

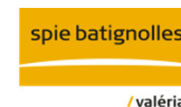
Journée technique du 16 mai 2019

23 Avenue Condorcet, Villeurbanne **INDURA**
Auvergne-Rhône-Alpes

Le compactage des sols fins

*Jean-Jacques Fry, EDF
Maurice Buffalo,
Spie batignolles /Valerian*

Journée organisée par :



CONCEPTION ET CONSTRUCTION des ouvrages en sols fins



Sommaire

1. Définition
2. Objectifs
3. Pathologies
4. Spécifications
5. Adaptation au site
6. Méthodes
7. Contrôle

Définition du compactage

- Définition

- Le compactage consiste à **augmenter les propriétés mécaniques et hydrauliques** des sols, en créant une **déformation irréversible** de leur assemblage, en vue de leur utilisation

1. Approche

- Quelle application?
- Quelle propriété?
- Quelle spécification?
- Quelle déformation?

2 – Objectifs

- Etanchéité
- Résistance au cisaillement
 - Stabilité
 - Traficabilité
- Résistance à l'érosion interne

2 - Objectifs

Ouvrage	ROUTE ET VOIES FERREES	BARRAGE
Objectif	Rigidité de la plateforme et limitation des tassements	Homogénéité de perméabilité
Impact d'un défaut	Réduction de vitesse du trafic	Rupture par érosion interne
Portance	PST/CDF : CBR(PF2-PF4)	CBR > 5
Tassement	LGV < 1cm/an et 10_cm sur 25 ans	Tassement < revanche (> 1m)
Perméabilité	Pas de critère	$K < 10^{-7}$ m/s
Énergie de compactage	Moyenne à Forte	Moyenne
Humidité du sol	Sèche à humide	Humide

3 – Pathologies

1. L'orniérage
2. Le surcompactage
3. Le feuilletage
4. Le matelassage

3 .1– Orniérage

- Manque de capacité portante

- Condition à vérifier



$$C_u \text{ (kPa)} > M_{1/L} \text{ (kg/cm)}$$

3.2 – Surcompactage

- Définition(s)

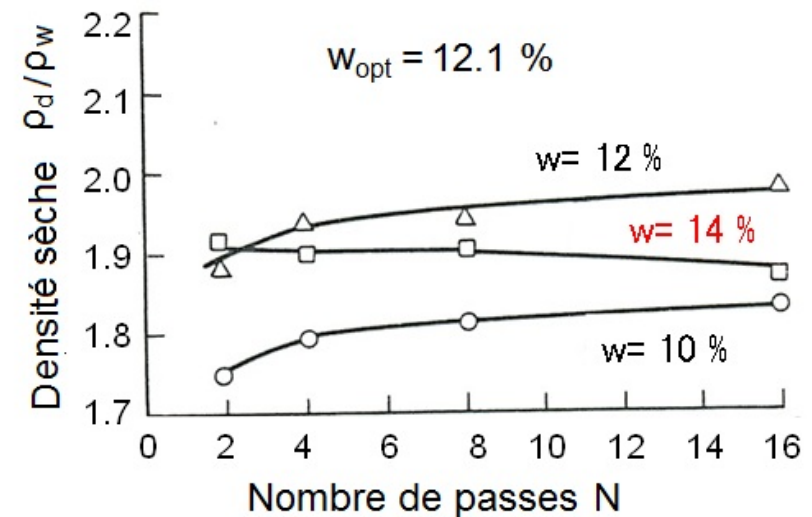
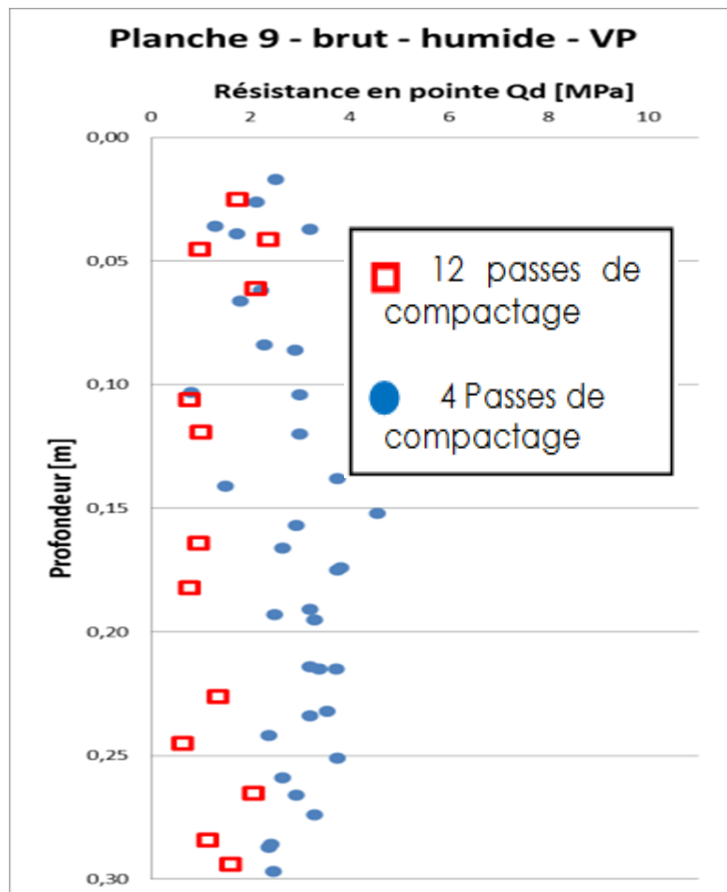
1. Perte de résistance au-delà d'une certaine énergie de compactage
2. **Perte de densité superficielle** au-delà d'une certaine énergie et d'une certaine teneur en eau
3. **Energie de compactage supérieure à l'optimum économique.**

3.2 – Surcompactage

■ Exemple(s)

1. Perte de résistance

2. Perte de densité



3. Perte d'énergie

3.3 – Feuilletage

■ Définition

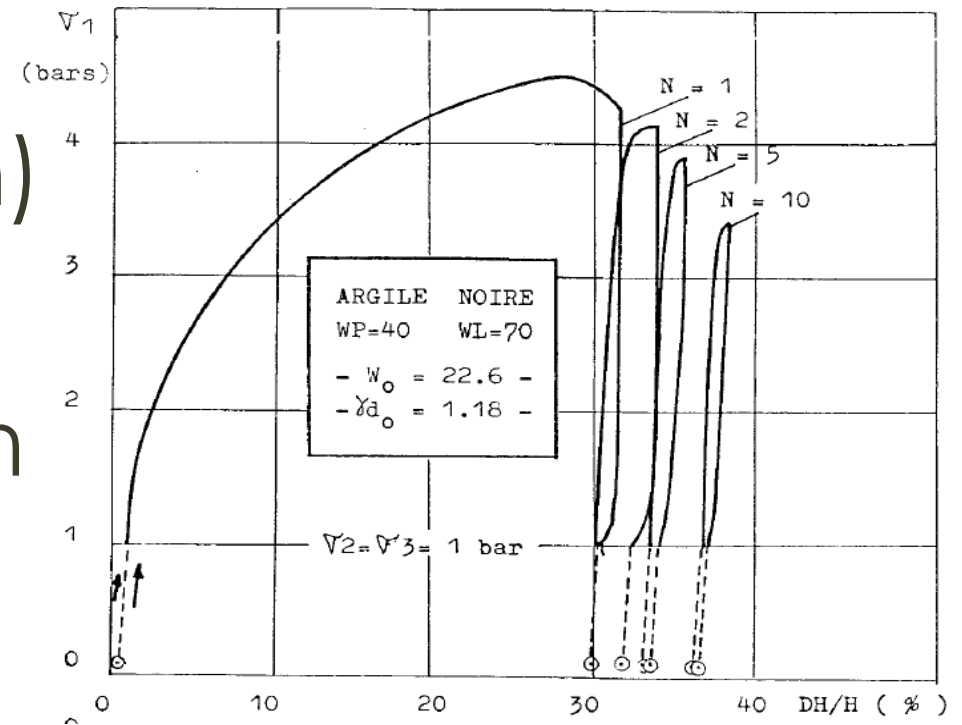
Cas particulier du surcompactage où la perte de résistance est causée par les très grands cisaillements générés par la bille du compacteur



3.3 – Feuilletage

■ Conséquences

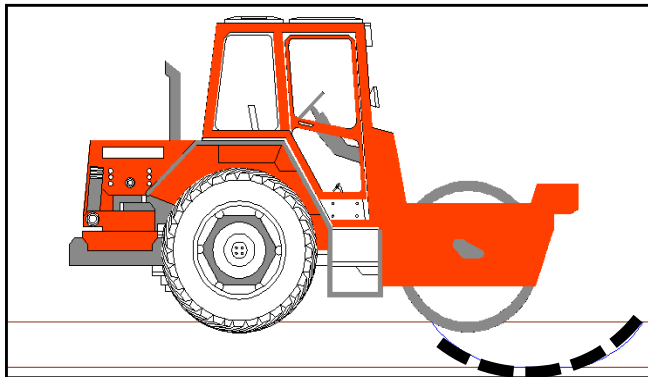
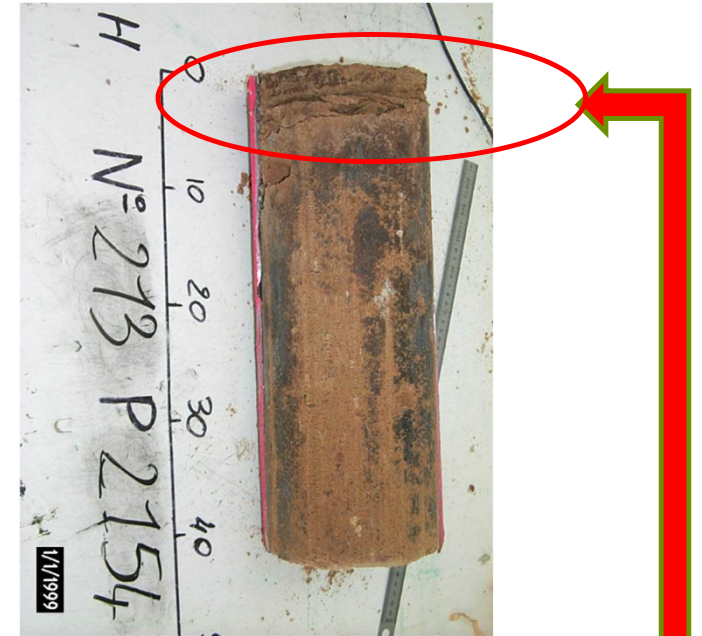
- C' : $C(\text{pic}) \rightarrow 0$
- ϕ' : $\phi'(\text{pic}) \rightarrow \phi'(\text{min})$
- θ_a air: max $\rightarrow$ min
- Succion: max $\rightarrow$ min
- C_u : max $\rightarrow$ min



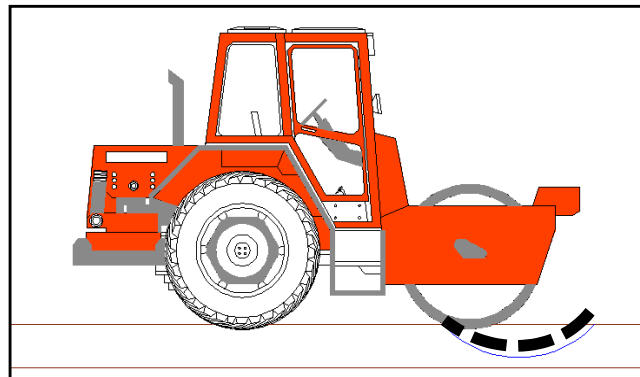
3.3 – Feuilletage

■ Profondeur

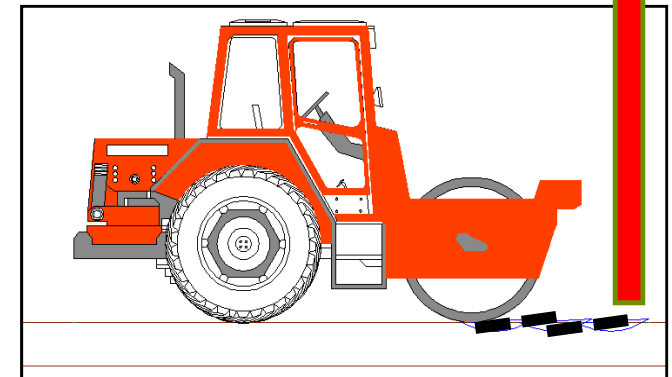
augmente avec $w(\%)$ et
diminue avec
la raideur de la couche



Sol mou
large surface d'appui



Rigidité intermédiaire



Sol raide
Faible surface d'appui

3.3 – Feuilletage

■ Compacteurs critiques

- Vibrant bille lisse
- Rouleau à pneus



3.4 – Matelassage

■ Définition

- Phénomène de rebond élastique après le passage des engins

■ Conditions

- le degré de saturation de l'optimum inférieur à 80%
- la perméabilité à l'air est nulle
- la perméabilité à l'eau est très faible

4 - Spécifications

Tous les ouvrages

1 - portance

2 - stabilité

3 - absence de
feuilletage

4 - tassement et
gonflement

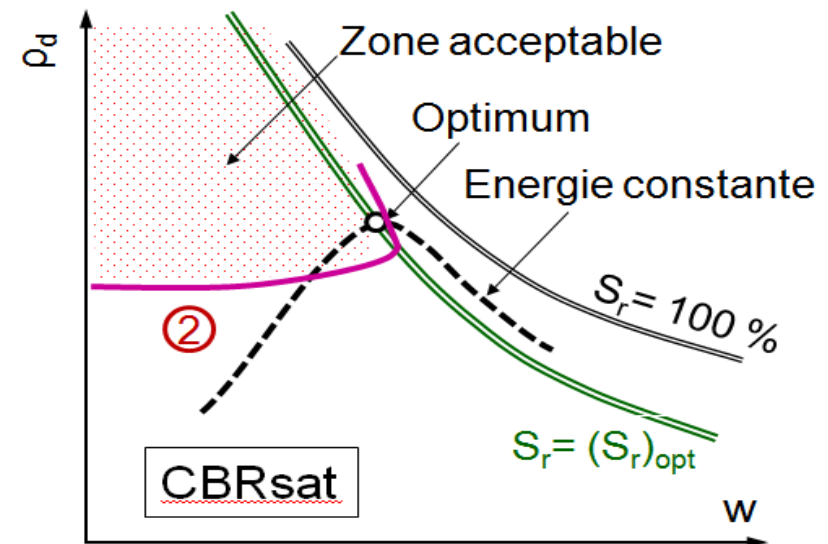
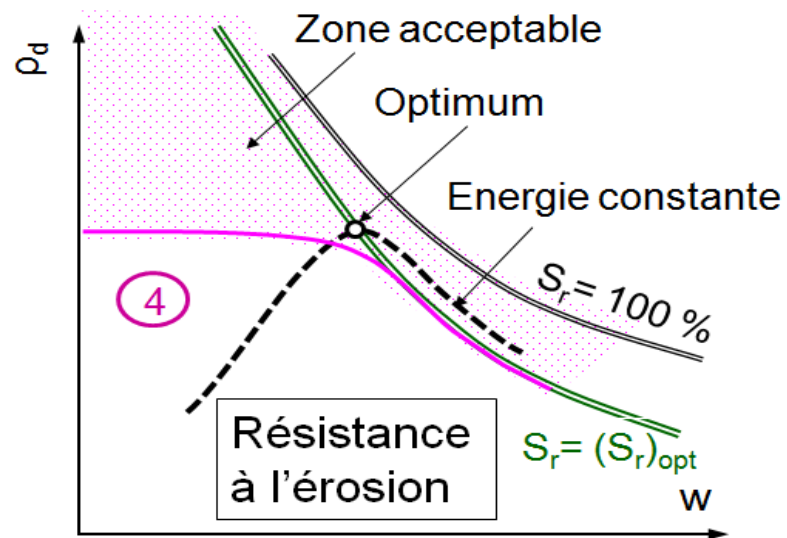
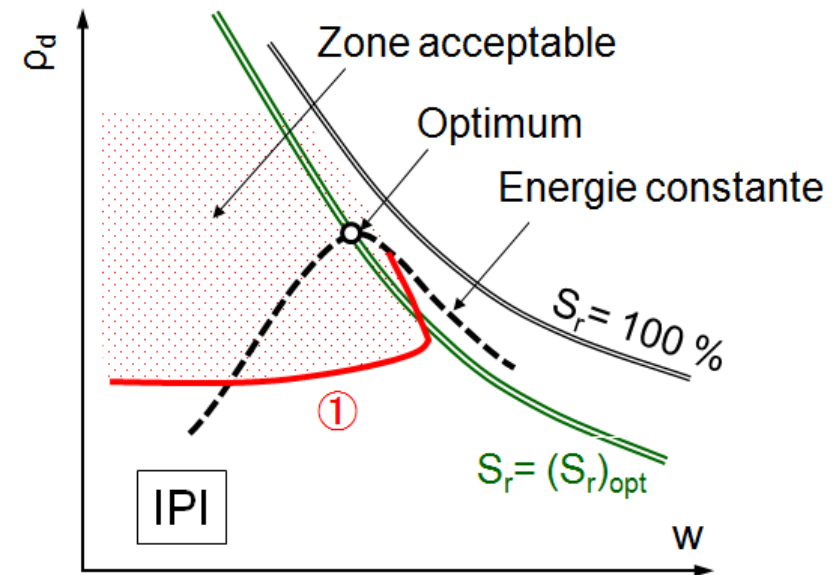
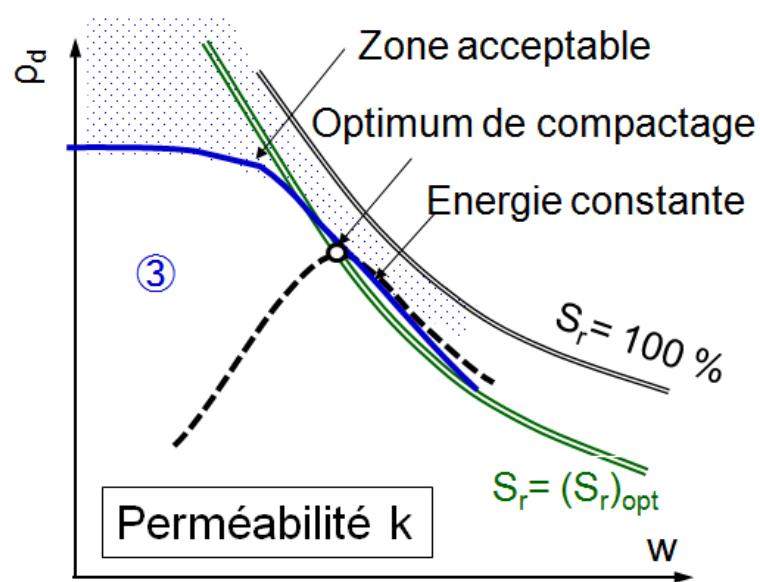
ouvrages hydrauliques

1 - homogénéité

2 - perméabilité

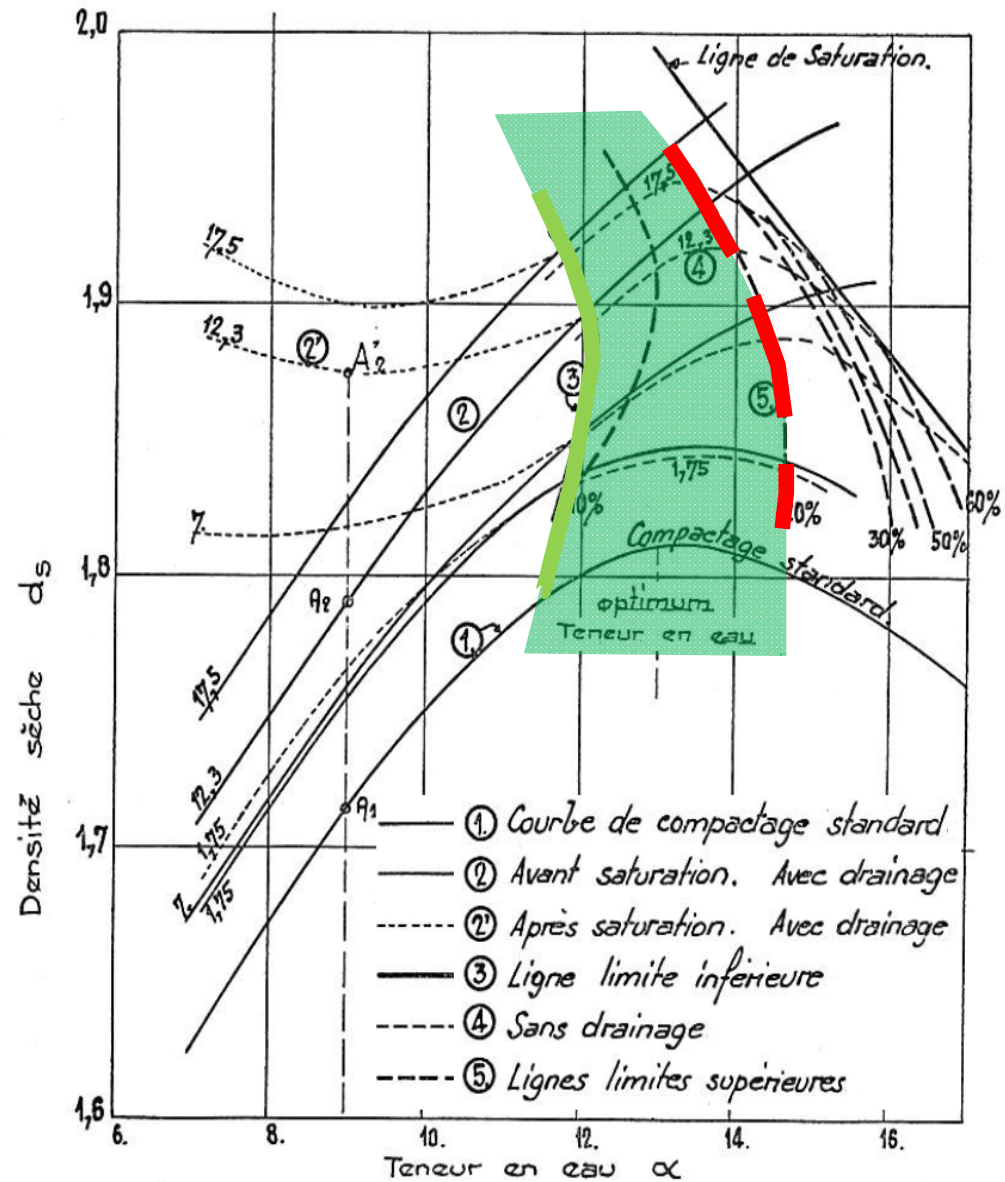
3 - résistance à
l'érosion

4 – Spécifications de digue

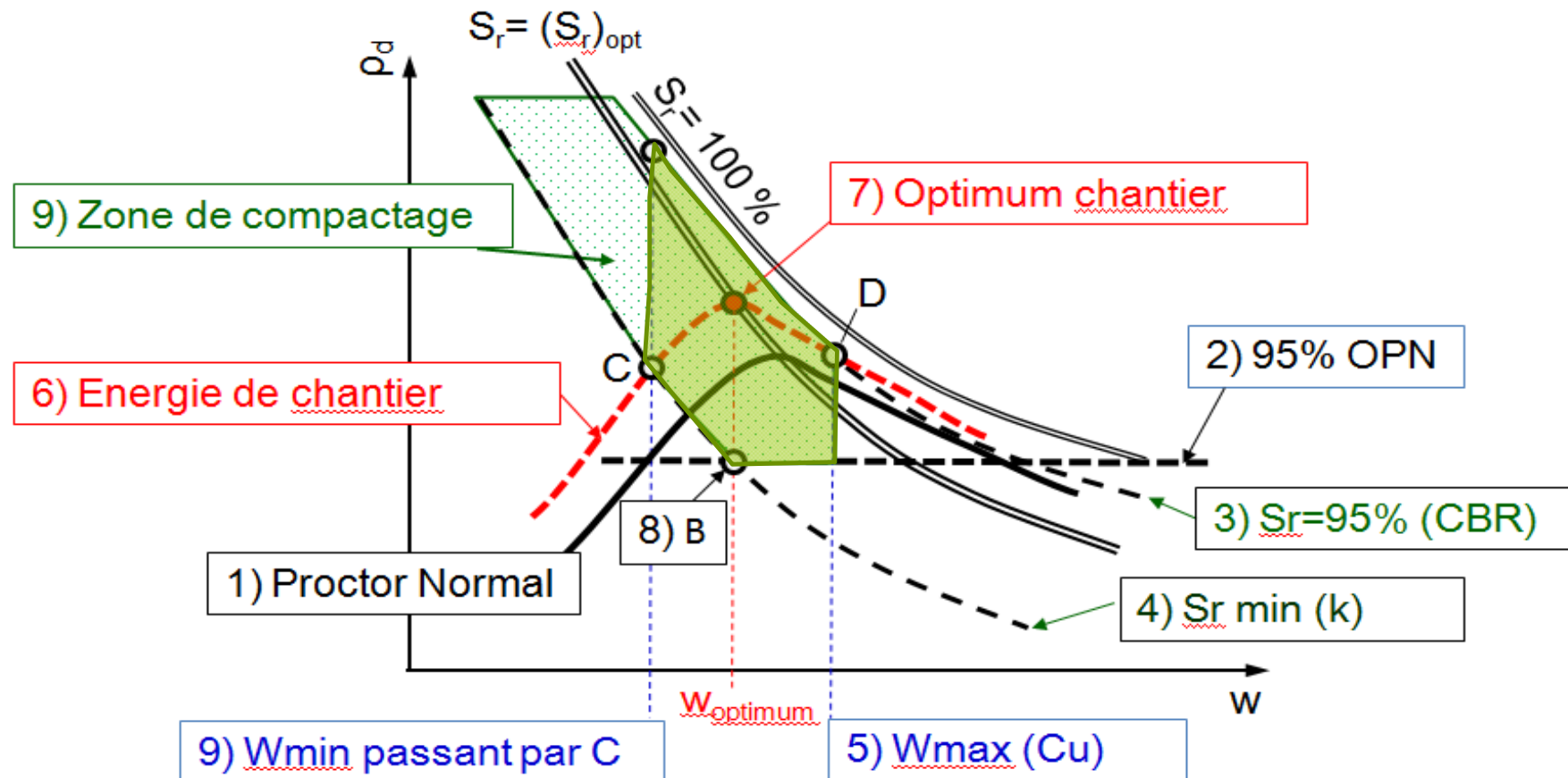


4- Spécifications de digue

- Limitation du tassement et du gonflement



4 – Spécifications de digues



5 - Adaptation au site

- Les sols difficiles:

- Les Craies : microstructure
- Les marnes : évolutives
- Les schistes : stratification/schistosité
- Les sols gonflants : déconsolidation
- Les sols sujets à effondrement: tassement
- Les limons très humides: très lent séchage

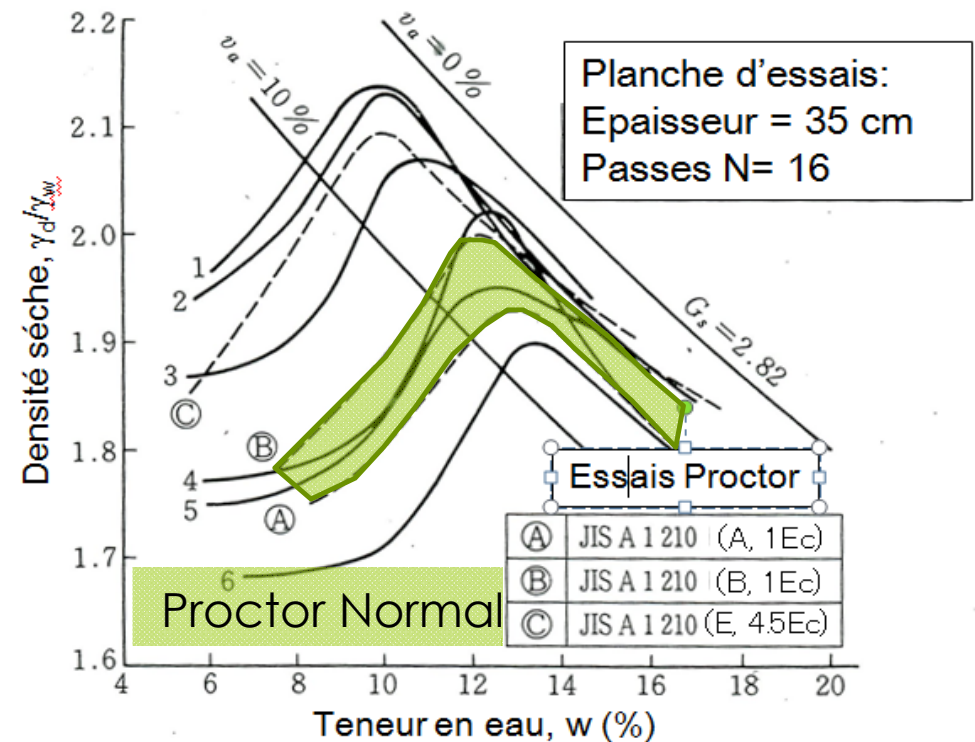
5 - Adaptation au site

● Recherche de l'optimum de chantier

Pour les barrages : définition de la courbe sur planche d'essais.

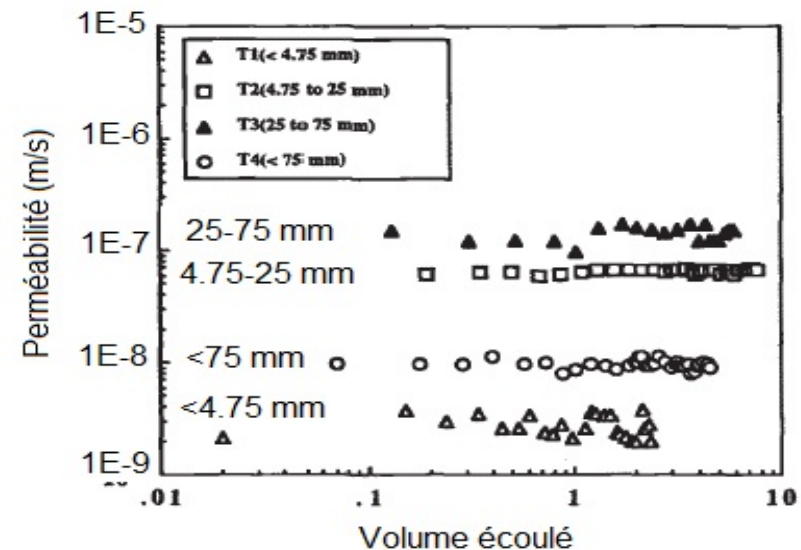
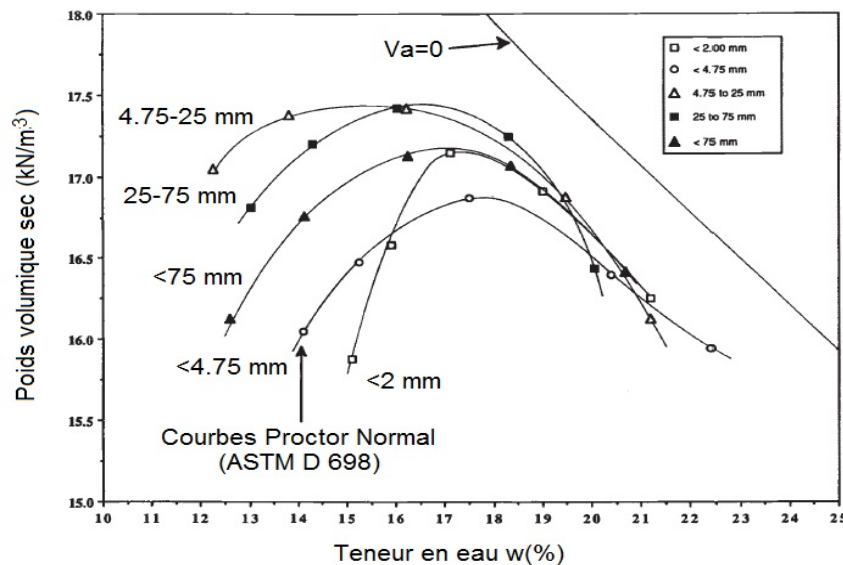
Pour le compacteur : cibler sa teneur en eau optimale

N°	Compacteur	Masse (tonnes)	Masse sur roue
1	Vibrant lisse	9.8	-
2		6.5	-
3		4.0	-
4	Rouleau à pneus	35.6	5.1
5		17.3	2.5
6		20.0	1.8



5 - Adaptation au site

- Objectif de mouture des sols surconsolidés
 - Objectif digue: étanchéité
 - Objectif remblai: éviter fissuration longitudinale
- Exigence pulvimixeur ou centrale: 0/5 mm



5 - Adaptation au site

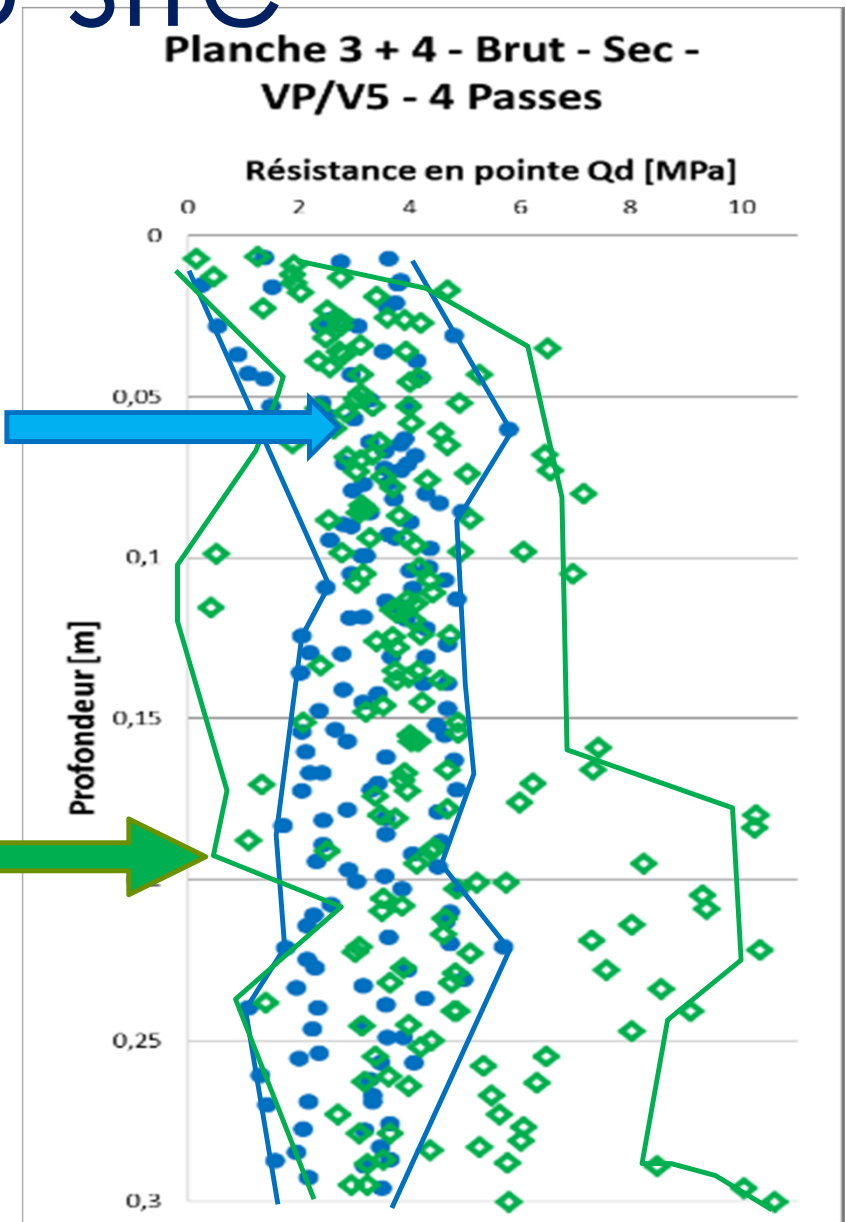
o Maîtrise de la mouture

Planche d'essais A304 :

- Marnes A2
- IP=24,
- Wopn=21,
- Ds opn=1,83)

Le compacteur **VP5**
fournit un compactage
plus homogène que le
Compacteur **V5**

4 Passes VP5
4 Passes V5



6 - méthodes de compactage

LA DIRECTION DU COMPACTAGE

Problématique: REX A29



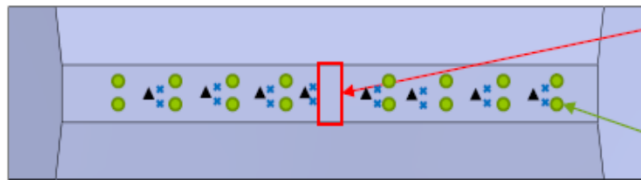
6 - méthodes de compactage

LA DIRECTION DU COMPACTAGE



- Planche A10 : pour 1

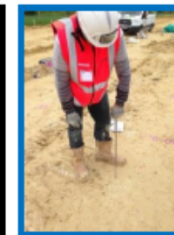
Les essais réalisés sur place



Gamma



Panda



Cohésimètre

6 - méthodes de compactage

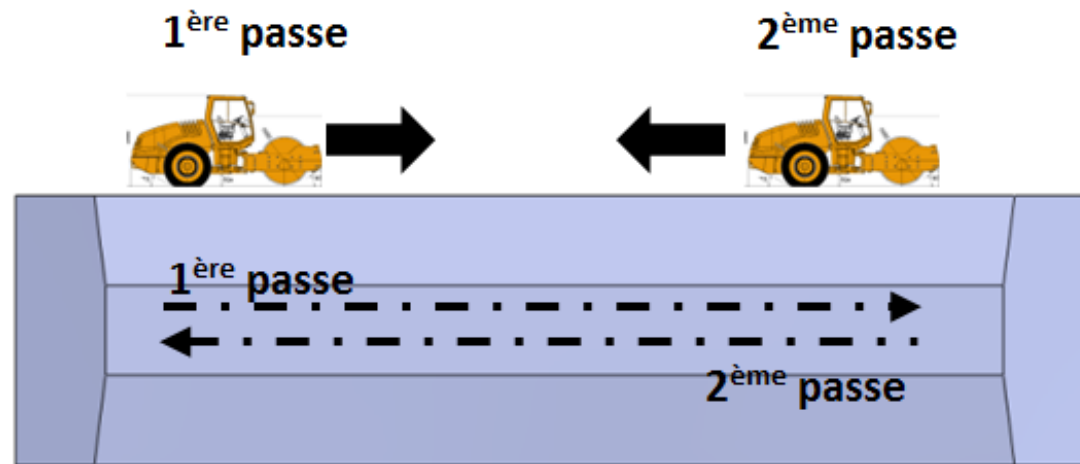


Planche Allers-retours

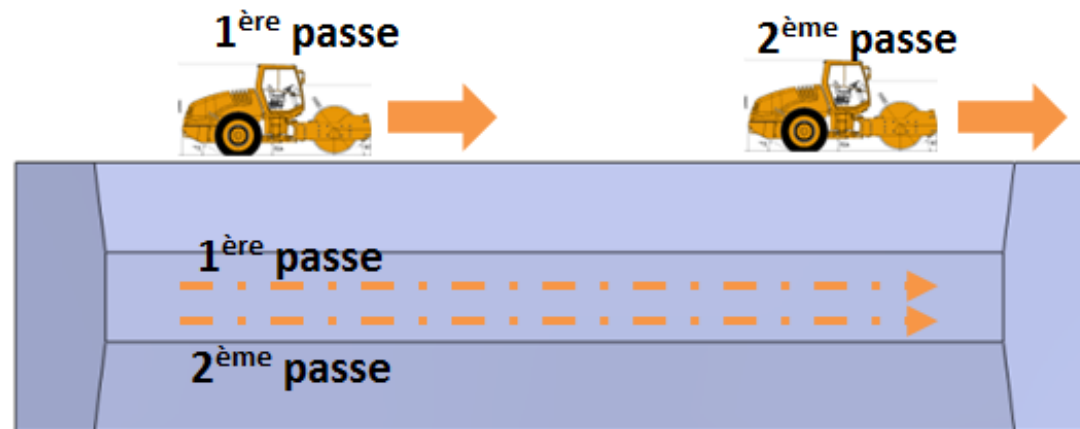


Planche Allers-simples

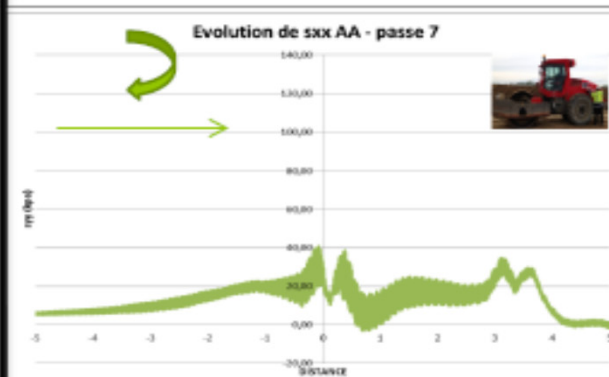
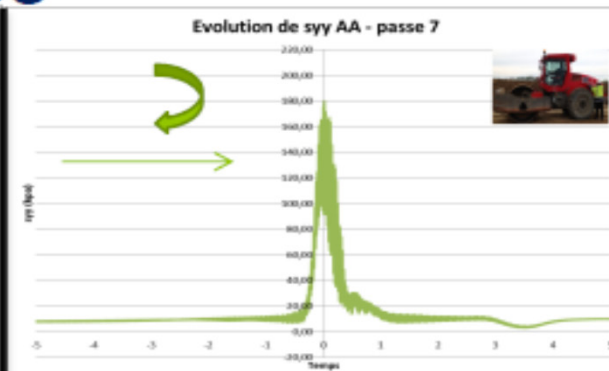
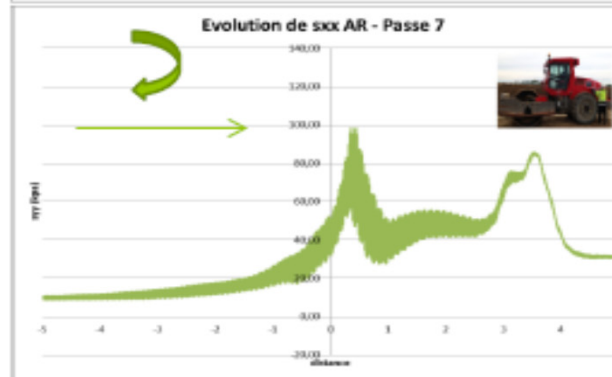
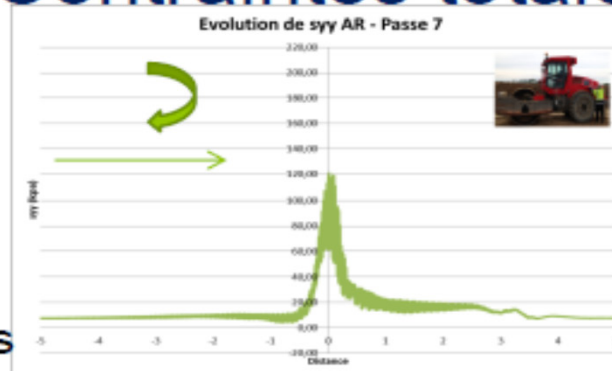
6 - méthodes de compactage



Mesure de la contrainte au passage d'un compacteur

Détails Contraintes totales

Allers retours

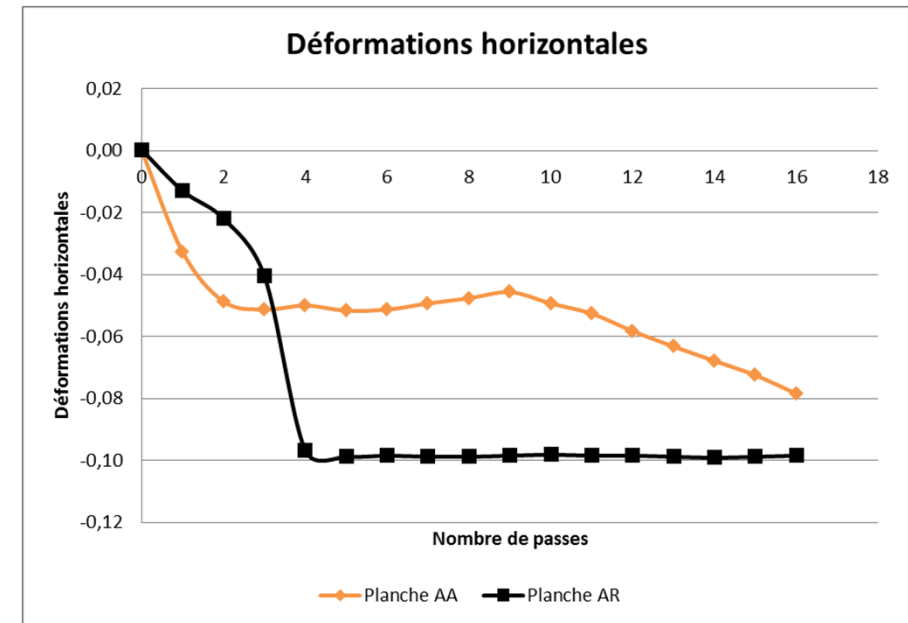
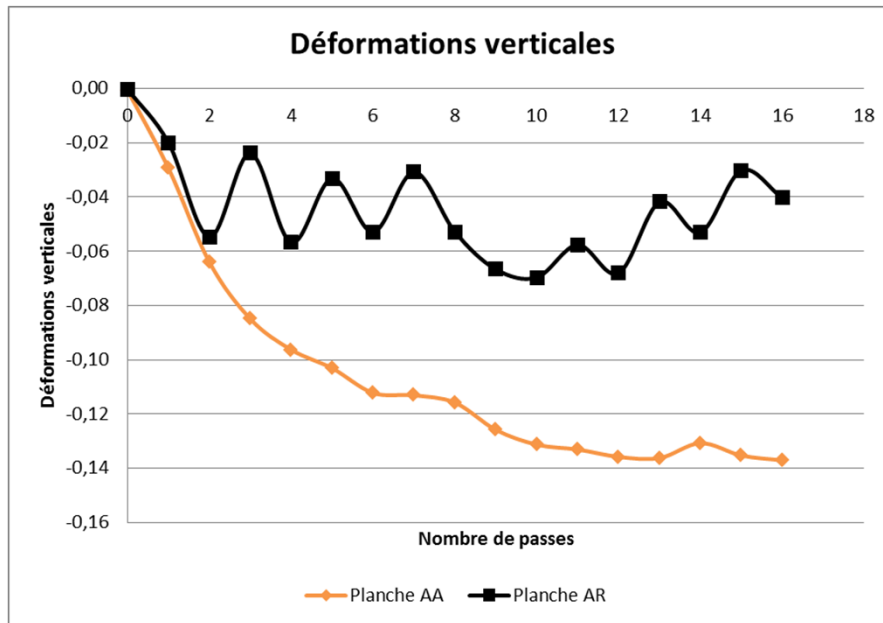


Allers simples

6 - méthodes de compactage

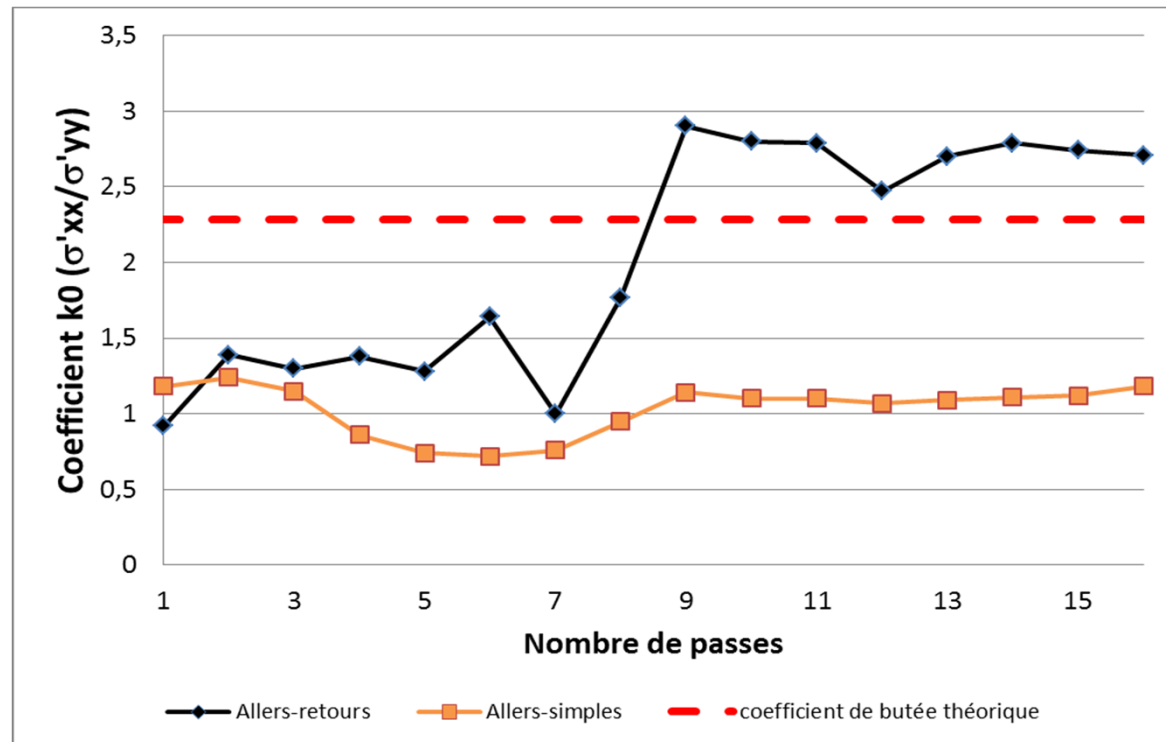


Evolution de la déformation au compactage



6 - méthodes de compactage

coefficient K_0 : Passes allers-simples et allers-retours.



Rapport de
Contraintes
effectives
(mes. succion)

Le coefficient de butée rapidement atteint sur les planches allers-retours.

6 - méthodes de compactage

Synthèse :

- ❑ Le compactage à sens unique est plus performant que par allers et retours (Vibrations verticales)
- ❑ Non prévu dans les référentiels
- ❑ A réserver pour des cas sensibles :
 - Sols fins A1 et A2 ($IP < 20$), craies schistes, ...
 - CDF / PST traitées (pb Fond de Couches)
- ❑ L'effet de la direction de la frappe du mouvement vibratoire de la bille (oscillante, verticale ou inclinée) réglable dans les compacteurs modernes pourrait apporter des solutions nouvelles.
- ❑ La révision GTR en cours proposera des prescriptions..

7 - Contrôle

- La plage d'incertitude sur $(w-w_{OPN})$ est + ou - égale la plage de spécifications:

Type de sol	Nombre de triplets	Optimum Proctor (γ_d/γ_w)			Teneur en eau optimale (%)		
		Moyenne	Ecart-type	Ecart entre 2 points possible	Moyenne	Ecart-type	Ecart entre 2 points possible
CH	26	1,559	0.026	0.072	22.6	0.9	2.4
CL	26	1.749	0.018	0.048	16.4	0.7	1.8
ML	25	1.701	0.016	0.046	16.7	1.0	2.9

Reproductibilité des optima Proctor Normal de référence d'après l'ASTM D698-07

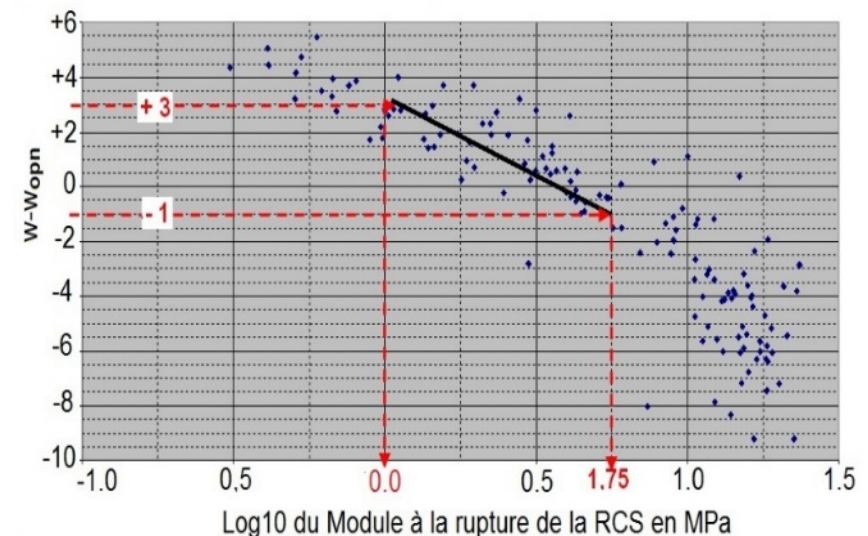
7 - Contrôle

- Approche recommandée:

1. Planche d'essai avant démarrage travaux
2. Contrôle rapide avec méthode de Hilf
3. Contrôle confirmé par Proctor 24h après
4. Contrôle de la résistance non drainée:

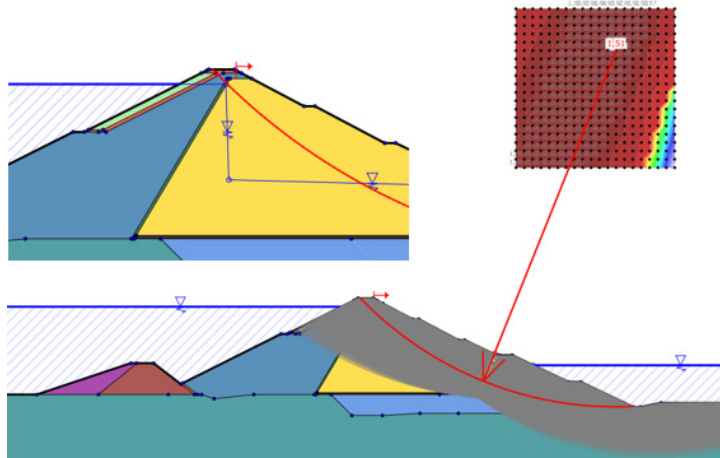
- Panda
- RC (ex. ci-contre)
- Scissomètre poche

Contrôle indirect de $(w-w_{opn})$
avec $\log_{10}[RC/\varepsilon_1(rupt)]$

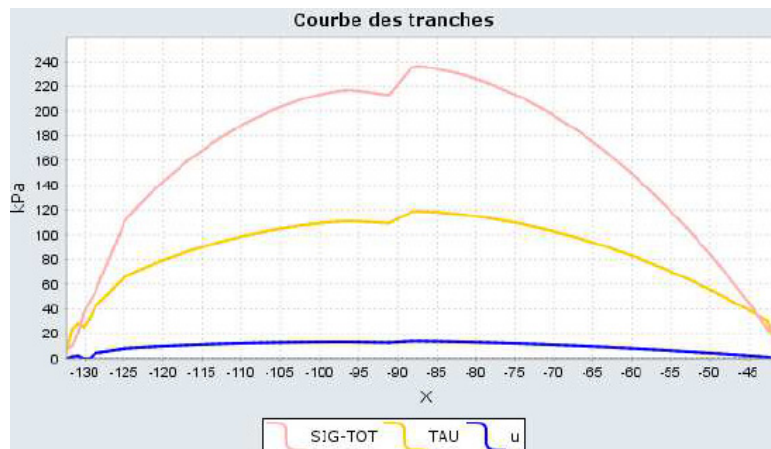


7 - Contrôle

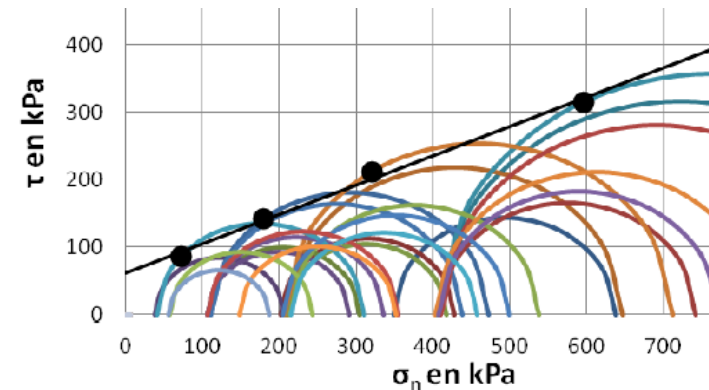
Cercle le plus critique



Contrainte normale max: 240 kPa



Résistance à $s_n=240$ kPa: $\tau_{rupt}=166$ kPa



Seuils de résistance de pointe:

$$F_{\min}(Fs) > \gamma_{cu}$$

$$F_{\text{moy}}(Fs) > \gamma_m \cdot \gamma_{cu}$$

$$F = C_u / \tau_{rupt}$$

$$C_u = Q_d / \alpha$$

$$Q_{dmin} > \gamma_{cu} \cdot \alpha \cdot \tau_{rupt}$$

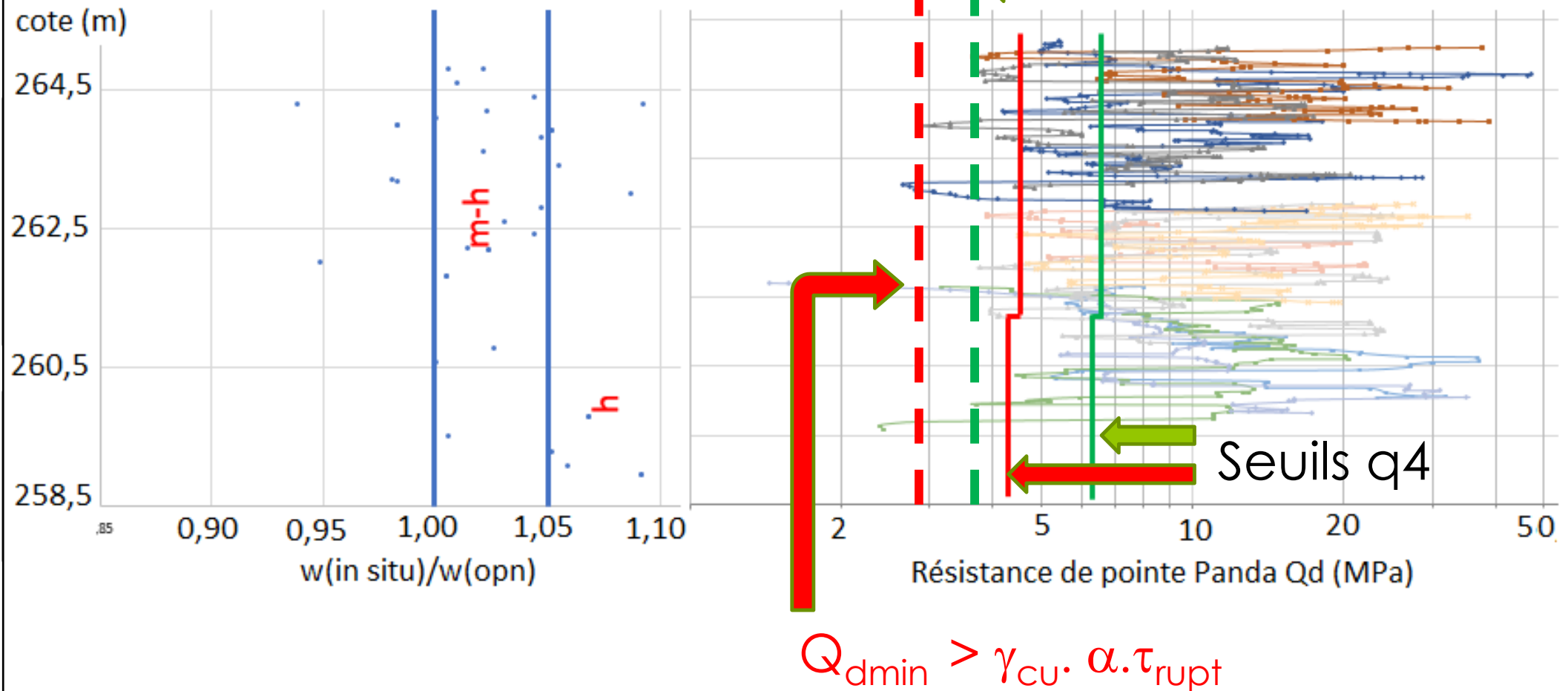
$$Q_{dmoy} > \gamma_m \cdot \gamma_{cu} \cdot \alpha \cdot \tau_{rupt}$$

7 - Contrôle

○ Panda (Sinop)

○ Exemple :

$$Q_{dmoy} > \gamma_m \cdot \gamma_{cu} \cdot \alpha \cdot \tau_{rupt}$$



Merci

de votre attention....