



VALORISATION DES SOLS MEDIOCRES « TRAITEMENT EN PLACE EN TERRASSEMENTS »

COMITE FRANÇAIS DE MECANIQUE DES SOLS
3 décembre 2008

Syndicat Professionnel des Terrassiers de France
Patrice CHARDARD – entreprise EIFFAGE
Daniel GANDILLE - entreprise GUINTOLI

SOMMAIRE

- ◆ **A – PRESENTATION**
- ◆ **B – CONSTITUANTS**
- ◆ **C – INTERETS - AVANTAGES**
- ◆ **D - AMELIORATION DES SOLS TROP HUMIDES**
- ◆ **E – STABILISATION**
- ◆ **F - MATERIELS DE TRAITEMENT**
- ◆ **G - REALISATION DU TRAITEMENT EN PLACE**

A – PRESENTATION

➤ 1 . DEFINITIONS

- **sol** : matériau naturel issu de l'altération de roches mères
- **traitement** : modification « naturelle » ou par ajout d'un « élément »
 - **amélioration** : accroissement, même temporaire, des caractéristiques géotechniques
 - **stabilisation** : accroissement pérenne des caractéristiques mécaniques

➤ 2 . REFERENCES DOCUMENTAIRES

- **guides SETRA / LCPC**
 - « **Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques** »
 - Application à la réalisation des remblais et couches de forme (2000)
 - Application à la réalisation des assises de chaussées (2007)
- **normes d'essais**

B – CONSTITUANTS

➤ **1 . SOLS**

principaux paramètres d'identification vis à vis du traitement

- **granularité** : D mm
- **argilosité** : VBS - IP
- **état hydrique** : teneur en eau
- **teneurs en éléments chimiques** : MO – sulfates – nitrates...
- **caractéristiques physiques** : dureté - abrasivité

➤ 2 . PRODUITS DE TRAITEMENT

■ Chaux aérienne

	vive	éteinte
teneur en chaux libre	> 80%	> 50%
finesse (passant à 0.08 mm)	> 50%	> 90%
réactivité	T° > 60° en 25'	

■ Liants hydrauliques

	CIMENT – CEM NF P 15-101.1	LIANTS HYDRAULIQUES ROUTIERS – HBR - NF P 15-108
prise (à 20°)	rapide (2 à 4 h)	lente (4 à 6 h)
constituants principaux	clincker	laitier (clincker)
constituants secondaires	laitier – CV – filler..	chaux – CV – filler...

■ Liants à faible émission de poussières

➤ 3 . EAU - NF P 98-100

C – INTERETS DU TRAITEMENT

➤ 1 . AVANTAGES

- **utilisation de matériaux du site naturellement impropres**
 - préservation des matériaux nobles (carrières)
 - diminution des zones de dépôts
 - suppression de la circulation de poids lourds sur le domaine public :
 - absence de nuisances (bruit – poussières) et de risques d'accidents s
 - préservation des voiries
 - bilan écologique et économique favorables

- **technique**
 - caractéristiques mécaniques plus élevées
 - épaisseurs plus faibles

➤ 2 . INCONVENIENTS

- **mise en œuvre plus délicate**
- **délais avant « utilisation »** : circulation - insensibilité à l'eau - non gélivité

D - AMELIORATION

➤ **1 . DESTINATION**

remblais ordinaires

➤ **2 . INTERETS TECHNIQUES**

- **réutilisation des sols trop humides naturellement impropres**
- **amélioration de la portance :**
 - permettre le compactage
 - assurer la traficabilité
 - augmenter les rendements et réduire les délais d'exécution

➤ **3 . TYPES DE TRAITEMENT**

- **naturel :**
 - **aération** : délais importants - météo favorable - énergie de "brassage"
 - **essorage** : drainage et/ou mise en dépôt provisoire
 - **apport de matière sèche** : sable, CV,...

■ par ajout de liant

■ chaux vive :

- dosage minimum moyen : 1 à 2%
- malaxage : charrue (ou pulvi-mixer)

■ liant hydraulique routier à prise rapide (ROLAC-PI, ROC-TER...)

- dosage minimum moyen : 3 à 4 %
- malaxage : pulvi-mixer

➤ 4 . EFFETS - PERFORMANCES

■ chaux vive

- amélioration immédiate de la portance par diminution de la teneur en eau
- sur les sols argileux à long terme : augmentation des caractéristiques géotechniques

■ liant hydraulique routier à prise rapide

- amélioration différée (délai de prise) de la portance par augmentation de la rigidité
- sur tous les sols à long terme : augmentation des caractéristiques géotechniques

E – STABILISATION

➤ **1 . DESTINATIONS PRINCIPALES**

- **arase – PST**
- **remblais techniques**
 - blocs techniques OA - OH
 - remblais de culées perchées
 - remblais de zones inondables ou humides
 - talus raidis
- **couche de forme**
 - des assises de chaussées
 - des assises ferroviaires
 - des assises aéroportuaires
 - des plates-formes industrielles
- **couches de chaussées à faible et moyen trafics** (< ou = TC 3)

➤ **2 . INTERETS TECHNIQUES**

- **utilisation de sols naturellement impropres**
- **réduction d'épaisseur** (à performances équivalentes)
- **performances mécaniques élevées** (PF3 / PF4)

➤ 3 . ETUDES PREALABLES

■ gisement : homogénéité des matériaux (couche de forme)

Caractéristiques d'influence	Étendue relative
VBS	< ou = 40%
OPN	< ou = 8%

■ aptitude d'un sol au traitement (NF P 94-100)

		LH + éventuellement CaO	CaO
Gonflement volumique (Gv%)	< ou = 5	APTE	APTE
	5 < Gv < ou = 10	DOUTEUX	DOUTEUX
	> 10	INAPTE	INAPTE
Résistance en compression diamétrale RtB (MPa)	> ou = 0.20	APTE	non considéré pour le traitement CaO seul
	0.10 < RtB < ou = 0.20	DOUTEUX	
	< 0.10	INAPTE	

➤ 4 . ARASE – REMBLAIS TECHNIQUES

■ **performances requises** : $\text{CBR} > \text{IPI}$

■ **liants**

- **chaux** : matériau « argileux » ($\text{VBS} > \text{à environ } 1$) – dosage moyen : 1 à 2%
- **liant hydraulique** : matériau « sableux » ($\text{VBS} < \text{à environ } 1$) – dosage moyen : 3 à 4

➤ 5 . COUCHE DE FORME

■ **chaux aérienne**

■ **performances requises** :

- $\text{CBR} / \text{IPI} > 20$
- mélange non gélif : $R_c > 2.5 \text{ MPa}$

■ **matériau – dosage** : argile plastique A3 traitée à au moins 4 à 6%

■ **liants hydrauliques** (avec, si nécessaire, pré-traitement à la chaux)

■ **performances requises** :

- circulation : $R_c > 1 \text{ MPa}$ (1.5 à 2 pour des trafics lourds importants)
- insensibilité à l'eau : $R_{\text{cimmersion}} / R_c 60 > 0.6$ ou 0.8 (selon VBS)
- mélange non gélif : $R_{\text{tB}} > 0.25 \text{ MPa}$
- caractéristiques mécaniques « R_t / E » à 90 jours : au moins classe 5

■ **étude - dosage** : *tableau 3*

3 - EXEMPLE D'ETUDE DE LABORATOIRE

sable limoneux « B5 » - D = 20 mm - VBS = 0.48 – OPN = 2.07 à 10.7 %

$$(R_t = R_{tB} * 0.8)$$

compacité	98% OPN				délag	96 % OPN			zone
teneur en eau	W % OPN				circu lation	W % OPN			Rt / E
Résistance	Rc (MPa)					RtB / E (MPa)			à 90
date essais	27/07	17/08	18/09			17/08	18/09	18/10	jours
Délais (jours)	7	28	60	60 im	jours	28	60	90	jours
3 % LHR	0.72	1.10	1.19	1.05 / 88%	> 23	0.16 / 3697	0.27 / 5112	0.28 / 5301	5 / HZ
4 % LHR	1.18		1.70	1.41 / 83%	> 6	0.25 / 4611		0.32 / 6147	5
5 % LHR		1.65			> 6		0.38 / 8168	0.40 / 8505	5 (4)
6 % LHR	1.46				> 5	0.34 / 8185		0.42 / 9017	4 (5)
1 % CaO + 5 % LHR	1.22				> 7			0.35 / 6312	5 (4)

➤ 6 . DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE DE FORME

■ épaisseur de la couche de forme :

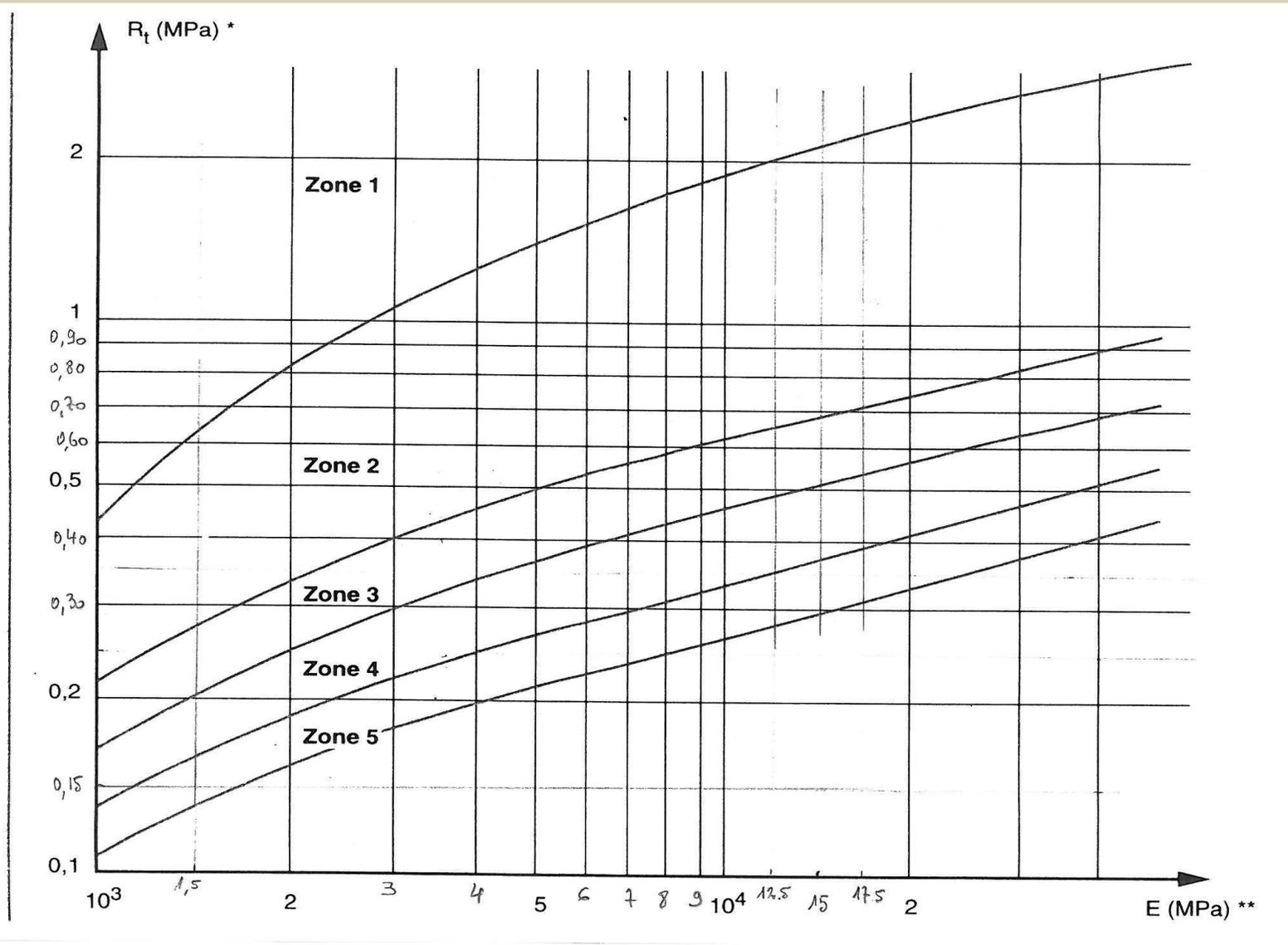
classe de l'arase		AR 1			AR 2	
classe mécanique du matériau traité de couche de forme		épaisseur	de la	couche	de	forme
	3		30 cm	40 cm	25 cm	30 cm
	4	30 cm	35 cm	45 cm*	30 cm	35 cm
	5	35 cm	50 cm*	55 cm*	35 cm	45 cm*
classe de plate-forme obtenue		PF 2 d < 0.8 mm	PF 3 d < 0.6 mm	PF 4 d < 0.5 mm	PF 3	PF 4

■ définitions de classes et des zones :

Classes mécaniques	Traitement en centrale	Traitement en place
1	zone 1	
2	zone 2	zone 1
3	zone 3	zone 2
4	zone 4	zone 3
5	zone 5	zone 4

■ diagramme « R_t / E » :

$$R_t = R_{tB} * 0.8$$



F - MATÉRIELS DE TRAITEMENT

➤ 1 . SILO

➤ 2 . EPANDEUR DE LIANT (photo 1)

■ système de dosage :

- non asservi : volumétrique
- asservi : volumétrique ou volumétrique ajusté par dispositif pondéral avec enregistrements de paramètres
- largeur d'épandage variable

■ précision :

- coefficient de variation : $Cv = \text{écart-type} / \text{moyenne}$
- exactitude : écart entre valeur moyenne épandue et valeur visée :

valeurs indicatives	Cv	exactitude
amélioration (CaO) / RO	< 20%	
stabilisation (liant hydraulique) / CF	< 10%	< 5%

➤ **3 . ARROSEUSE** *(photo 1)*

- **"queue de carpe"** : non asservie
- **à rampe** : asservie ou non
- **enfouisseuse** : asservie (avec enregistrement des paramètres)
- **injection d'eau sous la cloche du pulvi-mixer**

➤ **4 . MATERIELS DE PREPARATION**

dans le cas de matériaux granulaires, un « D » trop important vis-à-vis du traitement, peut être réduit par :

- **tri ou criblage**
- **concassage** *(photos 2)* :
 - en place
 - à l'aide de concasseur

1 - EPANDEUR DE LIANTS – ARROSEUSE ENFOUISSEUSE



2 - CONCASSEURS



➤ 5 . MALAXEURS (photos 3)

valeurs indicatives	CHARRUE TRACTEE		PULVI-MIXER	CENTRALE
	à disques	à socs	rotor à arbre horizontal	
profondeur d'action	0.15 à 0.20 m	0.30 à 0.50 m	0.35 à 0.45	
limites	D < 250 à 350 mm		D < 80 à 100 mm	- D < 50 mm - IP < 12
traitement	chaux		LH (et CaO)	
destinations	RO et pré - traitement		CF – arase - remblai	technique

3 - CHARRUE A SOCS / PULVI-MIXER



G - REALISATION DU TRAITEMENT EN PLACE

➤ 1 . ZONE DE TRAITEMENT

	à l'extraction	sur le lieu d'emploi
	chargement, transport et régalage du matériau traité	approvisionnement du matériau non traité
opérations communes	<ul style="list-style-type: none"> - réalisation d'un planche de convenance - réception altimétrique du support - réglage de la couche traitée par enlèvement de - respect du délai de maniabilité (épandage du 	matériau liant / fin du compactage)
avantages	<ul style="list-style-type: none"> - épaisseur traitée uniquement fonction du malaxeur - homogénéité de traitement sur toute l'épaisseur 	<ul style="list-style-type: none"> - peu d'opérations pendant le délai de maniabilité « traitement-mise en œuvre » - maîtrise de l'homogénéité du traitement sur l'épaisseur de la couche traitée
inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - chargement de matériau non traité ou perte de matériau traité lors du chargement - nombreuses opérations pendant le délai de maniabilité : « traitement-chargement-transport-régalage » 	<ul style="list-style-type: none"> - réglage altimétrique de la couche de forme avant traitement - traitement en 1 couche limitée à 0.40 m (limite du compacteur)

➤ 2 . ARROSAGE

si nécessaire et pour obtenir la teneur en eau de traitement

➤ 3 . EPANDAGE DES LIANTS

■ quantité à épandre : Q (kg/m²)

épaisseur (m) * masse volumique sèche * (dosage% / 100 – dosage%) * 1000

■ délai de mise en oeuvre :

- pré-traitement CaO / traitement LH : 1 à 2 h minimum
- épandage LH / malaxage : immédiat pour respecter le « délai de maniabilité »

➤ 4 . MALAXAGE

■ épaisseur traitée :

- ≤ 0.40 m : une couche
- au-delà : 2 ou plusieurs couches

■ qualité du malaxage :

- homogénéité de couleur
- finesse de la mouture (fraction fine argilo-limoneuse) :
 - D mm < 80 à 100 m pour amélioration
 - D mm < environ 20 mm pour stabilisation

➤ 5 . COMPACTAGE *(photo 5)*

- **caractéristiques** : selon les directives du GTR (q3 pour une couche de forme)
- **le compactage doit être terminé** avant la fin du délai de maniabilité du liant

➤ 6 . REGLAGE

- il doit se faire par **enlèvement** de matériau *(photo 5)* :
 - niveleuse : nivelette – guidage sur fil - laser - GPS
 - raboteuse : guidage sur fil - laser - GPS
- **tolérances** altimétriques (couche de forme) :
+/- 3 ou +/- 2 cm (à +/- 1 cm)

➤ 7 . ENDUIT DE CURE

- **but** : éviter, avant la prise, le dessèchement du mélange en surface
- **répandage** dans la même journée que le traitement
- **composition** : émulsion à 60 ou 65% de bitume
- **gravillonnage** : en cas de circulation

5 - COMPACTAGE - REGLAGE



➤ 8 . CONTRÔLES

■ **teneur en eau :**

- sur matériau naturel
- après chaque arrosage
- après traitement

■ **liants :**

- quantité épandue : bac / bouclage journalier
- réactivité de la chaux
- prélèvements conservatoires

■ **suivi du malaxage :**

- épaisseur
- homogénéité

■ **compactage :**

- Q/S
- densités et teneurs en eau en place : gammadensimètre

■ **réception :**

- topographique : altimétrie
- géotechnique : déflexions

➤ 9 . PRECAUTIONS

- réglage altimétrique de l'arase
- arrêt du traitement en fonction de :
 - précipitations
 - vent : si $v >$ environ 40 km / h
 - température (influence directe sur la cinétique de prise) :
 - si, au moment du traitement, la T° du sol $< 5^{\circ}$
 - pendant la période hivernale : novembre à février (suivant régions et dosages)

➤ 10 . RENDEMENTS INDICATIFS MOYENS

- charrue : 4500 m² / h (1 passe à 2500 m / h)
- pulvi-mixer : 1200 m² / h (1 passe à 600 m/ h)
- réglage à la niveleuse :
 - arase : 1000 m² / h
 - couche de forme : 600 à 800 m² / h