

# TRAITEMENT DES SOLS EN PLACE ASPECTS GÉNÉRAUX

Daniel GANDILLE

SYNDICAT PROFESSIONNEL DES TERRASSIERS DE FRANCE



# OBJECTIFS - INTÉRÊTS



# OBJECTIFS - INTÉRÊTS

- **Objectif** : conférer à un sol naturel des propriétés géotechniques et des performances mécaniques - à court et/ou à long terme - par ajout d'un liant hydraulique.
- **Intérêt** : réutilisation **des sols du site** (NF P 11-300 / GTR 21), naturellement «inadaptés».
  - préservation des matériaux nobles (carrières),
  - diminution des zones de dépôts,
  - suppression des nuisances dues à la circulation des poids lourds sur les voiries publiques desservant le chantier.

*Nota : NF P 11-300 / GTR 21 (classification) sont actuellement en cours de révision*

**→ BILANS ÉCONOMIQUE ET ÉCOLOGIQUE FAVORABLES  
(DANS LA PLUPART DES CAS).**



# OBJECTIFS - INTÉRÊTS

## INTÉRÊTS / MATÉRIAUX GRANULAIRES

### ■ Avantages

- **réduction d'épaisseur** à performances équivalentes,
- possibilité d'obtenir des performances mécaniques plus élevées (PF4),
- **meilleure protection** - à épaisseur égale, vis à vis du gel.

### ■ Limites

- **mise en œuvre plus « technique »**,
- **délais à respecter** :
  - pour avoir une résistance suffisante
  - avant de pouvoir remettre en circulation
  - pour bénéficier de l'insensibilité à l'eau et de la non-géivité.



**Epaisseurs d'une structure de chaussée avec couche de forme en sable non traité (à gauche) et en sable traité (à droite)**



# OBJECTIFS - INTÉRÊTS

## ■ Sols concernés et domaines d'emploi

- **tous les sols (NF P 11-300) sont traitables**, moyennant études préalables en laboratoire (faisabilité, liant, dosage,.....),
- **applications variées** : de la voie communale à l'autoroute, du lotissement à la plateforme logistique.

→ **LA TECHNIQUE A BEAUCOUP ÉVOLUÉ ET CONTINUE DE PROGRESSER.**

## ■ Pérennité du traitement

- pas de problème de vieillissement constaté (recul de plus de 40 ans),
- les caractéristiques mécaniques continuent de croître.

→ **15.000.000 m<sup>2</sup>/AN, SOIT L'ÉQUIVALENT DE 1.500 km/AN.**





# CONSTITUANTS



# CONSTITUANTS

## SOLS ET PRODUITS DE TRAITEMENT

- **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.
- **Produits de traitement : ils sont normalisés**
  - **Liants Hydrauliques Routiers**
    - NF P 15-108 : liants hydrauliques – liants hydrauliques routiers – composition, spécifications et critères de conformité. Norme en vigueur, en attente de la validation de la norme NF EN 13 282-2 : liants hydrauliques à durcissement normal (classement à 56 jours).
    - NF EN 13 282-1 : liants hydrauliques à durcissement rapide (classement à 28 jours),
  - **Chaux vive** : NF EN 459.





# APPLICATIONS



# APPLICATIONS

## ■ Destinations :

- voies linéaires (routes, autoroutes, voies ferrées (LGV....), voies vertes, pistes cyclables....
- plates-formes logistiques et industrielles, parkings
- blocs techniques : ouvrages d'art, ouvrages hydrauliques
- ouvrages hydrauliques : digues, canaux
- murs de soutènement

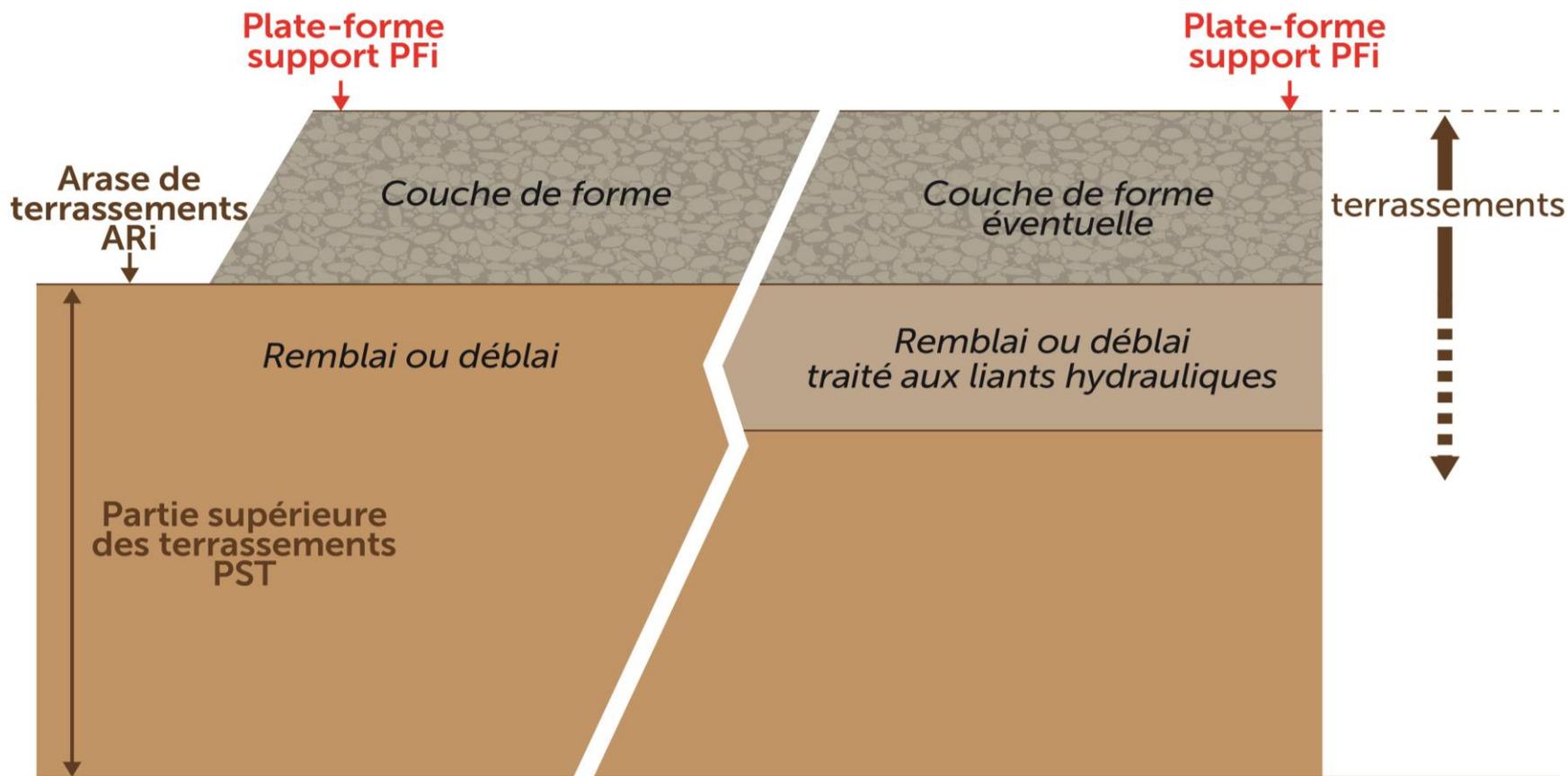
## ■ Parties d'ouvrages :

- remblais et PST
- couche de forme
- assises
- talus
- zones inondables et zones humides

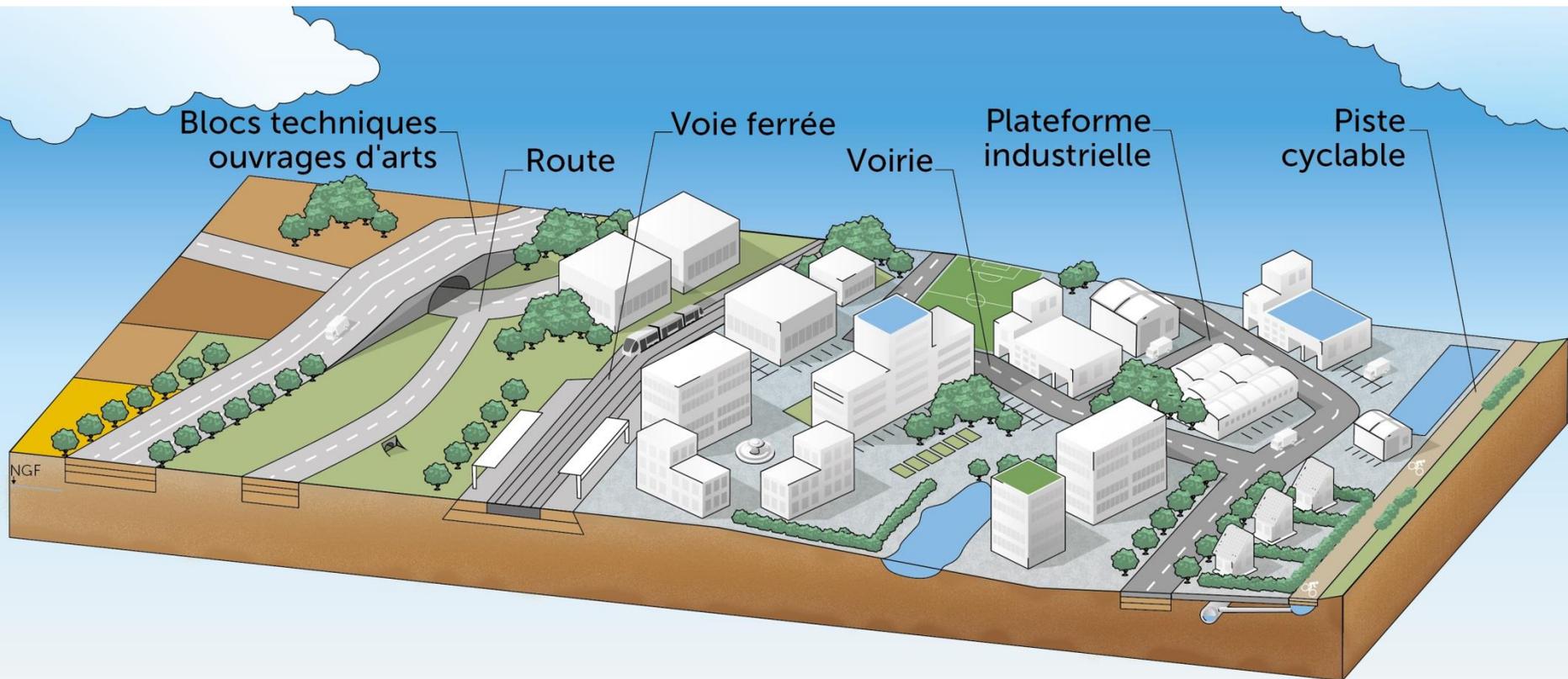


# APPLICATIONS

## TERMINOLOGIE « TERRASSEMENTS »

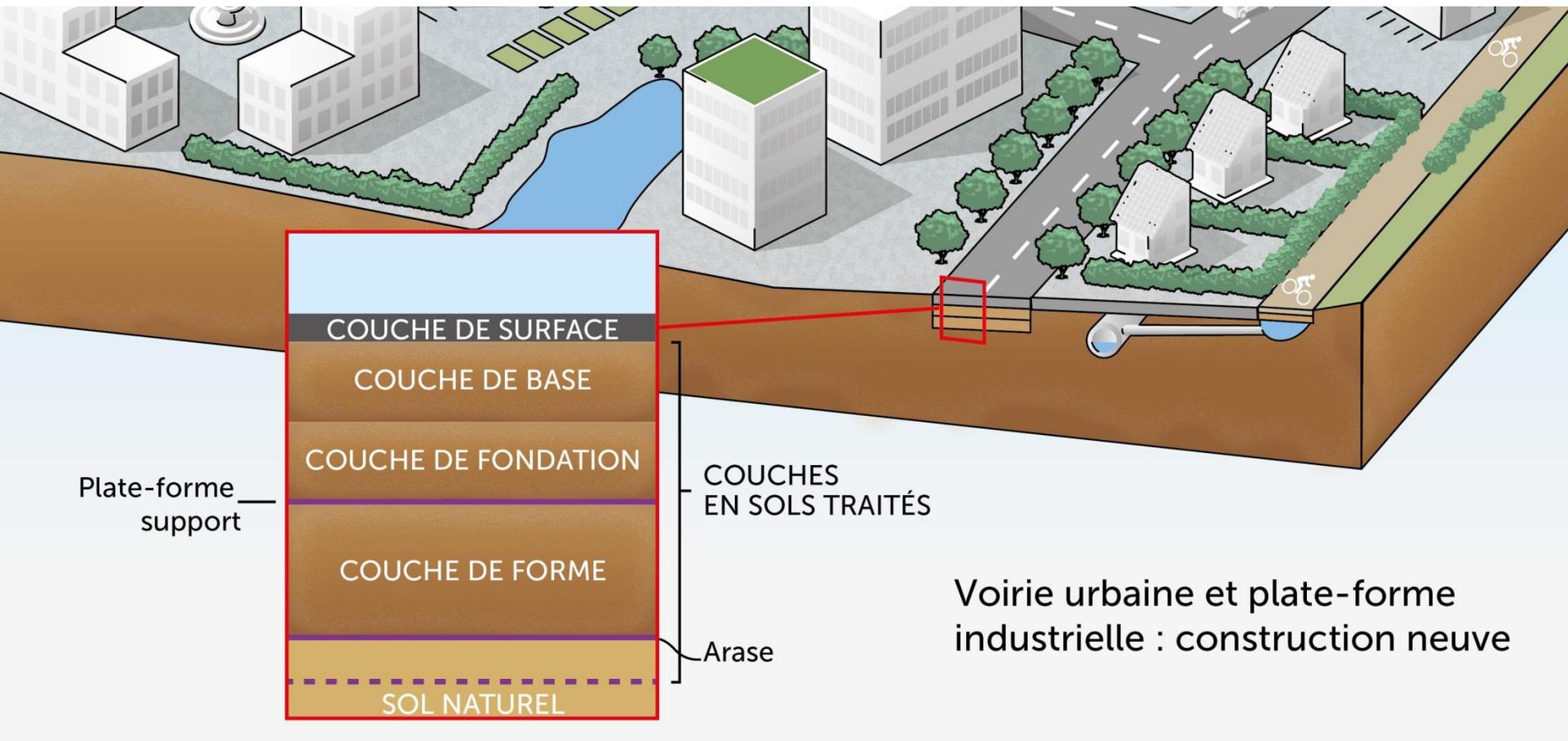


# APPLICATIONS



# APPLICATIONS

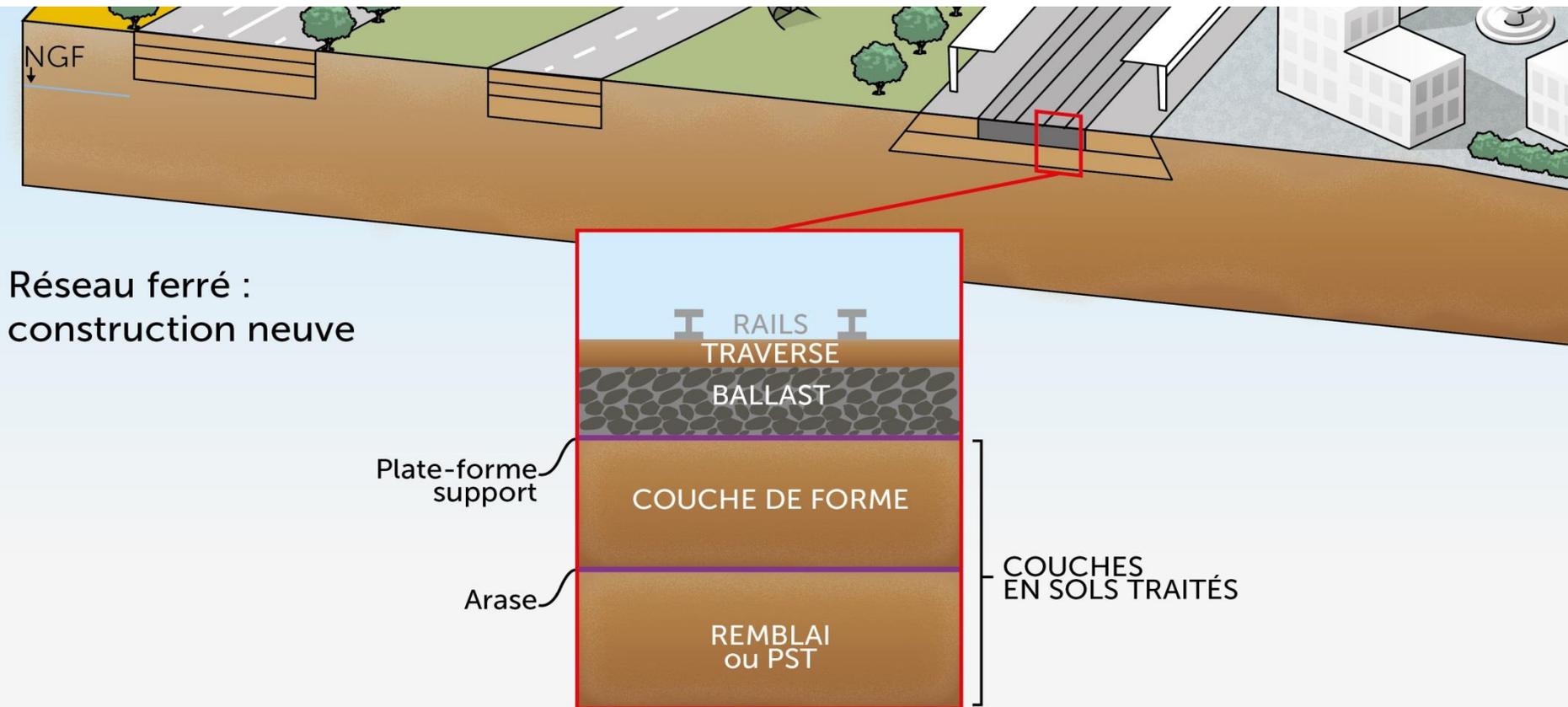
## Voies (urbaines ou inter-urbaines) – plate-formes industrielles



Voirie urbaine et plate-forme industrielle : construction neuve

# APPLICATIONS

## Voies ferrées (LGV.....)



Réseau ferré :  
construction neuve

Plate-forme  
support

Arase

REMBLAI  
ou PST

COUCHES  
EN SOLS TRAITÉS

RAILS  
TRAVERSE  
BALLAST

COUCHE DE FORME

# PROCÉDÉS



# AMÉLIORATION / STABILISATION

- **Amélioration** : accroissement, même temporaire, des caractéristiques géotechniques.  
  
→ **PORTANCES À COURT TERME : TRAFICABILITÉ POUR LES ENGIN DE CHANTIER, RÉALISATION ET COMPACTAGE DES REMBLAIS,**
- **Stabilisation** : accroissement, pérenne, des caractéristiques géotechniques et mécaniques.  
  
→ **PERFORMANCES MÉCANIQUES EXIGÉES POUR LE DIMENSIONNEMENT (résistances, insensibilité à l'eau et au gel)**



# AMÉLIORATION / STABILISATION

## TRAITEMENT

AMÉLIORATION  
(traitement à la chaux ou aux LHR)

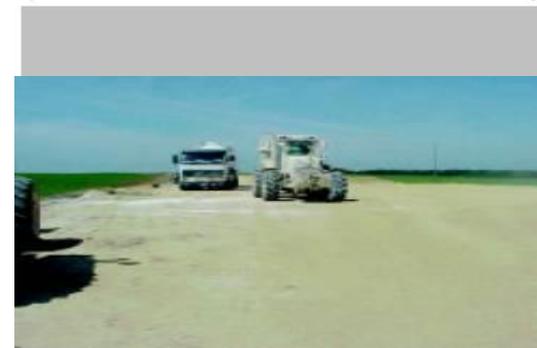


Aspect avant traitement

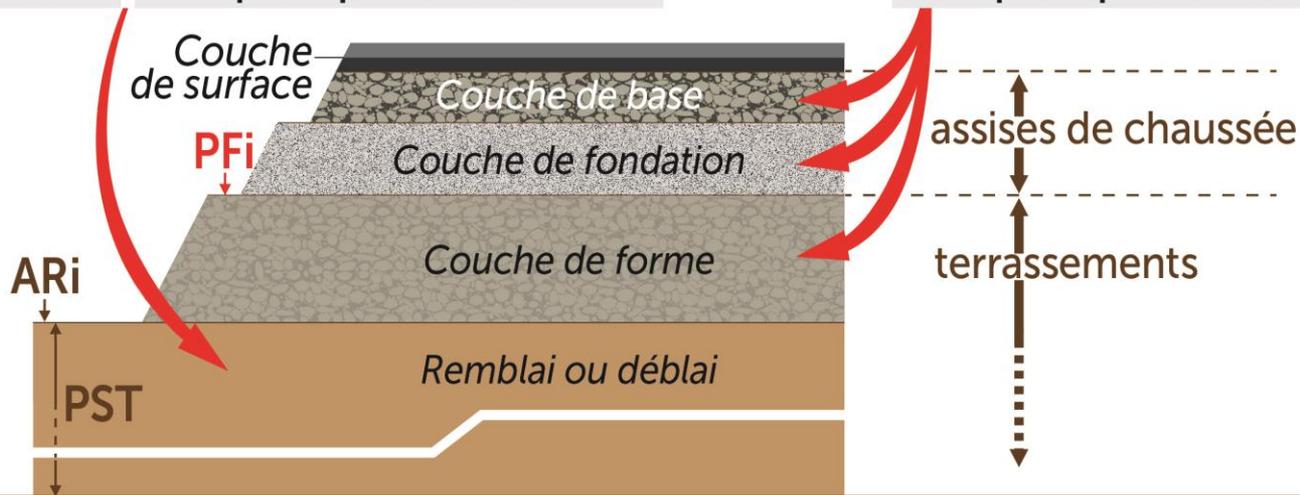


Aspect après traitement

STABILISATION  
(traitement aux LHR ou ciment)



Aspect après traitement



# AMÉLIORATION

## → AMÉLIORATION DES CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES À COURT TERME.

- **Réutilisation des sols sensibles à l'eau, «impropres» parce que trop humides**
  - diminution de la teneur en eau naturelle des sols,
  - amélioration de la portance (traficabilité, compactage),
- **Destinations**
  - remblais ordinaires
  - arase naturelle (PST)
- **Performances recherchées**
  - état hydrique «moyen»,
  - portance EV2 au moins égal à 20 / 30 MPa (IPI > 5 à 8)



# STABILISATION (1)

→ PERENNITE DES PERFORMANCES MÉCANIQUES À LONG TERME.

→ ALTERNATIVE AUX MATÉRIAUX GRANULAIRES TRADITIONNELS.

## ■ Réutilisation des sols «impropres» :

- caractéristiques mécaniques insuffisantes,
- sensibilité à l'eau et/ou au gel,

## ■ Stabilisation pour terrassements :

- destinations :
  - couche de forme,
  - plateforme industrielle,
  - arase améliorée « AR2 »,
  - bloc technique,
  - zone inondable, zone humide,
  - talus raidis...



# STABILISATION (2)

- performances recherchées :
  - caractéristiques pérennes (insensibilité à l'eau et au gel)
  - $EV2 > \text{ou} = 50 \text{ MPa}$ .

Classe de portance à long terme	Module EV2 (MPa)										
	0	20	20	50	50	80	80	120	120	200	> 200
Arase	AR0		AR1		AR2			AR3		AR4	
Plate-forme support					PF2		PF2qs		PF3		PF4

## ■ Stabilisation pour assises de chaussées :

- destinations : couche de Fondation et couche de Base
- performances recherchées :
  - résistance à la fatigue
  - résistance au gel / dégel
  - planéité de la chaussée





# MISE EN OEUVRE



# MISE EN ŒUVRE

## OPERATIONS COMMUNES

*CAMION  
CITERNE*



HUMIDIFICATION

*ÉPANDEUR*



ÉPANDAGE  
LIANT

*PULVIMIXEUR*



MALAXAGE

*NIVELEUSE*



RÉGLAGE

*COMPACTEUR*



COMPACTAGE

*ÉPANDEUR  
DE BITUME*



CURE



# MISE EN ŒUVRE (1)

## OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- **PST** (matériaux hétérogènes en place)
  - mouture :  $D < \text{ou} = 80 \text{ mm}$  (CaO) ou  $40 \text{ mm}$  (LHR)
  - compacité (q4) : masse volumique moyenne  $> \text{ou} = 95\%$  de l'OPN,
- **Couche de forme** (matériaux homogènes)
  - mouture :  $D < 20 \text{ à } 40 \text{ mm}$
  - compacité (q3) :
    - masse volumique moyenne  $> \text{ou} = 98.5\%$  de l'OPN,
    - masse volumique « fond de couche »  $> \text{ou} = 96\%$  de l'OPN
  - réglage : tolérances ( $\pm 3 \text{ cm}$ )
- **Assises de chaussées** (matériau sélectionné pour assurer l'homogénéité)
  - mouture :  $D < 20 \text{ mm}$
  - compacité (q2) :
    - masse volumique moyenne  $> \text{ou} = 97\%$  de l'OPM,
    - masse volumique « fond de couche »  $> \text{ou} = 95\%$  de l'OPM
  - réglage : tolérances couche de fondation ( $\pm 3 \text{ cm}$ ) – base ( $\pm 2 \text{ cm}$ )



# MISE EN ŒUVRE (2)

## HUMIDIFICATION

- **Objectif** : amener le sol à la teneur en eau optimale définie par l'étude préalable.
- **Différents types**:
  - **arroseuse « queue de carpe »** : arrosage en surface inégal → **déconseillée**,
  - **arroseuse-enfouisseuse** : répartition homogène (surface et épaisseur),
  - **injection dans la cloche du malaxeur** : répartition homogène (surface et épaisseur).

queue de carpe



arroseuse-enfouisseuse



injection d'eau dans la cloche du malaxeur



# MISE EN OEUVRE

## ÉPANDAGE

**Objectif** : répartition uniforme du liant en un minimum de passes. avec une précision  $\pm 5\%$  (longitudinalement et transversalement).

épandeur automoteur



épandeur tracté



# MISE EN OEUVRE

## MALAXAGE

- **Objectifs :**
  - décohésionner ou fragmenter les matériaux en place,
  - mélanger de façon homogène ces matériaux avec le(s) liant(s) et l'eau
- **Deux types de matériels :**
  - tracté,
  - automoteur.

malaxeurs tractés



malaxeur automoteur



# MISE EN ŒUVRE

## NIVELLEMENT

- **Objectifs** : réglage « fin »,
- **Matériels** :
  - niveleuse
  - raboteuse

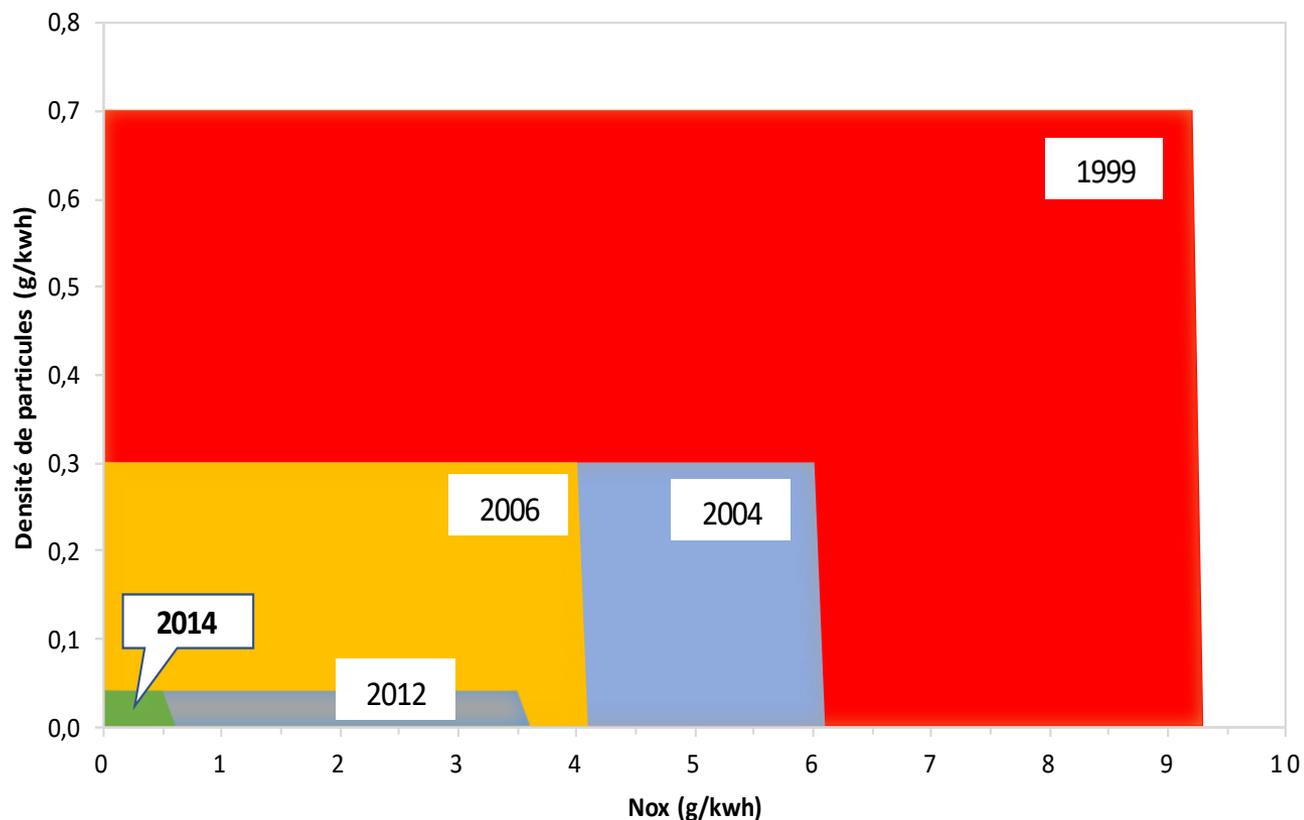




# MISE EN ŒUVRE

## REDUCTION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU MATÉRIEL

de 1999 à 2021:  
- réduction de 96,5 %  
des particules fines  
- réduction de 95,7 %  
de l'oxyde d'azote



# MISE EN ŒUVRE

## PROTECTION DE LA PLATEFORME ENDUIT DE CURE

- **Objectifs :**  
éviter dessiccation de surface et protection contre la pluie

(si nécessaire en cas de circulation)

émulsion de bitume



gravillonnage



compactage enduit



# **CONDITIONS DE MISE EN OEUVRE**



# ÉPANDAGE

## ■ Quantité de LHR à épandre :

$$Q \text{ (kg/m}^2\text{)} = e \text{ (m)} \times mv \text{ (t/m}^3\text{)} \times \frac{1\ 000 \times d\%}{(100 - d\%)}$$

**e** : épaisseur de la couche

**mv**: masse volumique sèche du sol en place

**d%** : dosage en liant

## ■ Délai de mise en œuvre :

- correction de la teneur en eau : plusieurs heures selon argilosité,
- si prétraitement à la chaux : au moins 1 à 2 h avant LHR,
- malaxage LHR : immédiatement après épandage,
- compactage : immédiatement après malaxage,
- réglage fin : selon engin utilisé (voir ci-après).





# MALAXAGE

- **Epaisseur traitée :**
  - $\leq 0,40$  m en 1 couche
  - au-delà : 2 ou plusieurs couches
- **Qualité du malaxage :**
  - homogénéité : couleur
  - finesse de la mouture (fraction fine argilo-limoneuse) :
    - pour un remblai ou une PST :  $D \text{ mm} \leq 80$  à  $100 \text{ mm}$ ,
    - pour une couche de forme :  $D \text{ mm} \leq 20$  à  $40 \text{ mm}$



# RÉGLAGE

- Par **ENLÈVEMENT** de matériaux :
  - Niveleuse : immédiatement après compactage (avant la prise),
  - Raboteuse : après la prise (quelques jours à ....).
- **Tolérances altimétriques « courantes »** :
  - couche de forme : +/- 3 cm
  - chaussées : +/- 3 cm (fondation); +/- 2 cm (base).



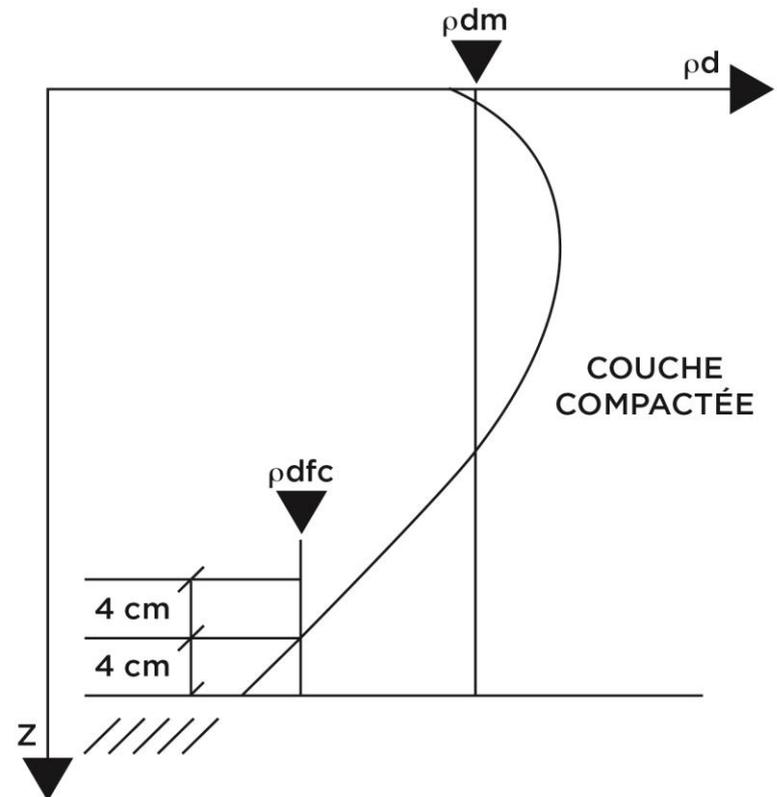
# COMPACTAGE

## ■ Caractéristiques :

- masse volumique moyenne :  $P_m$
- masse volumique fond de couche  $P_{fdc}$

## ■ Référence :

- remblais, purges, PST : **OPN**
- couches de forme : **OPN**
- assises de chaussées : **OPM**



# COMPACTAGE

Objectif Terrassements	Masse volumique moyenne $\rho_m$	Masse volumique fond de couche $\rho_{fdc}$	Observation
q4	$P_m = 95\% \cdot \rho_{OPN}$	$\rho_{fdc} = 92\% \cdot \rho_{OPN}$	Objectif Remblais, purges, PST
q3	$P_m = 98,5\% \cdot \rho_{OPN}$	$\rho_{fdc} = 96\% \cdot \rho_{OPN}$	Objectif Couches de Forme

Objectif Assises	Masse volumique moyenne $\rho_m$	Masse volumique fond de couche $\rho_{fdc}$	Observation
q2	$P_m = 97\% \cdot \rho_{OPM}$	$\rho_{fdc} = 95\% \cdot \rho_{OPM}$	Objectif Fondation; Base si $T \leq 150 \text{ PL/j}$
q1	$P_m = 100\% \cdot \rho_{OPM}$	$P_{fdc} = 98\% \cdot \rho_{OPM}$	Objectif base si $T > 150 \text{ PL/j}$ et Couche de surface



# PROTECTION

## ■ Objectifs :

- éviter la déshydratation de surface,
- protéger contre la pluie,
- éviter la microfissuration (couche de forme traitée au LH).

## ■ Produits de cure :

- émulsion à 60 ou 65 % de bitume,
- eau.





# CONTRÔLES



# CONTRÔLES DURANT LE TRAITEMENT

- **Teneur en eau** : gamma-densimètre - poêle
  - sur le matériau naturel,
  - après chaque arrosage / malaxage.
- **Liants** :
  - quantités épandues : bac (ou bâche) et bouclage journalier,
  - réactivité de la chaux,
  - auto-contrôle du fabricant - prélèvements conservatoires.
- **Suivi du malaxage** :
  - épaisseur,
  - homogénéité.



# CONTRÔLES APRÈS LE TRAITEMENT

## ■ Compactage :

- Q / S
- densité et teneurs en eau en place : gamma-densimètre

## ■ Réception :

- matériaux traités à réceptionner **en déflexion**
- topographique : altimétrie – largeur
- uni (APL) sur les assises de chaussées

	<b>Déflexions maximales</b> (sous essieu de 13 tonnes)	
<b>traitement</b>	<b>chaux</b>	<b>LHR</b> (avec ou sans chaux)
<b>PF2</b>	120 / 100 mm	80 / 100 mm
<b>PF3</b>	80 / 100 mm	60 / 100 mm
<b>PF4</b>		50 / 100 mm



# MATÉRIELS DE CONTRÔLE



**ESSAI A LA PLAQUE**



**DYNAPLAQUE II**



**GAMMADENSIMÈTRE**



**DÉFLECTOGRAPHE  
« LACROIX »**



**PORTANCEMÈTRE**



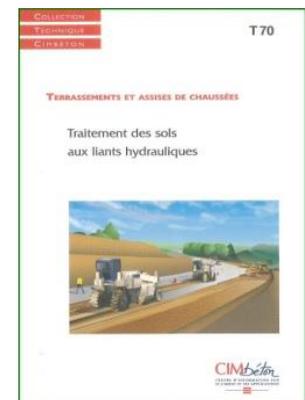


# BIBLIOGRAPHIE



# BIBLIOGRAPHIE

- *Guide Technique : Réalisations des remblais et des couches de forme - Fascicule I et Fascicule II – SETRA / LCPC, 2000 (actuellement en cours de révision).*
- *Guide Technique : Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Application en remblais et couches de forme – SETRA / LCPC, 2000*
- *Guide Technique : Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Application en assises de chaussées – SETRA / LCPC, 2007.*
- *Guide : Terrassements et assises de chaussées - Traitement des sols aux liants hydrauliques – Collection Technique CIMBETON, 2009.*





# BIBLIOGRAPHIE

[www.infociments.fr](http://www.infociments.fr)

<https://www.infociments.fr/calculateur-perceval>



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

