

# Routes

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



## DOCUMENTATION TECHNIQUE

Le traitement des sols  
à la chaux et/ou  
aux liants hydrauliques

## CHANTIER

Saint-Fraimbault  
(Mayenne) : aménagement  
de la RD 151

## LE POINT SUR

Gers : le béton au service  
de la création

## Sommaire

### 2 EDITORIAL

### 3-5 LE POINT SUR



Gers

Le béton au service de la création

### 6 SCIENCES ET TECHNIQUES

Les matériaux autocompactants essorables de structure "MACES" pour l'élargissement des chaussées

### 7-14 DOCUMENTATION TECHNIQUE



Le traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques pour l'exécution des remblais et des couches de forme

### 15 REFERENCE



Rousies (Nord)

Chemin vert en béton coloré balayé

### 16-17 CHANTIER



Saint-Fraimbault (Mayenne)

Aménagement de la RD 151

### 18-19 CHANTIER



Pas-de-Leyraud (Dordogne)

L'avenir est incontestablement au traitement de sols

### 20 LE SAVIEZ-VOUS ?

En couverture : à Endoufielle (Gers), un aménagement étonnant, tant pour l'association des coloris, des textures et du calepinage que pour la qualité et le soin apporté à sa réalisation.

## Editorial

# À propos du second Symposium International TREMTI 2005 sur le "Traitement et Retraitement des Matériaux pour Travaux d'Infrastructures"

(24 - 26 octobre 2005 à Paris)

Le traitement des sols et le retraitement des chaussées sont des techniques efficaces en termes de performances mécaniques, économiques et environnementales. Elles sont largement utilisées pour la construction des infrastructures de transport. La chaux aérienne calique, le ciment et les liants hydrauliques routiers sont les liants les plus utilisés, sous forme de poudre ou de suspension.

Un premier Symposium intitulé "Subgrade Stabilization and In Situ Pavement recycling using Cement" a déjà eu lieu à Salamanque, en Espagne, du 1er au 4 octobre 2001. Le second Symposium intitulé : "Traitement et Retraitement des Matériaux pour Travaux d'Infrastructure" sera organisé en France, à Paris, du 24 au 26 octobre 2005, par Cimbéton et l'Association française des producteurs de chaux, sous le parrainage de l'Association Mondiale de la Route (AIPCR).

L'objectif général de ce second Symposium sera de mettre l'accent sur les progrès réalisés depuis Salamanque. Il donnera aussi la



parole au domaine en plein développement du recyclage par traitement des matériaux de démolition des infrastructures anciennes.

Le programme comprendra des sessions plénières traitant de sujets généraux et des sessions parallèles consacrées à des sujets plus spécifiques, tels que les études, les méthodes de mise en œuvre, la technologie...

Les propositions de communication (résu-

mées en moins de 200 mots, en anglais) devront être soumises au Comité Scientifique avant le 15 octobre 2004.

Parallèlement, une exposition relative aux produits, techniques et matériels pour le traitement et le retraitement des matériaux pour les infrastructures de transport se tiendra durant toute la durée du symposium TREMTI 2005.

Rendez-vous donc à Paris, en octobre 2005.

**Pour obtenir plus d'information ou pour soumettre des résumés, consulter le site [www.tremti.org](http://www.tremti.org)**

**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](mailto:centrinfo@cimbeton.net)  
Site Internet : [www.infociments.fr](http://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 *Sciences et techniques* : Joseph Abdo - Reportages, rédaction et photos : Ludovic Casabiel, Romualda Holak, Jacques Mandorla, Gilles Nilzen - Documentation technique : Ludovic Casabiel - Réalisation : Ilot Trésor, 83 rue Chardon Lagache, 75016 Paris - Email : [mandorla@club-internet.fr](mailto:mandorla@club-internet.fr) - Conception maquette : Dorothee Picard - Dépôt légal : 3<sup>e</sup> trimestre 2004 - ISSN 1161 - 2053 1994



Place de la Halle à Mauvezin (Gers) : un espace en dalles béton, de surface équivalente à la place du Capitole à Toulouse !

# Le béton au service de la création dans le Gers

En tirant parti du large éventail du béton, au point même d'initier la création de nouveaux produits, la DDE du Gers fait preuve d'une étonnante créativité, dont bénéficient de nombreux aménagements urbains.

**N**os plus fidèles lecteurs l'auront sans doute remarqué : nous consacrons à nouveau, à sept ans d'intervalle, notre rubrique "Le point sur" au département du Gers (voir *Routes n° 60*, juin 1997). Et cela bien avant d'avoir terminé notre tour de France, même si en l'espace de 10 années, nous avons arpenté une bonne quarantaine de territoires, pour la plupart des départements, mais aussi quelques villes ou agglomérations. Pourquoi ce nouveau coup de projecteur ? D'une part, pour découvrir d'autres réalisations, comme l'aménagement des berges du Gers à Auch, réalisé à la fin 1999 à l'aide de dalles béton d'un mètre carré, avec une finition en granit jaune (produits Basaltine). D'autre part, notre objectif est de mettre en lumière une démarche

extraordinairement aboutie en matière de conception d'aménagements urbains.

Si l'on devait résumer l'approche défendue par l'initiateur de la grande majorité des projets du département, elle tiendrait en une formule : mettre au service du site tout le potentiel de solutions techniques existantes, afin de satisfaire aux exigences d'intégration à l'environnement et au respect du caractère architectural local. En accordant une même attention aux aspects purement fonctionnels qu'à la dimension esthétique.

## ■ Un patrimoine exceptionnel

Les raisons ? "*Le Gers est un département enclavé, qui a conservé son identité architecturale*", explique Alain Cheymol, chargé



L'accès à la mairie de Miramont en pavés béton, abrité par une tonnelle.

d'études au sein du Bureau d'Etudes des Collectivités Locales de la DDE, spécialisé en aménagement d'espaces publics et d'espaces verts. *On peut encore nettement distinguer, en de nombreux endroits, les trois types d'habitats du Moyen Âge que sont le castelnau, la sauveté et la bastide. D'autre part, l'absence de voies ferrées et d'autoroutes a permis de sauvegarder l'intégrité des parcellaires : pour les historiens de l'urbanisme, le Gers constitue un conservatoire. Aussi convenait-il non seulement de ne pas dénaturer ce patrimoine, mais aussi de le mettre en valeur*".

Depuis une vingtaine d'années, les élus locaux ont pris conscience de l'extraordinaire richesse du premier département rural de France. Après avoir été confrontés à l'exode de la population paysanne, ils assistent depuis dix ans à un revirement, avec la redécouverte de la nature par les urbains. *"L'engouement pour le Gers, dont témoigne le nombre important de résidences secondaires qui s'y implantent, doit énormément au succès du film « Le bonheur est dans le pré », qui a constitué un formidable vecteur publicitaire*" souligne le chargé d'études.



À Labéjan, deux bétons désactivés sont associés à des pavés béton marquant les limites de propriété, afin de différencier la chaussée des trottoirs.

## ■ Des promoteurs à l'affût

Avec les retombées économiques de la construction de l'A380, des villes comme l'Isle-Jourdain ou un village comme Endoufielle, situés sur l'itinéraire à grand gabarit de convoyage des pièces du gros porteur fleuron d'Airbus, attirent en masse les promoteurs. De nombreux cadres toulousains choisissent de construire leur résidence principale dans le Gers, leur lieu de travail n'étant qu'à trois quarts d'heure de route. *"Nous avons affaire à une population attentive à la sauvegarde du patrimoine architectural et paysager"* ajoute le chargé d'études.

Conséquence : sur les 400 communes que compte le département, près de la moitié ont déjà réaménagé leur centre-bourg, ou redessiné les abords d'un édifice, fut-il ou non inscrit à l'inventaire des monuments historiques (Marsolan, Gimont, Mirande, l'Isle-Jourdain, Castelnavet, Miélan...). *"Systématiquement, les projets s'accompagnent d'un enfouissement des réseaux, poursuit le chargé d'études. Et souvent, ces projets sont motivés par un problème de sécurité : l'objectif étant de limiter la vitesse des automobiles et des poids lourds qui traversent les agglomérations"*.

## ■ Marquer le centre des villages

Un exemple représentatif de cette démarche est celui de la commune d'Endoufielle, présenté en couverture. *"Assez souvent, nous intervenons pour structurer l'espace urbain, en matérialisant le centre-ville par la création d'une place afin de marquer le cœur de historique"* explique le chargé d'études. Dans ce village, l'intervention a permis d'organiser le stationnement, auparavant anarchique, et d'offrir un lieu pour les manifestations locales, notamment associatives (fêtes, brocantes...).

Mais quels matériaux employer ? *"Nous n'avons pas de centrales d'enrobage dans le Gers, ce qui renchérit le coût des revêtements hydrocarbonés, souligne Alain Cheymol. Qui plus est, nous bénéficions, du fait des immigrations italiennes et espagnoles, d'une main d'oeuvre locale de maçons chevronnés : les techniques à base de béton se sont donc imposées d'elles mêmes"*. Une situation rêvée pour un amoureux du travail bien fait, pensé et défini dans les moindres détails. Et dont la

culture architecturale lui permet de s'affranchir de l'intervention d'un concepteur extérieur.

## ■ Des projets très étudiés

Côté entreprises, l'avis est unanime. *"Réaliser un chantier où les moindres aspects ont été vérifiés facilite grandement la tâche"* estime Gérard Saporte, chef d'agence de l'entreprise Rougé Séguéla, qui a réalisé de nombreux aménagements, tels celui de Labejean (association de deux bétons désactivés différents) ou Miramont. On pourrait également citer Blaziert, où la souplesse d'application du béton désactivé a permis de s'adapter aux nombreuses réservations entre la chaussée et les façades – qui tiennent lieu de jardinières – et offert à ce village la possibilité de tenir son rang : Blaziert s'est, en effet, vu décerner la distinction "Quatre fleurs" par le Comité National pour le Fleurissement de la France.

Autre témoignage d'entrepreneur, celui de Marc Aressy, gérant de la PME du même nom, qui a réalisé une spectaculaire opération de 2 000 m<sup>2</sup> à Endoufielle. *"Nous n'avons fait qu'exécuter"* assure modestement le gérant. Pour ce projet, qui a pris forme en 2003, au terme de quatre années d'études et de recueil des financements, le maître d'ouvrage, sur proposition du BECL de la DDE, a opté pour une association de pavés et dalles en béton de couleur blanche, évoquant à s'y méprendre la pierre naturelle, et un pavé en béton à la couleur des briques des constructions environnantes, obtenu grâce à la combinaison de deux pigments rouge et noirs se mêlant de façon aléatoire (voir encadré).



Rue Daury à Eauze, le béton désactivé vert sombre pour la chaussée tranche avec des bordures en granit rose et des dalles en béton lavé ocre.



À Viozan, une "grecque" à base de pavés en béton désactivé et des dalles en béton réinterprètent sur un mode contemporain la "calade" située à l'entrée de l'église.

## ■ Des solutions originales

"Le choix des matériaux est toujours dicté par le contexte" insiste Alain Cheymol. Jean-Pierre Moisset, chef des ventes pour la région Midi-Pyrénées chez Bonna-Sabla à Portet-sur-Garonne, au sud de Toulouse, garde la nostalgie de la collaboration avec la DDE, l'entreprise ayant, depuis quelques années, cédé son activité de produits de revêtements de voirie qualitatifs : "Nous avons besoin de commanditaires qui rompent la monotonie des aménagements, qui nous obligent à réfléchir, à innover, à nous remettre en question" explique-t-il. Exemple de cette collaboration fructueuse : la réalisation de bordures en béton avec une finition en gravillon lavé, identique à celle du béton désactivé coulé in situ.

Cette démarche a été mise en application à plusieurs reprises, à Saint Puy, pour le traitement des abords d'une halle de la période d'Eiffel, et aussi à Mauvezin, pour la place du château de Verdun. Mais on retiendra surtout, dans cette ville, le traitement de la place de la Halle, dont la surface est équivalente à la place du Capitole à Toulouse. Solution choisie : des dalles en béton de 40 cm par 40, associées à un calepinage de dalles en granit. "Nous avions demandé un béton offrant une micro-rugosité, aspect obtenu par un lavage des granulats suivi d'un léger polissage, détaille Alain Cheymol. C'était techniquement très pointu".

## ■ Des possibilités infinies de création

À Eauze, ville de 4 000 habitants, le maire Pierre Pédussaut rend hommage au potentiel esthétique du béton désactivé, mis à profit dans la rue Félix Soules : "On peut obtenir la couleur que l'on désire". Plus complexe est l'aménagement de la rue Daury, qui fait appel à un béton désactivé vert sombre pour la chaussée, associé à des dalles en béton lavé incorporant des éclats de marbre et des bordures en granit rose pyrénéen. Une opération que le maire qualifie de "fantaisie", rendue possible par une importante subvention à l'occasion d'une OPAH (Opération Programmée d'Amélioration de l'Habitat).

"Nous devons rendre hommage au travail de conseil et de maîtrise d'œuvre mené par la DDE" explique Henri Duprat, maire de Viozan, où un intéressant travail de mosaïque en pavés bétons (une "grecque") fait écho à une calade ancestrale qui pare l'entrée de l'église, terme occitan qui désigne un pavage à base de galets scellés et disposés sur champ. Une même reconnaissance anime Michèle Lannes, maire d'Endoufielle, soulagée et fière d'avoir conduit le projet à son terme, à cheval sur deux mandats : "Notre souci premier était de s'assurer que l'aménagement soit, bien sûr, esthétique et accueillant, mais aussi qu'il y ait une parfaite cohérence entre les places de parking, les escaliers, les passages pour piétons et les trottoirs. Il faut noter qu'au départ les habitants ne

## ■ UN PAVÉ BÉTON "TERRE CUITE"

Créés pour le chantier d'Endoufielle, les Pavés d'Antin flammés colorés (rouge de Guitalens) ont été également employés, sur 2 000 m<sup>2</sup> environ, à Polastron pour structurer une traversée d'agglomération et réduire la vitesse des véhicules à hauteur d'une école. Pour Julien Héau, directeur commercial de Jonchère, préfabricant spécialisé dans la pierre reconstituée dédiée à l'aménagement urbain, ce produit est une réplique de la brique terre cuite, mais dotée d'une résistance bien supérieure, propre au béton.

"En deux années, la production est passée de 0 à 4 000 m<sup>2</sup>, soit la moitié de notre production en produits colorés. Nous avons l'intention d'aller au delà, en intervenant lors de la prescription, en faisant valoir notre expertise en matière d'études chromatiques". Ce procédé permet d'identifier les dominantes d'un village, teintes qui seront ensuite restituées à la fabrication.

"Notre objectif est d'adapter la préfabrication aux exigences du sur-mesure, qui sont très développées dans le Gers" précise le responsable.



voyaient pas l'intérêt d'une grande place. Maintenant, ils ont ravalé leurs façades, repeint leurs grilles en fer forgé et font des efforts pour mettre des fleurs !".

Emulation ou appropriation ? Toujours est-il que cet exemple met en lumière les vertus des aménagements de qualité. "De nouveaux résidents qui étaient venus déposer leur permis de construire avant les travaux, et qui sont revenus par la suite, n'ont pas reconnu le village, se réjouit Michèle Lannes. Certains invitent même leurs amis à venir visiter les lieux". ●

## Les matériaux autocompactants essorables de structure "MACES" pour l'élargissement des chaussées

Cet article donne un aperçu d'une technique routière récente à base de matériaux hydrauliques, développée au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), en partenariat avec l'industrie du ciment et de la construction routière. Il s'agit d'utiliser, pour l'élargissement des routes, un matériau autocompactant essorable de structure "MACES", sorte de matériau hydraulique fluide, mais très maigre, qui présente à l'état durci des propriétés mécaniques comparables à celles des graves traitées aux liants hydrauliques.

**N**ous assistons, depuis quelques années, à l'apparition et au développement de matériaux fluides dans tous les domaines de la construction : bétons autoplaçants pour les ouvrages d'art et pour le bâtiment, matériaux autocompactants et réexcavables pour le remblayage des tranchées. Ces bétons et ces matériaux présentent une caractéristique commune : ils se compactent sous le seul effet de la gravité, ce qui facilite leur mise en œuvre en la rendant moins dépendante de l'environnement du chantier (qualification de la main-d'œuvre, accessibilité du site...).

### ■ Les études

Dans ce contexte, le LCPC – conscient de l'intérêt que procure ces matériaux – a lancé en 1999 une recherche en partenariat avec le Centre Technique Groupe "CTG" (Italcementi), visant à mettre au point un matériau autocompactant générique, baptisé MACES, comparable aux graves traitées aux liants hydrauliques, du point de vue des propriétés mécaniques à l'état durci et de l'usage. Les études de laboratoire ont permis de mettre au point une méthodologie de fabrication d'éprouvettes pour caractériser le matériau et étudier l'influence de la formulation sur ses propriétés. Elles ont montré la faisabilité d'un tel matériau avec un dosage d'environ 140 kg de ciment par mètre cube, pour une résistance au fendage à 28 jours supérieure à 1 MPa.

### ■ L'intérêt des MACES dans l'élargissement des chaussées routières

Une première application industrielle de ce matériau concerne les chantiers d'élargissement de chaussées des routes à faible trafic. La technique classique consiste à décaisser le bord de la chaussée de la largeur voulue et à combler la fouille ainsi constituée avec un matériau qui sera compacté, avant de réaliser la couche de roulement.

Ces fouilles sont généralement étroites et réalisées dans des accotements instables, ce qui rend le compactage difficile à réaliser, conduisant rapidement à un affaissement de ces élargissements.

L'absence de compactage pour la mise en œuvre des MACES, ainsi que leurs caractéristiques mécaniques élevées (résistance mécanique, rigidité), présentent donc, dans ce cas précis, un réel intérêt technique.

### ■ Les applications

Une expérimentation d'élargissement en MACES, sur une longueur totale de 260 mètres, a été réalisée en 2003 (RD 952 et RD 27 en Meurthe-et-Moselle), dans le cadre d'une convention de recherche entre le LCPC, le CTG et l'entreprise EUROVIA. L'objectif de ce chantier était, outre l'identification d'éventuels problèmes industriels, de confirmer les performances du MACES in situ.

Les principales conclusions de cette expérimentation sont les suivantes :

- Le MACES est facile à mettre en œuvre au camion toupie, avec un nombre réduit d'ouvriers,
- Il présente une tolérance élevée vis-à-vis de la teneur en eau. En revanche, il n'est pas nécessaire de le fluidifier à outrance, car le balancement de la goulotte de la toupie et un léger ratissage de surface facilitent sa répartition, alors qu'un excès d'eau conduit à un ressuage fort et à une légère baisse des performances mécaniques,
- Il peut être mis en œuvre en pente,
- Il est circulaire à pied, après environ deux heures. La circulation des véhicules peut être établie après 24 heures,
- Après un an, aucun signe de dégradation n'a été relevé.

Des chantiers de plus grande envergure ont été réalisés depuis avec succès. Le Conseil Général de la Vienne a mis en œuvre en régie environ 7 km d'élargissement en MACES, suivi par le Conseil Général de la Mayenne sur un chantier de 2,5 km. Ce dernier fait d'ailleurs l'objet d'un développement dans le présent numéro de Routes pages 16-17.

Pour tous ces chantiers, les matériaux MACES utilisés reprenaient la formule proposée par le LCPC et le CTG, mais appliquée à des matériaux locaux. Ceci laisse penser que l'on est en présence d'un matériau relativement "rustique", dont l'utilisation est facilement transposable et généralisable. Toutefois, il reste à mener, dans un futur proche, des réflexions pour établir une méthodologie de dimensionnement de ces poutres de rive en MACES, ceci afin de garantir une application rationnelle et maîtrisée du matériau. ●

Extrait de l'article "Innovations récentes et futures dans le domaine des matériaux hydrauliques pour la route", paru dans la revue RGRA N° 830 / Juillet - Août 2004. Auteurs : F. de LARRARD, Chef de la division Technologies du génie civil et environnement (LCPC) - T. SEDRAN, Chef de la section Elaboration des matériaux (LCPC) - V. MATHIAS, Doctorant (LCPC).

## Le traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques pour l'exécution des remblais et des couches de forme

Le traitement des sols en place à la chaux et/ou au ciment ou au liant hydraulique routier (LHR) est une technique éprouvée et parfaitement au point, qui a connu un très fort développement depuis une vingtaine d'années.



Ce développement est dû essentiellement à deux phénomènes :

- le premier phénomène est lié à des impératifs économiques associés à un souci écologique croissant. En effet, alors que les profils géométriques des projets routiers deviennent de plus en plus contraignants et demandent des mouvements de terre importants dans des sols parfois difficilement réutilisables, les gisements naturels de matériaux nobles, inégalement répartis, s'épuisent. Il convient donc d'épargner les ressources existantes, d'autant plus que le coût du transport est élevé. Ajouté à ces impératifs économiques, son succès actuel est dû également à l'apparition d'un nouveau

contexte prenant en compte l'amélioration du cadre de vie et la protection de l'environnement, notamment dans la limitation de la constitution de décharges de matériaux impropres à la réutilisation et la préservation des ressources naturelles utilisées par les techniques dites traditionnelles dans l'exécution des remblais et des couches de forme,

- le second phénomène repose sur les progrès technologiques réalisés ces dernières années par les matériels de traitement. Nous sommes loin actuellement des conditions matérielles de la première expérience réalisée en France en 1962 : les perfectionnements énormes apportés aux matériels d'épandage et de malaxage et l'augmentation du parc de matériel de

traitement ainsi que sa diversification (plus de 150 machines et plusieurs ateliers compacts de traitement des sols existent actuellement en France) ont permis d'améliorer sensiblement les rendements et la qualité du travail réalisé.

Aujourd'hui, la technique du traitement aux liants hydrauliques s'étend à un nombre de plus en plus élevé de sols : limons, argiles, marnes, matériaux sableux, sableux-graveleux et graveleux, craies, calcaires tendres...

Ainsi, c'est une technique alternative propre, économe en granulats d'apports et en énergie, permettant de valoriser les matériaux présents in situ, qui auraient été mis en décharge par une technique traditionnelle et qui présente les atouts nécessaires sur le plan technique, économique, écologique et environnemental. La technique du traitement des sols est considérée aujourd'hui comme une technique classique dans l'exécution des remblais et des couches de forme.

L'objet de cette documentation technique est de présenter une synthèse des connaissances et des règles de l'art, relatives à la technique du traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques pour l'exécution des remblais ou des couches de forme.

## LE TRAITEMENT DES SOLS

### ■ Définition et objet

Le traitement des sols avec un liant est une technique qui consiste à incorporer, au sein du sol, cet élément d'apport avec éventuellement de l'eau et de les mélanger plus ou moins intimement in situ, jusqu'à l'obtention d'un matériau homogène pour lui conférer des propriétés nouvelles. Il s'agit d'un traitement qui utilise les affinités chimiques du sol et du liant, par opposition au traitement mécanique, comme le compactage, qui peut se superposer au premier.

Le traitement des sols pour l'exécution des remblais et des couches de forme, a pour objet de rendre utilisable un sol qui ne présente pas les caractéristiques requises pour servir sans préparation, à supporter une assise de chaussée, de parking ou de plate-forme.

Il a deux raisons d'être :

- soit pour améliorer des sols trop humides, qu'il s'agisse du sol en place pour permettre la progression du chantier ou de sols à réutiliser en remblai ;
- soit pour réaliser des plates-formes rigides et stables aux intempéries pour la circulation de chantier et la mise en œuvre de la fondation.

L'optique du traitement est différente selon le cas :

- dans le premier cas, on cherche un effet rapide et de niveau suffisant pour rendre la circulation des engins et la mise en œuvre possibles, mais sans chercher à obtenir des performances mécaniques élevées par la suite ;
- dans le second cas, on recherche une résistance mécanique pour la plate-forme. Le choix des opérations est alors étudié pour obtenir un matériau relativement noble par rapport au matériau naturel.

### ■ Avantages de la technique

Le traitement des sols en place à la chaux et/ou au ciment ou au liant hydraulique routier (LHR) est une technique qui offre trois types d'avantages : techniques, économiques, écologiques et environnementaux.

#### ● Avantages techniques

Le traitement des sols en place à la chaux et/ou au liant hydraulique permet la réalisation en remblais et en couches de forme, d'une couche traitée homogène, durable et stable, présentant des caractéristiques mécaniques comparables à celles d'une grave-ciment ou grave hydraulique. En outre, cette technique assure une bonne répartition des charges sur le support, grâce à la rigidité de la nouvelle structure. Cette technique assure un bon comportement par temps chaud sans déformation, ni orniérage et un bon comportement vis-à-vis des cycles de gel-dégel, grâce à la rigidité du matériau et à l'effet de dalle induit. Enfin, le traitement des sols en place est une technique possédant une facilité d'adaptation aux contraintes d'exploitation.

#### ● Avantages économiques

Le traitement des sols en place à la chaux et/ou au liant hydraulique est une technique de traitement à froid, donc utilisant peu d'énergie. La réutilisation des matériaux en place est un facteur d'économie important puisqu'il réduit au minimum les déblais issus du décaissement, la mise en décharge, l'apport de granulats et le coût de leur transport. L'absence de transport de granulats ou des déblais en décharge contribue à la préservation du réseau routier situé au voisinage du chantier.

Enfin, le traitement des sols en place est une technique très économique, notamment du fait de la durée plus courte des travaux par rapport à une solution avec décaissement.

#### ● Avantages écologiques et environnementaux

Le travail à froid réduit sensiblement la pollution et le rejet de vapeurs nocives dans l'atmosphère. En outre, cette technique permet une importante économie d'énergie globale, par la réduction des matériaux à transporter, des matériaux à mettre en décharge et donc une diminution des impacts indirects, des gênes à l'usager et aux riverains et une réduction de la fatigue du réseau routier adjacent au chantier.

La réutilisation des matériaux en place limite l'exploitation des gisements de granulats (carrières, ballastières), ressources naturelles non renouvelables. Ce qui contribue à préserver l'environnement.

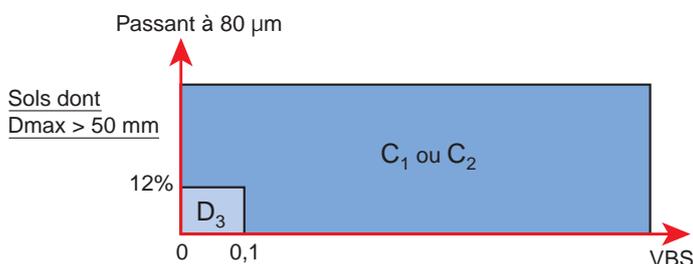
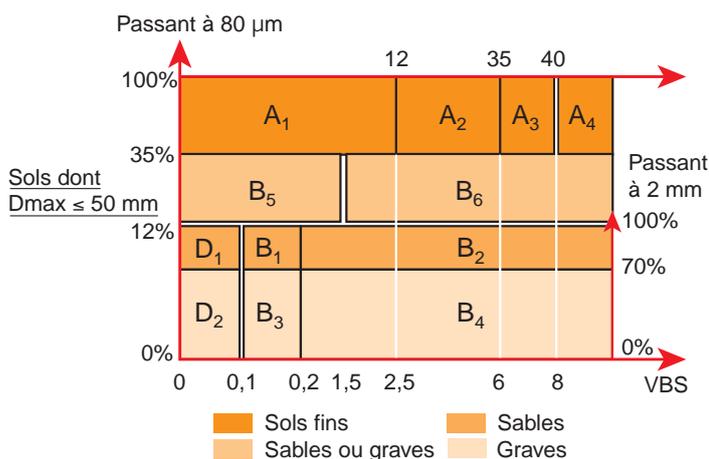
### ■ Les sols

Le couple sol-liant doit être en adéquation avec l'application (remblai ou couche de forme) et le niveau de performance recherchées. Ainsi une caractérisation du sol utilisé doit être effectuée (voir "Les études préalables"). La norme NF P 11-300 "Classification de matériaux utilisables dans la construction

des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières" permet de classer les sols (voir Tableau 1) en fonction d'un certain nombre de paramètres :

- Classe A - Sols fins
- Classe B - Sols sableux et graveleux avec fines
- Classe C - Sols comportant des fines et des gros éléments
- Classe D - Sols insensibles à l'eau.

Tableau 1 : Tableau synoptique de classification des matériaux selon leur nature, suivant la norme NF P 11-300 :



## Les liants et les différents types de traitements

Selon l'utilisation prévue (en couches de forme ou en remblais) ou en fonction du type de sol à stabiliser, il existe plusieurs types de traitements des sols qui ne diffèrent que par la nature du liant utilisé. En France, on utilise presque exclusivement les traitements suivants :

- le traitement à la chaux (selon les normes NF EN 459-1 et NF P 98-101) dans le cas de sols fins destinés à une utilisation en remblais ou en couches de forme ;
- le traitement au ciment (selon la norme NF EN 197-1) ou au liant hydraulique routier (LHR) (selon les normes NF P 15-108 et ENV 13 282 ou avis technique du Comité Français pour les Techniques Routières - CFTR) dans le cas de sols peu plastiques ou peu argileux destinés à une utilisation en remblais ou en couches de forme ;
- le traitement mixte à la chaux puis au ciment ou au liant hydraulique routier destiné à une utilisation en couches de forme.

## Action des liants sur les sols

### Action de la chaux sur les sols

Les sols fins, c'est-à-dire les sols qui contiennent des proportions notables d'argiles et de limons, ont des propriétés routières déplorables. Ils gonflent et deviennent plastiques en présence d'eau, se rétractent avec la sécheresse, foisonnent sous l'effet du gel. Ils n'ont donc aucune stabilité face aux variations climatiques. Ils peuvent ainsi se trouver, soit dès l'extraction, soit à la suite d'intempéries, à un degré de consistance tel que la circulation des engins devienne difficile, voire impossible, ce qui par voie de conséquence rend leur utilisation délicate.

Compte tenu de ses propriétés, la chaux modifie de façon sensible le comportement des sols fins argileux ou limoneux, grâce à trois actions distinctes :

#### • Une diminution de la teneur en eau

La teneur en eau d'un mélange sol-chaux se trouve abaissée en raison de :

- L'apport de matériaux secs ;
- La consommation de l'eau nécessaire à l'hydratation de la chaux (chaux vive) ;
- L'évaporation d'eau suite à la chaleur dégagée par la réaction d'hydratation et par l'aération provoquée par le malaxage.

En moyenne, la diminution de la teneur en eau d'un sol traité est de l'ordre de 1 à 2 % pour 1 % de chaux.

#### • Des modifications immédiates des propriétés géotechniques du sol

L'incorporation de chaux dans un sol argileux, développe une agglomération des fines particules argileuses en éléments plus grossiers et friables : c'est la floculation. L'incidence de ces réactions sur le mélange sol-chaux sont :

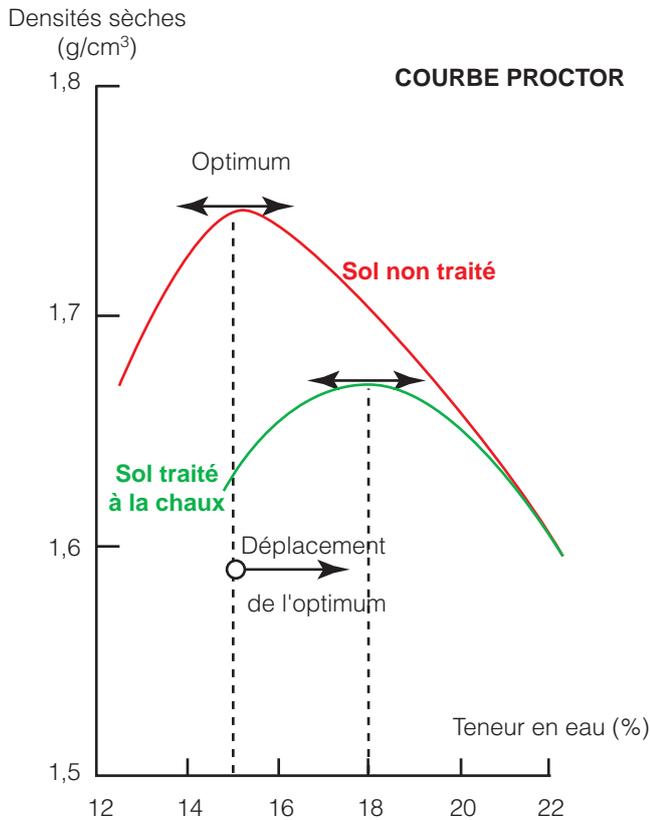
- Une diminution de l'indice de plasticité  $I_p$  ;
- Une augmentation de l'indice portant immédiat  $I_{PI}$  ;
- Un aplatissement de la courbe Proctor avec diminution de la densité de l'optimum Proctor et augmentation de la teneur en eau optimale (voir figure 1).

Un sol argileux humide passe ainsi de manière quasi-instantanée d'un état plastique à un état solide, friable, non collant et perd partiellement sa sensibilité à l'eau. Sa manipulation sur chantier devient aisée, son comportement à la mise en œuvre et sa portance sont améliorés. L'homogénéité qu'il acquiert le place dans des conditions idéales pour subir le traitement au ciment ou au liant hydraulique routier.

#### • Des modifications à long terme

La chaux, en tant que base forte, élève le pH du sol et provoque l'attaque des constituants du sol (silice et alumine). Il se forme alors des aluminates et des silicates de calcium hydratés (réaction pouzzolanique) qui, en cristallisant, agissent comme un liant entre les grains. Il est à noter que l'intensité et la vitesse de ces réactions à long terme dépendent d'un certain nombre de caractéristiques du sol : pH, teneur en matières organiques, quantité et la nature de la fraction argileuse, teneur en eau, dosage en chaux maximal (fonction de la quantité maximale de chaux "consommable" par l'argile présente dans le sol) et surtout température.

Figure 1 : Influence du traitement à la chaux sur les caractéristiques d'un sol



Action des liants sur les sols après malaxage.

## ● Action du ciment et des liants hydrauliques routiers (LHR) sur les sols

Le traitement des sols au ciment ou aux LHR permet d'améliorer les caractéristiques initiales des matériaux et s'appliquent à des sols fins prétraités à la chaux ou des sols peu ou pas plastiques, dont les teneurs naturelles en eau trop élevées ne permettent pas de réaliser des remblais ou des couches de forme dans de bonnes conditions et avec des garanties suffisantes de qualité. Il est surtout utilisé dans le but d'obtenir un développement rapide et durable des résistances mécaniques et des stabilités à l'eau et au gel.

Compte tenu de leurs propriétés, le ciment et les LHR modifient de façon sensible le comportement des sols peu ou pas plastiques, grâce à deux actions distinctes :

- Des modifications immédiates et à long terme des propriétés géotechniques et mécaniques du sol

Les réactions du ciment et du LHR avec un sol consistent essentiellement en une hydratation des silicates et aluminates de calcium anhydres, avec passage par la phase soluté suivie de la cristallisation des produits hydratés : c'est la prise hydraulique.

La croissance des microcristaux formés, leur enchevêtrement, leur feutrage progressif, enrobent et relient les grains du matériau entre eux, formant des ponts de plus en plus nombreux et solides. Ce qui conduit rapidement au durcissement du mélange, à l'obtention de caractéristiques mécaniques élevées et sa stabilité à l'eau et au gel.

- Une diminution de la teneur en eau

La teneur en eau d'un mélange sol-ciment ou sol-LHR se trouve abaissée en raison de :

- L'apport de matériaux secs ;
- La consommation de l'eau nécessaire à la prise hydraulique du ciment ou du LHR ;
- L'évaporation d'eau par l'aération du sol lors du malaxage.

En revanche, on ne note pas de modifications importantes de la courbe Proctor.



Aspect visuel d'un sol après traitement.

## ■ Domaines d'emploi selon le couple sol-liant

Dans le cas des sols fins, comme les limons et argiles, des graves et sables fortement argileux, humides, le traitement à la chaux est adapté pour l'utilisation en remblai ou pour l'amélioration de la portance de la partie supérieure des terrassements (PST), grâce essentiellement à ses effets immédiats (assèchement et floculation des éléments fins).

Pour l'utilisation en couche de forme, où les propriétés mécaniques élevées de la plate forme sont rapidement requises et recherchées, le traitement à la chaux de ces mêmes sols plastiques peut constituer un traitement en soi (dans certaines applications), mais est surtout utilisé comme traitement préliminaire à un traitement au ciment ou aux LHR de ces mêmes matériaux : on parle alors de traitement mixte.

Dans le cas de matériaux peu argileux, il n'est pas conseillé d'utiliser le traitement à la chaux pour réduire la teneur en eau, car l'amélioration obtenue n'est alors que temporaire et ne modifie en rien la nature du matériau.

Ainsi, pour l'utilisation en remblai ou en couche de forme, le traitement au ciment ou au LHR convient plus particulièrement aux sols peu plastiques ou peu argileux, comme les sables, certains matériaux graveleux ou sablo-graveleux, les limons calcaires peu plastiques, certains calcaires et certaines craies... Le traitement des sols au ciment ou au LHR convient pour une réutilisation en remblai plus importante de certains matériaux humides, comme les craies.

A titre indicatif, d'après le guide technique Sétro / LCPC sur la "réalisation des remblais et des couches de forme" (plus communément nommé GTR) et la norme NF P 11-300, les sols non argileux sont les sols de classes B<sub>1</sub> ; B<sub>2</sub> ; D<sub>1</sub> ; C<sub>1</sub>B<sub>1</sub> ; C<sub>1</sub>B<sub>2</sub> ; B<sub>3</sub> ; B<sub>4</sub> ; D<sub>2</sub> ; D<sub>3</sub> ; C<sub>1</sub>B<sub>3</sub> ; C<sub>1</sub>B<sub>4</sub> ; C<sub>2</sub>B<sub>3</sub> ; C<sub>2</sub>B<sub>4</sub> et éventuellement les sols de classes B<sub>5</sub> ; C<sub>1</sub>A<sub>1</sub> ; C<sub>1</sub>B<sub>5</sub> et C<sub>2</sub>B<sub>5</sub> si ces derniers sont très peu argileux (VBS < 0,5), et les sols argileux sont les sols de classes A<sub>2</sub> ; B<sub>6</sub> ; C<sub>1</sub>A<sub>2</sub> ; C<sub>1</sub>B<sub>6</sub> ; C<sub>2</sub>A<sub>2</sub> ; C<sub>2</sub>B<sub>6</sub> ; C<sub>2</sub>A<sub>1</sub> ; A<sub>3</sub> ; C<sub>1</sub>A<sub>3</sub> ; C<sub>2</sub>A<sub>3</sub> ; A<sub>1</sub> ; B<sub>5</sub> ; C<sub>1</sub>A<sub>1</sub> ; C<sub>1</sub>B<sub>5</sub> et C<sub>2</sub>B<sub>5</sub>.

## LES ÉTUDES PRÉALABLES

La diversité des sols susceptibles de subir un traitement, tant en ce qui concerne leur nature que leur état hydrique, ne permet pas de proposer une formulation générale.

La recherche de la meilleure adéquation (technique et économique) entre produits de traitements et matériaux à traiter pour une application donnée (remblai, PST, couche de forme) implique de procéder à des études préalables, qui comportent deux phases :

- une étude de reconnaissances géologiques et géotechniques, afin de reconnaître ces matériaux à partir des paramètres significatifs vis-à-vis des phénomènes intervenant dans la technique du traitement des sols, conformément au GTR et à la norme NF P 11-300 (voir "Les sols") ;
- une étude de formulation du couple sol-liants en laboratoire, fonction des performances recherchées pour la couche considérée.

## ■ Étude de reconnaissances géologiques et géotechniques

Cette étude a pour but de fournir, à partir de sondages de reconnaissance et d'essais en laboratoire, une description des terrains rencontrés avec principalement :

- leur regroupement en familles homogènes et représentatives, conformément à la norme NF P 11-300 "Classification de matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières" ;
- la localisation dans l'espace (profils en long et en travers), ainsi que les volumes disponibles.

La caractérisation des sols est déterminée selon :

- Des paramètres d'identification caractérisant la nature des sols :
  - la granularité (normes NF P 94-056 et NF P 94-057) selon la valeur de la dimension des plus gros éléments présents dans le sol (D<sub>max</sub>), selon le tamisat à 80 µm (ou teneur en fines) et selon le tamisat à 2 mm ;
  - l'argilosité qui s'exprime soit par l'indice de plasticité (Ip) (norme NF P 94-051), soit par la valeur au bleu de méthylène du sol (VBS) (norme NF P 94-068) ;
  - les teneurs en constituants chimiques particuliers, comme les matières organiques, les phosphates et les nitrates, les chlorures, les sulfates et les sulfures. L'essai d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement à la chaux et/ou aux liants hydrauliques", défini par la norme NF P 94-100, permet de déterminer le comportement d'un couple sol-liant ;
- Des paramètres d'identification caractérisant le comportement mécanique des sols, notamment la fragmentabilité des éléments grossiers (> 50 mm) et l'abrasivité de la fraction grenue (> 80 µm) ;
- Des paramètres d'identification caractérisant l'état des sols, notamment l'état de compacité en place l'état hydrique (très humide, humide, moyen, sec et très sec) déterminé suivant le sol et son état, soit par le rapport  $W_n/W_{OPN}$  selon les normes NF P 94-050 et NF P 94-093, soit par l'indice portant immédiat (IPI) selon la norme NF P 94-078 ou soit par l'indice de consistance (Ic) selon les normes NF P 94-050 et NF P 94-051 ( $W_n$  étant la teneur en eau naturelle du sol et  $W_{OPN}$  étant la teneur en eau à l'Optimum Protor Normal).

Cette caractéristique est déterminante car elle conditionne à la fois :

- le choix du type de chaux à utiliser dans le cas d'un traitement mixte (vive, éteinte ou lait de chaux) ;
- le dosage éventuel en eau qui assure, d'une part, le bon déroulement des réactions de prise et de durcissement du matériau traité et, d'autre part, l'obtention du niveau de compactage requis pour ce type de matériau.

Ainsi, l'étude de reconnaissances géologiques et géotechniques permet de regrouper les sols en famille afin d'optimiser les études de formulation et à identifier les ou les produits de traitement adaptés pouvant être utilisés.

## ■ Étude de formulation

Dans le cas d'un traitement des sols appliqué à la réutilisation des sols trop humides en remblais, l'objectif de l'étude de formulation est de déterminer le liant et le dosage minimal en liant permettant de conférer une portance immédiate suffisante pour rendre possible la mise en œuvre, l'aptitude au compactage et à supporter la circulation des engins de chantier en fonction de l'état hydrique des sols prévisible à l'exécution. D'après le guide technique Sétra / LCPC sur le "traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des remblais et des couches de forme" (plus communément nommé GTS), la vérification de l'aptitude du sol au traitement doit se faire à partir de "l'essai d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement à la chaux et/ou aux liants hydrauliques" défini par la norme NF P 94-100, en se limitant à la seule observation des gonflements (traitement adapté si le gonflement volumique  $G_V$  reste inférieur ou égal à 10 %).

Dans le cas d'un traitement des sols appliqué à la réalisation de couches de forme, l'objectif de l'étude de formulation est de déterminer les dosages en chaux éventuellement nécessaire et en ciment ou en liant hydraulique routier à incorporer successivement dans le sol pour satisfaire aux trois critères suivants :

- Le premier critère est relatif à la vérification de l'aptitude du sol au traitement. Elle se fait à partir de "l'essai d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement à la chaux et/ou aux liants hydrauliques" défini par la norme NF P 94-100 (voir *Tableau 2*)
- Le deuxième critère est relatif à l'exécution. On recherche le dosage en chaux éventuellement nécessaire pour conférer au sol considéré une portance immédiate suffisante, afin d'assurer sa mise en œuvre correcte : aptitude au compactage et à supporter la circulation des engins de chantier.
- Le troisième critère est relatif à la tenue de la structure sol-liant. On recherche le dosage optimal en ciment ou liant hydraulique routier au sol afin d'atteindre les performances mécaniques exigées pour une couche de forme.

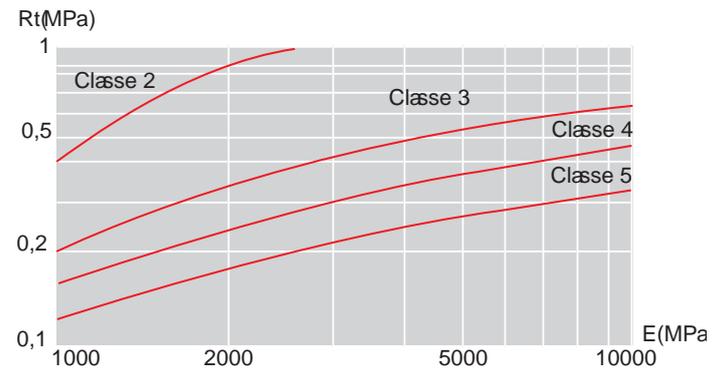
Tableau 2 : Critères retenus pour l'interprétation de l'essai d'aptitude d'un sol au traitement, selon le guide technique Sétra / LCPC sur le "traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des remblais et des couches de forme".

Type de traitement	Aptitude du sol	Paramètres considérés	
		Gonflement volumique $G_V$ (%)	Résistance en compression diamétrale $R_{tb}$ (MPa)
Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux	Adapté	$\leq 5$	$\geq 0,2$
	Douteux *	$5 < G_V \leq 10$	$0,1 \leq R_{tb} < 0,2$
	Inadapté **	$> 10$	$< 0,1$

\* douteux : la décision de persévérer dans la solution du traitement dépend du contexte particulier du chantier.

\*\* Inadapté : la technique du traitement est, en principe, à abandonner.

Figure 2 : Zones de classement du matériau sol-liant en fonction du couple (Rt, E)



Le module E est déterminé soit à partir d'un essai de traction directe (norme NF P 98-232-2), soit à partir d'un essai de compression diamétrale (norme NF P 98-232-3). On prendra  $R_t = 0,8 R_{tb}$  selon le guide technique "Conception et dimensionnement des structures de chaussées", Sétra / LCPC de 1994.

Le comportement du sol est ainsi à évaluer vis-à-vis de l'âge autorisant la circulation sur la couche traitée (résistance à la compression  $R_c$  à 7 jours ou à 28 jours généralement  $\geq 1$  MPa), la résistance à l'immersion au jeune âge, la résistance au gel et surtout les performances escomptables à long terme. Celles-ci sont appréciées par le couple résistance à la traction directe  $R_t$  et module de déformation du matériau traité E, paramètres indispensables au dimensionnement des chaussées.

La méthodologie de l'étude consiste à étudier la variation des paramètres  $R_t$  et E, mesurés à l'âge de 90 jours, en fonction des dosages en ciment ou en liant hydraulique routier, des plages de variation des teneurs en eau et des compacités prévisibles sur le chantier, et de l'éventualité d'apparition de gel ou d'immersion.

Le couple ( $R_t$ , E) choisi permet de définir la classe de résistance du matériau traité selon la classification définie à la figure 2.

## EXÉCUTION DES TRAVAUX

### ■ Traitement type et conditions de mise en œuvre

Les conditions de mise en œuvre doivent être conformes aux recommandations du Guide Technique "Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des remblais et des couches de forme" (Sétra / LCPC - 2000) (plus communément nommé GTS).

L'exécution type des travaux de traitement des sols suit, en règle générale, le processus suivant :

#### ● Préparation du sol à traiter

Cette opération, visant à faciliter le malaxage ultérieur, consiste à procéder à l'ouverture du sol au scarificateur ou au ripper.



Vue générale d'un chantier de traitement de sol.

### ● Ajustement de l'état hydrique du sol

Une teneur en eau optimale est indispensable pour obtenir, après compactage du mélange sol-liant, une densité maximale. Ainsi, il est possible soit d'assécher le sol par brassage mécanique, soit de l'humidifier avec une arroseuse avec rampes à eau, gicleurs ou systèmes enfouisseurs.

### ● Épandage du liant

Pour réduire et maîtriser la dispersion du liant, il est préférable de retenir – dans le cas de chantiers moyens ou importants – un épandeur à dosage pondéral, asservi à la vitesse d'avancement. Le contrôle de la régularité de l'épandage et de la quantité des liants est réalisé par la méthode dite "à la bêche".



Épandage du liant.

### ● Malaxage

Pour assurer une bonne homogénéité du matériau et une profondeur importante du malaxage, il est judicieux de retenir un malaxeur ou un pulvimixer à rotor horizontal. D'autre part, le malaxage foisonnant énormément les matériaux, il faut veiller – lorsqu'on traite par bandes jointives – à mordre suffisamment (20 cm) dans la partie déjà foisonnée, pour ne pas laisser de matériau non malaxé en bordures de bandes.



Malaxage.

### ● Compactage partiel

La qualité du compactage est, en général, déterminée par un objectif de densification. Ainsi, pour le compactage des remblais, l'objectif de densification est une énergie de compactage q4, qui correspond succinctement à 95 % de la densité optimale de l'essai Proctor Normal et pour le compactage des couches de forme, il est une énergie de compactage q3 qui correspond succinctement à 98,5 % de la densité optimale de l'essai Proctor Normal. Le guide technique Sétra / LCPC sur la "Réalisation des remblais et des couches de forme" (GTR) de septembre 1992 donne une détermination pratique des conditions de compactage, sur la base du paramètre Q/S, "épaisseur unitaire de compactage" (Q étant le volume de sol compacté pendant un temps donné et S la surface balayée par le compacteur pendant le même temps).

L'atelier de compactage, ainsi que le nombre de passes nécessaires, seront définis sur une planche d'essais de compactage,



Compactage partiel.

en respectant les épaisseurs de couches à compacter et en appliquant un plan de balayage répartissant l'énergie de compactage sur toute la surface de la couche.

Le compactage partiel doit suivre sans tarder la fin du malaxage pour ne pas laisser un matériau foisonné exposé aux intempéries et doit apporter 70 à 80 % de l'énergie exigée pour obtenir la qualité de compactage recherchée suivant la couche considérée.

## ● Réglage

Le réglage définitif doit se faire par rabotage sur toute la largeur à régler et en aucun cas par comblement des points bas par les matériaux provenant de l'écrêtage des bosses. Il se fait le plus souvent à la niveleuse. Les matériaux provenant du rabotage doivent être évacués.

L'épaisseur à raboter doit être prise en compte au stade du traitement, en prévoyant une surépaisseur suffisante du matériau traité (environ 3 cm).

## ● Compactage final

Il doit être réalisé immédiatement après le réglage final et, dans tous les cas, avant expiration du "délai de maniabilité" du mélange sol-liant, pour apporter le complément de l'énergie exigée pour obtenir la qualité de compactage recherchée suivant la couche considérée.



Compactage final.

## ● Protection de surface

Cette protection superficielle (en général, un enduit gravillonné à l'émulsion de bitume) est destinée à imperméabiliser et à protéger la couche traitée des intempéries, de l'évaporation de l'eau et du trafic. Elle doit être réalisée dans les plus brefs délais après la fin du compactage final.



Protection de surface de la couche traitée.

## CONCLUSION

Les travaux de construction des remblais et des couches de formes représentent une part importante du coût global de réalisation des projets routiers. Cette importance justifie une recherche d'optimisation globale, visant à minimiser les coûts. L'optimisation des solutions techniques consiste, d'abord, en un choix judicieux de tracé en plan et de profil en long des terrassements pour limiter au maximum les mouvements de terre en fonction de la qualité des matériaux exigés. Optimiser, c'est aussi déterminer le couple couche de forme/chaussée le mieux adapté. Sachant que la couche de forme peut jouer un rôle structurel, on a donc intérêt à privilégier ses performances par la technique de traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques. D'autant plus qu'elle est une technique éprouvée et parfaitement au point, grâce notamment aux progrès réalisés dans la connaissance des sols et à l'innovation des constructeurs de matériels de Travaux Publics et leurs nouveaux matériels encore plus puissants et performants.

Elle présente de nombreux avantages, notamment :

- le traitement à froid (économie d'énergie et technique propre) ;
- le travail in situ et la valorisation de matériaux qui auraient été mis à la décharge (économie de transport de matériaux) ;
- la préservation de l'environnement, car elle limite l'exploitation des gisements de granulats (technique économe en granulats d'apports) ;
- une économie sur le coût global des projets.

La technique du traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques est donc considérée aujourd'hui comme une technique classique dans l'exécution des remblais et des couches de forme. Elle se développe considérablement dans les couches d'assises de chaussées (couche de fondation et couche de base), ce qui prouve l'excellence de la technique. ●

**CIM** Béton

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](mailto:centrinfo@cimbeton.net) - Site Internet : [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr)

# Chemin vert en béton coloré balayé à Rousies (Nord)

Dans le cadre d'un itinéraire cyclable européen (Axe Paris-Moscou), l'agglomération de Maubeuge-Val de Sambre a réalisé une voie de 500 m de long sur 3 m de large dans la commune de Rousies.

Ce programme, intitulé "Vélo Route - Voie Verte - Liaison Maubeuge-Sentier émeraude", se développera dans l'avenir jusqu'à la Belgique, via Maubeuge et les berges de la Sambre, alors que le tronçon vers Paris reprendra, en partie, une voie ferrée désaffectée.

La solution béton coloré balayé a été retenue car ce tronçon de chemin devait répondre à un double objectif : ne pas être trop lisse pour les piétons en cas de pluie, mais en même temps supporter le passage d'engins agricoles pouvant aller jusqu'à 35 tonnes.

Pour Lilian Brouleau du bureau d'études Cités et Paysages (Maubeuge), cette décision était la plus logique : *"Pour garder un aspect champêtre et naturel s'intégrant harmonieusement dans l'environnement agricole, il a été décidé de teinter légèrement ce béton en couleur ocre et de réaliser un balayage transversal donnant un aspect "rugueux" qui permettra d'éviter toute glissade de cyclistes ou de piétons, dont un grand nombre d'écoliers de la commune de Ferrière La Grande".*

- **Lieu :** Rousies (59131 - Nord)
- **Maître d'ouvrage :** Agglomération de Maubeuge - Val de Sambre
- **Maître d'œuvre :** Cités et Paysages (59600 Maubeuge)
- **Entreprise :** De Barba (59611 Fourmies)
- **Fournisseur des produits béton :** Unibéton (Centrale de Maubeuge)
- **Béton mis en œuvre :**
  - CEM II/B 32,5 Gaurain (330 kg),
  - sable de mer 0/3 Euromat (870 kg),

- granulats clair lavé 5/20 Carrières du Boulonnais (980 kg),
- fibres Fibrasol 2P Axim (910 kg),
- colorant Kaolor ocre Pieri (10 kg)
- **Surface réalisée en béton :** 1 500 m<sup>2</sup> (500 m linéaire sur 3 m de large)
- **Montant des travaux :** 140 233 € TTC, financés par la Région Nord / Pas-de-Calais (40 %), FEDER (30 %) et l'Agglomération de Maubeuge - Val de Sambre (30 %)



La RD 151, reliant Saint-Fraimbault-de-Prières à La Haie Traversaine, a été élargie de 5 à 6 mètres linéaire par épaulement en petite largeur et remplie de béton auto-compactant Maces 140.

# Aménagement de la RD 151 à Saint-Fraimbault (Mayenne)

L'objectif de la Direction des Routes et des Bâtiments du Conseil Général de la Mayenne était d'améliorer le niveau de service de la route départementale 151, reliant Saint-Fraimbault-de-Prières à La Haie Traversaine, soumise à un important trafic de poids lourds.

Pour répondre à cet objectif, la méthode a consisté à conserver l'emprise existante et à décaisser le bord de la chaussée et l'accotement sur 35 cm pour élargir la chaussée de 5 à 6 mètres. Puis à remplir la fouille avec un matériau auto-compactant (Maces 140), à réaliser des fossés drainants lorsque

l'emprise était insuffisante pour faire un fossé ordinaire et à poser des bordures A1 dans les petites rayons et des glissières de sécurité.

Le chantier a été fait sous déviation totale. L'enrobé n'a été réalisé qu'après un délai de 28 jours.

• enfin, son coût est quasiment identique à celui de la grave-ciment.

Pour en savoir plus sur les aspects spécifiques au Maces 140, se reporter à la page 6 de ce numéro, à la rubrique Sciences et Techniques.

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

- **Maître d'ouvrage :** Conseil Général de la Mayenne
- **Maître d'oeuvre :** Direction des routes et des Bâtiments
- **Entreprise :** Eurovia (enrobé), DDE de la Mayenne (Subdivision de l'Équipement, en régie, et Parc départemental)
- **Fournisseur des produits :** Lafarge Béton

### L'utilisation du béton auto-compactant Maces 140

Le Maces 140, élaboré par Lafarge, présente de nombreux avantages :

- il est auto-compactant et permet donc une mise en œuvre aisée
- il autorise un travail sur faible largeur en bord de fossé ou de talus
- il est adapté en poutre de rive pour les chaussées à faible trafic lourd
- il permet de travailler sur une faible épaisseur (35 cm) et sur un sol peu porteur autour de 20 MPa



Préparation de la poutre.



Planche d'essai effectuée sous le contrôle du laboratoire DDE de LAVAL.

### ■ D'autres chantiers dans l'avenir

Pour Jean-Michel Sabin, chargé de mission à la Direction Technique du Conseil Général de Mayenne : *“La chaussée était vraiment trop fatiguée : il nous fallait améliorer son niveau de service.*

*Le parti pris a donc été de l'élargir en rentrant impérativement dans les emprises, en passant de 5 à 6 mètres et en réalisant des fossés drainants. Ces derniers sont, à mon sens, moins dangereux, le matériau étant légèrement plus bas que l'abords de l'accotement ce qui évite aux véhicules de stationner.*

*Ce chantier nous ayant donné satisfaction, nous avons prévu de réaliser dans l'avenir d'autres projets utilisant le matériau auto-compactant Maces 140”.* ●



Phase d'assainissement avec mise en place d'un fossé drainant dans les faibles largeurs d'emprise.



Mise en œuvre du matériau auto-compactant Maces 140.

### ■ LE CHANTIER EN BREF

- **Lieu :** RD 151 Saint-Fraimbault-de-Prières (Mayenne)
- **Objectifs des travaux :** Élargissement de la chaussée de 5 à 6 mètres linéaire par épaulement en petite largeur
- **Produit utilisé :** Maces 140 (920 m<sup>3</sup>)
- **Surface réalisée :** 2 800 m<sup>2</sup>
- **Durée du chantier :** 2 mois
- **Trafic moyen :** 1 200 véhicules/jour dont 15 % de poids lourds
- **Coût total de l'opération :** 317 000 € TTC



État du support avant la réalisation de la couche d'enrobé.



Gros plan sur le matériau auto-compactant Maces 140.



Le Pas-de-l'Eyraud (Dordogne) : première tranche de la modernisation de la RD 709 (3,9 km) qui fait appel au traitement de sol en place à la chaux et au liant routier.

# L'avenir est incontestablement au traitement de sols

Performances de haut niveau, coût de construction abaissé, trafic moindre et absence de mise en décharge : le traitement des sols à la chaux et/ou au ciment ou aux liants hydrauliques routiers s'impose face aux techniques routières traditionnelles. Exemple en Dordogne, sur le chantier de la RD 709.

Depuis de nombreuses années, le bassin économique de Bergerac-Lalinde, en Dordogne, souffrait d'un déficit de voies de communication rapides qui limitait son potentiel de développement commercial vers les régions environnantes et particulièrement Bordeaux, mais aussi vers la capitale et les pays du Nord. Fort logiquement, il y a une quinzaine d'années, les élus locaux avaient vu dans le projet de construction de l'A89 une issue à cet enclavement. "Malheureusement, le tracé envisagé, situé à mi-chemin entre Périgueux et Bergerac, a été décalé vers le nord, suite au lobbying des viticulteurs du Saint-Emilionnais" explique Marc Bécret, directeur général-adjoint au Conseil Général, en charge des infrastructures.

En contrepartie, et après beaucoup d'efforts, les élus locaux ont réussi à obtenir l'inscription au Contrat de Plan Etat-Région 2000/2006 de la modernisation de

la RD 709, qui assure la liaison entre Bergerac et la RN 89, ainsi que son raccordement à l'A89 par la création d'un échangeur. "Cette décision a été prise à titre dérogatoire" souligne Marc Bécret. En effet : c'est la première fois qu'un programme de voirie départementale obtient un financement au titre du Contrat de Plan.

### ■ 27 km de voies nouvelles

Le programme, qui mobilise 43,7 millions d'euros TTC, est financé à parts égales par le département, la région Aquitaine et l'Etat. Il comporte 27,4 km de voies nouvelles qui vont permettre de porter le trafic de la RD 709 de 2 100 à 4 500 véhicules par jour d'ici 2006, date de fin des travaux, organisés en sept tranches. La première, une section de quatre kilomètres localisée au centre de l'itinéraire (tranche n°4, lieu dit le Pas-de-l'Eyraud), vient d'être achevée en août 2004,

après 11 mois de travaux. Elle traverse les communes de Laveyssière, Ginestet et Les Lèches (où se trouve l'échangeur).

Pour cette tranche, le Conseil Général, maître d'œuvre, a choisi la technique du traitement de sol en place. Pour Laurent Martinez, chef de secteur, responsable de l'entreprise Sacer pour la Dordogne, adjudicataire du marché avec comme co-traitant l'entreprise de terrassement Estardier : "Plusieurs raisons motivent ce choix. Les

### ■ PRINCIPAUX INTERVENANTS

- **Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre** : Conseil Général de Dordogne
- **Entreprises** : Groupement Sacer (mandataire), Estardier
- **Fournisseur du liant** : Ciments Calcia
- **Fournisseur de la chaux** : Chaux du Périgord

granulats calcaires disponibles localement sont de qualité médiocre et les carrières les plus proches pour approvisionner le chantier sont distantes de deux heures de route, ce qui renchérisait l'opération. De plus, il aurait fallu assumer le coût de la mise en décharge de 200 000 m<sup>3</sup> de matériaux du site. Enfin, le maître d'œuvre a également dû prendre en considération les dégradations du réseau routier dues au trafic de poids lourds engendré par cette mise en décharge et l'apport de matériaux”.

## ■ Des sols compatibles

“Ont été appliquées les préconisations du Guide de Terrassement Routiers (GTR), explique le laboratoire de la DDE. Les prélèvements de terrain ont montré que les sols pouvaient être traités à la chaux et au ciment, ce qui permettait de valoriser les matériaux du site, tant pour la partie supérieure de terrassement (PST) que pour la couche de forme”. Soit une structure de 70 cm (deux fois 35 cm).

Mais les études avant-projet, menées par les services routiers du Département et l'entreprise, faisaient également état d'une grande hétérogénéité des terrains. “Nous avons réalisé vingt sondages sur les zones en déblai, soit un tout les cent mètres, afin d'identifier les sols, à des profondeurs pouvant atteindre 10 m” explique Dominique Nicolon, chargé des études et des reconnaissances géotechniques chez Sacer à Toulouse. Des relevés qui ont mis en évidence la présence de sables argileux parfaitement adaptés à la technique (de type B5 et B6 selon la classification du GTR), utilisés pour la couche de forme, et d'argiles peu plastiques à très plastiques (de type A2 et A3) plus difficiles à traiter, mais qui ont néanmoins été utilisées pour la PST, et pour la réalisation de remblais sur les abords (merlons, par exemple).



Le malaxeur de 650 CV assure un traitement homogène sur une profondeur de 35 cm.



La niveleuse, contrôlée par GPS, règle l'arase de terrassement et la couche de forme.

## ■ Chaux et liant routier

Conséquence : l'entreprise a réalisé de nombreux mouvements de matériaux (300 000 m<sup>3</sup>) afin de constituer des couches homogènes tout le long du tracé. “La première couche, la PST, a été traitée à la chaux (1,5 %) afin d'éviter les gonflements de l'argile en présence d'eau et d'assurer une portance au niveau de l'arase de terrassement, reprend Laurent Martinez. Ensuite, nous avons rapporté une deuxième épaisseur de sables argileux afin de réaliser la couche de forme, qui a été traitée à la fois à la chaux (1,5 %), toujours pour les mêmes raisons, ainsi qu'avec un liant routier à raison de 5% pour lui conférer la portance requise”.

Le choix s'est porté sur le liant hydraulique routier des Ciments Calcia : le Ligex 111 M10. “Le Ligex offrait des performances légèrement supérieures, mais surtout une plus grande souplesse d'utilisation sur chantier, les matériaux pouvant être maniés pendant dix heures” précise Christian Pecquet, responsable qualité de Sacer Atlantique, à Bordeaux, qui a conduit les essais en laboratoire.

## ■ Un chantier instructif

Grâce à un guidage par GPS de la niveleuse et du compacteur, l'entreprise a pu respecter une tolérance en altimétrie de plus ou moins 3 cm. Et ce même si la cote était un peu haute. “Ce phénomène est dû au gonflement des terrains, du fait de l'apport des liants, mais aussi à l'usure de la lame de la niveleuse, souligne Laurent Martinez. Cette usure – 2 cm – ne pouvait pas être prise en compte par le GPS : il aurait fallu mesurer périodiquement la distance entre la cellule et le bord de la lame”.

Les rendements obtenus par l'atelier de terrassement et de traitement ont atteint 600 m linéaires par jour, sur une largeur de 12 m. Les engins utilisés : niveleuse, épandeur Panien, arroseuse, malaxeur Raco de 650 CV, compacteur vibrant Dynapac, compacteur à pneus. “C'est la première fois que

## ■ LE CHANTIER EN BREF

- Lieu : RD 709, Dordogne
- Projet : modernisation de la liaison Bergerac - RN 89
- Objectifs : réaliser une infrastructure durable et économique
- Contraintes : faire face à une pénurie de matériaux
- Solution : un traitement en place de la PST (Partie Supérieure des Terrassements) et de la couche de forme
- Linéaire : 3,9 km
- Volume de matériaux traités : 64 000 m<sup>3</sup>
- Volume de chaux : 1 500 t
- Volume de liant routier : 1 200 t
- Durée du chantier : 11 mois
- Coût : 5,7 millions d'euros TTC

cette technique est appliquée à un chantier routier départemental dans la région, reprend Laurent Martinez. Il faut dire que cette solution a permis de diviser par trois le coût d'exécution de la PST et de la couche de forme : 300 000 euros au lieu de 950 000 euros, en intégrant les coûts de transport”. Et Christian Pecquet de conclure : “Le CCTP exigeait, sur la PST, une portance supérieure à 35 MPa (AR1), à comparer aux 50 ou 60 obtenus réellement sur chantiers (AR2), voire même aux 80 à 90 en certains endroits. Le traitement permet de réaliser des structures extrêmement résistantes, homogènes et stables dans le temps. Le maître d'ouvrage l'a bien compris : à Bordeaux, il nous arrive d'intervenir même pour 2 000 m<sup>2</sup> afin de traiter des plates-formes industrielles ou des parkings. La technique connaît un développement bien réel”. ●



Le nombre de passes des compacteurs est déterminé in situ (avec des planches d'essais) afin d'obtenir la densité optimale.

## APPEL À COMMUNICATIONS

### TREMTI

#### TRAITEMENT ET RETRAITEMENT DES MATÉRIAUX POUR TRAVAUX D'INFRASTRUCTURE

2<sup>e</sup> SYMPOSIUM INTERNATIONAL - 24 au 26 octobre 2005 - Paris (France)

Le traitement des sols et le retraitement des chaussées sont des techniques efficaces en termes de performances mécaniques, économiques et environnementales. Elles sont largement utilisées pour la construction des infrastructures de transport. La chaux aérienne calcique, le ciment et les liants hydrauliques routiers sont les liants les plus utilisés, sous forme de poudre ou de suspension. Un premier Symposium intitulé "Subgrade Stabilization and In Situ Pavement recycling using Cement" a déjà eu lieu à Salamanque, en Espagne, du 1<sup>er</sup> au 4 octobre 2001. Le second Symposium International intitulé : "Traitement et Recyclage des Matériaux pour Travaux d'Infrastructure" sera organisé en France, à Paris, du 24 au 26 octobre 2005, par Cimbéton et l'Association française des producteurs de chaux, sous le parrainage de l'Association Mondiale de la Route (AIPCR).

L'objectif général de ce second Symposium sera de mettre l'accent sur les progrès réalisés depuis Salamanque. Il donnera aussi la parole au domaine en plein développement du recyclage par traitement des matériaux de démolition des infrastructures anciennes. Le programme comprendra des sessions plénières, traitant de sujets généraux, et des sessions parallèles consacrées à des sujets plus spécifiques tels que les études, les méthodes de mise en œuvre, la technologie, etc.

**Les propositions de communication (résumées en moins de 200 mots, en anglais) devront être soumises au Comité Scientifique avant le 15 octobre 2004. Les propositions sélectionnées devront être transmises, dans leur forme complète, avant le 15 mars 2005. Pour soumettre des résumés ou pour obtenir plus d'information, consulter le site [www.tremti.org](http://www.tremti.org)**

### TREMTI

#### TREATMENT AND RECYCLING OF MATERIALS FOR TRANSPORT INFRASTRUCTURE

2nd International Symposium - October 24<sup>th</sup>-26<sup>th</sup> 2005 - Paris (France)

Soil treatment and road reclaiming are effective techniques in terms of mechanical, economic and environmental performance. They are widely used for the construction of transport infrastructure. Calcic air lime, cement and hydraulic road binders are the most frequently used binders, either in a powder or in a slurry form.

A first Symposium titled "Subgrade Stabilization and In Situ Pavement recycling using Cement" already took place in Salamanca, Spain, on October 1<sup>st</sup> - 4<sup>th</sup>, 2001. The second International Symposium titled: "Treatment and Recycling of Materials for Transport Infrastructure" will be organized in Paris, France October 24<sup>th</sup> - 26<sup>th</sup>, 2005 by the French Cement and the French Lime associations, under the auspices of the World

Road Association (PIARC). The general objective of this second Symposium will be to put the emphasis on the progress made since Salamanca. It will also enlarge its scope to the developing field of treatment recycling of materials from old infrastructure demolition. The program will include plenary sessions, dealing with general topics, and parallel sessions, dealing with more specific topics like studies, application process, technology, etc.

**Abstracts proposals (less than 200 words, in English) shall be submitted to the Scientific Committee before October 15<sup>th</sup> 2004. Selected papers shall be sent before March 15<sup>th</sup> 2005.**

**For abstracts submission or for a more detailed information, visit [www.tremti.org](http://www.tremti.org)**



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](mailto:centrinfo@cimbeton.net)  
Site Internet : [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr)



## Remue-ménages

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

### ■ Achat de timbres-poste

Il s'agit de dépenser exactement 5 euros pour acheter un lot de 20 timbres de valeurs unitaires 50 cents, 40 cents et 10 cents.

**Question :** combien y aura-t-il de timbres de chacune des trois catégories ?

#### Solution du Remue-ménages de Routes n°88 : Divination

**Rappel du problème posé :** lorsqu'on sait résoudre des équations indéterminées, on peut proposer le jeu suivant.

Demandez à un ami de multiplier son jour de naissance par 12, son mois par 31 et d'additionner ces deux produits.

**Question :** s'il vous communique uniquement ce dernier résultat, êtes-vous en mesure de trouver sa date de naissance ?

**Solution :** le problème revient à résoudre l'équation indéterminée :  $12x + 31y = 170$  (1) où : "x" représente le quantième du mois, donc x est un entier positif, inférieur ou égal à 31.

"y" représente le numéro du mois, donc y est un entier positif, inférieur ou égal à 12. L'équation (1) permet d'exprimer x en fonction de y :

$$x = (170 - 31y) / 12 = 14 - 3y + (2 + 5y) / 12$$
$$x = 14 - 3y + t \text{ (en posant } t = [2 + 5y] / 12, \text{ avec } t \text{ entier). (2)}$$

$$\text{D'où : } 2 + 5y = 12t$$

et :

$$y = (12t - 2) / 5 = 2t + (2t - 2) / 5$$

$$y = 2t + 2(t - 1) / 5 = 2t + 2v$$

$$\text{(en posant } v = [t - 1] / 5, \text{ avec } v \text{ entier). (3)}$$

$$\text{D'où : } t - 1 = 5v \text{ et } t = 5v + 1 \text{ (t et v sont des entiers).}$$

En portant cette valeur de "t" dans l'expression (3), y devient :

$$y = 2(5v + 1) + 2v = 12v + 2 \text{ (4)}$$

En portant les valeurs de "y" et de "t" dans l'expression (2), x devient :

$$x = 14 - 3(12v + 2) + (5v + 1) = 9 - 31v \text{ (5)}$$

Or, x et y sont des entiers, positifs, avec x inférieur ou égal à 31 et y inférieur ou égal à 12. Donc, on aura les deux inéquations suivantes :

$$0 < 9 - 31v \leq 31 \Rightarrow -22/31 < v \leq 9/31$$

et

$$0 < 12v + 2 \leq 12 \Rightarrow -1/6 < v \leq 5/6$$

$$\text{D'où : } -22/31 < v \leq 5/6$$

Comme v est un entier, il s'en suit que : v = 0

En portant cette valeur de v dans les expressions (4) et (5), on obtient alors :

$$x = 9 \text{ et } y = 2$$

**La date de naissance est donc le 9 du deuxième mois : autrement dit le 9 février.**