



**XXIVth World
Road Congress
Mexico 2011**
Mexico City 2011.

APPROCHES INNOVANTES POUR L'EMPLOI DES MATERIAUX MARGINAUX NATURELS LOCALEMENT DISPONIBLES

Bernard DETHY⁽¹⁾ - Guy RAOUL⁽²⁾



- (1) • Centre de Recherches routières (CRR)
• Chef de Division - b.dethy@brrc.be



- (2) • Syndicat Professionnel des Terrassiers
de France (SPTF)
• Ingénieur Conseil - gr.infra@noos.fr

VALORISATION DES MATERIAUX MARGINAUX

- Enjeu relatif à la valorisation des matériaux marginaux : importance croissante dans le contexte de la notion de développement durable.
- Plusieurs rapports AIPCR déjà publiés à ce sujet depuis 1989:
 - « Matériaux marginaux – Etat des connaissances » 1989
 - « Essais sur les matériaux marginaux » 1991
 - « Limites d'emploi des sols naturels, spécifications et contrôles dans les travaux de terrassement » 2003
 - « Promouvoir l'utilisation optimale des matériaux locaux » 2007



DEFINITION : MATERIAU MARGINAL NATUREL LOCALEMENT DISPONIBLE

- Selon le dictionnaire AIPCR « MATERIAU MARGINAL »
« 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 ».
- Parmi ces matériaux marginaux, le présent rapport D4 1 concerne ceux qui sont
 - naturels
 - localement disponibles sur le site des travaux de terrassement



VALEUR AJOUTEE RECHERCHEE

- Impact des terrassements déterminant pour l'économie d'un projet routier.
- Valorisation des matériaux marginaux naturels locaux
 - Optimisation du mouvement des terres (réduction des transports)
 - Approche innovante : spécifications techniques adaptées et méthodologies nouvelles
 - Remède au déficit de matériaux « nobles »
 - Evaluation et maîtrise nécessaires des risques
 - Développement durable (zéro emprunt – zéro déchet).



OBJECTIFS DE L'ENQUETE D4 1

- Dresser un inventaire le plus large et le plus documenté possible des familles de matériaux marginaux naturels localement disponibles
- Echanger sur les méthodes, les spécifications mises en œuvre et les retours d'expériences
- Mettre en exergue les techniques et méthodes innovantes employées et/ou projetées
- Cerner les performances visées et les moyens de les mesurer
- Appréhender et gérer les risques
- Promouvoir une approche commune dans les pays membres



REPONSES RECUES - ENQUETE D4 1

- 21 pays ont répondu:
 - Afrique : Bénin, Côte d'Ivoire et Mali
 - Amérique : Bolivie, Brésil, Canada et Mexique
 - Asie : Iran
 - Europe : Allemagne, Autriche, Belgique, Espagne, France, Grande-Bretagne, Grèce, Italie, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse et République Tchèque
- Niveau de précision variable des réponses reçues
- Données pertinentes peuvent toutefois être restituées



TRAITEMENT DES REPONSES

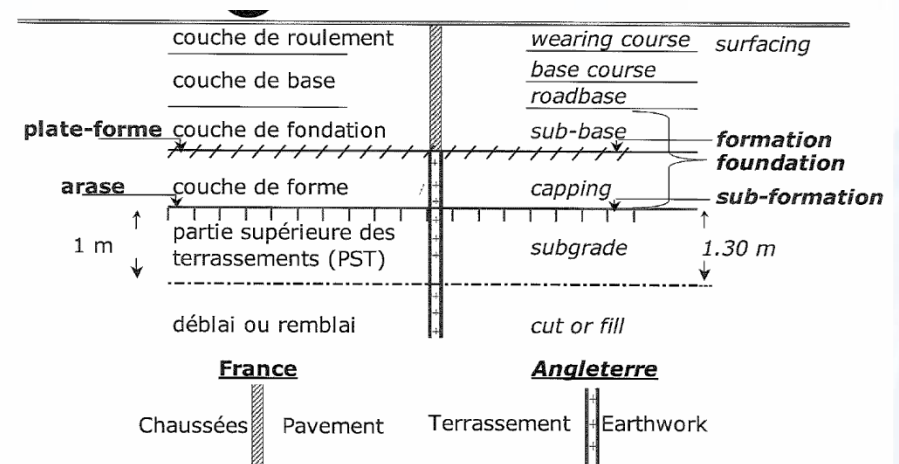
- Pour chaque matériau marginal naturel local indiqué par chaque pays, les données ci-après sont répertoriées:
 - Nature (granulométrie, argilosité, ...)
 - Etat (teneur en eau, ...)
 - Comportement (dégradabilité, compactibilité, potentiel de gonflement, ...)
 - Applications réalisées et/ou souhaitées
 - Performances visées
 - Spécifications techniques
 - Innovation(s) – Retour d'expériences
- 53 fiches au total



TABLEAU SYNTHETIQUE : ETAT DES APPLICATIONS

- Applications réalisées et/ou souhaitées du matériau cité:

- Merlon
- Remblai
- Plateforme supérieure des terrassements
- Couche de forme
- Couches d'assises
- Autres



PIARC Rumania Seminar -
May 31st, June 1st, 2007



TABLEAU SYNTHETIQUE : FAMILLES DE MATERIAUX

- La restitution de l'enquête fait apparaître 6 familles de matériaux marginaux naturels :
 - Evolutifs et/ou fragmentables
 - A composés particuliers
 - Trop humides ou trop secs
 - Très argileux
 - Homométriques, non charpentés ou à matrice instable
 - Latéritiques



MATERIAUX EVOLUTIFS ET/OU FRAGMENTABLES

- Matériaux

- Argilites (Belgique)
- Pélites, marnes, micaschistes, schistes métamorphiques, schistes houillers (France)
- Flyschs (Grèce, Slovénie)
- Tufs (Mexique)
- Roches altérées (Allemagne, Grande-Bretagne)

- Traitements

- Correction blocométrie par traitement mécanique (tri, chenillage, rippage, criblage, concassage)
- Augmentation de l'énergie de compactage
- Réduction des épaisseurs de couches
- Encagement (dispositions constructives)
- Fragmentation, ajout d'eau, mise en dépôt temporaire : cas des flyschs (équilibre teneur en eau – environnement)



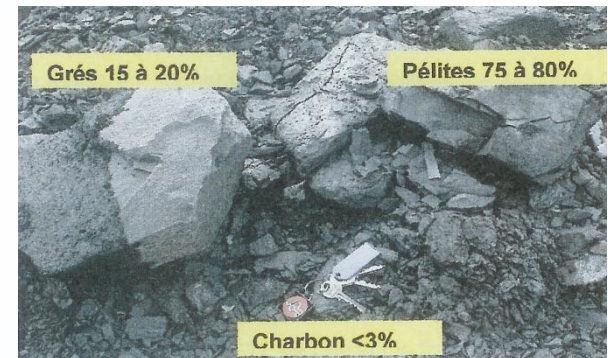
Argilites



MATERIAUX A COMPOSES PARTICULIERS

- Matériaux

- Sables glauconifères (Belgique)
- Argiles gypseuses et gypse massif (Espagne)
- Schistes houillers, argiles bariolées, marnes indurées (France)
- Sols organiques (Allemagne)
- Argile karstique (Slovénie)



Schistes houillers de terrils

- Traitements

- Encagement en noyau (à l'abri de l'eau et du gel)
- Traitement au liant (chaux et/ou LHR)
- Préalable : essais d'aptitude au traitement, analyses physico-chimiques



MATERIAUX TROP HUMIDES OU TROP SECS

- Matériaux

- Limons très humides (th) (Belgique)
- Produits d'excavation tunnels forés (Espagne, Allemagne)
- Spongolites du Turonien, produits de crue sables homométriques très secs (France)

- Traitements

- Pour matériaux trop humides
 - Aération
 - Mise en stock provisoire pour essorage
 - Traitement à la chaux
- Pour matériaux trop secs
 - Ajustement teneur en eau, arrosage, cloutage en surface
 - Augmentation énergie de compactage



Limons très humides



MATERIAUX TRES ARGILEUX

- Matériaux

- Exemples cités par de nombreux pays



Smectite



Argile de la Mer de Champlain

- Traitements

- Le plus souvent, traitement à la chaux (éventuellement en noyau)
- Intercalation couches « sandwich » drainantes, géotextiles
- Compactage aux pieds dameurs (couches minces)
- Mise en andin préalable (cycle gel-dégel)
ex. argile du Québec (Canada)



MATERIAUX HOMOMETRIQUES OU MAL CHARPENTES

- Matériaux

- Sables (Côte d'Ivoire, Italie, Allemagne, France, Espagne)
- Roches volcaniques (Mexique, Italie)

- Traitements

- Correction granulométrique (ex. ajout de cendres volantes)
- Mélange de matériaux
- Stabilisation au ciment et/ou au LHR (couche de forme)



Carottage - Sables homométriques



PRESCRIPTIONS PROPRES AUX MATERIAUX MARGINAUX

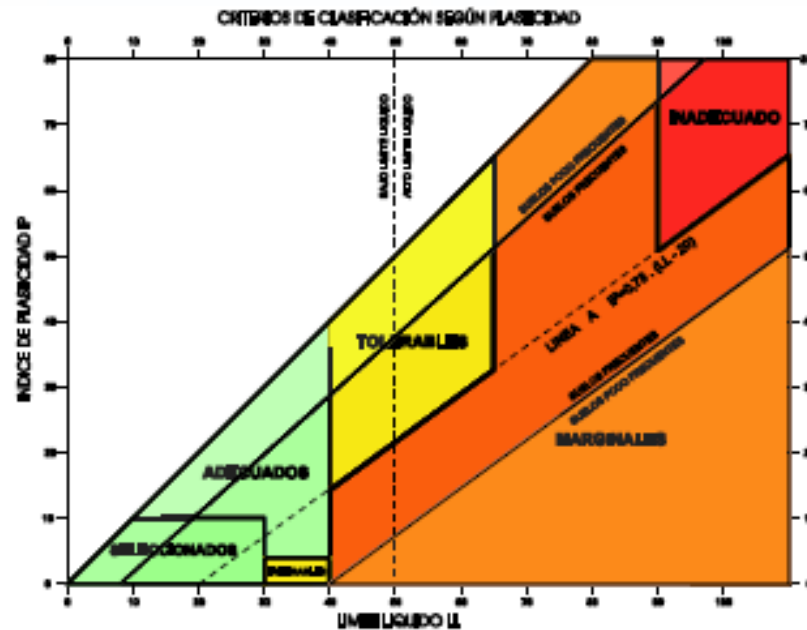
- Les approches sont différentes selon les pays
- Certains pays comme l'Espagne ont intégré dans leurs spécifications « terrassements » des prescriptions propres aux matériaux marginaux
- Au sein des spécifications PG-3, les matériaux marginaux sont :
 - identifiés et leurs conditions d'utilisation définies



PRESCRIPTIONS

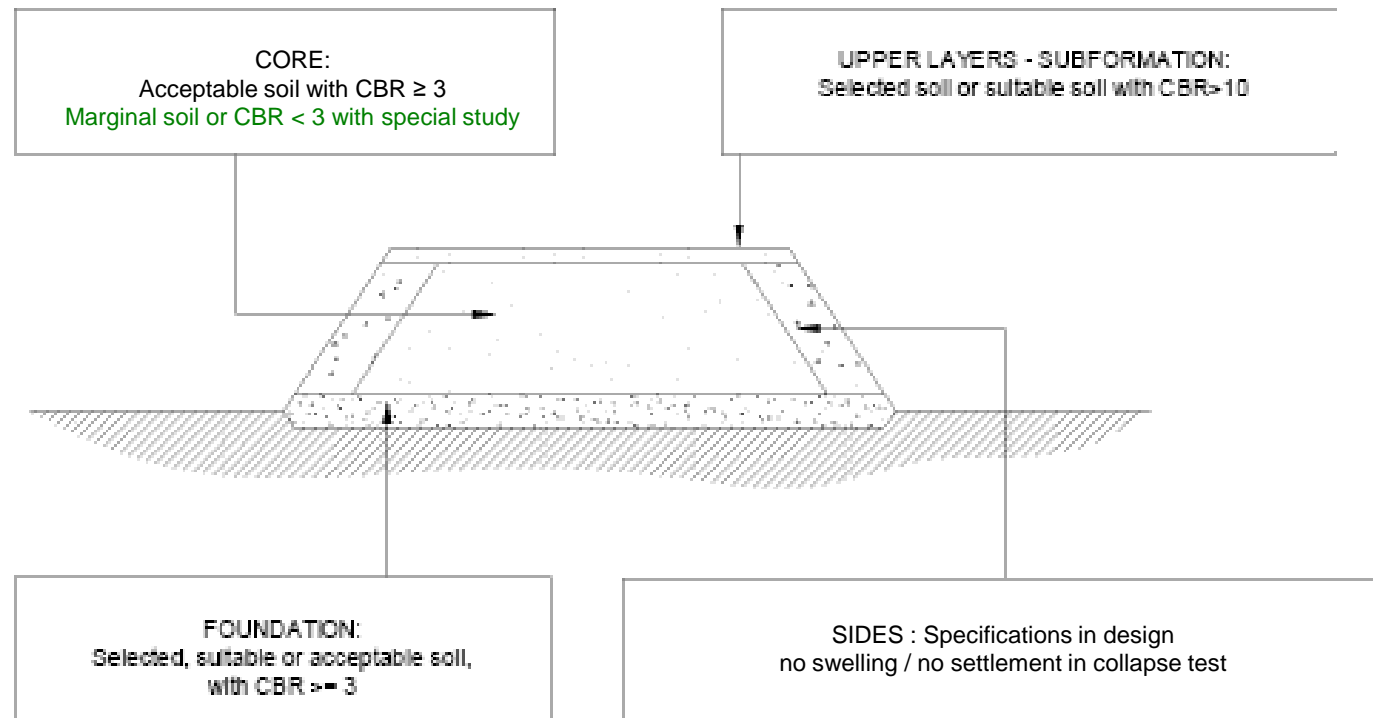
Exemple : Espagne (spécification PG-3)

	Selected soil	Suitable soil	Acceptable soil	Marginal soil	Unacceptable soil
Content in organic matter	< 0.2 %	< 1 %	< 2 %	< 5%	
Content in water-soluble salts	< 0.2 %	< 0.2 %	Gypsum < 5 % Others < 1 %	No limit	
Swelling in expansion test	no swelling	no swelling	< 3%	< 5%	
Settling in collapse test	no settling	no settling	< 1 %	No limit	
Maximum size	< 100 mm	< 100 mm	-	-	
Bleed through the 2 UNE sieve	< 80	< 80	-	-	
Bleed through the 0.40 UNE sieve	< 75	No limit	-	-	
Bleed through the 0.08 UNE sieve	< 25	< 35	-	-	



PRESCRIPTIONS PROPRES AUX MATERIAUX MARGINAUX

- réutilisés uniquement en noyau de remblai et doivent faire l'objet d'une étude spécifique préalable



APPROCHES INNOVANTES

- ❑ Gestion de cas d'utilisation nouvelle et originale de matériaux marginaux (souvent rejetés dans les années récentes)
 - Méthode peut être innovante dans un pays et pas dans un autre
 - Caractère marginal évolue suivant l'époque, le lieu et même le niveau de la couche réalisée
- ❑ Etudes spécifiques préalables approfondies nécessitées par l'adaptation au cas par cas
- ❑ Innovation réside dans les méthodes, techniques, produits et/ou matériels mis en œuvre pour répondre aux conditions d'emploi définis par les études
- ❑ Retours d'expériences de chantiers : données pouvant susciter de nouveaux progrès et avancées techniques



TECHNIQUE DE TRAITEMENT CHAUX ET/OU AUX LIANTS HYDRAULIQUES

- ❖ Techniques les plus utilisées pour valoriser l'emploi de matériaux naturels marginaux du site (remblais, PST, couches de forme, voire assises de chaussées)
- ❖ Progrès innovants développés par :
 - Meilleure connaissance des aptitudes au traitement
 - Optimisation des méthodes
 - Evolution des matériels (Référence rapport AIPCR 2007 R09)
 - Evolution des produits liants (Exemple COGESTAC)

□ Aptitude au traitement

Etudes et essais préalables

Essais spécifiques d'aptitude au traitement (pouvant déceler la présence de composés particuliers pénalisants)



OPTIMISATION METHODES DE TRAITEMENT EVOLUTION DES MATERIELS

❑ Deux méthodes pratiquées :

➤ *Traitement en centrale de malaxage*

- Matériaux peu argileux / Dmax 40 mm (limons et sables,...)
- Utilisation : couches de forme et assises de chaussées
(Classe mécanique améliorée)

➤ *Traitement en place*

Largement plus employé, le plus souvent réalisé sur couches en remblai

➤ *Progrès important des matériels participe aux techniques innovantes*

❑ Evolution des matériels de l'atelier de traitement

➤ Gains en précision

➤ Gains en potentiel de malaxage



OPTIMISATION METHODES DE TRAITEMENT EVOLUTION DES MATERIELS



Evolution des matériels de l'atelier de traitement

- Gains en précision
 - Dosage en liant et en eau de épanduses
 - Ajustement teneur en eau des matériaux (arroseuses enfouisseuses)
 - Régalage et réglage fin (niveleuse ou autograde) / Equipement GPS
- Gains en potentiel de malaxage
 - Pulvimixeurs plus puissants et équipés GPS
 - Matériaux à gros éléments, hétérogènes ...
 - Précision en profondeur



26/10/2011



PROJET DE RECHERCHE (INNOVATION PRODUITS)

□ Projet COGESTAC 2004-2008 (Belgique)

« **CO**mportement **GE**omécanique des sols **ST**abilisés à la **Chaux** »

➤ Exemple d'études en laboratoire

➤ Etude des performances mécaniques à long terme complétée par une approche physico-chimique - Résultats obtenus :

- Certains matériaux argileux plus sensibles que d'autres à la réaction avec la chaux
- Evolution dans le temps de la résistance par étapes successives correspondant à des mécanismes physico-chimiques distincts
- Module de déformabilité dans le domaine des petites déformations peut dépasser après un certain temps celui des matériaux traditionnels
- Augmentation de la cohésion corrélée à la formation de produits pouzzolaniques de type CSH (silicate de calcium hydraté)
- Erodabilité réduite – intégrité des talus assurée



PROJET DE RECHERCHE FRANCAIS TerDOUEST

□ **Projet 2008-2012** : Possibilités d'utilisation d'argiles très plastiques $I_p > 40$ avec traitements à la chaux et aux liants hydrauliques

- Approche scientifique : connaissances fondamentales sur la nature minéralogique des matériaux et l'inter-action liant (Microscope électronique)
- Construction et suivi d'un ouvrage de référence pour tester le réemploi (remblais, PST et couches de forme)

Objectifs

- Mise en évidence de la relation entre les processus physico-chimiques et le comportement géotechnique des sols traités pour optimiser le traitement
- Obtenir une mouture homogène (mélange intime sol-liant)
- Apport de nouveaux essais



RETOUR D'EXPERIENCE

Autoroute A89 à Brive dans le Massif Central (France)



RETOUR D'EXPERIENCE

Autoroute A89 à Brive dans le Massif Central (France)

Valorisation roches argileuses (pélites) à caractère évolutif

- Forts enjeux économiques et environnementaux
 - Topographie très tourmentée (D et R de grande hauteur)
 - 3 Mm³ de déblais / 2,1 Mm³ en remblais
 - 70 % des déblais : faciès pélitiques (sols et roches)
 - Chantier de terrassement fortes cadences (délai court 2002- 2004)
- Reconnaissances géotechniques au stade du projet
 - Caractérisation géotechnique : pélites sols et pélites roches
 - Roches argileuses + ou - fragmentables et dégradables
- Etudes spécifiques préalables
 - Proctor / IPI et paramètres mécaniques (cohésion et angle de frottement)
 - Essais dégradabilité et fragmentabilité
 - Etude traitement à la chaux des pélites sols



RETOUR D'EXPERIENCE

Autoroute A89 à Brive dans le Massif Central (France)

Roches évolutives : évolution naturelle



Avant....

Après 19 mois....



RETOUR D'EXPERIENCE

Autoroute A89 / Chantier expérimental GUMOND



- Investissement pertinent (enjeux)
Déblai / Remblai sur le tracé / Suivi 19 mois
- Evaluation contraintes fragmentation et compactage des matériaux
- Recommandations méthodologie de mise en œuvre
- Objectifs
 - Fragmentation suffisante des roches
Blocométrie requise
 - Matrice enrobant les éléments rocheux non dégradés ou fragmentés
 - Réduire le risque d'évolution du matériau dans le corps du remblai

RETOURS D'EXPERIENCE

Autoroute A89 / Procédés de fragmentation



Rippage au déblai



Minage



Tri des blocs > 600 mm



Chenillage au remblai



Compactage et évolution



Arrosage



Malaxage couche par couche

GR/JV

26

- Rippage partiel / Minage / Tri et évacuation éléments > 600 mm
- Fragmentation des produits ≤ 600 mm par chenillage et compactage pour obtenir blocométrie de 0/300 mm avec passant à 20 mm > 50 %
- Mise en oeuvre en couches minces de 30 cm d'épaisseur
- Energie de compactage élevée (98.5 % de la référence PROCTOR)
- Humidification pélites (obtention état proche de la référence PROCTOR)
- Malaxage au pulvimixeur (partiel)



RETOUR D'EXPERIENCES

Les flyschs de Slovénie

Caractère évolutif et dégradable des matériaux



Permanent water content increase and stiffness decrease in initially "dry" subgrade in a "bedrock"

Premature pavement failures



RETOUR D'EXPERIENCES

Les flyschs de Slovénie

Méthodologie préconisée

Evolution rapide de l'état rocheux à l'état de sol

- Pour éviter les déformations irréversibles → mise en remblai comme un sol, fragments grossiers à succion élevée à écarter
- Après excavation, fragmentation en petits éléments, arrosage et mise en dépôt temporaire → équilibre entre teneur en eau et l'environnement
- A la mise en œuvre : maîtrise du degré de saturation ($> 85 \%$)
- Contrôle de la succion aussi important que celui de la densité (entre 80 et 300 kPa au sein du remblai)
- Si, à la teneur en eau optimum, succion trop élevée → traitement à la chaux recommandé



RETOUR D'EXPERIENCES

Les flyschs de Slovénie



- 1 – excavation
- 2 – temporary depositing and wetting
- 3 – excavation from deposits

Exemple de chantier



- Risques liés à la valorisation de certains matériaux marginaux (matériaux à composés particuliers, notamment)
- Exemples d'éléments pénalisants : gypse, soufre, matières organiques, certains minéraux argileux
- Prévention des risques :
 - Essais d'aptitude au traitement (chaux et/ou LHR) permet de déceler ces éléments et de prévoir les traitements adaptés
 - Analyses physico-chimiques recommandées dans ces cas
 - Compréhension du couplage entre comportement géotechnique et processus physico-chimiques



MAITRISE DES RISQUES

Exemple chantier Autoroute (France)

- Exemple de dégradation pendant construction
- Matériaux utilisés / Déblais marnes bleues du Callovien
- Couches de forme traitées chaux et liant routier (dosage élevé)
 - Résultats d'essais laboratoire et planches d'essais satisfaisants
 - Réalisation / Phénomène observé 2 semaines après mise en œuvre et pluies : gonflements et pertes de performance
- Etudes conduites (diverses méthodes) : rôle nocif des ions sulfate et soufre à l'origine des phénomènes
 - Présence par très fines couches des sulfures et des sulfates dans le matériau marneux
 - Difficulté de taille : définir une méthode d'investigation représentative
- Remède apporté : Reconnaissances et essais complémentaires pour sélection zones déblais utilisables
- Prévention possible : essais d'aptitude au traitement



MAITRISE DES RISQUES

Exemples de dégradations

Autoroute en service / Argiles gonflantes (Espagne)



Autoroute en construction / Marnes gonflantes (France)



□ **PANORAMA** des familles de matériaux marginaux naturels localement rencontrés sur les sites des projets routiers

➤ **Matériaux évolutifs et à composés particuliers**

Les plus fréquemment cités – risques géotechniques à maîtriser

➤ **Matériaux très argileux**

Les solutions de traitement requièrent une meilleure connaissance de la réaction avec les liants

➤ **Matériaux homométriques ou mal charpentés**

La correction granulométrique est une méthode fiable

➤ **Matériaux trop humides ou trop secs**

Leur valorisation rejoint les sujétions d'adaptation aux changements climatiques

❑ **Dispositions constructives appropriées**

Réduisent les risques (ENCAGEMENT)

❑ **Matériaux latéritiques**

➤ Sujétions raréfaction ressources (localement en Afrique)

➤ Solutions de valorisation de matériaux « marginaux »



MERCI POUR VOTRE ATTENTION
THANK YOU FOR YOUR ATTENTION
GRACIAS POR SU ATENCIÓN

