

L'application de la méthode sur les 4 Quadrants de la Zone 1 et sur ceux de la Zone 2 permet d'effectuer une comparaison entre les impacts CO₂ de la technique de Traitement des sols et ceux de la technique des Emprunts granulaires telle qu'illustrée sur le diagramme de la figure 14.

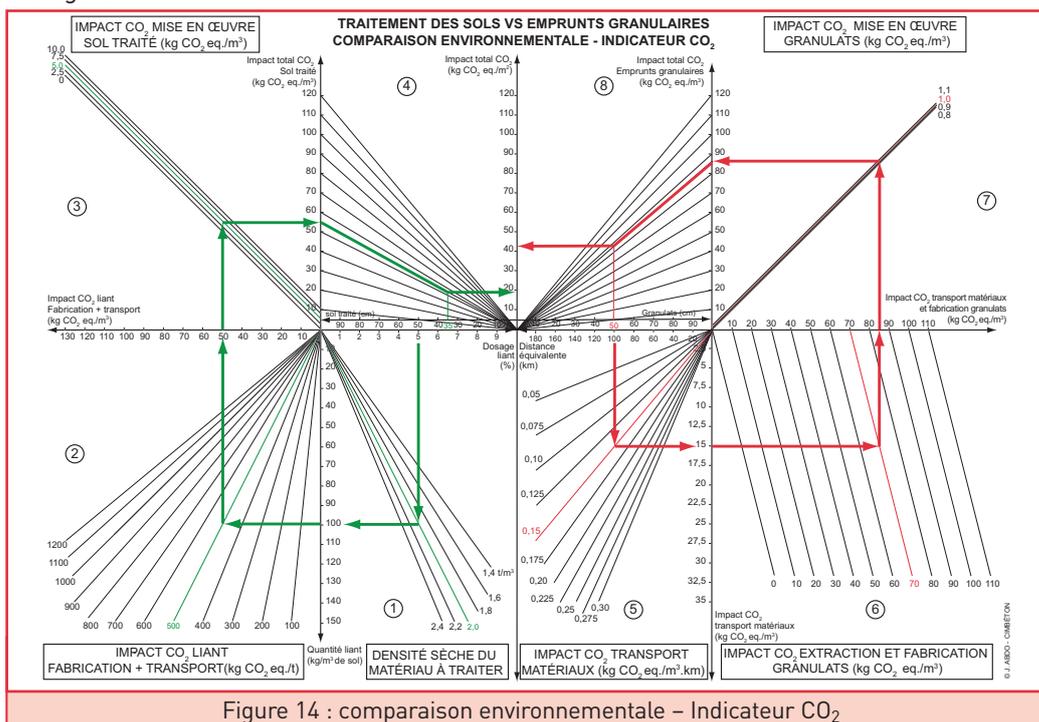


Figure 14 : comparaison environnementale - Indicateur CO₂

CONCLUSION GÉNÉRALE

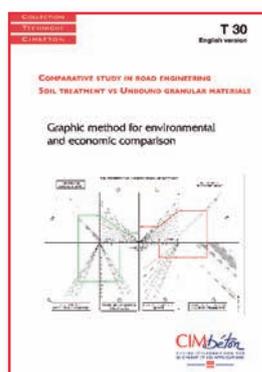
Cette étude a pour objectif de proposer une méthode visuelle simple, permettant à l'utilisateur de prendre des décisions pertinentes et rapides, quant aux choix des techniques de construction, dans le domaine des terrassements routiers. Elle traite les trois impacts ou indicateurs qui sont aujourd'hui considérés comme étant les plus importants : l'économie, l'énergie et le CO₂. Pour compléter cette étude, d'autres impacts ou indicateurs pourront, dans l'avenir, être étudiés : l'eau, les ressources naturelles, les déchets, l'acidification, l'eutrophisation, l'éco-toxicité, la toxicité humaine...

POUR EN SAVOIR PLUS

Cimbéton a publié deux documents sur la méthode graphique de comparaison économique et environnementale.



Étude comparative en technique routière
Traitement des sols VS Emprunts granulaires
Méthode graphique de comparaison économique et environnementale
Référence : T30



Comparative study in road engineering
Soil treatment VS unbound granular materials
Graphic method for environmental and economic comparison
Référence : T 30 - English version

Ces documents sont disponibles gratuitement auprès de Cimbéton par téléchargement sur le site www.infociments.fr





Le Grand-Quevilly (Seine-Maritime) : dans la roseraie, les cheminements en béton désactivé et le canal en béton projeté délimitent des espaces en forme de pétales de roses.

Grand-Quevilly : une roseraie contemporaine habillée de **béton désactivé** et de **béton brossé à bords lissés**

Aucune ligne droite, mais uniquement des courbes inspirées par celles des pétales de rose : c'est l'idée qui a guidé la conception de la roseraie du Grand-Quevilly. Du béton désactivé et brossé à bords lissés y habillent respectivement cheminements et placettes.

Près de la mairie du Grand-Quevilly, il existait de longue date un parc municipal dont la grande pelouse centrale servait aussi bien de terrain de jeux que d'espace pour des manifestations festives.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage : Mairie de Grand-Quevilly

Maîtrise d'œuvre : Agence pasoDoble (architecte-paysagiste mandataire) et ATPI (bureau d'étude technique VRD et hydraulique)

Entreprises : Minéral Service (mandataire) et Eurovia

Fournisseurs du béton : Lafarge Bétons et Unibéton

Fournisseurs du ciment : Lafarge Ciments et Ciments Calcia

"L'idée était de valoriser davantage ce parc, en le transformant en une roseraie, plutôt à l'anglaise, avec une pièce d'eau et quelques kiosques, tout en préservant les arbres déjà adultes qui l'entouraient" explique Mélina Wedlarski à la Direction des services techniques de la mairie du Grand-Quevilly.

≡ Réinventer totalement le concept de roseraie

À l'issue de l'appel d'offres, c'est l'équipe d'Ursula Kurz, architecte-paysagiste de l'agence PasoDoble qui a été retenue, notamment pour sa forte implication dans le projet. *"Il fallait, dans un premier temps, s'interroger sur ce que peut être une roseraie au XXI^e siècle et comment se positionner par rapport aux anciennes roseraies, très structurées autour d'une profusion de*



L'une des 235 variétés de roses plantées sur le site.

■ Béton désactivé et béton brossé à bords lissés

Aucune allée n'est rectiligne, ce qui sous-entend un travail particulièrement soigné pour suivre, au plus près, les courbes dessinées par Ursula Kurz.

"Après les opérations de terrassement, d'installation des réseaux et de mise à la cote du fond de forme en tout venant compacté par Eurovia, nous avons installé l'ensemble des coffrages courbes, nécessaires à la réalisation des cheminements, larges de 2 mètres. Il s'agit de voliges métalliques de 3 à 3,50 m de long, épaisses de 1 à 1,5 cm, dont la souplesse permet de dessiner tout type de courbe" signale Olivier de Poulpique, président de l'entreprise Minéral Service, mandataire du chantier.

Appliqué sur une épaisseur de 12 cm, le béton des allées, destiné à être désactivé, est livré en camion-toupie par Lafarge Bétons.

Ce béton est dosé à 330 kg de ciment CEM III/A 52,5 L CP1 (Le Havre) et enrichi de fibres en polypropylène. À noter que ces allées sont bordées d'un petit canal en béton projeté, de teinte sombre, qui recueille les eaux de pluie. Au-dessus du bassin, une passerelle adopte aussi des courbes issues du dessin d'un pétale de rose. "Elle est construite à l'aide d'éléments préfabriqués en béton de 10 cm d'épaisseur, posés sur des poteaux en béton prêt à l'emploi. Le coulage d'une



Gros plan sur le béton désactivé des allées, dosé à 330 kg de ciment et enrichi de fibres en polypropylène.

© Minéral Service



Sur les placettes, les kiosques s'inspirent aussi des courbes d'un pétale de rose.

roses et de couleurs. Trop de roses tuent la rose, chacune perdant en effet son identité en étant noyée dans une masse colorée indifférenciée. La démarche inverse a donc été privilégiée, en réinventant le principe même de la roseraie" souligne Ursula Kurz.

Pour pouvoir dessiner cette roseraie contemporaine, Ursula Kurz a un peu laissé faire la nature tout en l'habillant de poésie : du haut du château d'eau (détruit depuis), elle a lancé une poignée de pétales de roses que le vent et la gravité se sont chargés de disperser.

"Les premiers à toucher terre étaient logiquement les plus grands. Ils ont tracé les allées structurantes et ont relié les

entrées opposées par leurs contours très tendus. Se sont ensuite posés deux pétales, de couleur blanc bleuté, se métamorphosant le premier en rivière, le second en étang. D'autres pétales ont dessiné les allées, les placettes, les aires de jeux et de repos... Sans oublier les 35 pétales, disséminés sur le site, qui accueilleront les collections de roses. Au final, le parc était transformé : simple comme un pétale, complexe comme une rose" commente-t-elle.

Si l'on résume, c'est une sorte de principe fractal qui guide la conception de cette roseraie : tous les aménagements et équipements (treilles, kiosques...) s'inspirent des courbes d'un pétale de rose, à différentes échelles. La ligne droite y est totalement bannie.

Répartis sur les 5 hectares du site, les 35 pétales accueillent chacun une association végétale, composée de rosiers de tailles différentes et d'arbustes sélectionnés, pour que les floraisons, fructifications ou teintes des écorces restent dans une seule et même couleur, tout au long de l'année. Les pétales les plus proches du centre de la roseraie accueillent donc les rosiers blancs, puis leur couleur fonce au fur et à mesure qu'on s'éloigne : rose, orange-doré, rouge, pour finir sur la teinte pourpre pour les pétales de la périphérie. Les 235 variétés de roses choisies sont, pour la plupart, des variétés anciennes, au dessin plus complexe et aux parfums plus forts.



Les placettes, en forme de pétale, sont en sol stabilisé au ciment.

© Minéral Service



© Minéral Service

Les bords du béton brossé, lissés de part et d'autre du joint, donnent l'impression d'être face à un vrai dallage rapporté. Ils sont réalisés à l'aide d'une petite raclette munie d'un quart de rond sur l'un des côtés pour bien suivre le joint.

couche de finition de 10 cm en béton désactivé permet d'obtenir une passerelle fine à l'œil, avec une parfaite continuité de l'allée. Cela donne ainsi l'impression de passer naturellement au-dessus de l'eau, comme sans effort" explique Olivier de Poulpiquet.

Pour marquer les zones particulières, comme les placettes, les kiosques ou l'entrée, un autre aspect du béton est choisi avec une finition brossée.

"Initialement, un béton bouchardé avait été envisagé pour ces zones. Mais le béton brossé, plus simple à réaliser, offre un rendu final très proche, beaucoup plus fin qu'avec une finition balayée. De plus, les bords lissés au niveau des joints élargis donnent l'illusion de dalles rapportées" commente Olivier de Poulpiquet.

Pour diversifier les approvisionnements, ce béton est produit par Unibéton qui emploie un ciment CEM I 52,5 Calcia (Gaurain) à raison de 330 kg/m³, complété de fibres polypropylène et de cendres volantes. Les deux bétons valorisent des granulats locaux (graviers de Seine), ce qui permet de minimiser le transport de matériaux, dans le respect d'une démarche HQE® et de développement durable. Leurs teintes ont été choisies pour s'accorder au mieux avec la végétation.

Signalons également que certaines petites placettes sont en sable stabilisé au ciment pour conserver leur aspect naturel.

Privilégier la qualité plutôt que la rapidité

Sur cette opération, la qualité de la réalisation l'a emporté sur la vitesse d'exécution. Pour la partie coulage des bétons, deux à trois toupies étaient livrées chaque jour, soit une moyenne d'environ 14 m³/jour.

"Obtenir un rendu identique du béton désactivé sur toute la roseraie n'était pas le plus difficile, car une attaque moyenne est assez facile à reproduire d'une équipe à l'autre, en soignant le lavage. En revanche, pour les parties en béton brossé, il fallait conserver la même équipe pour que le poids exercé sur le balai soit sensiblement le même et obtenir ainsi un aspect très régulier" confie Olivier de Poulpiquet.

Comme d'habitude, les joints de retrait sont sciés sur le tiers de l'épaisseur du béton. Pour la partie brossée, au lieu de l'habituel trait de scie de 5/10^e de cm, le choix d'une lame large de 1 à 1,5 cm permet de marquer davantage le joint. Le bord, lissé de part et d'autre du joint, donne l'impression d'être face à un vrai dallage rapporté.

"Ces bords lissés sont réalisés à l'aide d'une petite raclette munie d'un quart de rond sur l'un de ses côtés pour bien suivre le joint. Elle fait partie, tout comme la brosse utilisée sur ce chantier, des nouveaux outils que nous avons achetés récemment aux Etats-Unis pour structurer les bétons" détaille Olivier de Poulpiquet.

BÉTON POLYMÈRE AVEC GRAINS DE QUARTZ

Ce projet a été conçu sous l'angle du développement durable, en prévoyant notamment la récupération des eaux pluviales.

Après le passage par un bassin débordeur-déshuileur, des filtres et des plantes épuratrices, cette eau alimente le bassin de la roseraie. Un complément en eau de ville est prévu seulement en cas de forte sécheresse, un certain marnage étant toléré.

Parallèlement, l'eau est prélevée au fond du bassin et déversée depuis la partie haute de la roseraie pour couler par un ruisseau bordant les cheminements, afin de s'oxygéner avant de retourner dans le bassin.

Le fond de ce ruisseau est en béton coulé et moulé en place, sur 10 cm d'épaisseur, revêtu d'un béton polymère gris anthracite projeté au pistolet et contenant des grains de quartz.

Il faudra encore attendre deux à trois ans pour que tous les rosiers atteignent leur taille adulte et donnent alors la pleine mesure de cette réalisation.



© Minéral Service

Les allées ne sont pas rectilignes : elles suivent les courbes dessinées par l'architecte-paysagiste Ursula Kurz.



Reims (Marne) : pour les travaux de terrassement du contournement autoroutier sud de Reims, la sanef a opté pour le procédé du traitement des sols en place au liant hydraulique routier (LHR).

Contournement autoroutier sud de Reims : 14 km de terrassement traités au liant hydraulique routier

Devenu une nécessité, le contournement autoroutier sud de la ville est en cours de construction. Avec une volonté du maître d'ouvrage : réaliser le support de chaussée par traitement des sols au liant hydraulique routier (LHR). Une technique désormais bien connue et maîtrisée. Et qui s'inscrit parfaitement dans une démarche de développement durable.

Actuellement, l'autoroute A4 Paris-Strasbourg traverse la ville de Reims. Sur 8 km, entre Tinquieux à l'ouest et Cormontreuil à l'est, elle revêt les caractéristiques d'une autoroute urbaine (vitesse limitée à 110 km/h, succession d'entrées et de sorties). Cette section

cumule donc deux types de trafics : d'une part, les véhicules en transit sur l'A4 ou sur l'A26 (Calais-Lyon) et, d'autre part, les déplacements locaux. Le projet de contourner Reims par une autoroute A4bis avait été envisagé, avant même la mise en service de l'A4... en 1976. Aujourd'hui, il prend tout son sens dans le contexte de saturation de la traversée urbaine.

500 véhicules par jour à la mise en service : 22 000 VL et 4 500 PL. Longue de 14 km, elle comprend trois zones : une zone ouest de 5 km, comprise entre l'échangeur de Thillois et la RD6 (Les Mesneux-Bezannes) ; une zone centrale de 5,5 km, jumelée à la ligne à grande vitesse (LGV) Est-européenne entre la RD6 et la voie ferrée



Déchargement de matériaux pour la partie supérieure de terrassement.

Une mise en service prévue avant la fin mai 2011

La section autoroutière du contournement sud de Reims est en cours de construction par sanef, le maître d'ouvrage. Prévus en 2 x 2 voies et calibrés pour passer en 2 x 3 voies, elle doit être mise en service avant la fin mai 2011. Il est prévu un trafic de 26

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage : sanef

Maîtrise d'œuvre : Egis Route (mandataire) ; cotraitant pour les ouvrages d'art : Setec TPI

Entreprise de terrassement : Razel (groupe Fayat)

Fournisseur du liant hydraulique routier : Holcim Ciments (usine de Thionville-Ebange)

Reims-Epernay à hauteur de Trois-Puits ; une zone est de 3,5 km, comprise entre la voie ferrée Reims-Epernay et l'échangeur de Taissy (raccordement avec la traversée autoroutière existante). L'investissement, intégralement financé par **sanef**, se monte à 245 millions d'euros HT.

Compte tenu du contexte périurbain du chantier (au total, 10 communes sont concernées sur les 14 km) et du nombre important d'ouvrages d'art à réaliser, ceux-ci ont fait l'objet d'une première tranche en 2008. Ils ont été construits par Demathieu et Bard, certains ouvrages exceptionnels l'ayant été par Norpac (groupe Bouygues), notamment un pont-rail de 3 600 tonnes, ripé en 72 heures au-dessus de la ligne ferroviaire Reims-Epernay.

Une démarche de Développement durable

Pour les travaux de terrassement, **sanef** a opté pour le procédé du traitement des sols en place au liant hydraulique routier (LHR).

"Dans le Nord et l'Est de la France où la craie et le limon constituent l'essentiel de la composition des sols, cette technique est particulièrement adaptée et nous l'utilisons depuis longtemps", explique Dominique Demeilliers, directeur de la construction du **groupe sanef**. *"C'est donc tout naturellement que, pour réaliser les terrassements de cette nouvelle autoroute, nous nous sommes inscrits dans une démarche de développement durable, avec pour objectif d'équilibrer les mouvements de terre sans avoir recours à des matériaux extérieurs, tant pour la partie supérieure de terrassement (PST) que pour la couche de forme. Les termes de l'appel d'offres étaient donc clairs : les sols en place devaient servir aux terrassements et être traités au LHR, à la fois pour des raisons économiques et écologiques".*

4% de LHR pour la PST et 7% pour la couche de forme

Ayant déposé l'offre la mieux disante, l'entreprise de terrassement Razel (groupe Fayat) a obtenu ce lot pour un montant de 17 millions d'euros HT.

Outre la parfaite connaissance de son métier, l'entreprise a une très bonne expertise de la nature des sols de la région puisqu'elle a réalisé, il y a quelques années, le lot 22 du terrassement de la LGV Est-européenne qui longe la future autoroute sur 5,5 km. Après l'étude des sols, menée avec Holcim Ciments, il a été décidé de traiter la PST sur 35 cm d'épaisseur à raison de 4 % de LHR, associé à de la chaux lorsque le sol est limoneux. Pour la couche de forme, traitée également sur 35 cm, il a fallu doser à 7 % de LHR pour obtenir une classe de plateforme de portance PF3.



Traitement de la partie supérieure de terrassement à raison de 4 % de LHR.

Traitement de la couche de forme en mars 2010

Représentant plus de 2 millions de m³ de déblais (surtout de la craie), le chantier de terrassement a démarré fin avril 2009 et s'est terminé fin octobre 2009.

"Actuellement, la PST est totalement traitée", explique Thierry Loiseau, directeur de chantier chez Razel. *"Nous sommes en train de préparer la couche de forme en l'approvisionnant en matériau. Mais, en raison de l'hiver et de ses cycles gel/dégel, le traitement au LHR ne commencera que le 15 mars prochain. Il est prévu que les 9 premiers kilomètres soient terminés à la fin mai et le reste à la fin juin. La réalisation des couches d'assise et de roulement, qui font l'objet d'un autre lot, seront achevées fin octobre".*

Le LHR est fabriqué à l'usine Holcim de Thionville-Ebange (à une centaine de kilomètres du chantier). Pour la PST, 15000 tonnes de liant de deux types ont



Détail de la phase de malaxage.

été livrées : l'un pour les sols crayeux (ROC SC), l'autre pour les sols limoneux (ROC AS). Et pour la couche de forme, il est prévu de fournir 25000 tonnes. Au total, ce seront donc 40000 tonnes de LHR qui seront épandues pour ce traitement des sols.

Un travail en flux tendu

"Pour ce type de chantier, l'important est de faire en sorte que les citernes de 28 tonnes transportant le LHR arrivent en temps et en heure", précise Dominique Leroy, responsable de Marché Route pour la région Nord chez Holcim Ciments. *"Chaque jour, on définit les heures auxquelles les camions doivent arriver pour être vidés dans l'épandeur et repartir éventuellement pour une nouvelle rotation. On travaille en flux tendu. C'est seulement en cas de problèmes techniques ou d'intempéries inattendues que le LHR est stocké provisoirement dans des silos".*

Et Dominique Demeilliers de conclure : *"Pour réussir ce type de terrassement, il faut une très bonne expérience des trois grands acteurs : la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre et l'entreprise. C'est ici le cas. Le chantier se déroule conformément à ce que nous avions prévu. Et pour un maître d'ouvrage, c'est vraiment très, très agréable".*



Compactage des 35 cm de la partie supérieure de terrassement.



Remue-ménages

Voici, pour vous détendre... ou pour vous irriter, une énigme à résoudre. Réponse dans le prochain numéro de *Routes*.

Câble téléphonique

On suppose que le périmètre de la Terre à l'équateur est exactement de 40 000 km. Un câble téléphonique est installé sur l'équateur. De combien de kilomètres faut-il allonger ce câble pour le déployer autour de la Terre, toujours au niveau de l'équateur, mais en le maintenant à une distance constante à 1 mètre du sol ?



Solution du Remue-ménages de *Routes* N°109 : Vaches brouteuses

Rappel du problème posé : on suppose que l'herbe d'un pré pousse continuellement, partout avec la même vitesse et la même densité. On sait que 70 vaches consommeront la totalité de l'herbe en 24 jours et que 30 vaches la consommeront en 60 jours. Combien faut-il de vaches pour que l'herbe soit consommée en 96 jours ?

Solution : Soit "Y" le nombre de vaches pour que l'herbe soit consommée en 96 jours.

Soit "X₀" la réserve totale d'herbe sur le pré à l'instant 0.

Soit "X" la croissance journalière de l'herbe.

Soit "Q_{24x70}" la quantité d'herbe consommée par les 70 vaches en 24 jours.

Soit "Q_{60x30}" la quantité d'herbe consommée par les 30 vaches en 60 jours.

Soit "Q_{1x70}" la quantité d'herbe consommée par les 70 vaches en 1 jour.

Soit "Q_{1x30}" la quantité d'herbe consommée par les 30 vaches en 1 jour.

Soit "Q_v" la quantité d'herbe consommée par une vache en un jour.

Traduisons l'expression "70 vaches consommeront la totalité de l'herbe en 24 jours" en équation. On aura :

$$Q_{24x70} = X_0 + 24.X$$

$$Q_{1x70} = (X_0 + 24.X)/24$$

$$Q_v = (X_0 + 24.X)/(24 \times 70)$$

De la même façon, traduisons l'expression "30 vaches consommeront la totalité de l'herbe en 60 jours" en équation.

On aura :

$$Q_{60x30} = X_0 + 60.X$$

$$Q_{1x30} = (X_0 + 60.X)/60$$

$$Q_v = (X_0 + 60.X)/(60 \times 30)$$

$$D'où : (X_0 + 24.X)/(24 \times 70) = (X_0 + 60.X)/(60 \times 30)$$

$$X = X_0/480$$

Connaissant "X", il est facile de déterminer "Q_v" en fonction de X₀ par l'une des expressions ci-dessus. D'où :

$$Q_v = X_0/1600$$

Enfin, traduisons l'expression "le nombre de vaches "Y" pour que l'herbe soit consommée en 96 jours" en équation. On aura :

$$Q_{96xY} = X_0 + 96.X$$

$$Q_{1xY} = (X_0 + 96.X)/96$$

$$Q_v = (X_0 + 96.X)/(96 \times Y)$$

Connaissant "X" et "Q_v", on peut calculer "Y".

On obtient :

$$X_0/1600 = (X_0 + 96.X_0/480)/(96 \times Y)$$

D'où : Y = 20.

Donc 20 vaches consommeront la totalité de l'herbe en 96 jours.



Agenda

XIII^e Congrès International de la viabilité hivernale – 8/11 février 2010 à Québec

Thème proposé : la viabilité hivernale durable au service des usagers.

Pour en savoir plus : www.aipcrquebec2010.org

3^e Transport Research Arena – TRA 2010 – 7/10 juin 2010 à Bruxelles

Thème : Les stratégies de recherche et d'innovation sur le changement climatique et les ressources énergétiques.

Pour en savoir plus : www.traconference.eu

11^e Symposium International des Routes en Béton – 13/15 octobre 2010 à Séville (Espagne)

EUPAVE est l'organisateur officiel du 11th International Symposium on concrete Roads, avec pour co-organisateur IECA (Institut Espagnol du Ciment et de ses Applications) et AIPCR (Association Mondiale de la Route).

Pour en savoir plus : www.2010concreteroads.org

Journées techniques Cimbéton 2010

Nous vous informons que Cimbéton organise, au cours de l'année 2010, quatre journées techniques sur les thèmes du **Traitement des sols et du Retraitement des chaussées aux liants hydrauliques**. Elles se dérouleront à Orléans (18 mars), Montpellier (26 mai), Poitiers (6 octobre) et Roissy-Ville (8 décembre).

Invitations disponibles sur simple demande auprès de Cimbéton.

Vient de paraître

Terrassements et assises de chaussées

Traitement des sols aux liants hydrauliques

Ce document de 152 pages rassemble l'ensemble des connaissances acquises depuis une trentaine d'années.

Il présente tous les aspects techniques relatifs à la technique du traitement des sols, de la conception et du dimensionnement jusqu'à la mise en oeuvre et au contrôle, aussi bien dans les domaines des terrassements que dans ceux des assises de chaussées.

Référence : T70

Ce document est disponible gratuitement auprès de Cimbéton par téléchargement sur le site www.infociments.fr

