

Lerm Infos n° 28 : Le traitement des sols à la chaux

23 janvier 2015



Janvier 2014

Editorial

Le traitement des sols à la chaux est une technique très ancienne : les Romains avaient déjà stabilisé de nombreuses sections de la Via Apia par un tel traitement...

Cette technique repose sur le postulat finalement élémentaire de considérer le sol en place comme le premier matériau accessible ! Aussi évidente que paraisse cette idée, son développement actuel a été rendu possible par un important travail de connaissance et d'analyse des sols, de critique et de retours d'expériences des méthodes et pratiques mises en œuvre, qui ont débouché sur un volumineux appareil de normes et de recommandations.

Le développement de ces techniques de valorisation des matériaux en place entraîne une réduction significative des coûts économiques et impacts environnementaux, autant sur l'aménagement que l'entretien de réseaux de voies de communication (routes, autoroutes, voies ferrées, plateformes...) ou plateformes industrielles...

Le sujet est vaste et important. Aussi nous retiendrons, pour ce mois de janvier, de vous parler du traitement à la chaux des sols en place.

Avec tous nos vœux de réussite positive pour cette nouvelle année 2015

Bonne lecture !

Bernard Quénée, Directeur général délégué

Philippe Souchu, Rédacteur en chef

Dossiers techniques



Le traitement des sols en place à la chaux

Le traitement des sols par un liant hydraulique vise à rendre un sol, dont les caractéristiques ne seraient pas adéquates, apte à supporter une chaussée, une plateforme (parking, aire commerciale ou industrielle) ou tout simplement le passage d'engins de travaux...

Portrait



Portrait d'Alexa Bresson

Ingénieure au « département ingénierie des matériaux » du Lerm

Actualités



Un article de Frédérique Vouvé du Lerm : Restoration of Domestic Wall Painting, dans l'ouvrage collectif DECORUM : Domestic Painted decorations in Europe



Un article cosigné Setec-TPI, Lerm, Diades dans la revue TRAVAUX de décembre 2014 : Inspection et diagnostic du bateau-porte de la forme 10 à Marseille



Isabelle Moulin, du Lerm, communiquera sur l'emploi de granulats recyclés dans les ouvrages d'art du contournement ferroviaire Nîmes-Montpellier lors des rencontres AFGC des 8 et 9 avril.

Agenda

Nous y serons...



Salon Intermat, du 20 au 25 avril à Paris-Nord-Villepinte



AFGC, Le contournement ferroviaire Nîmes-Montpellier (CNM), 8 et 9 avril à Nîmes et Montpellier



Journées Ouvrages d'Art (Cerema et l'Ifsttar), 20 et 21 mai 2015 à Ecole Centrale de Nantes

REMERCIEMENTS



LERM-Infos

Directeur de la publication : *Bernard Quénée*

Rédacteur en chef : *Philippe Souchu*

Merci à Nouredine Rafai et à Alexa Bresson

Le traitement des sols en place à la chaux

23 janvier 2015

Aperçu historique

Le traitement des sols à la chaux est une pratique très ancienne, comme en témoignent les bétons de terre traditionnels (argile + sable + chaux) et de façon plus spectaculaire, la Grande Muraille de Chine dont le matériau de nombreuses sections est un mélange compacté d'argile et de chaux.



Le traitement des sols en place à la chaux

Le traitement des sols par un liant hydraulique vise à rendre un sol, dont les caractéristiques ne seraient pas adéquates, apte à supporter une chaussée, une plateforme (parking, aire commerciale ou industrielle) ou tout simplement le passage d'engins de travaux. Ce traitement vise également à le rendre résistant aux aléas climatiques auxquels il peut être soumis.

L'idée de base, éminemment économique, du traitement de sol est de considérer le sol lui-même comme un matériau.

Cette technique, développée dans les années 50 pour la réalisation d'assises de chaussées dans des pays tropicaux, s'est acclimatée en France dans les années 60.

La portance d'un sol

La capacité d'un sol à supporter une charge est définie par sa portance. La portance d'un sol est fonction de la nature de ce sol, de sa teneur en eau et de son compactage. La portance d'un sol et sa teneur en eau optimum sont déterminés, le plus usuellement, par l'essai Proctor pour ce qui concerne la compacité et par l'essai CBR pour ce qui concerne la résistance au poinçonnement. Le traitement à la chaux d'un sol permet une augmentation rapide et importante de sa portance.

Les sols : définition et caractérisation

Les sols sont des données naturelles dont la variété est infinie. Malgré les classifications (nomenclature GTR : norme NF P 11 300) qui rassemblent les sols d'identités ou de comportements analogues, chaque sol, du fait de son hétérogénéité, reste au fond un cas particulier.

Les sols sont le résultat des altérations mécaniques, physiques et chimiques des roches. Ils sont également constitués de matières

organiques déposés par la biosphère (végétation, vie animale). Ils présentent 3 phases, solide, liquide et gazeuse et un squelette ou mortier de sol dont la granulométrie est très étendue. L'aptitude d'un sol au traitement est définie par des études préalables qui précisent les caractéristiques à prendre en compte : nature (granularité, argilosité, plasticité, chimie), comportement mécanique (résistance à la fragmentation, résistance à l'usure, friabilité), teneur en eau.

Avantage du traitement des sols

Avantages économiques

L'utilisation du sol en place est économique dans la mesure où tout en étant un facteur de rapidité du chantier, elle évite les coûts du déblaiement, de la mise en décharge, du transport.

Avantages environnementaux

Le traitement du sol en place, en limitant le transport de matériaux réduit la pollution et la consommation d'énergie liée aux transports. Il évite aussi l'extraction de granulats qui sont des ressources naturelles non renouvelables.



Source : Lhoist

La chaux

La chaux est l'un des liants les plus anciennement utilisés. Les Romains l'additionnaient de pouzzolane pour donner un mortier qui, dans des constructions remarquables, dure encore. Les [travaux de Louis Vicat](#), à partir de 1820 permirent de comprendre l'importance de l'argile dans les chaux hydrauliques (qui font prise sous l'eau) et de les fabriquer artificiellement.

Production des chaux vives

Le calcaire aussi pur que possible est extrait, trié, lavé et concassé puis calciné dans des fours dont la température est comprise entre 1050 et 1250°C. La chaux vive en poudre s'obtient par broyage de la chaux vive.

Production des chaux hydrauliques

Ces chaux sont obtenues par la cuisson entre 1050 et 1250°C de calcaires dont la teneur en argile est de 15 à 20%

Etude préalable

Une étude d'analyse des sols avant traitement est toujours nécessaire afin que celui-ci soit aussi adapté que possible. Cette étude est confiée à des laboratoires spécialisés qui peuvent :

- caractériser la nature de l'argile par diffraction des rayons X
- évaluer la teneur en argile par sédimentométrie
- évaluer différentes teneurs des sols par des analyses chimiques : teneur en carbone organique, teneur en nitrates, capacité d'échanges ioniques.

Le traitement du sol proprement dit est précédé de planches d'essais qui permettent d'approcher les formulations et les dosages adéquats. Les sols étant très hétérogènes, les chantiers de grandes surfaces doivent multiplier ces types d'essais.

Action de la chaux sur les sols

Les sols fins à teneur élevée en argiles ou limons ne présentent aucune stabilité au regard des conditions météorologiques : ils gonflent en présence d'eau, se rétractent par sécheresse et foisonnent quand il gèle. Leur utilisation routière est donc très incertaine. Le traitement à la chaux est recommandé pour les sols dont la teneur en argile est supérieure à 40%. Le dosage en chaux varie en fonction des sols et des résultats recherchés généralement entre 1 et 3%.

Le comportement de ces sols fins est modifié par l'ajout de chaux.



Source : Lhoist

Teneur en eau

La teneur en eau du sol est abaissée du fait de la consommation d'eau liée à l'hydratation de la chaux vive, $\{CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 12 \text{ kJ.mol}^{-1}\}$, de l'évaporation provoquée par la chaleur d'hydratation de la chaux, par l'apport de matériau sec, enfin par l'aération du sol provoquée par le malaxage. Pour mémoire, la teneur en eau d'un sol peut baisser de 1 à 2% pour un ajout de 1% de chaux.

Amélioration des propriétés géotechniques

L'agglomération par floculation des particules argileuses sous l'action de la chaux modifie très rapidement les paramètres géotechniques du sol considéré :

- Diminution de l'indice de plasticité
- Augmentation de l'indice portant immédiat
- Diminution de la densité de l'optimum Proctor et augmentation de la teneur en eau optimale.

En d'autres termes, le sol passe d'un état plastique à un état solide.

Modification à long terme d'un sol par l'ajout de chaux

La chaux, qui est une base forte, élève le pH du sol. Ce fort pH favorise l'attaque des constituants du sol (silice et alumine). Ces produits en solution réagissent avec le calcium du sol pour produire des aluminates et des silicates de calcium hydratés, ainsi que des silicoaluminates de calcium hydratés qui jouent le rôle de liant en cristallisant entre les grains du sol (**réaction pouzzolanique**). Cette réaction peut se prolonger sur des mois et même des années.

Éléments perturbateurs de la prise du liant hydraulique

Certains éléments sont défavorables à une prise normale du liant hydraulique et peuvent même l'empêcher. D'autres éléments provoqueront des gonflements dommageables : minéraux souffrés, micas, matière organique, fertilisants et engrais, teneur excessive en argile... Ces perturbations peuvent être anticipées par des études préalables menées dans les laboratoires compétents.

Autre types de traitements

Nous avons ici porté notre attention sur le traitement des sols à la chaux. Ce traitement peut être associé à un traitement au ciment et/ou aux **cendres volantes**. Le ciment peut lui-même se voir ajouter du laitier de haut fourneau ou des fillers. Il existe également aujourd'hui des liants hydrauliques routiers (LHR) fournis par les cimentiers.

Le choix et le dosage du liant est fonction de la connaissance de la nature du sol, de son état hydrique, de l'environnement météorologique prévu et de la portance visée.



Source : Lhoist

Bibliographie

Documents

Traitement des sols à la chaux et /ou aux liants hydrauliques – Application à la réalisation des remblais et des couches de formes. : Guide technique. – Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) ; SETRA, 2000. – 246 p.

Terrassements et assises de chaussées. Traitement des sols aux liants hydrauliques. – Cimbéton, 2009. – 148 p. – (Collection technique Cimbéton; T 70).

Michel Venuat : Le traitement des sols à la chaux et au ciment, 1980. 459 p.

Konan K.L. (2006): Interactions entre des matériaux argileux et un milieu basique riche en calcium. Thèse de doctorat de l'université de Limoges. 144 p.

Perret P. (1977): Contribution à l'étude de la stabilisation des sols fins par la chaux: étude globale du phénomène et applications. Thèse de doctorat INSA de Rennes.

Normes

NF P11-300 (1992-09-01) Indice de classement : P11-300

Titre : Exécution des terrassements – Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières **Sols** : Reconnaissance et essais Série des normes NF P94-...

Assises de chaussées : Série des normes P 98-1...

NF EN 459-1 (2012-03-01) Norme faisant l'objet d'un projet de révision. Indice de classement : P15-104-1

Titre : Chaux de construction – Partie 1 : définitions, spécifications et critères de conformité

NF EN 459-2 (2012-08-01) Indice de classement : P15-104-2

Titre : Chaux de construction – Partie 2 : méthodes d'essai

NF EN 197-1 (2012-04-01) Indice de classement : P15-101-1

Titre : Ciment – Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants

NF P15-108 (2000-12-01) Indice de classement : P15-108

Titre : Liants hydrauliques – Liants hydrauliques routiers – Composition, spécifications et critères de conformité

NF EN 13282-1 (2014-05-23) Indice de classement : P15-108-1

Titre : Liants hydrauliques routiers – Partie 1 : liants hydrauliques routiers à durcissement rapide – Composition, spécifications et critères de conformité

PR NF EN 13282-2 (2014-11-12) Indice de classement : P15-108-2PR

Titre : Liants hydrauliques routiers – Partie 2 : liants hydrauliques routiers à durcissement normal – Composition, spécifications et critères de conformité

NF EN 13282-3 (2014-05-23) Norme faisant l'objet d'un projet de révision. Indice de classement : P15108-3

Titre : Liants hydrauliques routiers – Partie 3 : évaluation de la conformité

Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques

Série des normes NF EN 13286-... Indice de classement : P98-846-...

Portrait de Alexa Bresson, ingénieure au département « ingénierie des matériaux » du Lerm

23 janvier 2015



Lerm

Alexa, on peut peut-être commencer cet entretien par les motivations qui t'ont conduite à l'étude des matériaux...

Alexa Bresson

Tout commence dans ce domaine par une sorte de grand écart : après le bac et avoir rêvé d'être bûcheronne pendant toute mon enfance, je souhaite devenir professeure pour sourds et malentendants. Il faut, au préalable, être titulaire d'une licence. Comme j'ai un bac scientifique, je démarre, à Paris 6, une licence de maths-informatique. En

deuxième année, je prends une option mécanique puis enchaîne sur une licence de technologie mécanique au sein de laquelle je suis un cours optionnel de génie civil. J'adore ça, mais l'histoire ne commencera vraiment qu'en 4e année...

Ta voie est alors toute tracée...

Loin de là !... Le génie civil m'intéresse beaucoup, à la fois par les connaissances variées que la discipline requiert, mais aussi par son côté concret et créatif. Le produit fini de cette discipline, la notion d'ouvrage ont beaucoup d'attrait pour moi... Je suis cependant encore très attachée à mon projet de professorat. Je poursuis ma maîtrise en génie civil à Paris 6 – ENS Cachan, au cours de laquelle je fais un stage de un an à raison d'un jour par semaines dans le labo de recherche de chez Eiffage, qui met alors au point le BEFUHP. J'enchaîne ensuite avec un stage de fin d'année de 4 mois au CRIB (Centre de Recherche sur les infrastructures en Béton) au Québec où je dois travailler sur les bétons aux jeunes âge sous la direction de Jacques Marchand, qui deviendra, ensuite, mon directeur de thèse.

On me propose là, un master sur le béton aux très jeunes âges...

Tu t'installes alors au Québec...

Tu ne crois pas si bien dire, car après le master viendra la thèse, si bien que mes 4 mois de stage deviendront au final 8 ans. Mais n'anticipons pas !...

En acceptant le master, je suis heureuse de prolonger mon séjour au Canada. J'y aime la vie et j'y les études à la québécoise.



... et comme dit si bien Gilles Vigneault,

« Mon pays ce n'est pas un pays, c'est l'hiver... »

C'est à dire ?

Mon sujet nécessite un gros programme de laboratoire. L'équipement des labos y est impressionnant et comme, étudiant, tu y fais tout toi-même, tu comprends qu'un essai correctement mené, cela prend du temps. C'est précieux pour la suite. J'ai adoré mettre la main à la pâte, c'est le cas de le dire, et oeuvrer ainsi à l'ensemble du processus d'élaboration et de fabrication du matériau. Le tout est pimenté par l'usage des mesures impériales (pouce, pied, verge, la livre canadienne...), le tout en base 12 qui implique une bonne gymnastique intellectuelle. Les résistances en psi (pound per square inch) me donnaient des sueurs froides



Tu t'es désormais éloignée de ton vœu de départ, non ?

Oui, mais le moteur de tout cela, c'est la curiosité, l'apprentissage, la découverte et les rencontres. Cela ne fait pas forcément des vocations rectilignes, plutôt une forme de braconnage intellectuel. Je renouerai avec le plaisir de transmettre lors de mon retour en France où je serai, pendant deux ans, assistante pédagogique dans un lycée professionnel tout en faisant du soutien scolaire.

D'un autre côté, l'activité scientifique et technique que nous menons au Lerm, mais ailleurs aussi, j'imagine, est très loin d'être dépourvue de tout engagement social et humain.
Mais nous n'en sommes pas là !

Oui, tu finissais ton master...

Je songe alors à rentrer en France... et l'on me propose une thèse en recherche appliquée en géotechnique routière, domaine inconnu pour moi ! Nouvelle aventure de 4 ans : « Technique de dimensionnement des chaussées pavées de béton en contexte municipal et nordique ». Cette proposition vient du fait qu'il y a pas mal de modélisation et que je suis à l'aise en maths – informatique et en analyse numérique. Mais il n'y a pas que cela : dans l'intitulé de la thèse, il y a chaussée et... nordique. Cela signifie un peu de terrain et en plein hiver. J'ai aimé cela ! Cette thèse m'amène aussi à travailler avec le CERIB à Epernon où je passe ponctuellement durant 4 mois.

Comment se passe ton retour en France après ces 8 ans de formation certes, mais aussi d'absence ?

Heureuse de revenir... mais j'appréhende un peu, car une longue absence est synonyme de réseau professionnel inexistant. Mais tu vas voir que le monde est petit : mes parents sont en Bretagne. Un voisin connaît un voisin qui est prof. de physique. Il connaît, le directeur de l'e-lab de Bouygues qui me met en rapport avec le responsable du labo béton de Bouygues Construction, un ancien du Lerm qui connaît Jacques Marchand ! Je viens justement de répondre à une annonce du Lerm... Le réseau a ses raisons...

Tu démarres alors à l'agence parisienne du Lerm

Oui, j'y passe trois mois qui, dès la première étude, me permettent de corriger la représentation de l'entreprise que je percevais comme focalisée exclusivement sur le béton : il s'agit d'une problématique « brique » à l'usine à eau de Pantin. Cette expertise matériaux généraliste vient régaler ma curiosité...

Tu arrives ensuite sur Arles...

J'y intègre le département matériaux. J'ai le plaisir d'y rencontrer les être vivants que je ne connaissais que par l'organigramme et qui sont autant de ressources et de soutiens techniques. J'y côtoie aussi le laboratoire, ses rythmes et ses problématiques auxquels mon expérience canadienne m'a rendue sensible.

Les études se suivent sur mon bureau sans se ressembler et cette diversité me permet des découvertes dont je n'envisage pas la fin.

Comment vois-tu la suite au Lerm ?

Nôtre domaine d'intervention est formidablement riche et varié, j'ai donc encore beaucoup d'expérience à acquérir dans le poste que j'occupe. Une autre dimension de l'avenir très proche, c'est l'opportunité qui m'est offerte de conduire maintenant des études sur le patrimoine bâti . C'est une dimension renouvelée de mon champ d'activité dont je me réjouis.