

UTILISATION OPTIMALE DES MATÉRIAUX LOCAUX DANS LES TERRASSEMENTS ROUTIERS

Comité technique 4.4 *Terrassement et Routes non revêtues*
de l'Association mondiale de la Route

À PROPOS

L'Association mondiale de la Route (AIPCR) est une organisation sans but lucratif, fondée en 1909 pour améliorer la coopération internationale et pour encourager les avancées en matière de routes et de transport routier.

L'étude, objet du présent rapport, a été définie dans le Plan stratégique de l'AIPCR 2012-2015 approuvé par le Conseil de l'Association mondiale de la Route dont les membres représentent les gouvernements des pays qui en font partie. Les membres du Comité technique chargés de ce rapport ont été choisis par les gouvernements de ces pays pour leurs compétences particulières.

Les opinions, constatations, conclusions et recommandations exprimées dans cette publication sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les vues des organisations ou organismes auxquels ils appartiennent.

Ce rapport est disponible sur le site de l'Association mondiale de la Route (AIPCR) : <http://www.piarc.org>

Tous droits réservés © Association mondiale de la Route

*Association mondiale de la Route (AIPCR)
Tour Pascal B - 19^e étage
92055 La Défense CEDEX, France*

*International Standard Book Number: 978-2-84060-473-0
Couverture © Fotolia / Girodjl*

UTILISATION OPTIMALE DES MATÉRIAUX LOCAUX DANS LES TERRASSEMENTS ROUTIERS

Comité technique 4.4 *Terrassement et Routes non revêtues*
de l'Association mondiale de la Route

AUTEURS / REMERCIEMENTS

Ce rapport a été préparé par le Comité Technique 4.4 *Terrassements et Routes non revêtues* dans le thème stratégique 4 (*Infrastructures routières*) de l'Association Mondiale de la Route au cours de la session 2012-2015.

Ont contribué à l'élaboration de ce rapport :

- Paul GARNICA (Mexique), Président
- Andrew BOSCO (Australie), Secrétaire anglophone
- Thierry DUBREUCQ (France), Secrétaire francophone
- Aurea PERUCHO (Espagne), Secrétaire hispanophone
- Hind BENDIDI (Maroc)
- Franck THEYS (Belgique)
- Guy RAOUL (France)
- Dirk HEYER (Allemagne)
- Enrico MITTIGA (Italie)
- François TOLLO (Bénin)
- Benoit MBOLE (Cameroun)
- Nam MOON (Corée du Sud)
- Claude AIMÉ (France)
- Andriafenomanana RAKOTOBE (Madagascar)
- Andrei OLTEANU (Roumanie)
- Simon PETERSON (Afrique du Sud)
- Ashari Bin MOHAMAD (Malaisie)
- David OLODO (Bénin)
- Cheik Oumar DIALLO (Mali)

La rédaction de ce rapport a été assurée par Thierry DUBREUCQ et Claude AIMÉ (France).

Le comité Technique était présidé par M. GARNICA (Mexique).



UTILISATION OPTIMALE DES MATÉRIAUX LOCAUX DANS LES TERRASSEMENTS ROUTIERS

La valorisation des matériaux localement disponibles sur le site d'un projet routier constitue une préoccupation majeure dans le contexte du développement durable et répond parfaitement aux critères socio-économiques et environnementaux.

Comme suite à la précédente enquête réalisée lors de la session de 2008-2011 sur ce thème, il est apparu nécessaire, pour couvrir l'ensemble des connaissances à partager sur la construction des routes revêtues ou non revêtues de solliciter de nouveau les pays membres de l'AIPCR, afin de recueillir des informations sur les cas d'utilisation de matériaux locaux dans les conditions extrêmes (gel, sécheresse, pluies torrentielles), et sur les cas de raréfaction de ressources en matériaux comme les latérites, intéressant plus particulièrement les pays d'Afrique et d'Asie, continents bien représentés au sein du comité.

Les réponses ont permis d'identifier deux nouvelles familles de matériaux marginaux (localement disponibles) distinctes : les matériaux qualifiés de sous-produits industriels et les matériaux en conditions climatiques extrêmes ou les matériaux trop secs. Elles ont aussi permis de compléter la famille des matériaux fins, très argileux ou organiques (sédiments marins de dragage). Elles ont également mis en exergue l'enjeu économique vital de la valorisation de matériaux latéritiques pour certains pays. Pour chacune de ces nouvelles familles, on précise les caractéristiques des matériaux, l'usage recherché dans la structure, l'amélioration recherchée, le retour expérience éventuel, mais aussi les autres usages envisagés.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	3
1. TRAVAUX DU TC 4.4 DE 2012 À 2015.....	4
1.1. TRAVAUX DES SESSIONS AIPCR PRÉCÉDENTES EN LIEN AVEC L'ENJEU 4.4.1	4
1.2. NOUVELLE DÉMARCHE ENTREPRISE	5
1.3. LANCEMENT DE L'ENQUÊTE AUPRÈS DES MEMBRES DU COMITÉ.....	5
1.4. DÉROULEMENT DE L'ENQUÊTE	6
2. RESTITUTION DE L'ENQUÊTE	7
2.1. PRÉAMBULE.....	7
2.2. SYNTHÈSE ET ANALYSES DES RÉPONSES	10
3. RETOURS D'EXPÉRIENCE	20
4. NOUVELLES AVANCÉES ET TECHNIQUES INNOVANTES EN TERRASSEMENT ROUTIER.....	26
4.1. DÉVELOPPEMENT RECENT DANS LE TRAITEMENT CLASSIQUE DES MATERIAUX	26
4.2. PRODUITS DE TRAITEMENT NOUVEAUX: LES GÉOPOLYMÈRES	27
4.3. TECHNIQUE NOUVELLE DE CARACTERISATION DES SOLS SUR CHANTIER	29
4.4. ÉVOLUTION DU RÉFÉRENTIEL EN MATIÈRE D'EMPLOI DES DÉCHETS ET SOUS-PRODUITS INDUSTRIELS DANS LES TERRASSEMENTS	29
5. CONCLUSIONS GÉNÉRALES	31
5.1. VALORISATION ET TRAITEMENT DES MATERIAUX LOCAUX.....	31
5.2. ADAPTATION DES PRATIQUES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	31
6. RÉFÉRENCES.....	33
ANNEXE.....	36

INTRODUCTION

La valorisation des matériaux localement disponibles sur le site d'un projet routier constitue une préoccupation majeure dans le contexte du développement durable et répond parfaitement aux critères socio-économiques et environnementaux.

Le thème du TC 4.4.1 « *Utilisation optimale des matériaux locaux dans les terrassements routiers* » vise essentiellement la valorisation des matériaux naturels, localement disponibles sur le site d'un projet routier, mais jugés impropres en l'état suivant les critères usuels des spécifications techniques dans le domaine des terrassements.

Suite à la précédente enquête réalisée lors de la session de 2008-2011 sur ce thème, il est apparu nécessaire, pour couvrir l'ensemble des connaissances **à partager sur la construction** des routes revêtues ou non revêtues :

- de solliciter les pays membres de l'AIPCR, qui n'avaient pas pu répondre à la première enquête ou répondu partiellement sur l'utilisation de matériaux naturels marginaux (suivant la définition de l'AIPCR),
- de recueillir des informations des pays membres concernés pour des cas d'utilisation de matériaux locaux dans les conditions extrêmes (gel, sécheresse, pluies torrentielles),
- de recueillir des informations pour les cas de raréfaction de ressources en matériaux comme les latérites, intéressant plus particulièrement les pays d'Afrique et d'Asie, continents bien représentés au sein du comité.

La mise en commun des connaissances et des retours d'expériences en la matière fera bénéficier l'ensemble de la communauté routière des approches innovantes pour valoriser les matériaux disponibles localement tout en maximisant leur durabilité dans les cas de conditions extrêmes ou de raréfaction de la ressource.

Les réponses collectées auprès de sept pays contributeurs ont permis d'identifier deux nouvelles familles de matériaux marginaux (localement disponibles) distinctes :

- Les matériaux qualifiés de sous-produits industriels comme les sols résiduels après concassage, schistes houillers, ... et les sous-produits industriels à composés particuliers (copeaux de pneus, ...)
- Les matériaux en conditions climatiques extrêmes comme les matériaux latéritiques (litho-stabilisation: argile-sable, latérite-sable) et les matériaux trop secs (compactage à sec des sables du désert)

Les retours d'enquêtes ont permis aussi de compléter la famille des matériaux fins, très argileux ou organiques (sédiments marins de dragage). Elles ont également mis en exergue l'enjeu économique vital de la valorisation de matériaux latéritiques pour certains pays.

Pour chacune de ces nouvelles familles, on précise les caractéristiques des matériaux, l'usage recherché dans la structure, l'amélioration recherchée, le retour expérience éventuel, mais aussi les autres usages envisagés. L'accent est également mis sur les approches spécifiques des pays quant à l'utilisation de ces matériaux et l'apparition de classifications et prescriptions spécifiques dans certains pays. Des projets de recherches sont également cités.

1. TRAVAUX DU TC 4.4 DE 2012 À 2015

L'enquête portant sur l'utilisation optimale des matériaux locaux dans les Terrassements routiers demandait de bien vouloir fournir :

- a. une note générale du pays membre sur l'utilisation optimale des matériaux locaux, marginaux, notamment dans les cas de conditions extrêmes (gel, sécheresse, pluies diluviennes) ou en cas de raréfaction de la ressource (exemple latérite).
- b. un ou plusieurs cas de chantiers innovants, en précisant le nom du matériau local, le lieu et nom du Chantier :

5 familles de questions ont été définies préalablement:

- Q1 : Les caractéristiques,
- Q2 : L'usage recherché dans la structure,
- Q3 : L'amélioration recherchée,
- Q4 : Les retours expérience,
- Q5 : Les autres usages envisagés

Dans le détail, ces questions portées sur les points suivants :

- **question 1** : quelles sont les caractéristiques du matériau local (sols, végétaux, produits de dragage, boues, sous-produits industriels) qui ont posé problème pour son utilisation dans l'ouvrage routier, et expliquer brièvement pourquoi ou comment ?
- **Question 2** : quel a été l'usage de ce matériau dans cet ouvrage routier ? En spécifiant si un traitement du matériau a été prescrit ou non.
- **Question 3a** : quel était le type d'amélioration requise pour le matériau dans l'ouvrage
- **Question 3b** : détailler le matériel et la méthode qui ont été utilisés pour améliorer ce matériau et le rendre apte à l'usage projeté ?
- **Question 3c** : quelles méthodes et matériels de contrôle ont été utilisés lors de la mise en œuvre du matériau dans l'ouvrage (en remblai, en partie supérieure de terrassement, en couche de forme et/ou en couche de fondation) ?
- **Question 4** : quel est le retour d'expérience sur cette technique employée, que vous avez décrite à la question 3 ? Est-ce la première fois ? Donner les références bibliographiques (si disponibles).
- **Question 5a** : quels seraient les autres usages possibles pour ce matériau ?
- **Question 5b** : pour chacun de ces usages mentionnés en 5a, quelle serait la performance visée et comment serait-elle mesurée en chantier ?
- **Question 5c** : pour chacun de ces usages mentionnés en 5a, quelles sont actuellement les spécifications techniques réglementaires qui s'appliqueraient ?

1.1. TRAVAUX DES SESSIONS AIPCR PRÉCÉDENTES EN LIEN AVEC L'ENJEU 4.4.1

Depuis 1989, au sein de l'AIPCR, les comités techniques successifs dédiés aux «*Terrassements et routes non revêtues*» ont produit plusieurs rapports d'étude.

Le site internet de l'AIPCR héberge les rapports antérieurs suivants :

- 2003 : « *Limites d'emploi des sols naturels, spécifications et Contrôles dans les travaux de terrassements* »
- 2007 : « *Promouvoir l'utilisation optimale des matériaux locaux* »
- 2008 : « *Indicateurs représentatifs de l'état des ouvrages géotechniques pour la gestion des actifs routiers* »
- 2008 : « *Anticiper les effets des changements climatiques sur les ouvrages géotechniques routiers* »
- Mai 2012 : « *Adaptation des ouvrages géotechniques au changement climatique* »
- Juin 2012 : « *Approches innovantes dans l'utilisation de matériaux locaux naturels marginaux* »

Le dernier rapport du CT D4 2008-2011 intitulé « *Approches innovantes pour l'emploi des matériaux marginaux naturels localement disponibles* » publié en juin 2012 traite ainsi de nombreux aspects liés à cet enjeu. Il a synthétisé les travaux précités sur le sujet. Pour mémoire, ce rapport s'était appuyé sur une première enquête portant sur l'utilisation des matériaux locaux dans les ouvrages routiers (B. Dethy, G. Raoul).

1.2. NOUVELLE DÉMARCHE ENTREPRISE

Le comité technique 4.4 a estimé avoir besoin de données techniques pertinentes provenant des différents pays représentés par le comité, données accessibles par l'intermédiaire du nouveau questionnaire. Ce questionnaire comprenait une note générale d'utilisation optimale des matériaux locaux rencontrés dans le pays membre concerné, suivie d'un ou plusieurs cas de chantiers innovants d'utilisation optimale (réemploi, sur-classement) des matériaux, en tenant compte de la maîtrise des risques.

Les études de cas pouvaient concerner aussi l'emploi de sous-produit industriel.

Pour les pays concernés, des précisions supplémentaires pouvaient être données pour des cas d'utilisation dans des conditions extrêmes.

1.3. LANCEMENT DE L'ENQUÊTE AUPRÈS DES MEMBRES DU COMITÉ

Au démarrage de la session 2012-2015, le comité technique a défini pour l'enjeu 4.4.1 intitulé « *Utilisation optimale des matériaux locaux dans les Terrassements routiers* » les quatre objectifs initiaux suivants :

1. compléter les recommandations d'utilisation des matériaux locaux, avec entre autres la constitution d'une banque de données géotechniques sur les matériaux marginaux ;
2. évaluer les risques encourus avec les matériaux locaux en limite d'utilisation ;
3. comparer les prescriptions des différents systèmes AASHTO, ASTM, GTR, BS, et bientôt la nouvelle norme d'exécution européenne des terrassements ;
4. promouvoir une approche commune dans les pays membres, avec l'apport des pays d'Asie bien représentés dans cette session. En prenant en compte les constructions sous conditions extrêmes.

1.4. DÉROULEMENT DE L'ENQUÊTE

Le questionnaire de l'enquête a été envoyé en mai 2013, à tous les membres du comité technique. Dix-neuf enquêtes ont été retournées. Selon les continents, les réponses proviennent des sept pays suivants:

- **Europe** : Allemagne (1), France (10)
- **Afrique** : Mali (2), Maroc (1), Sénégal (1)
- **Asie** : Corée du sud (1)
- **Australie** : (3)

2. RESTITUTION DE L'ENQUÊTE

2.1. PRÉAMBULE

La définition du matériau marginal est d'abord rappelée. Une esquisse de définition de l'aléa climatique extrême est aussi proposée.

2.1.1. Définition du matériau marginal local naturel

L'enquête concerne, parmi les matériaux marginaux, ceux qui sont naturels (sols, roches) et localement disponibles sur le site des travaux de terrassement. Ces matériaux peuvent être qualifiés de « *matériaux naturels locaux marginaux* ».

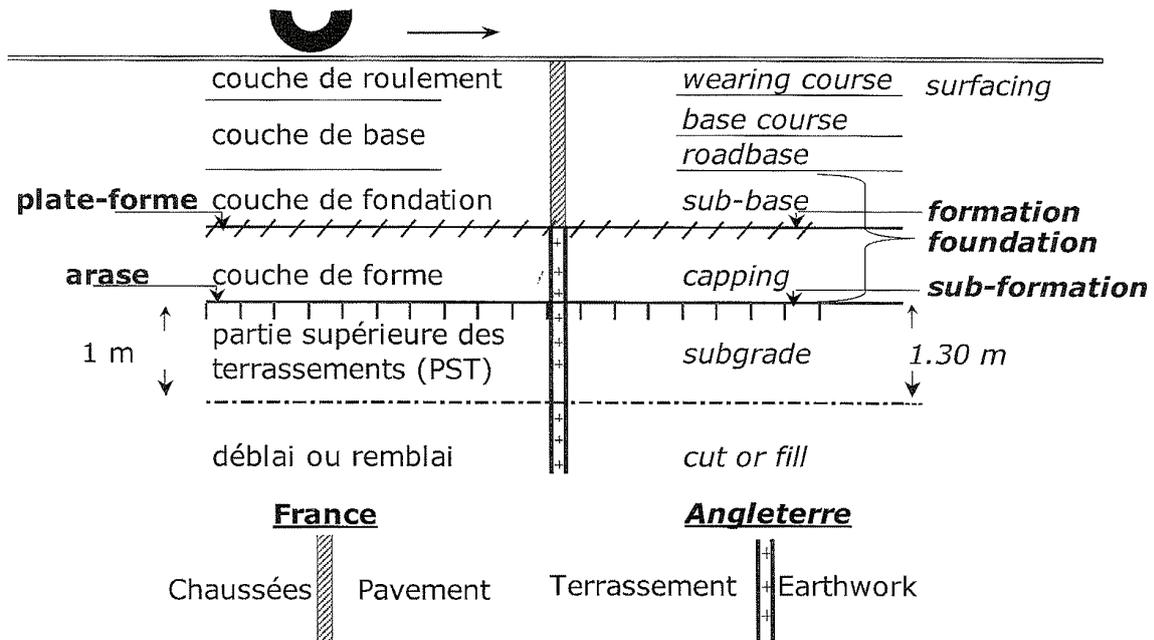
Par définition (PIARC Dictionary/French (09-01/0050)), « *un matériau marginal est un matériau non complètement conforme aux spécifications en vigueur dans un pays ou dans une région pour les matériaux routiers normaux, mais qui peut être employé avec succès, soit dans des conditions particulières rendues possibles par les caractéristiques climatiques ou par les récents progrès de la technique routière, soit après avoir subi un traitement particulier.* »

2.1.2. Esquisse de l'aléa climatique extrême

Au niveau mondial, à partir de différents scénarios de référence proposés par le GIEC, différents types d'évolution des variables climatiques ont été mis en valeur ; ces variables portent notamment sur la température (canicule, gel, ...), la pluviométrie (intensité, durée,...), le vent et le niveau des mers (climat, hauteurs de vague). Par suite, ces évolutions sont classées en tendance climatique et en événements extrêmes.

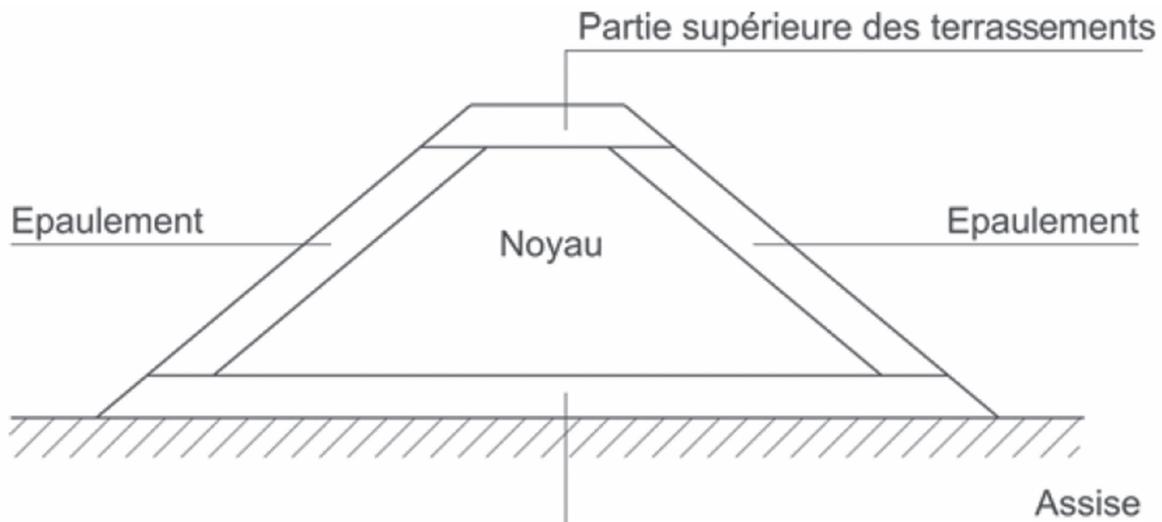
2.1.3. Terminologie

Les questions de l'enquête relatives aux usages actuels et souhaités pour les matériaux proposés se réfèrent à différents niveaux d'application au sein de la structure routière qu'il est important de bien définir – remblai de masse – partie supérieure de remblai ou des terrassements (PST) – couche de forme – couche de fondation – couche de base. A cet effet, la nomenclature proposée au sein du rapport AIPCR 12-12-B (2003) peut être prise comme référence (schéma ci-après) :



En outre, il convient de préciser les éventuelles zones propres aux dispositions constructives d'un remblai :

- la zone inférieure en contact avec le terrain en place (sol support) est l'assise ou la fondation du remblai ;
- la zone centrale constitue le noyau du remblai ;
- les zones latérales situées au droit des talus sont qualifiées d'épaulements, carapace,...
- enfin, la zone supérieure du remblai s'identifie à la Partie Supérieure des Terrassements (PST).



Terminologie d'un remblai

Au sein du rapport et des fiches de réponses, les abréviations suivantes peuvent également être utilisées :

Cc	coefficient de courbure de la courbe granulométrique ;
Cu	coefficient d'uniformité de la courbe granulométrique ;
C_u et φ_u	cohésion et angle de frottement en condition non consolidée, non drainée ;
D_{max}	dimension maximale des grains du sol ;
OPN	optimum à l'essai Proctor normal ;
Y_{d,max,OPN}	densité sèche maximale à la teneur en eau optimum de l'essai Proctor normal ;
w_{OPN}	teneur en eau à l'optimum Proctor normal ;
OPM	optimum à l'essai Proctor modifié ;
Y_{d,max,OPM}	densité sèche maximale à la teneur en eau optimum de l'essai Proctor modifié ;
w_{OPM}	teneur en eau à l'optimum Proctor modifié ;
Ic	indice de consistance ;
Ip	indice de plasticité ;
MCV	Moisture Condition Value (essai anglais : « valeur de condition d'humidité »)
VBS (MB)	valeur de bleu du sol ;
w_n	teneur en eau naturelle ;
w_L	limite de liquidité ;
w_p	limite de plasticité
IPI/IBI	indice portant immédiat ;
q4	objectif de densification pour le compactage des remblais (95 %, OPN) ;
LHR	liant hydraulique routier ;
φ'	angle de frottement interne effectif ;
LA	coefficient Los Angeles ;
γ_d	densité sèche ;
PLT	essai à la plaque de chargement ;
EV2	module de déformation à l'essai à la plaque allemande ;
GTR	guide technique réalisation des remblais et des couches de forme – LCPC-SETRA ;
GTS	guide technique traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques – LCPC-SETRA ;
PST	partie supérieure des terrassements ;
USCS	Unified Soil Classification System ;
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
MO	teneur en matières organiques;
CBR	California Bearing Ratio – CBRi CBR après immersion;
G_v	gonflement volumique;
ZI	zone inondable ;
Rc	résistance à la compression simple– Rci Rc après immersion ;
Ev_d	module mesuré à la plaque dynamique légère (LFWD) ;
R_t	résistance en traction directe;
R_{tb}	résistance en traction indirecte ;
DG	coefficient de dégradabilité ;
FR	coefficient de fragmentabilité ;
E	module d'élasticité ;
ASTM	American Society for Testing and Materials ;
EV2	module de déformation obtenue à la plaque française de chargement statique

2.2. SYNTHÈSE ET ANALYSES DES RÉPONSES

2.2.1. Fichiers des réponses aux questionnaires in extenso

Les fichiers originaux de réponses telles que reçues in extenso à l'enquête sur l'utilisation des matériaux locaux sont regroupés dans le répertoire ad hoc de l'espace de travail du comité TC 4.4 sur le site de l'AIPCR.

En annexe au présent rapport, des tableaux de présentation synthétique par pays et par type de matériau reprennent toutes les données fournies par chacun des pays ayant répondu.

Dans les réponses par pays au paragraphe suivant, on a aussi retranscrit les éléments de la note générale du pays qui introduit le questionnaire.

2.2.2. Réponses par pays

Comme pour la précédente enquête, la problématique des matériaux naturels locaux marginaux est donnée ci-après, sous forme synthétique, pour chacun des pays ayant répondu à l'enquête, y compris ceux n'ayant fourni qu'un commentaire général sans répondre directement et de manière systématique au questionnaire.

Les matériaux proposés par chacun des pays sont cités ainsi que les techniques de valorisation et – si elles ont été rapportées – les spécifications employées.

A travers leurs réponses, les pays ont mis l'accent sur :

- la valorisation des matériaux anthropiques
- l'utilisation de techniques nouvelles en matière de traitement des sols (géopolymères, ...)
- l'adaptation au changement climatique (économie d'eau et d'énergie, résilience après inondation, compactage « à sec », c'est à dire à des teneurs en eau massique de quelques pourcents, ...).

Allemagne

En Allemagne, les sols et des matériaux pour les travaux de terrassement et de marginaux locaux concernés sont: roches non durables, des sols organiques, les sols avec des impuretés minérales, de recyclage des matériaux de démolition, sous-produits industriels, les sols mous.

En retour du questionnaire, un cas de valorisation des sols organiques en écran visuel et en écran phonique est exposé.

Un autre cas très intéressant porte sur la valorisation de stériles miniers en Allemagne. Ce cas a été présenté à l'occasion d'une réunion du comité qui s'est tenue à Cologne en juin 2014, suivie d'une visite de terrain de la mine en question. Ce cas sera développé au paragraphe 3 consacré aux retours d'expérience.

Australie

Une grande partie des routes australiennes non revêtues est construite avec matériaux granulaires disponibles localement qui ne satisfont pas intégralement les critères du Guide

Australien des routes non revêtues (ARRB) afin d'endurer au mieux toutes les conditions météorologiques. Typiquement les pistes sont construites avec des matériaux granulaires de carrières qui répondent aux spécifications et critères de qualité : il est souhaitable que 100% des matériaux passent le tamis de 26,5 mm ; la retenue au tamis de 2,36 mm est comprise entre 20% et 60% ; le rapport entre le passant au tamis de 0,075 mm et passant au tamis de 2,36 mm est compris entre 0,2 et 0,6 ; l'indice de plasticité est compris entre 4 et 15 ; le retrait linéaire est comprise entre 2 et 8 % ; l'indice de plasticité pondéré (le produit du passant en % au tamis 0,425 mm par Ip) est compris entre 300 et 400.

Dans le passé, des matériaux de qualité inférieure ont été utilisés dans les régions reculées faute de matériaux de bonne qualité disponibles. Aujourd'hui, en raison du développement des carrières et des réseaux de transport, plutôt que d'améliorer les matériaux marginaux du site, la tendance est à l'importation de matériaux de meilleure qualité.

Sur un autre cas rapporté, le département des Main Roads de l'Etat du Queensland a défini une classe de matériaux nommée WQ35 (Western Australia n°35) dont les critères granulométriques et d'argilosité sont suffisamment larges pour correspondre à la ressource en matériaux environnante. Cette dénomination peut correspondre à des matériaux bruts ou à des recompositions en carrière. Des guides publiés par les Services des « *Main Roads* » donnent des orientations quant aux méthodes de réemploi de ces matériaux localement disponibles, notamment en couche de forme et en couche de roulement non revêtue.

Mali

Le relief du Mali (1 241 000 km²) est plat ou légèrement vallonné. Le Mali a un climat varié : soudano guinéen vers le sud et sahélo saharien au nord avec le delta intérieur du fleuve Niger au centre, sa pluviométrie annuelle est inférieure à 100 mm par an au Sahara peut atteindre 1200 mm dans la zone guinéenne. La quasi-totalité des infrastructures routières se situe au sud du pays. Le principal matériau utilisé est la latérite. Les conditions y sont extrêmes: au nord, la sécheresse, au centre et au sud, les pluies diluviennes. La couche de roulement des routes non revêtues est en latérite. L'amélioration est principalement obtenue par stabilisation au ciment ou la litho stabilisation par ajout d'autres matériaux locaux concassés. La substitution est un produit de concassage de roches localement extraites (grès, granite, dolérite).

Sont présentés des cas de stabilisation au ciment (teneur massique de 2,5 % à 4 %), de litho stabilisation, de substitution, et un procédé expérimental de compactage sur sable alluvionnaire.

Maroc

Au Maroc, le linéaire du réseau routier géré par la Direction des Routes est estimé à 57 344 km dont 40.057 revêtues et 17.277 Km non revêtues. Face à une demande croissante du transport, le Gouvernement Marocain a mis en place une politique d'investissement axée principalement sur l'entretien, la sauvegarde du patrimoine routier et l'augmentation de capacité. La construction des routes rurales a un impact considérable sur le développement du monde rural. Le Royaume du Maroc a lancé entre 1995 et 2005 le PNRR1 qui avait pour objectif la réalisation de 15.000 Km. Entre 2005 et 2012, le Ministère a lancé le PNRR2 pour la réalisation de 15.500 Km de routes rurales. Actuellement le ministère est en cours de préparation du PNRR3. Ces deux premiers programmes ont permis d'augmenter le taux d'accessibilité de 80%. Pour la construction des routes non revêtues, le ministère de l'Équipement et du

Transport a élaboré un guide spécial pour la construction et l'entretien des routes rurales marocaines. Le trafic n'y dépasse pas 150 véhicules par jour. Ce document regroupe essentiellement les différents types de matériaux qui peuvent être utilisés en couche de roulement ainsi qu'un ensemble de dispositions constructives relatives à l'exécution des travaux et à l'entretien.

Sénégal

la contribution du Sénégal se matérialise avec la thèse de Massemba Ndiaye entre l'université de Paris Est et l'université de Cheikh Anta Diop de Dakar, soutenue en 2013 : « *Contribution à l'étude de sols latéritiques du Sénégal et du Brésil* ». La thèse a porté sur les matériaux graveleux latéritiques utilisés dans de nombreux pays, notamment au Sénégal. Les matériaux y sont sélectionnés par référence aux règles du CEBTP de 1972, révisées en 1980. Les graveleux latéritiques doivent respecter des fuseaux granulométriques avant ou après compactage. Des conditions sont aussi imposées à l'indice CBR, à l'indice de plasticité et à l'optimum Proctor. Les recherches ont concerné : l'effet du compactage à différentes énergies sur la fragmentation des particules solides et la modification de la courbe granulométrique, la sélection des matériaux et leur classification qui en découlent, leur comportement dans les chaussées sous l'effet du compactage à la mise en oeuvre puis sous le trafic routier, la corrélation entre l'indice CBR et les paramètres granulométriques ou géotechniques du sol, les mélanges de sol graveleux latéritique avec un autre matériau dépourvu de particules fines pour améliorer sa plasticité et sa résistance.



*Prélèvement de matériaux latéritiques sous chaussées anciennes
(tronçons Mboro – Diogo et Darou Marnane – Mbacké Cadior)*

La pertinence de l'utilisation des coefficients de fragmentabilité FR et de dégradabilité DG, introduits dans la classification des sols latéritiques de Rodrigues et al. (2010) pour caractériser l'évolution des graveleux latéritiques, a été évaluée par des essais de laboratoire sur le matériau de la carrière de Lam-Lam et le même matériau mis en oeuvre en couche de base sur deux routes du Sénégal. Le coefficient de dégradabilité ne permet pas de différencier pas les matériaux tandis que le coefficient de fragmentabilité semble un meilleur paramètre.

Par suite, l'étude de l'évolution des classes granulaires des latérites de deux carrières du Sénégal et deux carrières du Brésil sous compactage CBR confirme l'importance de la fragmentation des particules les plus grandes et le décalage des courbes granulométriques vers les sols plus fins, mais ces changements dépendent de la nature des latérites testées. Il en résulte que l'étude des matériaux graveleux latéritiques doit continuer de se faire à l'échelle de la carrière.

La lithostabilisation des latérites de Lam-Lam et de Sindia par mélange avec 30% et 10% de sable de Keur Massar pour abaisser leur indice de plasticité naturel a eu l'effet attendu sur la plasticité, tout en respectant les critères granulométriques. Mais l'effet de l'ajout du sable sur l'indice CBR est inattendu et devra être étudié: on a relevé une diminution pour la latérite de Lam-Lam, et inversement, une augmentation pour la latérite de Sindia.

République de Corée

En République de Corée, on assiste à un épuisement progressif du sable naturel utilisé en assise de fondation de chaussée. Le matériau alternatif est un sous-produit de pierres concassées en carrière : le résidu de fabrication des granulats pour le mélange d'asphalte ou de béton de ciment. Ces agrégats fins sont mis en œuvre sans traitement. Une meilleure résistance est obtenue avec les granites et les calcaires. Le cas échéant, on prévient le risque de gel en incorporant moins de 30% en poids de ces agrégats fins. Des guides existent pour le contrôle. Des recherches supplémentaires ont été menées pour employer ces résidus dans les couches de base en béton. En utilisant des résidus, on contribue ainsi à la réduction des coûts, le recyclage des matériaux et la protection de l'environnement. L'étude de cas de l'autoroute n°40 (PyungTack-CHUNGJU) est présentée.

France

Dans le cadre d'une politique globale d'investissement et d'entretien, le dimensionnement des chaussées est effectué selon une méthode unitaire. Celle-ci prend en compte une conception de la structure, ainsi que des familles de matériaux constitutifs aux caractéristiques physiques et mécaniques spécifiées dans un référentiel technique. Pour identifier les matériaux définis comme « *hors champ en tout ou partie* », il faut se rapporter au référentiel concernant les emplois visés par le guide, à savoir, l'utilisation de matériaux pour réaliser des assises de chaussées et des couches de forme supports de la structure.

En ce qui concerne la couche de forme, les matériaux naturels et les sous-produits industriels font l'objet d'une classification définie dans la norme NF P 11-300 « *Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières* ». La norme de classification NF P 11-300 ne définit pas les spécifications d'emploi de ces matériaux pour un usage notamment en couche de forme. Il faut se reporter au Guide Technique pour la Réalisation des remblais et des couches de forme (« *GTR* ») pour avoir la description des solutions relatives aux conditions d'utilisation propres à chaque classe de matériaux en fonction des caractéristiques du support et des objectifs de plate-forme recherchés.



Y. NEDELEC – S. GARDET – CETE SO/DLB Page 2/31

Vue du bassin d'Arcachon (Gironde)

Un cas de valorisation de sédiments issus de dragage de chenaux et ports du Bassin d'Arcachon (Gironde) est présenté. Après avoir mélangé ces sédiments avec un sable à hauteur de 30 % en masse (procédé de lithostabilisation), l'objectif était d'étudier sur des planches d'essais les conditions de réalisation de pistes forestières. En référence au guide français des terrassements routiers « GTR 92 », le sédiment dragué est un matériau fin de piètre qualité, classé A4, contenant 11 % de matière organique pour une teneur en eau supérieure à 100%. Sur le plan environnemental, le respect des valeurs limites toxiques en lixiviation des éléments polluants présents dans les sédiments a permis leur réemploi.



Préparation du mélange sur la zone de dépôt provisoire (1000m²)



Broyeur à cailloux

À partir d'une plate-forme de préparation provisoire (1000 m²), le phasage comprenait : l'épandage de 10 cm de sable (plateforme propre) ; l'épandage de 10 cm de sédiments fins ;

l'aération et le séchage des sédiments fins ; l'épandage de 20 cm de sable issu du bassin ; et enfin, le mélange intime du sable et des sédiments fins sur 30 cm. L'Optimum Proctor a été obtenu à la teneur en eau de 19%, associé à un indice portant immédiat de l'ordre de 15. Le retour d'expérience est globalement satisfaisant en terme de portance, pourvu que l'on maîtrise la teneur en eau des sédiments à la mise en œuvre.



Valorisation de pneus usagés en remblai : 50 % copeaux de pneus et 50 % de sablines

Le recyclage des pneus usagés représente un défi pour tous les pays. Chaque année en France, les industriels doivent trouver une destination pour 350 000 tonnes de pneus usagés. Un exemple d'utilisation de copeaux de pneus en remblai est présenté. Des pneus déchiquetés ont été utilisés, sur la déviation de Maubourguet (Hautes Pyrénées) seuls ou mélangés à des sablines déchets issus des gravières locales après lavage des granulats.

Dans un autre cas d'étude, les schistes houillers, partiellement ou non brûlés, contiennent une part de charbon. Ces matériaux, plus ou moins sensibles à l'eau peuvent être identifiés comme des sols. Leurs conditions de réemploi dépendent de la nature de la fraction « *blocaille* » et de la teneur en imbrulés, mesurée par l'essai de perte au feu. La nature de ces matériaux impose une limitation d'utilisation à certains ouvrages en terre, voire certaines parties d'ouvrages.



Coupe du remblai de la Ligne grande vitesse (LGV)



Train à grande vitesse (TGV)

Un cas de valorisation des cendres volantes silico-alumineuses est aussi rapporté. Le projet concernait la ligne nouvelle à grande vitesse Est Européenne, construite au début des années 2000, entre Paris et Strasbourg, plus précisément sur le tracé Vaires sur Marne- Baudrecourt, dans la région des Vandières dans le département de Meurthe et Moselle. Il s'agissait de valoriser des cendres volantes silico-aluminates, non traitées, provenant d'une centrale

électrique thermique. Ces cendres sont classées F2, sous produit industriel, selon le Guide Français des Terrassements Routiers. Utilisées en matériaux de remblais (140.000 m³) sur le tronçon du lot 35 (voir figure), ces cendres ont été compactées dans un noyau central, avec un engagement latéral et une protection en parties supérieure et inférieure. Ces mesures visent à empêcher toute infiltration d'eau, y compris les remontées capillaires en cas d'inondation à la base du remblai. En effet, sur le plan environnemental, bien que les éléments chimiques potentiellement polluants ne sont que très faiblement lixiviables, du fait de la vitrification des cendres lors de leur refroidissement brutal, ces cendres ont été isolées dans une boîte en limon traité. Les contrôles in situ en portance ont montré que les modules de déformation EV2 étaient compris entre 40 MPa et 68 MPa. L'extraction en front de taille des terrils a permis d'homogénéiser les teneurs en eau des cendres stockées en extérieur. Le compactage du remblai a été assuré par un atelier composé d'un compacteur vibrant type V4 (2 passes) et d'un compacteur à pneus type P1 (6 passes).



Zone côtière submergée en Charente Maritime, suite à la tempête Xynthia (28 février 2010)

Vis-à-vis du changement climatique, l'impact des évolutions (tendancielle ou extrême) a été analysé ces dernières années en France sur les différents types d'infrastructures (routières, ferroviaires, aéroportuaires, portuaires, voies navigables, remontées mécaniques, voies et transports urbains):

- par rapport aux référentiels existants (conception, entretien et exploitation) pour tout type d'infrastructure. Pour chaque document existant des référentiels, une vérification de sa validité ou la nécessité de son adaptation avec les nouvelles hypothèses fournies par les scénarios retenus a été effectuée.
- par rapport aux ouvrages existants sur tous les types d'infrastructures. L'impact des évolutions (tendancielle ou extrême) sur tous les types d'ouvrages existants a été analysé.

Une méthodologie de travail dans le cadre de la gestion de ces ouvrages est en cours de validation.

- par rapport aux ouvrages futurs sur tous les types d'infrastructures. Des études sont menées pour adapter le cas échéant les référentiels existants pour la construction de nouvelles infrastructures.

La conférence internationale sur le climat à Paris en décembre 2015 aura aussi pour enjeu la résilience des infrastructures de transport soumise au changement climatique.

2.2.3. Tableaux de synthèse des réponses

Les réponses recueillies couvrent majoritairement l'ensemble des questions du questionnaire (voir annexes). Des retours d'expériences sont rapportés. Les autres usages envisagés pour les matériaux de l'étude de cas sont par contre peu abordés.

Question Q1 : nature et caractéristiques

Pays	Matériaux qualifiés de sous-produits industriels		Matériaux en conditions climatiques extrêmes		Matériaux fins/ argileux/ organiques	
	Sous-produits industriels	Sous-produits à composés particuliers	Matériaux latéritiques	Matériaux très secs	Sols organiques	Sols fins/ argileux
Allemagne						x
Australie	xx					xx
Corée du Sud	x					
France	xxx	xx		x	x	xx
Mali			xx			
Maroc				x		
Sénégal			x			

Les sous-produits à composés particuliers sont les copeaux de pneus et de boues carbonatées de papeterie. Ce sont des additifs aux sols marginaux dans une proportion massique typique de 20% à 30%.

Question Q2 : usage recherché

Pays	En remblai de masse		En partie supérieure de remblai		En couche de forme		En couche de fondation		Autres
	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	
Traitement									
Allemagne									x
Australie		x		x	x			x	x
Corée du Sud						x		x	
France	xx	xxx		x	x		xx		x
Mali									x
Maroc		x							x
Sénégal						x		x	x

Les autres usages recherchés sont :

- en noyau : France, Maroc
- en écran phonique : Allemagne
- en couche de roulement : Mali, Sénégal, France (pistes forestières)

Les cas d'utilisation des matériaux locaux sans traitement (chaux et/ou liants hydrauliques) sont majoritaires. L'usage recherché en remblai en masse est le plus fréquent.

Question Q3 : amélioration recherchée

Pays	Type					Méthode et matériels d'élaboration					Méthode et matériels de contrôle				
	Chimique	Ciment/Liant hydraulique	chaux	Lithostabilisation	Mécanique (densité)	Traitement in situ	Traitement en centrale	Ajustage Teneur en eau	Pluvimixer	Planches d'essais compactage	Granulométrie	Gammadensimétrie	Contrôle en centrale	Compacteur	Epaisseur de couches
Allemagne								x							
Australie	xx	x	x		xx		x	x			x	x	x		x
Corée du Sud				x											
France		xx		x	x	x	x		x	x				x	xx
Mali		xx						xx				xx			
Maroc								x		x	x			x	x
Sénégal				x										x	x

Les réponses collectées auprès de sept pays contributeurs ont permis d'identifier deux nouvelles familles de matériaux marginaux naturels (localement disponibles) distinctes :

- les matériaux qualifiés de sous-produits industriels comme les sous-produits industriels (sols résiduels après concassage, schistes houillers, sables de fonderie, ...) et les sous-produits industriels à composés particuliers (copeaux de pneus, ...);
- les matériaux en conditions climatiques extrêmes comme les matériaux latéritiques (lithostabilisation: argile-sable, latérite-sable) et les matériaux trop secs (compactage à sec des sables du désert).

Les retours d'enquêtes ont permis aussi de compléter la famille des matériaux fins, évolutifs ou fragmentables (schistes et micaschistes), très argileux ou organiques (sédiments marins de dragage).

Question Q4 : Retours d'expérience

Les retours d'expérience de valorisation des matériaux marginaux sont généralement favorables, pourvu que la caractérisation initiale des matériaux et le contrôle à la mise en œuvre soient efficaces.

Les matériaux trop sensibles à l'eau comme certains micaschistes ou sédiments marins de dragage par exemple peuvent cependant conduire à des difficultés. L'encagement de ces matériaux en noyau de remblai peut être une solution.

La maîtrise de la teneur en eau massique à la mise en œuvre est le premier critère de réussite de la valorisation.

Question Q5 : Autres usages envisagés

Des usages autres que ceux déjà envisagés sont proposés moyennant des planches d'essais et des contrôles supplémentaires : couche de forme, couche d'assise de chaussée, chaussée béton

2.2.4. Application de spécifications dans le cas de matériaux marginaux

On pourra se reporter au rapport de l'AIPCR de 2012 « *Approches innovantes pour l'emploi des matériaux marginaux naturels localement disponibles* » qui décrit dans le détail les 3 types de classifications (A, B, C) des matériaux dans la communauté internationale.

3. RETOURS D'EXPÉRIENCE

En préambule, les routes en terre non revêtues représentent l'essentiel du linéaire des routes dans le Monde. Face au changement climatique, une meilleure maintenance est attendue pour garantir leur durée de vie.

Le président du Comité Technique 4.4 (Mexique) a notamment rapporté au cours de la session l'existence d'un guide américain particulièrement riche en techniques adaptées aux routes rurales intitulé « *Ingénierie des routes à faible trafic, guide de terrain des meilleures pratiques* » rédigé par le Service des Forêts de Californie et Caroline du Nord, aux Etats unis. De nombreux cas de réparation de routes en terre sont traités avec des dessins illustratifs pertinents, et assortis de mesures concrètes, pratiques et rustiques.

On rapporte dans ce paragraphe quelques retours de chantiers qui ont été exposés au cours des réunions par les membres du comité technique 4.4, en lien avec les routes non revêtues ou l'impact du changement climatique. On s'est attaché notamment à valoriser les travaux produits dans le cadre du séminaire AIPCR du 9 et 10 juin 2014 à Rabat (Maroc) sur la valorisation des matériaux locaux en zones aride et semi-aride.

Australie



Technique de mesure des quantités de poussières sur les routes australiennes en terre

« *Durabilité des traitements de surface des routes non revêtues* » (A. Bosco)

L'Australie a produit un guide pour les non spécialistes rassemblant les techniques d'entretien des routes non revêtues, en des termes accessibles (rapport sur le « *Durabilité en surface des traitements des routes non revêtues* », Guide to Pavement Technology Part 6: Unsealed Pavements, Austroads Publication No. AGPT06/09). Le guide introduit une couche d'usure en lieu et place de la couche de roulement d'une route revêtue. Des limitations de vitesses et des charges roulantes sont indiquées. Un chapitre est consacré à la mesure de l'usure des routes non revêtues au moyen d'une mesure originale de la poussière produite sous trafic. Des barrières sur les routes sont mises en place après les pluies, le temps du séchage. La durée de vie des routes non revêtues australiennes est ainsi d'une vingtaine d'années si la qualité des matériaux de construction est respectée et si l'entretien périodique des routes est suivi (tous les trois mois par temps humide).

Maroc

Technique de désensablage sur route au Sud du Maroc (Laayoune): turbo fraise à sable

A l'occasion du séminaire international sur les « *Terrassements et chaussées dans les zones arides et semi arides* » organisé avec succès par le Ministère de l'Équipement du Maroc à Rabat du 9 au 10 juin 2014, on rapporte ci-après quelques articles et communications très instructives. Ces retours d'expérience de constructions autoroutières essentiellement sont en lien direct avec la valorisation des matériaux locaux, en utilisant très peu d'eau de compactage (quelques pourcents de teneur en eau massique). Il s'agit de sols sableux mais aussi des sols comme les schistes, les micaschistes et des marno-calcaires.

« *Ensamblage au sud du Maroc* » (L. Taoussi) ; « *Evolution et exploitation des routes en milieu Désertique au Maroc, le Désensablement des routes* » Maroc, Ministère de L'Équipement.

Le Maroc est confronté au Sud du pays à un ensablement croissant de son réseau routier où sont recensées toutes les formes de l'ensablement, préjudiciables à la sécurité routière. Une analyse du réseau et des actions sur plusieurs décennies a été menée. Il ressort malheureusement que ce phénomène naturel est complexe, non structurable et difficile à modéliser ou à maîtriser.

« *Le compactage à sec, Autoroute Skhour Errhamma/Marrakech* » (H. Ejjaouani)

Par ailleurs, dans le cadre de la construction de l'autoroute Skhour Errhamna/Marrakech, on a été confronté à un problème d'eau, sachant que la zone est considérée comme aride compte tenu de la pluviométrie de la zone. De ce fait, une étude spécifique a été lancée par le maître d'ouvrage ADM (Société Nationale des Autoroutes du Maroc) pour utiliser le maximum de matériau provenant du site. Cette étude a permis d'écarter certains matériaux pour le compactage à sec, compte tenu de leur risque (exemple: tuf). Certains ont été autorisés jusqu'à des hauteurs de 5 m à 7 m et d'autres pour des hauteurs de 12 m à 15 m. Autoriser le compactage à sec nécessite un certain nombre de dispositions constructives qui ont conduit à une nouvelle conception des remblais et en particulier à la suppression du terre-plein central. Un drainage adéquat avec protection contre les infiltrations d'eau a été mis en oeuvre. En conclusion de l'article, « *un remblai évolutif, sensible à l'eau, mal compacté ne subit pas de déformation si son état hydrique ne change pas et si son état de contrainte ne change pas.* »

Malaisie



Exemples de routes inondées en Malaisie (2007) et au Mexique (2011)

Les pratiques en matière de gestion des eaux pluviales sur les routes en terre en Malaisie sont très intéressantes, notamment pour les eaux d'orages (Ashaari Bin Mohamad). La Malaisie qui est un pays tropical reçoit jusqu'à 2,5 m d'eau principalement entre novembre et février. La période de retour des pluies pour le dimensionnement du réseau n'excède par une dizaine d'années. Le drainage des routes suit les « *Recommandations pour la conception du drainage des routes* » produit par le Département des Travaux Publics et l'Association Routière de Malaisie. Ces recommandations sont tirées de divers référentiels (AASHTO, British Standard,...) mais toujours appliquées aux conditions locales.

République de Corée

Eboulement sur une autoroute en République de Corée, suite à des pluies torrentielles

« *Les glissements de terrains sur autoroutes* » (KyungSoo Jeon)

La Corée du Sud a établi pour l'ensemble de ses autoroutes une carte nationale des risques. Elle a défini aussi la typologie des glissements de terrains rencontrés. Les pluies torrentielles peuvent atteindre plus de 110 mm par heure. Le réchauffement climatique semble à l'origine de l'augmentation de l'intensité des pluies et des coulées de boues et de roches sur les pentes. Pour chaque autoroute, le système de drainage (ouvrage hydraulique, assainissement de surface, drainage des pentes, tranchées drainantes) a une période de retour bien définie, selon la situation géographique (montagne, plaine, cours d'eau adjacent). Une classe de drainage et un mode de calcul du débit sont ainsi affectés à chaque portion d'autoroute selon l'étendue du bassin versant. Des systèmes éprouvés de drainage sont adoptés. Pour prévenir le charriage solide (blocs, arbres arrachés), de nombreuses retenues ont été construites.

Allemagne



Vue générale de mine de charbon à ciel ouvert, à l'Ouest de Cologne, Allemagne

« *Aspects particuliers pour construire une autoroute sur un remblai de comblement de 185 m de hauteur* » (N.Vogt and al.)

L'exploitation de mines de charbon à ciel ouvert (jusqu'à 370 m de profondeur) contribue à hauteur de 25% dans la production totale d'électricité en Allemagne. Les 180 millions de tonnes de lignite par an extraites de ces mines conduisent à une production de 700 millions de tonnes de stériles à mettre en décharge, au détriment des surfaces agricoles, réserve naturelle, constructions, infrastructures. La nouvelle autoroute A 44 sera ainsi construite sur la zone remblayée de la mine à ciel ouvert Garzweiler, zone qui atteint une profondeur maximale de 185 m. La terre du remblai est déversée par des gros tombereaux rigides en grande masse. Pour le comblement de la mine à ciel ouvert, le très important volume extrait journalier ne permet pas le compactage des stériles dans les couches profondes de la décharge. Pour la réalisation d'infrastructures en surface comme les voies ferrées ou les routes, il faut gérer le débit et le contrôle de la qualité. Malgré une rigidité beaucoup plus élevée que celle d'un sol fin, ces sols grossiers à l'état lâche peuvent présenter une compressibilité prononcée conduisant à des déformations à long terme sous poids propre. Les infiltrations d'eau accentuent le phénomène, notamment lors de la remontée de la nappe une fois l'exploitation terminée. Des essais de laboratoire et des comblements de grande épaisseur ont été réalisés pour une valorisation optimale des stériles issus de l'exploitation de la mine de charbon. Dans ce contexte, la société RWE Power AG a développé un concept de remplissage de la fosse sur laquelle l'autoroute sera construite qui utilise une sélection des granules et sables lors du déversement. Des essais à grande échelle, en laboratoire et en place, ont confirmé que les déformations à la surface du remblai peuvent être nettement réduites par le choix ciblé des matériaux.

Espagne



Atelier de traitement à la chaux (Espagne)

la norme pour la construction de routes en Espagne est appelée le PG-3 (A. Perrucho). La première version de cette norme a été approuvée en 1975. L'utilisation des matériaux marginaux a été rajoutée à la norme en 2002. La norme PG-3 de 1975 définissait 4 catégories de matériaux pour remblais : sélectionnés, adéquats, acceptables, inadéquats. Pour la classification des sols et des roches dans une catégorie, on a retenu les caractéristiques géotechniques suivantes : plasticité, teneur en matière organique, densité, valeur de CBR, gonflement, taille des grains. La nécessité croissante de valoriser les ressources naturelles en place et la politique de développement durable dans les années 80 et 90 ont amené une nouvelle version de la classification des sols et des roches, pour son utilisation dans les remblais routiers. Cette nouvelle classification change un peu les critères de classification précédente et définit un nouveau type de matériau appelé « *matériau marginal* ». La nouvelle classification est basée sur les caractéristiques suivantes : plasticité, teneur en matière organique, effondrement, gonflement, teneur en sels solubles, teneur en gypse, taille des grains.

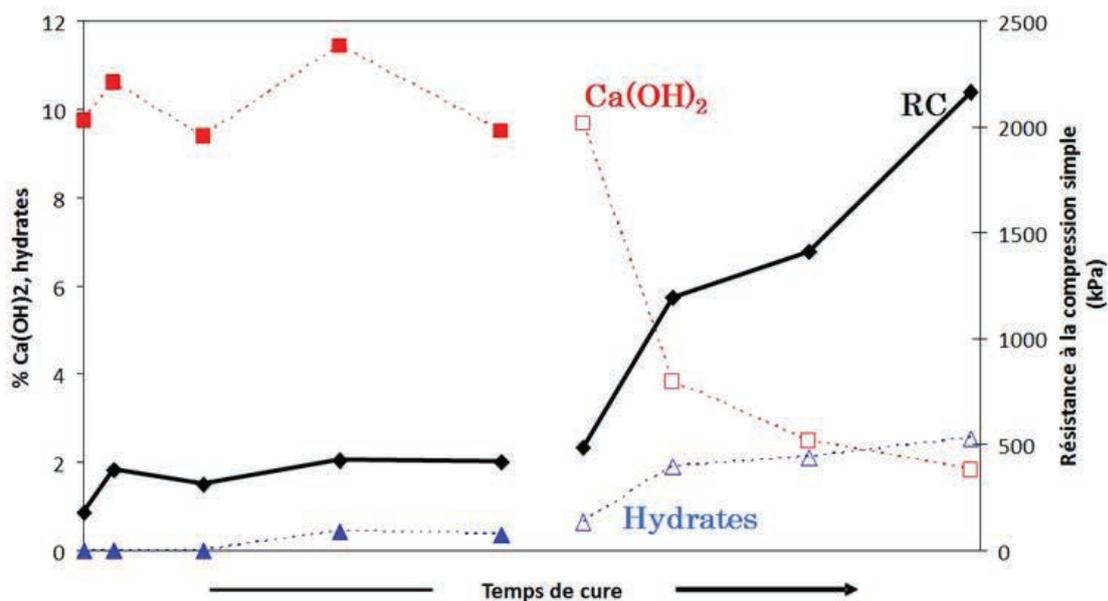
En conclusion, les matériaux naturels marginaux sont principalement utilisés dans le noyau du remblai, quelques fois dans les fondations et les pentes, jamais en partie supérieure. Un traitement spécifique à chacun est stipulé pour leur utilisation. Les matériaux gonflants sont traités avec un pourcentage de chaux autour de 2% (un peu plus élevé en cas d'utilisation dans des fondations ou des pentes). Les matériaux gypseux sont isolés par des membranes imperméables. Le meilleur moyen de compacter l'argile et les matériaux gypseux est le compacteur à pied de mouton. La couche moyenne est de l'ordre de 30 cm d'épaisseur.

4. NOUVELLES AVANCÉES ET TECHNIQUES INNOVANTES EN TERRASSEMENT ROUTIER

4.1. DÉVELOPPEMENT RECENT DANS LE TRAITEMENT CLASSIQUE DES MATÉRIEAUX

Parmi les besoins identifiés en matière de recherche sur les traitements à la chaux ou/et aux liants hydrauliques figurent l'approfondissement de la connaissance des interactions liant-matériau et l'élargissement de la gamme des matériaux concernés et de leurs domaines d'application. Très vite, il est apparu que ces deux thèmes étaient liés et que pour progresser dans les domaines d'application, il fallait aussi progresser dans la connaissance des phénomènes fondamentaux en faisant appel à des moyens d'investigation nouveaux et performants.

- Processus physico-chimiques et comportement géotechnique des sols traités
- Evolution dans le temps des sols traités - Durabilité
- Réalisation d'un ouvrage expérimental de référence
- Méthodes et outils d'analyses économiques & environnementales des projets



Couplage entre la formation de composés cimentaires d'une kaolinite traitée à la chaux et sa résistance en compression simple. Ca(OH)_2 : portlandite ; Hydrates : silicates de calcium hydratés (CSH), aluminates de calcium hydratés (CAH). Résultats expérimentaux sur éprouvettes en laboratoire, projet ANR TERDOUEST

La France a ainsi lancé le programme de recherche intitulé TerDOUEST (Terrassement Durable - Ouvrages en Sols traités) qui s'est achevé en 2012 (Y. Boussafir). La finalité était le réemploi des matériaux très plastiques permettant l'augmentation du taux de réemploi global des sols fins et une réduction du volume de dépôts. Entre autres résultats de recherche, on souligne que l'impact d'un élément chimique ne dépend pas que de sa concentration dans le sol. Le caractère perturbateur d'un élément chimique résulte de la combinaison de multiples paramètres : les propriétés intrinsèques au sol (concentration et répartition de l'élément, forme chimique, argilosité, ...), les caractéristiques du liant (teneur en clinker, chaux, etc.) mais aussi les facteurs environnementaux (température, humidité).

Par ailleurs, les traitements sont aujourd'hui étendus aux géopolymères et de nombreuses réalisations à travers le Monde en témoignent (Mexique, Australie, Mali ...). Pour mémoire, les géopolymères sont la réciproque des polymères organiques. À la place de dérivés du pétrole et de la chaîne carbonée, on utilise de la matière minérale composée de silice et d'alumine. Les recherches menées par les industriels, le monde académique et les institutions publiques sur ces nouveaux produits sont en plein essor. Dans le cadre du comité technique 4.4, les retours d'expérience *in situ* en Australie et au Mexique sont, à ce titre, très riches d'enseignements, quant à l'efficacité et la durabilité de tel ou tel produit industriel.

4.2. PRODUITS DE TRAITEMENT NOUVEAUX: LES GÉOPOLYMÈRES

France

« *Valorisation des sols à faibles teneurs en eau par des traitements non traditionnels* » (G. Blanck et al.)

En zones arides et semi-arides où l'accès à la ressource en eau est limité, l'une des solutions proposées considère l'utilisation d'adjuvants non-traditionnels issus de la transformation de matières premières renouvelables (voir Bibliographie). L'étude a porté sur le traitement d'un limon A2 avec deux produits non traditionnels : une solution enzymatique et un lignosulfonate de calcium. Lors du compactage, ces traitements induisent une augmentation des masses volumiques sèches du sol et une réduction de la teneur en eau optimale de compactage. Dans un contexte de sols secs, une telle modification facilite le compactage à des teneurs en eau faibles permettant ainsi de réduire la consommation d'eau et d'énergie au cours de la phase de construction.

Afin de déterminer l'impact environnemental global et les économies de ressources générées par l'utilisation des traitements, une analyse sur l'ensemble du cycle de vie de l'ouvrage en terre a été entreprise. La méthodologie utilisée est celle de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) rapportée à une unité fonctionnelle de 1000 m³ de sol compacté. Une fois le système défini, il est possible de quantifier les intrants du système et d'évaluer les impacts environnementaux de chaque variante. À l'échelle du cycle de vie de l'ouvrage, il a ainsi été mis en évidence que le traitement à base de solution enzymatique permettait de réaliser une économie d'eau de l'ordre de 45.000 litres et une économie en carburant d'environ 190 litres. A contrario, le traitement au lignosulfonate conduit à une forte dégradation du bilan environnemental.

Mexique



Traitement d'une route en terre rurale au Mexique

« L'efficacité de quelques additifs pour améliorer les propriétés des argiles. Cas de routes rurales »
(N.Perez, P. Garnica)

Pour lutter contre les dégradations des routes en terre non revêtues suite aux inondations, l'Institut des Infrastructures du Mexique a réalisé des études de chantiers à grande échelle pour tester de nouveaux produits de traitement des sols, à base de géopolymères notamment. Les géosynthétiques peuvent aussi être associés pour le renforcement. Ces essais sur route ont été un outil important pour étudier les différents aspects du traitement. Les résultats de ces expériences peuvent être utilisés comme base de méthode de conception de la chaussée. Ces chantiers ont pu évaluer la performance de ces traitements sous l'action du trafic routier. L'effet des produits mélangés aux sols en vue d'améliorer ses propriétés a également été largement étudié en laboratoire. Toutefois, avant que l'ingénieur décide d'utiliser ces produits, la faisabilité in situ doit être prouvée. On a étudié l'orniérage sur des routes rurales, dont la surface roulante a été améliorée au préalable avec des additifs tels que le ciment, la chaux, une enzyme, un polymère et un composé organique. Il s'avère que les traitements au ciment et à la chaux sont plus performants que les traitements avec les autres additifs précités.

4.3. TECHNIQUE NOUVELLE DE CARACTERISATION DES SOLS SUR CHANTIER

« *Etude de capteurs donnant en continu pendant les terrassements une information sur la caractérisation des sols* » (A. QUIBEL et al.), France

A la suite du projet national du Réseau Génie Civil et Urbanisme: « *Machines et Chantiers de Terrassements du Futur* », piloté par le Centre d'Etudes Techniques des Industries Mécaniques, et qui avait pour ambition de générer des innovations de rupture sur les machines de terrassements, une étude expérimentale a été réalisée dans le cadre de l'opération de recherche « *Rationaliser les terrassements* » pilotée par IFSTTAR, sur différents capteurs. Cette étude avait pour objet d'obtenir des informations utiles à la conduite du chantier, portant sur la caractérisation en continu des sols meubles à bord des machines pendant l'exécution des travaux. Les maturités technologiques des procédés capables de mesurer les paramètres recherchés : granulométrie, argilosité, état hydrique, densité, portance, sont inégales. Mais, il apparaît que pour certains d'entre eux, comme la teneur en eau ou la portance, des mesures pourraient être applicables dès maintenant sur les machines. D'autres paramètres méritent des études complémentaires. Les informations obtenues entreraient dans le cadre d'un schéma conceptuel nouveau pour les chantiers du futur, tel qu'il a été pressenti dans le projet RGCU, associant des procédés innovants à de l'intelligence embarquée et ce, sur l'ensemble de la chaîne comportant l'extraction, le traitement, le transport, la mise en oeuvre, et le compactage des sols, en apportant des gains significatifs par rapport aux méthodes de réalisation actuelles.

4.4. ÉVOLUTION DU RÉFÉRENTIEL EN MATIÈRE D'EMPLOI DES DÉCHETS ET SOUS-PRODUITS INDUSTRIELS DANS LES TERRASSEMENTS

Vu la directive 2008/98/CE du Parlement Européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets, et en application de l'Ordonnance française n° 2010-1579 du 17 décembre 2010, les terres excavées, qu'elles soient naturelles ou non, qui sortent du site dont elles sont extraites ont un statut de déchet. En effet, au titre de l'article L. 541-1-1, est défini comme un déchet toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire.

Pour la France, le guide méthodologique « *Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière - Évaluation environnementale* » (2011) a fourni une démarche d'évaluation de l'acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs élaborés à partir de déchets et destinés à être utilisés en technique routière. Un matériau alternatif est élaboré à partir d'un déchet et destiné à être utilisé, seul ou en mélange avec d'autres matériaux, alternatifs ou non, au sein d'un matériau routier. La démarche d'évaluation environnementale développée au sein du guide méthodologique est applicable à toute typologie de matériaux alternatifs élaborés à partir de déchets et utilisés sous forme de granulats, de graves, de sols, de fillers ou de liants, à l'exception de ceux élaborés à partir de déchets dangereux ou contenant une substance radioactive. Est considéré comme dangereux, tout déchet présentant au moins une des propriétés de danger définies par le code de l'environnement. Des guides applicatifs ont fait suite au guide général et aujourd'hui sont concernés les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (2012) ; les laitiers sidérurgiques (2012) incluant les laitiers de haut-fourneau et les laitiers d'aciérie ; les déchets de déconstruction de la route ou des bâtiments ; les terres excavées en milieu urbain (ou matériaux anthropiques) ; les sédiments de dragage ; les cendres volantes de combustion de charbon, etc...

L'Espagne a aussi fait évoluer la norme nationale PG3 sur les terrassements (Utilisation optimale des matériaux marginaux pour les terrassements, (Áurea Perucho et al., 2014). La norme espagnole pour la construction des routes (PG3I) introduites pour la première fois en 2002, a introduit l'appellation « *matériau marginal* », dans le but d'optimiser l'utilisation des ressources naturelles et de limiter les déchets, conformément aux politiques de l'Union Européenne pour le développement durable. Il est désormais possible d'utiliser certains matériaux dans des parties d'ouvrage de terrassement autrefois interdits. Il s'agit de matériaux naturels marginaux mais aussi des déchets ou des sous-produits industriels. Son utilisation doit être justifiée par une étude spéciale réalisée dans chaque cas. L'article (voir Bibliographie) décrit les principales caractéristiques incluses dans la norme (PG3) pour les matériaux marginaux et expose un certain nombre de cas d'utilisation de ces matériaux dans les travaux de terrassement du réseau routier espagnol. Les seuils des paramètres géotechniques comme la densité, l'indice CBR, la teneur en eau, la teneur en matières organiques ou gypse ou sels solubles, sont définis pour les parties d'ouvrage comme les fondations, le noyau, les accotements, le couronnement (en référence à la norme Européenne).

5. CONCLUSIONS GÉNÉRALES

5.1. VALORISATION ET TRAITEMENT DES MATÉRIAUX LOCAUX

Au plan mondial, la démarche en matière de valorisation des matériaux locaux est ancienne tant sur le plan technique qu'économique et environnemental. On peut distinguer un volet lié au « *matériaux* » proprement dit, et un volet lié spécifiquement au « *processus de terrassement* ». Les efforts visent à :

- inciter d'avantage à la valorisation des sous-produits, déchets et autres produits hors-normes, à travers des guides méthodologiques pour fixer le cadre de la valorisation de tel ou tel matériau, qu'il soit local ou spécifique ainsi que les domaines d'emploi possibles. Cette démarche doit conduire à une économie circulaire des matériaux visant à la réduction des déchets.
- Valoriser les matériaux locaux dans les chantiers de terrassement dans une démarche impliquant les entreprises de terrassement et les administrations concernées.

A l'issue de l'enquête présentée, il est intéressant de constater que le niveau de valorisation des matériaux marginaux locaux est variable d'un pays à l'autre. Ce constat s'explique avec le degré de raréfaction des matériaux nobles de bonne qualité. Ce degré de raréfaction est lui aussi variable d'un pays à l'autre.

On notera aussi que l'absence d'eau dans les zones arides conduit à développer des modes et des techniques de compactage alternatives, avec le cas échéant, des produits de traitement nouveaux (géopolymères) nécessitant moins d'eau de constitution, en comparaison avec les traitements classiques (chaux, ciment, liants hydrauliques). Ces derniers semblent rester cependant plus performants sur le long terme.

5.2. ADAPTATION DES PRATIQUES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La prévision de l'aléa climatique comme les tempêtes de sable et les pluies torrentielles dans les pays concernés reste très difficile, pour la gestion et l'entretien des routes.

L'adaptation des routes aux conditions climatiques extrêmes résultant du changement climatique deviendra dans l'avenir une contrainte dans la conception des projets et chantiers de terrassement. Pour le moment peu présentes, ces contraintes seront vraisemblablement liées à la gestion de l'eau de surface (plus d'inondations, plus de pluviométrie forte et intense...), à l'adaptation des ouvrages à des événements climatiques extrêmes (sécheresse, tempêtes, gel, érosion...). Aucune étude définitive ne permet à ce jour de définir les conditions de mises en œuvre qui assureront la stabilité et la durabilité des ouvrages en terre, mais on peut présumer que ces conditions seront atteintes moyennant par exemple un compactage à des énergies plus intenses, des traitements de sols à des dosages plus élevés, des parties basses d'ouvrages plus résistantes à l'érosion ou à l'inondation (de type « *cuirasse* »), toutes ces techniques devant encore être traduites et testées en vraie grandeur (démonstrateurs).

Une autre contrainte plus forte et moins présente dans les esprits mais qui se posera à plus long terme concernera la raréfaction des matières premières énergétiques. La diminution des énergies fossiles nécessitera très certainement des adaptations dans les techniques, matériels et méthodes de mise en œuvre.

Pour adapter une route à un nouveau climat affectant un pays, on regarde d'abord si un autre pays dans le monde ne le supporte pas déjà. Ainsi les échanges entre les géotechniciens de l'Association Mondiale de La Route permettent déjà de déterminer certaines mesures à prendre pour préserver le réseau existant ainsi que les précautions pour concevoir une route nouvelle.

A l'avenir, l'impact de ces évolutions climatiques (tendancielle ou extrême) devra être analysé notamment sur les routes non revêtues. Certains pays ont déjà commencé. Partant du référentiel existant pour le pays concerné, sa validité devra être vérifiée au regard des scénarios climatiques à venir. Des adaptations devront être envisagées assurément. Des études seront à mener afin d'adapter les référentiels existants pour la construction de nouvelles routes.

Cette projection dans l'avenir pourrait constituer un prochain travail du comité technique dédié aux «*Terrassements et Routes non revêtues*», pour la session 2016-2019.

FIN

6. RÉFÉRENCES

TC 396 - NORME EUROPÉENNE SUR LES TERRASSEMENTS :

Normes de procédures (enquête prévue en 2015)

- **Partie 1** : Principes et règles générales
 - **Partie 2** : Classification des matériaux
 - **Partie 3** : Procédures de construction
 - **Partie 4** : Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques
 - **Partie 5** : Contrôle de qualité
 - **Partie 6** : Remblaiement au moyen de remblais hydrauliques dragués
 - **Partie 7** : Remblais hydrauliques de déchets minéraux
-
- *“Special Aspects for Building a Motorway on a 185 m Deep Dump, Aspects particuliers pour construire une autoroute sur un remblai de comblement de 185 m”*, Vogt N., Heyer D., Birle E., Vogt S., Zentrum Geotechnik, Technische Universität München, Munich, Dahmen D., Karcher C., Vinzelberg G., Eidam F., RWE Power AG, Cologne, Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris 2013, pp 1377-1380.
 - *« Guide to Pavement Technology Part 6: Unsealed Pavements »*, Australie, Austroads Publication No. AGPT06/09, 2009, 81 pages.
 - *« Durabilité en surface des traitements des routes non revêtues »*, Transport SA, Adelaide, South Australia, rapport n° 97/PA/056, 2011, 68 pages
 - *“Guide to Pavement Technology Part 6: Unsealed Pavements”*, Australie, Austroads Project No. TP1565, Austroads Publication No. AGPT06/09
 - *“Sustainable Use of Materials in Earthworks”*, T. Baumgärtel, D. Heyer, Germany, ICEG 2010, Delhi, 2010, article 7 pages
 - *“Low-Volume Roads Engineering, Best Management Practices, Field Guide”*, By Gordon Keller, PE, USDA, Forest Service, Plumas National Forest, California, and James Sherar, PE, USDA, Forest Service, National Forests of North Carolina, Produced for US Agency for International Development (USAID), In Cooperation with USDA, Forest Service, International Programs & Conservation Management Institute, Virginia Polytechnic Institute and State University, July 2003, 183 pages
 - *« Optimisation de l'emploi des matériaux marginaux selon la norme espagnole PG3 »*, P. Alcaide, A. Perrucho Martinez, Route/Roads AIPC 2014 n°362, Espagne
 - *« LGV EST/Remblais de Vandières-utilisation des cendres volantes »*, Techniques de l'ingénieur, C5377-5, France, 9 pages
 - Guide méthodologique SETRA *« Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière - Évaluation environnementale »*, 2011, 28 pages
 - *« Etude de capteurs donnant en continu pendant les terrassements une information sur la caractérisation des sols »*, A. Quibel et al., à paraître.
 - *« Contribution à l'étude des sols latéritiques du Sénégal et du Brésil »*, Massamba Ndiaye, thèse, Université Paris Est et Université de Cheikh Anta Diop de Dakar, 2013, 160 pages
 - Projet de l'Agence Nationale de la Recherche *« TERDOUEST: Terrassements durables- Ouvrages en sols traités »*, 2008-2012, Séminaire de restitution, 18-19 juin 2013, Ecole des Ponts ParisTech, France, coordinateur : Y. Boussafir, module A : Processus physico- chimiques et comportement des sols traités ; module B : Etude du comportement à long terme des sols traités ; module C : construction et suivi d'un ouvrage de référence en sols traités ; module

D : Terrassements, environnement et gestion des risques.

- « *Utilisation de copeaux de pneus en remblai routier - used of shredded tyres in road ballast* », Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur JNGG2010 -Grenoble 7-9 juillet 2010, J-L. Rzadkiewa, D. Virely, Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Toulouse, France, 8 pages

SÉMINAIRE AIPCR DU 9 ET 10 JUIN 2014 À RABAT (MAROC) SUR LES TERRASSEMENTS ET CHAUSSÉES EN ZONES ARIDE ET SEMI ARIDE :

- « *Quelques considérations sur le comportement d'un remblai en sable dans le désert* », T.Dubreucq, J-P Magnan, France, article 11 pages
- « *L'efficacité de quelques additifs pour améliorer les propriétés des argiles. Cas des routes rurales* », N.Perez, P. Garnica, Mexique, article 7 pages
- « *Le module résilient et ses variations avec les mécanismes de séchage* », N.Perez, P.Garnica, Mexique, article 12 pages
- « *Valorisation des sols à faibles teneurs en eau par des traitements non traditionnels* », G.Blank, O.Cuisinier, F.Masrouri, E.Lavallée, France, article 11 pages
- « *Système de gestion, exploitation et sécurité routière – Ensablement du réseau Routier* », Maroc, Lahcane Taoussi, Société les Grands Chantiers Routiers, GCR, article 12 pages
- « *Compactage à sec : Etat de l'art international & nouvelle expérience marocaine* », A. Derradj, A.Kchikach, B.Toubane, Maroc, ADM (autoroutes du Maroc), article 18 pages
- « *Compactage à sec : expérience marocaine* », H. Ejjaouani, A. Derradji, Maroc, LPEE, article 5 pages
- « *Expérience des remblais compactés à sec, Province d'Assa_zag* », Maroc, Ministère de l'Équipement, Direction provinciale de Taroudannt, communication
- « *Valorisation des Scories dans la construction des routes* », A.Rahmouni, CNER, Maroc, communication
- « *Tests de réception de terrassements avec matériaux locaux- Utilisation d'appareils à haute rendement* », Euroconsult, article 14 pages
- « *Genèse du sable formés de l'ensablement- Lutte contre l'ensablement* », L. Taousi, GCR, communication
- « *Terrassements et chaussées dans les milieux arides et semi arides routes en milieu désertique : l'expérience marocaine* », A. Manal, LPEE / CERIT, Maroc, communication
- « *Evolution et exploitation des routes en milieu Désertiques au Maroc- Le Désensablement des routes* », Maroc, Ministère de L'Équipement, communication
- « *Laboratory studies of strenght and stiffness on stabilized clayusing probase powder stabilizer*, S. M. LIM, D.C. Wijeyesekera, C. S. Yek, University Tun Hussein Onn, Malaysia, article 10 pages

ANNEXE**ENQUÊTE SUR L'UTILISATION DES MATÉRIAUX LOCAUX DANS LES OUVRAGES
ROUTIERS**

Tableaux synthétiques

TC 4.4 : Local Material questionnaire : Réponses aux questionnaires/responses to questionnaire		Q1 : caractéristiques/features				Q2 : Usage recherché dans la structure/ actual use in structure	Q3 : amélioration recherchée/improvement type		Q4 : retour expérience / feedback experience	Q5 : autres Usages Envisagés/others possible uses	
n°	Pays / Country	sols/soils	Nature	Etat hydrique/ water content	Comportement au compactage / compaction behavior	mécanique & hydraulique / mechanic & hydraulic behavior	Classification	structure/ actual use in structure	matériaux de contrôle/ control apparatus	type	performances/ actual regulations
1	Australie/Australia	argile sableuse/sandy clay	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	Australie/Australia	lignerts pit / gneiss	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3	Mali	latérite-Mopti	o	o	o	o	o	o	o	o	o
4	Mali	latérite-Sikasso	o	o	o	o	o	o	o	o	o
5	France	schistes houillers/coal shale	x	x	x	o	x	x	x	x	o
6	France	schistes/shale	x	x	o	x	x	x	x	o	o
7	France	micaschistes/micaschists	x	x	x	x	x	x	x	x	x
8	Australie	matériau recomposé argilo sableux/ Western Queensland									
9	République de Corée/ Republic of Korea	sable de concassage/Screenings	x	x	x	x	x	x	x	x	x
10	France	sables des Landes/Landes' sand	x	x	o	x	x	x	x	x	x
11	France	bles de fonderie/foundry sands	x	x	o	x	x	x	x	x	x
12	France	Serpentine	x	x	x	x	x	x	x	o	x
13	France	Saprolite	x	x	x	x	x	x	x	x	x
14	France	Pneus déchiquetés/tire chips	x	o	x	x	o	x	x	o	o
15	Allemagne/ Germany	sol roganique/organic soil, Large scale test embankment at the Munich airport	x	x	o	x	x	x	x	o	o
16	France	mélange : sédiments de dragage+sable , issus du bassin d'Arcachon/mixture: sols latéritiques/lateritic soils	x	x	x	x	x	x	x	o	x
17	Sénégal /Senegal	sols latéritiques/lateritic soils	x	x	x	x	x	o	o	o	o
18	Maroc / Morocco	sables et graves argileuses/sands and clayey gravel	x	x	x	x	x	x	x	x	o
19	France	cendres volantes silico-alumineuses/aluminosilicate fly ash	x	x	x	x	x	x	x	x	o

Légende/legend: o : no response x : response

TC 4.4 : Local Material questionnaire :		Q1 : caractéristiques/features					
n°	Pays / Country	soils/soils	Nature	Etat hydrique/water content	Comportement au compactage /	mécanique & hydraulique/mechanic & hydraulic	Classification
1	Australie /Australia	argile sableuse/sandy clay	25% gravel, 36% sand, 39 % fines	o	Dg, Swelling PI > 400	CBR wet of 90 %; dry of 5%	USCS SC & Casagrande : PI = 12 ; LS = 7,5 ; LL = 31 ; PL = 19
2		lignerts pit / gneiss	granitic gneiss, 9% fines ; 36 % Sand ; 55 % gravel ; LL 23% PL 17% PI 6% LS 4%	w = 31%	PI up to 12 %	2,05 t/m ³ MPO & 10% OMC	USCS : SG Sandy Gravel , with LP fines
3	Mali	latérite-Mopti	o	o	o	IP CBR de CNT est insuffisante pour son utilisation en couche de base	HRB : % fines < 35 ; LL <= 40 ; IP >= 11 ; classe A-2-11 + Casagrande WI <= 40 % ; Wp >= 11%
4		latérite-Sikasso	o	o	o	CBR , Portance immédiate . Insuffisance de portance . IP	HRB
5	France	schistes houillers/ coal shale	schistes houillers, stériles d'extraction de mine de charbon ; matériau 0/200 classé C1B3 à C1B5 et 5 à 13% de fines; VBS =	w = 5%, matériaux à mettre en œuvre en période météorologique favorable	LA = 38 et MDE = 32 ; Essai de perte au feu = 14 à 23 %	OPN et OPM non représentatif	GTR : C1B3 à C1B5
6	France	schistes/shale	schistes à dominance gréseuse ; difficulté à trouver un liant hydraulique avec des performances mécaniques suffisantes	état moyen selon GTR (w = 15% à 16 %)	problème de prise hydraulique pour l'obtention d'une PF3	(Rit;Eit)=(0,41 moyen;3029 moyen) essais sur carottages après 91 et 153 jours de	GTR : C1B5
7		micaschistes/micaschists	* m = 66% ; VBS à 44 g/100g de sol ;	état sec (GTR) w = 20% moyenne ; IPI faible < 8% même	Pb de mise en œuvre à court terme	OPN : w = 25,9% et Gd = 1,41 t/m ³ ; IPI = 7,8% ; Gonflements	GTR = A1
8	Australie /Australia	matériau recomposé argilo-sableux/Western Queensland	WQ35 formé d'un mélange de 70% de matériaux argilosableux dits rouges et 30% de matériaux sableux dits gris ; Passant à 75 µm entre 20 et 25 %, présentant des w pouvant être élevées	w variable de 4 à 9% après reposition nécessitant un ajustement à la mise en œuvre =< utilisation d'engins d'arrosage précis ou aération	sensibilité à l'eau ; retrait linéaire : 2 à 6% nécessitant de gérer le délai avant la mise en œuvre de l'enduit	Wopn = 7% et Gd opn = 2,155t/m ³ - OPM inconnu, CBRI > 20; perméabilité de l'ordre de 10-7 m/s	USCS : SL ; AASHTO : A1-b ; HRB : A1-b ; GTR : B5 ; Casagrande : CL-ML
9		sable de concassage/Screenings	byproduct of crushed rock in quarry, limestone and granite, less than 3% of fines, coefficient of uniformity=18, coefficient of curvature=1,5, non plastic,	water content = about 6,5 %	weathering, compactability, fragmentation, swelling : not applicable	MPO, CBR = 53%, k = 4x10 ⁻⁶ m/s	USCS : SW ; AASHTO : A-3 ;
10	France	sables des Landes/Landes' sand	sables siliceux des landes, D _c = 2 mm; passant à 80µm = 0,5%	w = 3 à 5 %	o	OPM sable = 1,8 / mélange 1,96 à 8,5% ; IPI = 2 à 5 pour le sable / mélange 37 ; sur le mélange (79% sables + 15%	GTR = D1

TC 4.4 : Local Material questionnaire :		Q1 : caractéristiques/features					
11	sables de fonderie/foundry sand	Sable de Fonderie St Dizier (SF); Sables Concassés calcaires Gudemont (SC) ; SF : D=10mm, passant à 80µm = 9% ; SC : D=10mm, passant à 80µm = 20% ; SF: VBS =1,9 ; SC: VBS=0,15 , mélange utilisé: 20%	SF = 10 % ; SC = 6%	0	OPM (mélange 20% SF + 80% SC) + 5,5% FPL1 Gdopm = 2,1 à Wopm = 8% ; Rc (28j) = 4,77 MPa ; Rt/E(90j) = 0,64 / 17675 MPa	GTR : SF = B6 / SC = B3 / Mélange = B4	
12	Serpentinite	roche tendre fibreuse gris bleu contenant de l'amiante, produit par l'altération d'une roche provenant du manteau terrestre au contact de l'eau de mer dans les zones d'obduction, VBS=0,9 - WJ =	25% avant mise en œuvre – 23% après compactage	Dégradabilité Nulle, Très sensible à l'eau avant le compactage, Fragilité, et fragmentabilité Nulles, potentiel de gonflement	Gdopn= 1.51 t/m ³ – Wopn=25.2%, CBRopn=17.1% CBR soaked= 14.1%, In situ CBR après compactation autour de 18% -	AASHTO: A 7-5, GTR: B5 à A1	
13	Saprolite	Sol d'altération de la serpentinite sous-jacente, Après extraction et mise en œuvre matériau 0/20mm présentant en moyenne 44% de fines, VBS=4,6 - IP = 37 à 40 %	70% en moyenne mais très variable pouvant atteindre 100%	Très sensible à l'eau avant le compactage, Présence d'argile pouvant atteindre 12%	Gdopn= 1,1 t/m ³ – Wopn=43%, CBRopn=21% ; CBR soaked= de 1 à 14% donc très hétérogène mais portance étonnante étant donné la teneur en eau	USCS: SM to HM, AASHTO: A 7-5, GTR: A3	
14	Pneus déchiquetés/tire chips	mélange : 50 % copeaux de pneus et 50 % sabline, ou copeaux seuls	0	0	Gdopn = 1,36 t/m ³ (pneu+sabline) ; Gdopn = 0,63 t/m ³ (copeaux de pneus); c' =	0	
15	sol roganique/ organic soil	Organic soil overlying sandy gravels and sands of fluvial origin; > 40 % of fines ; Liquid limit 70 – 150 % ; Organic matter:	50 % < W < 80 %	Proctor-test didn't give the desired results (no maximum)	Permeability : Depending on moisture content and density, about 5.10-8 to 5.10-	DIN 18196: mostly OT, OU and OH	
16	mélange : sédiments de dragage+sable, issus du bassin d'Arcachon/mixture:	mélange : 30 % sédiments de dragage+ 70% sable , issus du bassin d'Arcachon	sédiments : A4, 11 % de matière organique, Wn>100% + sable propre	fraction 0/20 du mélange : wopn = 19 % et Gdopn = 1,51 t/m ³ ; chute de IPI forte après wopn		GTR : B5	
17	soils latéritiques/lateritic soils	matériaux prélevés dans les couches de base : 1) Mboro - Diogo : Wl = 38 % Wp= 19 % Ip = 19% ; 2) Darou Marmane - Mbacké Cador Wl = 40 % Wp= 21 % Ip = 19%	Mboro – Diogo de 6,7 % ; Darou Marmane – Mbacké Cador de 5,7 %.	1) Mboro - Diogo : CBR = 76 à 95%OPM + FR = 1,7 + DG = 1,0 2) Darou Marmane - Mbacké Cador CBR = 70 à	1) Mboro - Diogo : Wopm = 12 % Gdopm = 2,0 t/m ³ lcb = 76 à 95%OPM FR = 1,7 DG = 1,0 2) Darou Marmane - Mbacké Cador Wopm = 12	Soils latéritiques graveleux SLG: règles CEBTP (1972)	
18	sables et graves argileuses/sands and clayey gravel	Dmax : 40 mm; 61,2%<10; 32,4<2; 19,5%<0,08 ; IP=17% ; Wl=33%	1%	FR = 12,5/2 = 6,25	Wopt=7,8% ; Gd=2,4 t/m ³	GTR:B6ts; LCPC-GA	
19	cendres volantes silico-alumineuses/aluminosilicate fly ash	SiO ₂ :40à60% ; Al ₂ O ₃ :20à35% ; Fe ₂ O ₃ :7à10% ; K ₂ O<5% ; SO ₃ <2% ; CaO<5% ; MgO<4% ; C<9% ; Cendres<63 microns (étude	Hydro solubilité<2% ; 10,7%<Wn<56,3%. Valeur moyenne 36%	Masse volumique en vrac : entre 0,9 et 1,5 t/m ³ .	Densité sèche : 11,2<Gd OPN<12,6 KN/m ³ ; GdOPN moyenne : 11,5 KN/m ³ ; 30%<WOPN<35% ; IPI>15	GTR : F2	

TC 4.4 : Local Material questionnaire :		Q2 : Usage recherché dans la structure/actual use in structure	
n°	Pays / Country	sols/soils	
1	Australie/ Australia	argile sableuse/ sandy clay	others : unseded basecourse founde directly on the subgrade
2		lignerts pit / gneiss	
3	Mali	latérite-Mopti/latérite	
4		latérite-Sikasso/latérite	
5	France	schistes houillers/ coal shale	en remblai de hauteur inférieure à 5 mètres avec en base de remblai, l'interposition d'une couche de 0,5 m de matériaux insensibles à l'eau
6	France	schistes/shale	
7		micaschistes/ micaschists	
8	Australie/ Australia	matériau recomposé argilo-sableux/ Western Queensland	en remblai de masse, en PST ; en Cdf en le mélangent avec les matériaux de la couche existante ; en couche de fondation, amélioré de 30% de blocs (10/40 mm) ; en couche de roulement non traitée, sur 10 cm, avec enduit grillonné pour les déviations temporaires
9	République de Corée / Republik of Korea	sable de concassage/Screenings	sub base and anti frost layer, lean concrete base
10	France	sables des Landes/Landes' sand	en Couche de forme avec traitement et après correction granulométrique
11		sables de fonderie/foundry sand	en couche de fondation avec traitement
12	France	Serpentine	en remblai de masse sans traitement, en partie supérieure de remblai sans traitement
13	France	Saprolite	en remblai de masse, mais en noyau et pour une hauteur de 5 m et sans traitement
14	France	Pneus déchiquetés/tire chips	en remblai de masse
15	Allemagne / Germany	sol roganique/ organic soil	noise and view protection embankment
16	France	mélange : sédiments de dragage+sable, issu du bassin d'Arcachon/mixture: dredged sediment and sand	Usages envisagés en remblai couvert (tranchée) et non couvert (voie forestière)
17	Sénégal	sols latéritiques/late ritic soils	couche de base, couche de fondation
18	Maroc / Morocco	sables et graves argileuses/sands and clayey gravel	en remblai de masse, en noyau
19	France	cendres volantes silico-alumineuses/aluminosilicate fly ash	En noyan central : Afin d'éviter toutes infiltrations d'eau y compris , par capillarité dans le noyan en cendres volantes : encagement complet du noyau de cendres en limon: traités à la chaux 3m sur les talus, 1m au-dessus et 0.5m en dessous, la base du noyau étant calée à NPHE + 1m. En dessous des 0.5m de limon traité : 3.5m de ZI (0/60mm) et purge du terrain en place avec du 0/500mm.

TC 4.4 : Local Material questionnaire :		Q3 : amélioration recherchée/required improvement			
n°	Pays / Country	soils/soils	type	méthode & matériels d'élaboration/technics & process	matériels de contrôle/control apparatus
1	Australie / Australia	argile sableuse / sandy clay	to improve CBR wet strength to support application of a sprayed seed in this floodway	as recommended in Austroads guide to earthwork materials. The inclusion of a stabilising agent comprising lime and a polymer was incorporated into the local material	the dry powder polymer was placed over the local materials using a purpose built spreader. Next a stabiliser combined the agent with local material. Padfoot & smooth
2		lignerts pit / gneiss	mechanical (improve grading) + chemical improvement (improve Atterbergs + increase likelihood of succes hardness + taking a seal	after mechanical stabilisation, PI 12 % so wanted it down o littlebit, so added 2% lime/flashhash (1:1). Binder was available preblended ; was mixed by one pass using a stabiliser plant (Bomag RS ?) to a deapth of 250 mm.	o
3	Mali	latérite-Mopti	stabilisation au ciment	mélange de 4% de ciment avec 96% de matériau	Equipement usuel de terrassements routiers ; contrôles : teneur en eau ; compacité (densité in situ)
4		latérite-Sikasso	stabilisation au ciment	mélange de 2,5% de ciment avec 97,5 % de latérite	x
5	France	schistes houillers	RAS	mise en œuvre conformément au GTR. Le traitement des sols a été prescrit	identification des matériaux selon GTR et contrôle Q/S
6	France	schistes	L'amélioration du matériau a été réalisée par un traitement avec un liantadapté. L'ensemble des premier tests n'ayant pas été concluant, il a fallu chercher un autre produit chez un fournisseur différent du premier permettant d'obtenir les performances requises.	traitement en place à 6.4 % de ROC VDS (HOLCIM) malaxé avec une Wirtgen WR 2400 (mouture 0/20 mm à 0/31,5 mm), humidification à l'enfouisseuse et directement par injection dans la cloche de malaxage	suivi par un laboratoire de chantier avec réalisation de w% Q/S et e (GTR). Contrôle homogénéité du traitement par essais au deflectomètre La Corix (NF P98-200-1.2 et 3). Réalisation de carottages pour vérification des épaisseurs
7		micaschistes	L'amélioration du matériau a été réalisée par un traitement avec un liant adapté. Le liant est un ROLAC PI SPLC de LAFARGE. L'amélioration par traitement des sols pour une mise en remblai fonctionnait « normalement » sur l'ensemble des matériaux du site, sauf pour les micaschistes d'un déblai qui même à l'état « sec » sans traitement avait un IPI < 8. Le traitement au liant à prise rapide a donc permis l'amélioration à court terme et à long terme pour des teneurs en eau se situant à la limite « sec/moyen » : le traitement à l'état « sec » et « moyen » n'apportant aucunes améliorations à court terme.	Le problème de comportement de ces matériaux (Micaschistes A1) a été mis en lumière lors de la phase étude projet. Les solutions apportées ne sont donc qu'au niveau étude actuellement : selon l'état hydrique des matériaux au moment du chantier, il sera à priori nécessaire d'augmenter les teneurs en eau avant traitement pour permettre la mise en œuvre correcte de ces sols.	RAS
8	Australie / Australia	matériau recomposé argilo-sableux / Western Queensland 35 (WQ35)	Traitement 2% LH dans le cas de Rc < 1 MPa en compression simple à 7 jours	préréglage du WQ35 foisonné (niveleuse) ; Estimation/mesure de teneur en eau avant ajustage; épandage du ciment (Épandeur) ; ajustement en eau couplé au malaxage ; compactage de la couche (pieds dammeur puis lisse voire pneu vibrant dans le cas de matériaux trop humide) ; recoupe (niveleuse) ; teneur en ciment = 2% ; teneur en eau visée = entre 7 et 8%	Contrôle du fuseau granulométrique et de l'argilosité ; vérification de w du matériau avant traitement ; vérification essais de bêche pour contrôle de l'épandage du liant ; vérification de w et de la mouture après malaxage (visuel) ; vérification de la densité en place et de w par la méthode de remplacement de sable
9	République de Corée	sable de concassage/Screenings	do not needed	Screenings have been used as a substitute for fine aggregates of sub-base course and anti-frost layer within 30 percent weight range of mixed aggregates. In order to apply screenings in lean concrete mixture to substitute nature sand, the mixture should be satisfied the design strength of lean concrete specifics compressive strength as greater than 5MPa on the 7 day.	
10	France	sables des landes	Les sables des Landes présentent un % de vides important (environ 20 %) et une traficabilité médiocre à nulle. Pour l'améliorer, ils ont été corrigés par un apport de boues carbonatées de papeterie provenant de Facture (33) puis le mélange (80% sables +20% boues) a été traitée à 6% de CEM 32,5 pour obtenir une PF4. boues : D passant à 80 µm = 99% et VBS < 0,1	traitement en place au pluvimixer sur sol une épaisseur de 0,3 m 1) régalaage d'une couche de 0,10 m de boeu sur le sable; mélange sable+boue au pluvimixer sur 0,30m 2) épandage de 6% de CEM 32,5 (43,8 kg/m²) mélange avec pluvimixer sur 0,3 m	gamma densimétrie pour densité en place ; déflectographe pour deflexions

TC 4.4 : Local Material questionnaire :		O3 : amélioration recherchée/required improvement	
11	France sables de fondrière	utilisation de fondrière en assise de chaussées (demande du Moa) : l'entreprise propose un mélange de 20% sables de fondrière + 80 % de sables concassés traités à 5,5% de LHR (FPL1) Compaction et lissage avant la pluie	Q3 : amélioration recherchée/required improvement mélange réalisé en Centrale
12	France Serpentinite	Compaction et lissage avant la pluie	Le compactage permettrait de réduire le matériau à la mise en oeuvre Le matériau devait impérativement être lissé à la lame ou au cylindre avant la pluie car les marques du pousseur retenaient l'eau Une pente transversale de 2% était nécessaire pour permettre le ruissellement des fréquentes pluies (climat équatorial)
13	France Saprolite	Compaction et lissage avant la pluie	Le compactage permettrait de réduire le matériau à la mise en oeuvre Le matériau devait impérativement être lissé à la lame ou au cylindre avant la pluie car les marques du pousseur retenaient l'eau Une pente transversale de 2% était nécessaire pour permettre le ruissellement des fréquentes pluies (climat équatorial). Étonnement pas besoin d'aération
14	France Pneus déchiquetés ou copeaux de pneus (75x75 mm ²), seuls ou mélangés avec des sablines (déchets de carrières)		La préparation du mélange sol copeaux de pneus in situ doit respecter les étapes suivantes : 1. Régalaage d'une couche de pneu ; 2. Régalaage d'une couche de sol sur ces pneus ; 3. Premier mélange par ripage au bulli trois dents ; 4. Mise en tas du mélange au bulli ; 5. Reprise à la pelle et transport par tombereau ; 6. compacteur au VP5 à pieds de moutons.
15	Allemagne/ Germany	organic soil	It is necessary to dry the soil before compaction. This is costly and time consuming
16	France sédiments de dragage	se rapprocher du comportement d'un matériau B5	Préparation du mélange sur la zone de dépôt provisoire (1000m ²) Phasage : 1) Épandage de 10 cm de sable (plateforme propre) 2) Épandage de 10 cm de sédiments fins 3) Aération et séchage des sédiments fins 4) Épandage de 20 cm de sable issu du bassin 5) Mélange intime du sable et des sédiments fins sur 30 cm. Méthodes de caractérisation et de mise en oeuvre intéressantes : rusticité, matériels courants
17	Sénégal/ Senegal	sols latéritiques du Sénégal et du Brésil	
18	Maroc/ Marocco	selon le GTMR, les conditions d'utilisation du sol B6ts ne sont pas prescrites, il est juste indiqué que le compactage à sec de ce sol est à étudier avec précision moyennant une planche d'essais et que son IP ne doit pas dépasser 25% ce qui est le cas ici avec 17.	Le compactage à sec du sol B6ts a donné des résultats satisfaisants en augmentant l'énergie de compactage. DENSIFICATION EXIGEE dans les CPC (cahier des charges) : 90% de la densité sèche à l'Optimum Proctor Modifié(OPM) dans un corps de remblais. 95% de la densité sèche à l'Optimum Proctor Modifié(OPM) dans les 50cm supérieurs. MESURE DE L'INDICE DE COMPACTAGE par le DENSITOMETRE A MEMBRANE. Indice obtenu après augmentation de l'énergie de compactage de 86.65% à 95.6%. L'évolution granulométrique est négligeable et la classe GTRM n'a pas changé (même jusqu'à 34 passes de compacteur), on constate juste en surface une mauvaise cohésion, une fragmentation des éléments grossiers et une concentration des éléments fins.
19	France cendres volantes silico-alumineuses	Utilisation dans l'état après humidification à l'OPN.	Compaction Q/5 quotidien Proctor 1 par semaine. Teneur en eau 450 u pour 140000m ³ de cendres mise en noyau en 3 mois. Masses volumiques apparentes 180 u. Perméabilité au double anneau : 5 u. Portance mesurée à la plaque in situ : 40<EV<68 MPa.

TC 4.4 : Local Material questionnaire :		Q4 : retour expérience/ feedback experience	
n°	Pays / Country	sols/soils	
1	Australie	argile sableuse/sandy clay	this was the first use of this dry powder polymer in South Australia, but has been used elsewhere in Australia
2		lignerts pit / gneiss	
3	Mali	latérite-Mopti	
4		latérite-Sikasso	
5	France	schistes houillers/coal shale	Le choix de l'entreprise de traiter la couche de forme a obligé à trouver une alternative aux liants régionaux : Liant 1 = 50% clinker / 50% Laitier ; liant 2 = 97% clinker ; liant 3 = majoritairement laitier de hauts fourneaux. Le choix s'est porté sur le liant 3.
6	France	schistes/shale	
7		micaschistes/micaschists	Problèmes de comportement de ces sols (micaschistes) rare; c'est un comportement que l'on retrouve de temps en temps sur des schistes décomposés d'aspect graphiteux et talqueux. La solution traitement est cependant limitée en fonction des teneurs en eau.
8	Australie	matériau recomposé argilo-sableux/ Western Queensland	technique autorisée en Australie, dans le Queensland, et réglementée par le Département des "Main Roads"
9	République de Corée	sable de concassage/Screenings	Our Research institute conduct this research. Here are the references. Lee, K.H. and Kang, M.S.(2007), " Application of Screenings as Pavement materials, Report No. PA-07-20, Korea Expressway Corporation. Korea Expressway Corporation (2000), Guideline in Applying Screenings for Sub-base Course and Anti-Frost Layer, Korea Expressway Corporation.
10	France	sables des Landes/Landes' sand	RAS
11		sables de fonderie/foundry sand	RAS
12	France	Serpentinite	C'était un chantier d'essai car matériau rarement utilisé
13	France	Saprolite	Ce matériau reste très sensible à l'érosion, Ne peut être utilisé qu'en noyau.
14	France	Pneus déchiquetés/tire chips	Les tassements enregistrés sont pour l'instant proportionnels à la charge appliquée au remblai en copeaux de pneus.
15	Germany	sol roganique/organic soil	maîtrise difficile de la teneur en eau espace important pour préparation du matériau
16	France	mélange : sédiments de dragage+sable/mixture: dredged sediment and sand	
17	Sénégal	sols latéritiques/lateritic soils	Le choix du matériau est déterminant, une étude de celui-ci est nécessaire pour cerner le comportement et l'évolution du matériau et assurer la pérennité de l'ouvrage (encagement dans un matériau charpenté)
18	Maroc	sables et graves argileuses/sands and clayey gravel	
19	France	cendres volantes silico-alumineuses/aluminosilicate fly ash	Remblais allégé de Claye-Souilly

TC 4.4 : Local Material questionnaire :		Q5 : autres Usages Envisagés/Others possible uses			
n°	Pays / Country	sols/soils	type unseded basecourse	performances the performance has been achieved when mixture "ingren" (or the preventing of) does not cause the material to fail when loaded	spécifications applicables/ actual regulations the PRRB unsede raods criteria as stipulated on the coversheet provide the technical specifications
1	Australie/ Australia	argile sableuse/sandy clay			
2		lignerts pit. / gneiss			
3	Mali	latérite-Mopti			
4		latérite-Sikasso			
5	France	schistes houillers/coal	en remblai de masse uniquement		
6	France	schistes/shale			
7		micaschistes/micaschists	en PST	Dans l'état des connaissances actuelles et des essais couramment utilisés (cf. GTS), il serait nécessaire de s'assurer des performances à long terme avec ICBR / IPI au moment du traitement.	idem que 5b et compatibilité du traitement avec l'environnement proche (vignes, ...).
8	Australie	matériau recomposé argilo-sableux/ Western Queensland	en remblai de masse; en PST; en Cdf, en couche d'assise : en chaussée non revêtues avec nécessité d'un entretien pour reprofilage	en remblai de masse : 95% de OPN et IPI > 12 : en PST : CBRI/IPI > 95%OPN avec ou sans traitement et drainage de rive éventuel; en Cdf : traitement LH si CBR <20 : en couche d'assise : CBRI + portance à la plaque ou déflexions	en remblai de masse : traficabilité ; En PST : traitement ou drainage ; en CDF : traitement LH si CBR<20 ; en couche assise : CBRI > 20 et abeaxe de déformée visible lors d'un essai de déflexion avec un camion chargé à 22,5 t sur 3 essieux (7,5 t/essieu) (critère de réception défini npar le Main Rpoads opf Queensland)
9	République de Corée/ Republic of Korea	sable de concassage/Screenings	concrete pavement		
10	France	sables des Landes/Landes' sand	en couche d'assise	performances usuelles pour assise de chaussées traitées au LH de trafic <= 13	guides et normes concernant les sables traités aux LH

TC 4.4 : Local Material questionnaire :		Q5 : autres Usages Envisagés/other possible uses	
France	sables de fonderie/foundry sand	en Cdf	performances usuelles pour assise de chaussées traitées au LH
11	France		guides et normes concernant les sables traités aux LH
12	France	En remblai de masse, En partie supérieure se remblai	La présence d'amiante dans le massif conduit à prendre en compte des mesures HSE particulières (arrosage par temps sec pour éviter l'envol des poussières et cabines des engins pressurisées)
13	France	En remblai de masse sans noyau ...à voir	Remblai en masse : Suivi Q/S ou contrôle du nombre de passe PST : Objectif de réception EV2=80 Mpa ou CBR=14
14	France	Saprolite	Remblai en masse : Suivi Q/S ou contrôle du nombre de passe remblai au comportement élastique
15	Allemagne/Germany	Pneus déchiquetés/tire chips sol roganique/organic soil	Stability – shear strength (not measured on site)
16	France	Applications à d'autres sites et matériaux (traitements en couche de forme)	se rapprocher du comportement d'un matériau B5
17	France	mélange : sédiments de dragage+sable/mixture: dredged sediment and sand	Référence au guide méthodologique « Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière » SETRA, édité en mars 2011
18	Sénégal / Senegal Maroc / Morocco	soils latéritiques/lateritic soils sables et graves argileuses/sands and clayey/gravel	
19	France	En partie supérieure de remblai, En remblai de masse	95% de la densité sèche à l'Optimum Proctor Modifié(OPM) dans les 50cm supérieurs. Le contrôle du compactage lors des planches d'essai a été fait via un densitomètre à membrane. Ce dernier est généralement déconseillé pour le contrôle du compactage à sec pour les raisons suivantes : - Il ne permet pas de contrôler le compactage des différents points de la couche mais il donne une moyenne du degré de compactage de la couche. - La réalisation de la mesure à partir de la surface de la couche peut donner une idée erronée sur le compactage comme il a été observé durant les planches d'essai. En noyau de remblais objectif de densification q4 soit densité sèche moyenne de 95% de l'OPN.
			Idem 5b.



Tous droits réservés © Association mondiale de la Route

Association mondiale de la Route (AIPCR)

Tour Pascal - 19^e étage

92055 La Défense CEDEX, France

International Standard Book Number: 978-2-84060-473-0

Couverture © Fotolia / Girodjl