

Journée technique CFBR – CFMS – SPTF FNTF du 16 mai 2019

23 Avenue Condorcet, Villeurbanne



Retours d'expériences et propositions pour les infrastructures linéaires

*Luc Boutonnier, EGIS
Maurice Bufalo, SPIE BATIGNOLLES*

Journée organisée par :



CONCEPTION ET CONSTRUCTION des ouvrages en sols fins



Sommaire

- Limites des guides actuels
- Hauts remblais avec ou sans consolidation
- Conception / environnement hydrique
- Cas des déblais

Objectifs pour les infrastructures linéaires

- structure d'assise : trafic + eaux pluviales ;
- Stabilité des ouvrages + maîtrise des déformations à long terme ;
- Coûts et impact environnemental : utiliser les ressources disponibles.

Pour les corps de remblai: un corpus riche

- Guides existants

GTR – 2 fascicules (SETRA/LCPC 1992)

Conception et réalisation des terrassements – 3 fascicules (SETRA – 2007)

GTS (SETRA/LCPC 2000)

Météorologie et terrassements, recommandation (LCPC/SETRA, 1986)

IN3278 : Référentiel Technique pour la réalisation des LGV (RFF/SNCF, 2006)

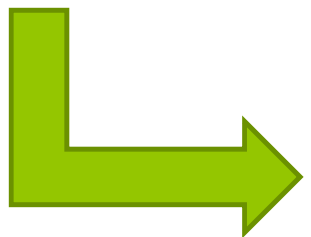
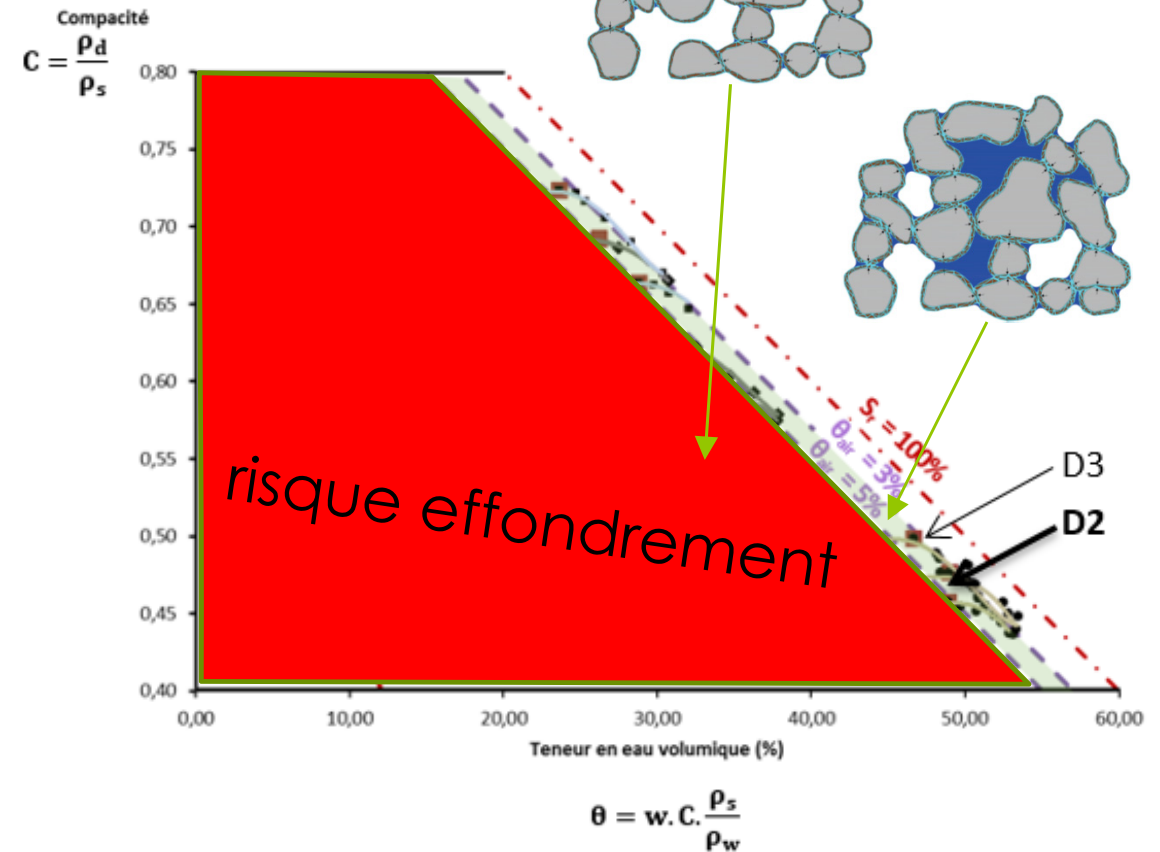
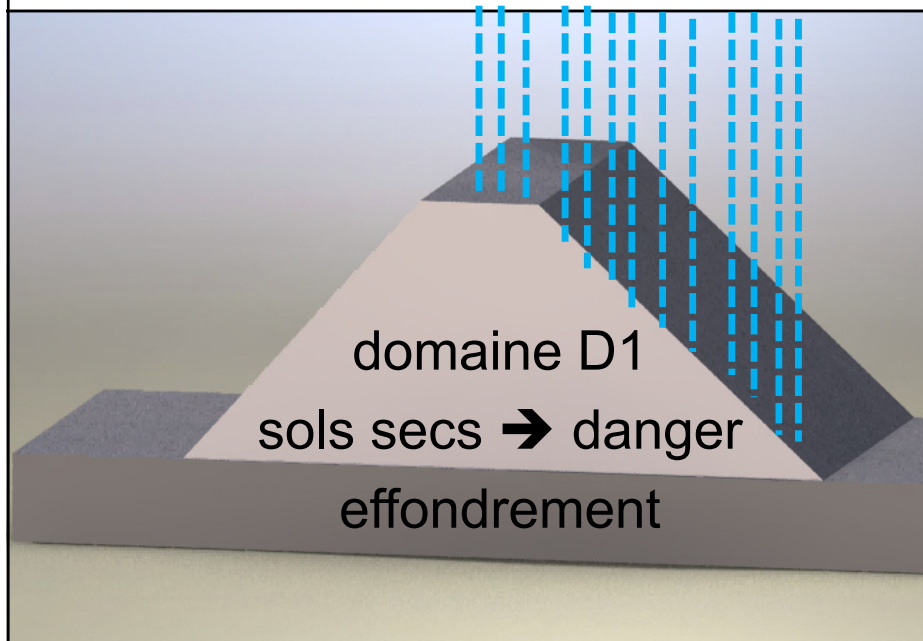
IN 0045 Grands terrassements (SNCF, 1996)

IN 0042 organisation de la qualité des terrassements généraux (SNCF, 1996)

NF EN 1997-1 – juin 2005 - Eurocode 7 : calcul géotechnique – partie 1 : règles générales (AFNOR, 2005)

- **Projet de norme européenne** : CEN/TC396 PrEN 16907-1 à 5: bonne synthèse des pratiques en Europe, des points de convergence sur les prescriptions de compactage, **souligne le besoin d'analyse des déformations différées dans les sols sensibles à l'eau**

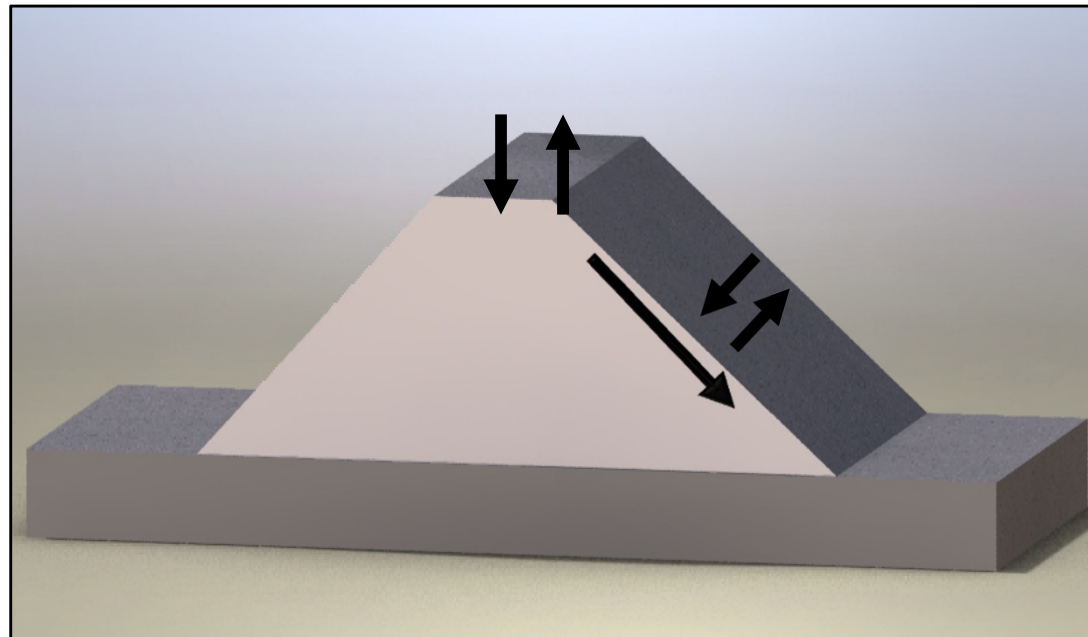
Des questions traitées



Limiter la teneur en air → domaine D2
mesures OPN et OPM + ρ_s !

Des questions non traitées

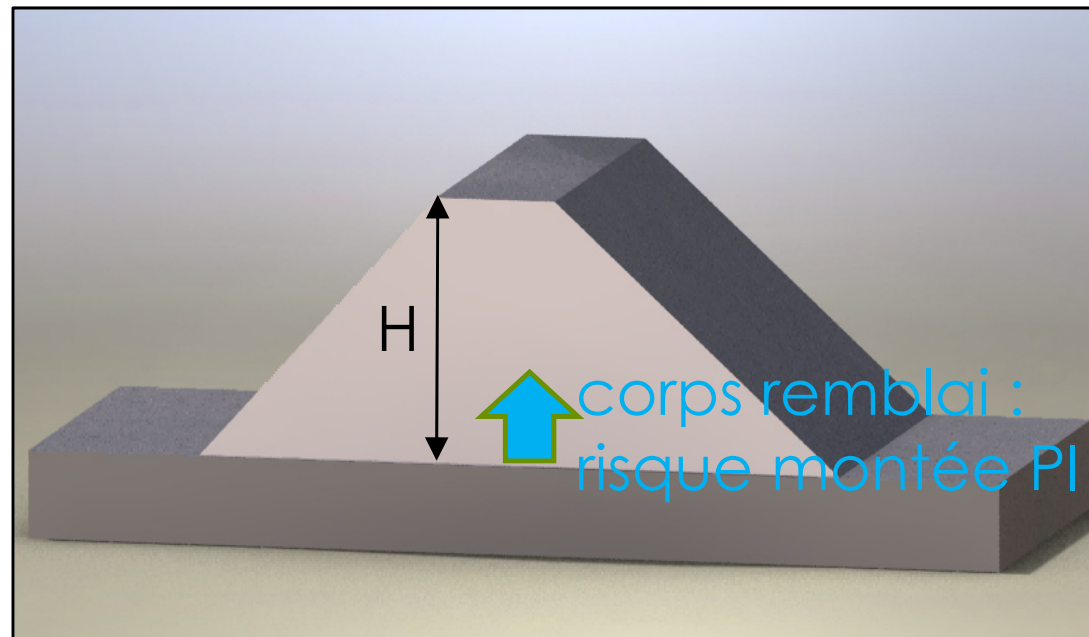
Quelles spécifications pour améliorer le risque de retrait-gonflement?



réponse Terredurable: conception plus robuste

Des optimisations possibles?

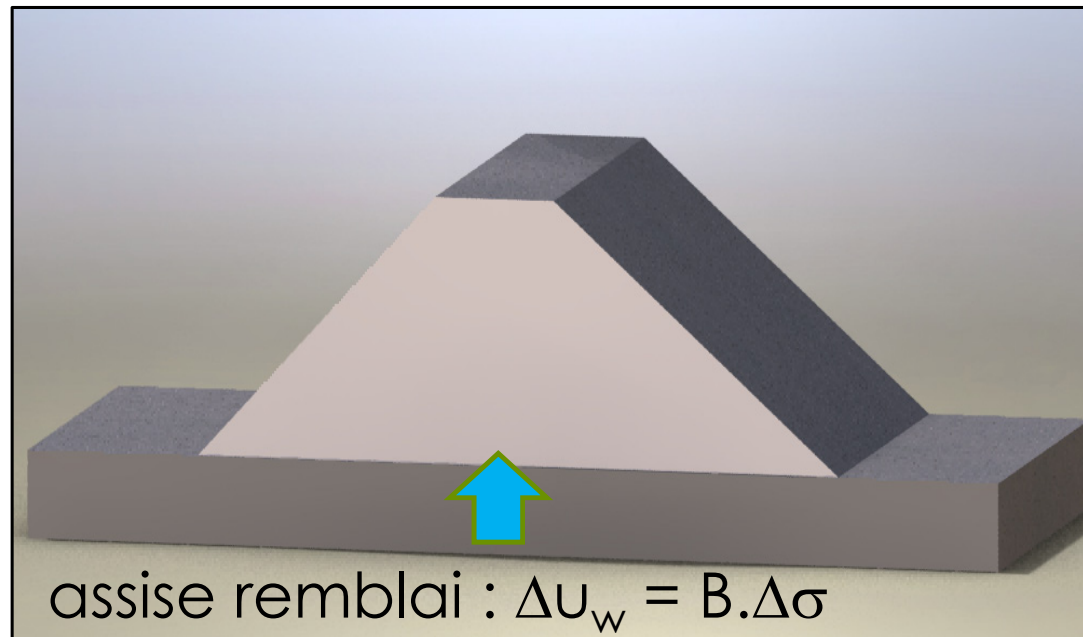
Des hauts remblais ($H > 10$ à 15m) en sols fins non traités?



réponse Terredurable: amélioration du taux de réemploi et/ou réduction du traitement aux liants

Des optimisations possibles?

Assises de remblai



➡ **réponse Terredurable: $B=1 \rightarrow B<1$**
moins de drains, voir méthodes de calcul

Des optimisations possibles?

Déblais



gonflement différé?

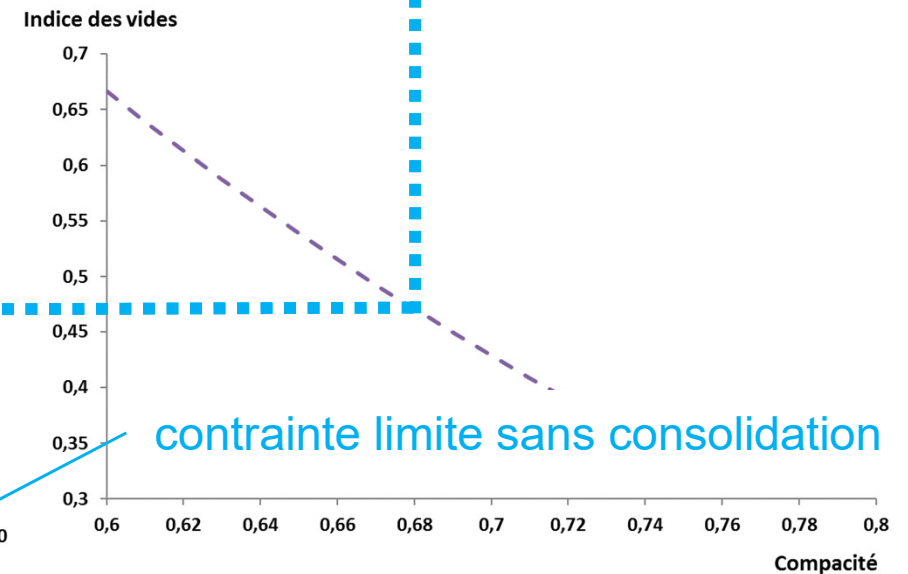
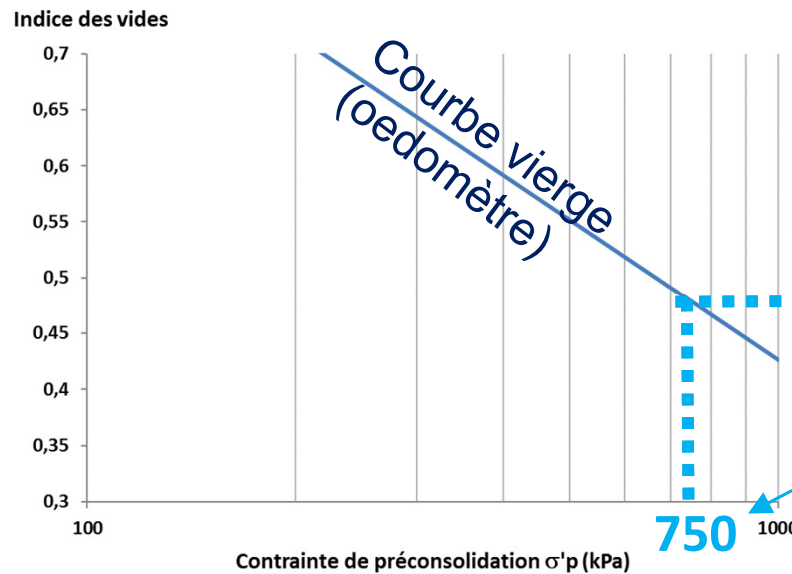
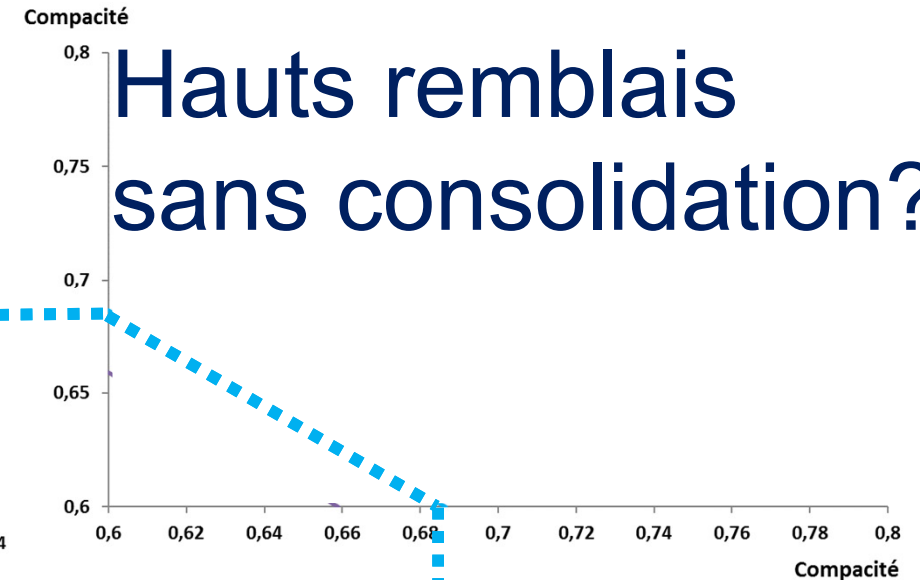
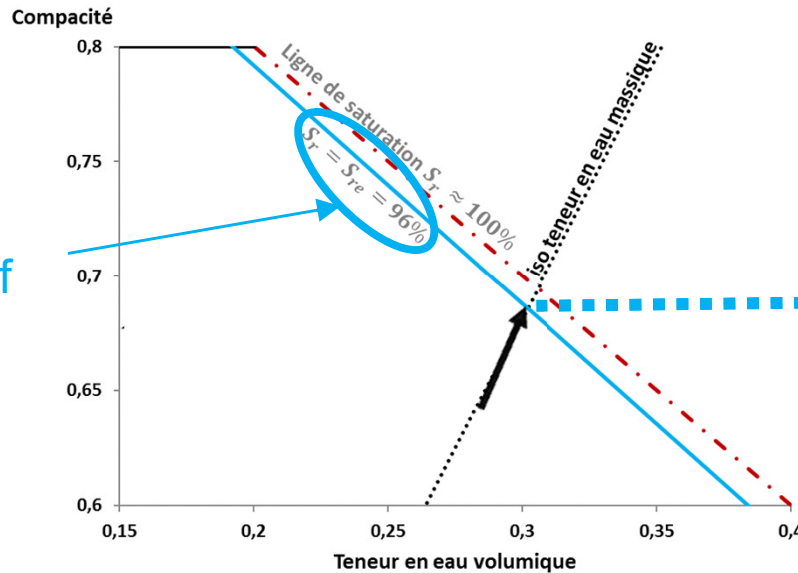


réponse Terredurable: phénomènes en jeu
+ méthodes de calculs

CONCEPTION ET CONSTRUCTION des ouvrages en sols fins

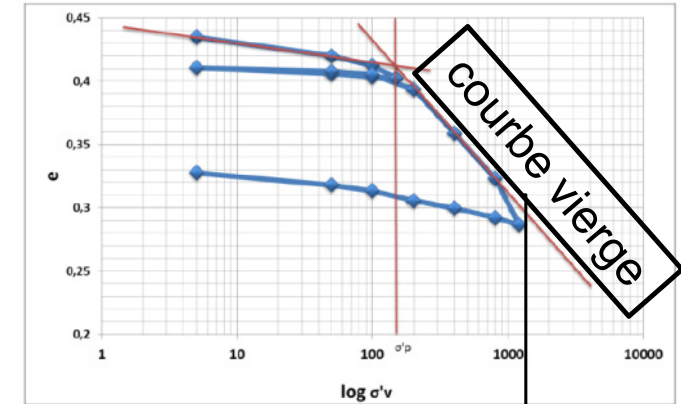
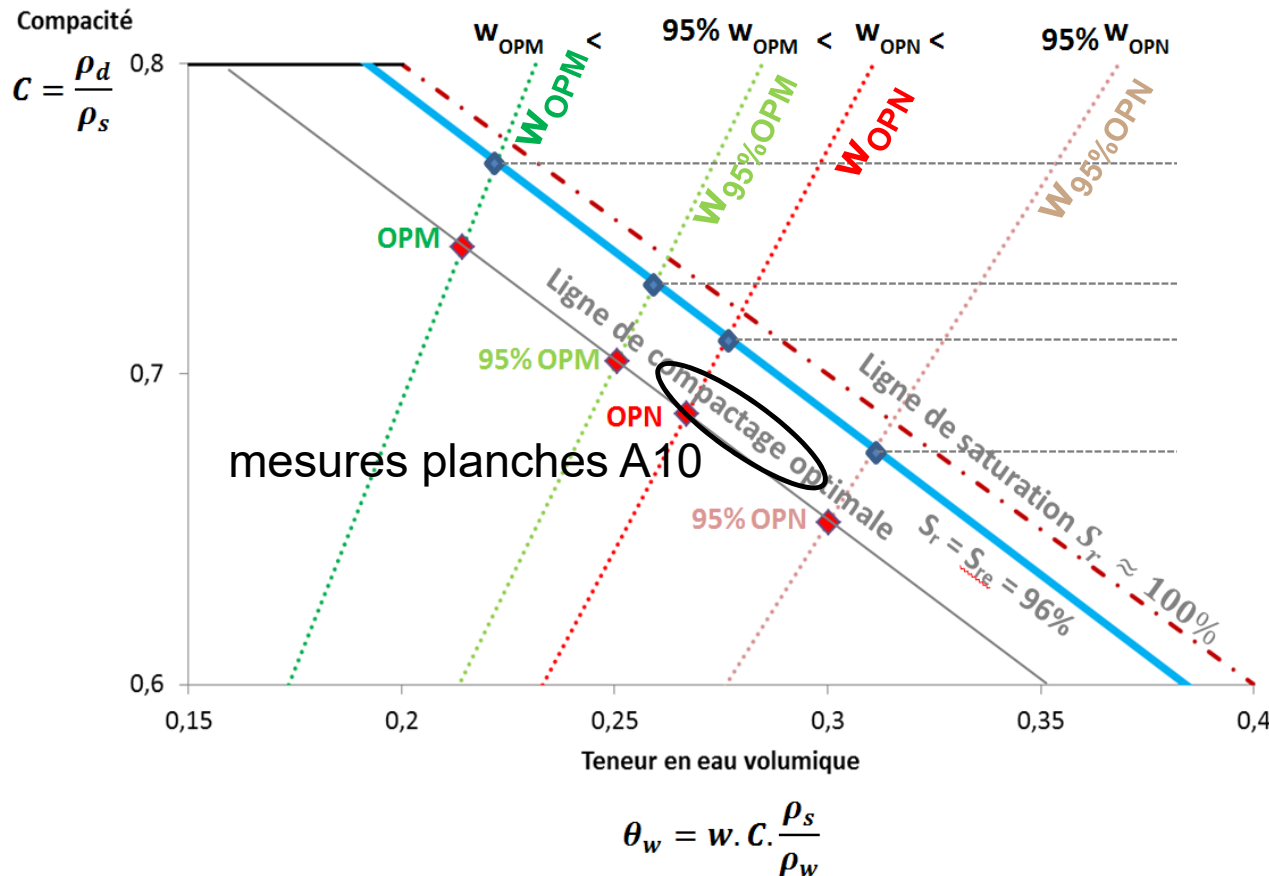
Hauts remblais sans consolidation?

S_r où u_w
devient positif
 $= S_{re} \approx 96\%$



Nota : C_s négligé pour simplifier la présentation

Limons planche A10: $w_L = 37\%$, $I_P = 19$, $w_{OPN} = 15,3\%$, $C_c = 0,13$



avec $C_s = 0$ (pessimiste)

Converge avec
nombreux REX

Synthèse hauts remblais sans consolidation

Mise en œuvre sur la ligne optimale $\theta_A \approx 5\%$

$H > 10$ à
15m

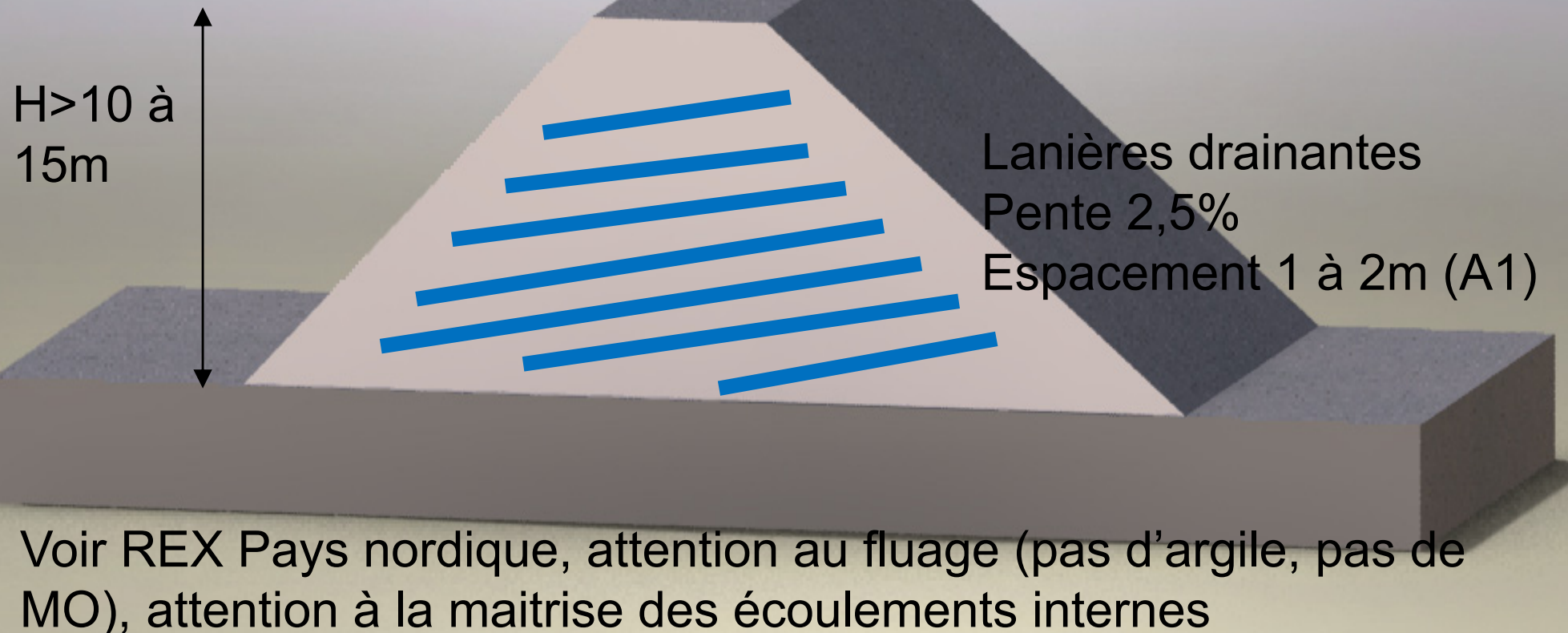
$H_{\text{admissible}}(w)$

$C_{\text{ligne opti}} = f(w)$

Entrants: planche compactage + prélèvement intact (structure) +
oedomètres + OPN/OPM/ ρ_s

Hauts remblais avec consolidation

Mise en œuvre sur la ligne optimale $\theta_A \approx 5\%$



Environnement des remblais en sols fins: talus

- sollicitation météorologiques : infiltration des eaux de ruissellement, évaporation, rayonnement thermique, gel;
- effet de la végétation (évapotranspiration).

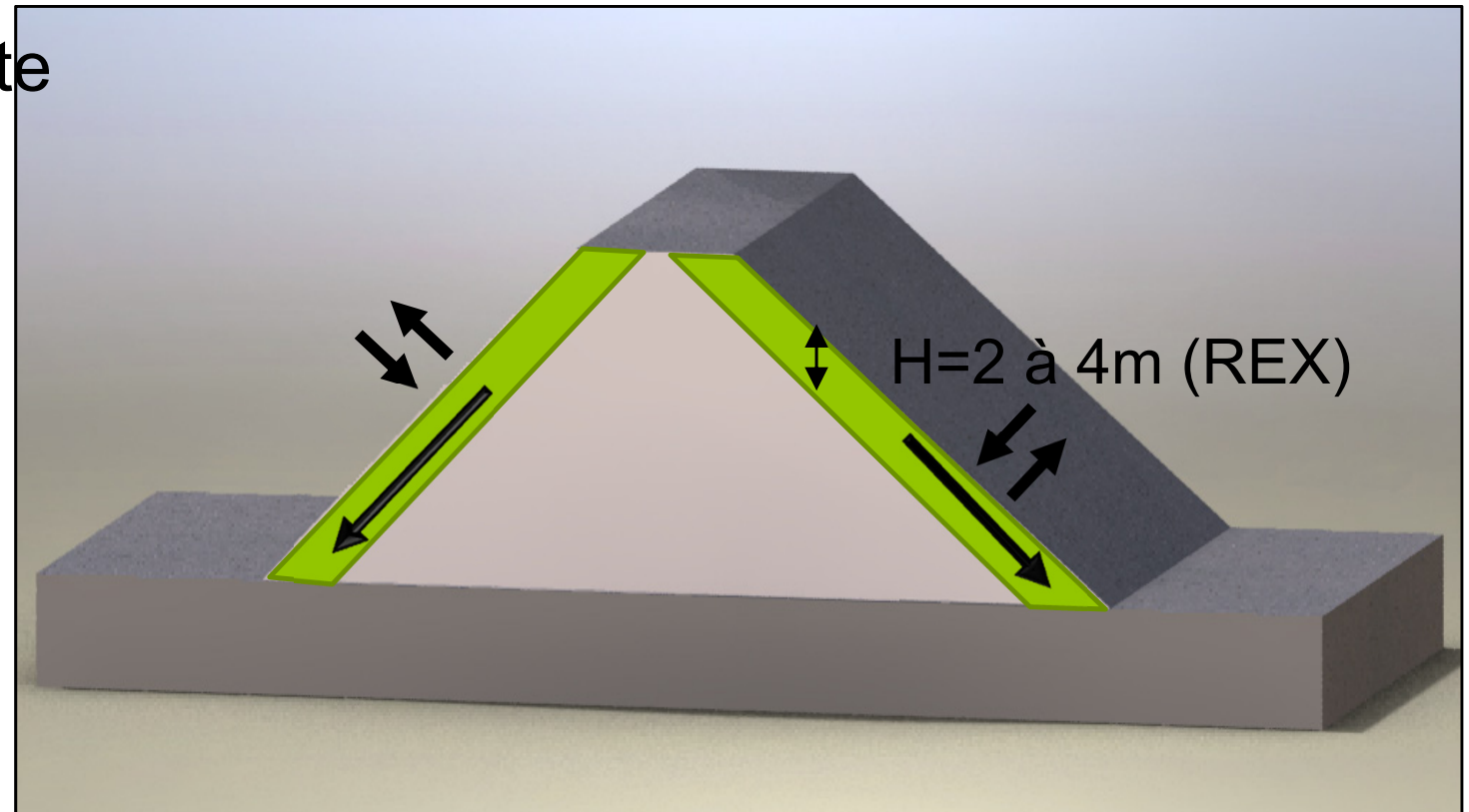
gonflement et perte
de résistance /
module

+

Retrait, fissures

=

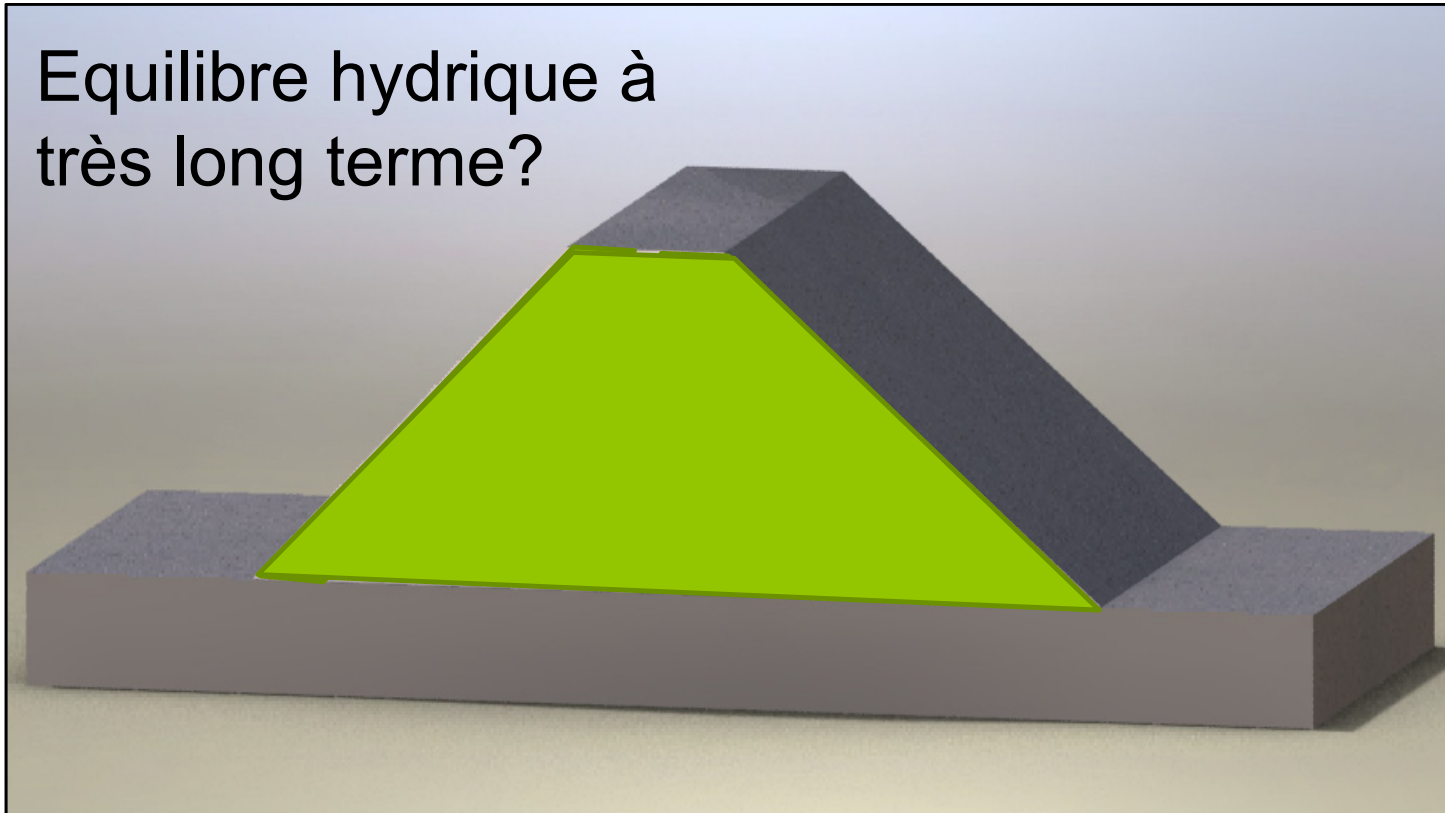
infiltrations,
glissement



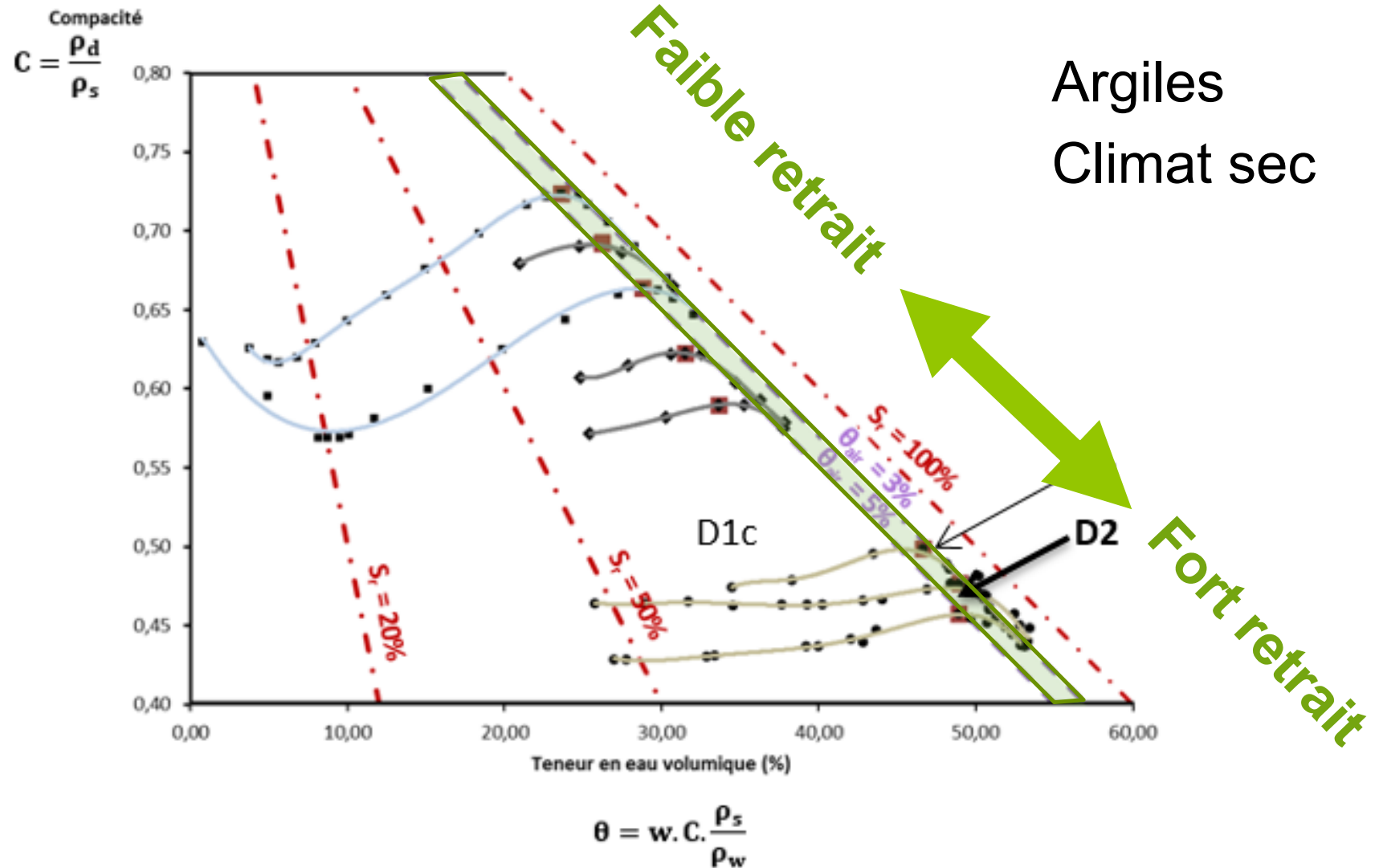
Environnement des remblais en sols fins: corps de remblais

- Défaut de compactage;
- Défaut d'entretien: assainissement, points bas, drainage, végétation

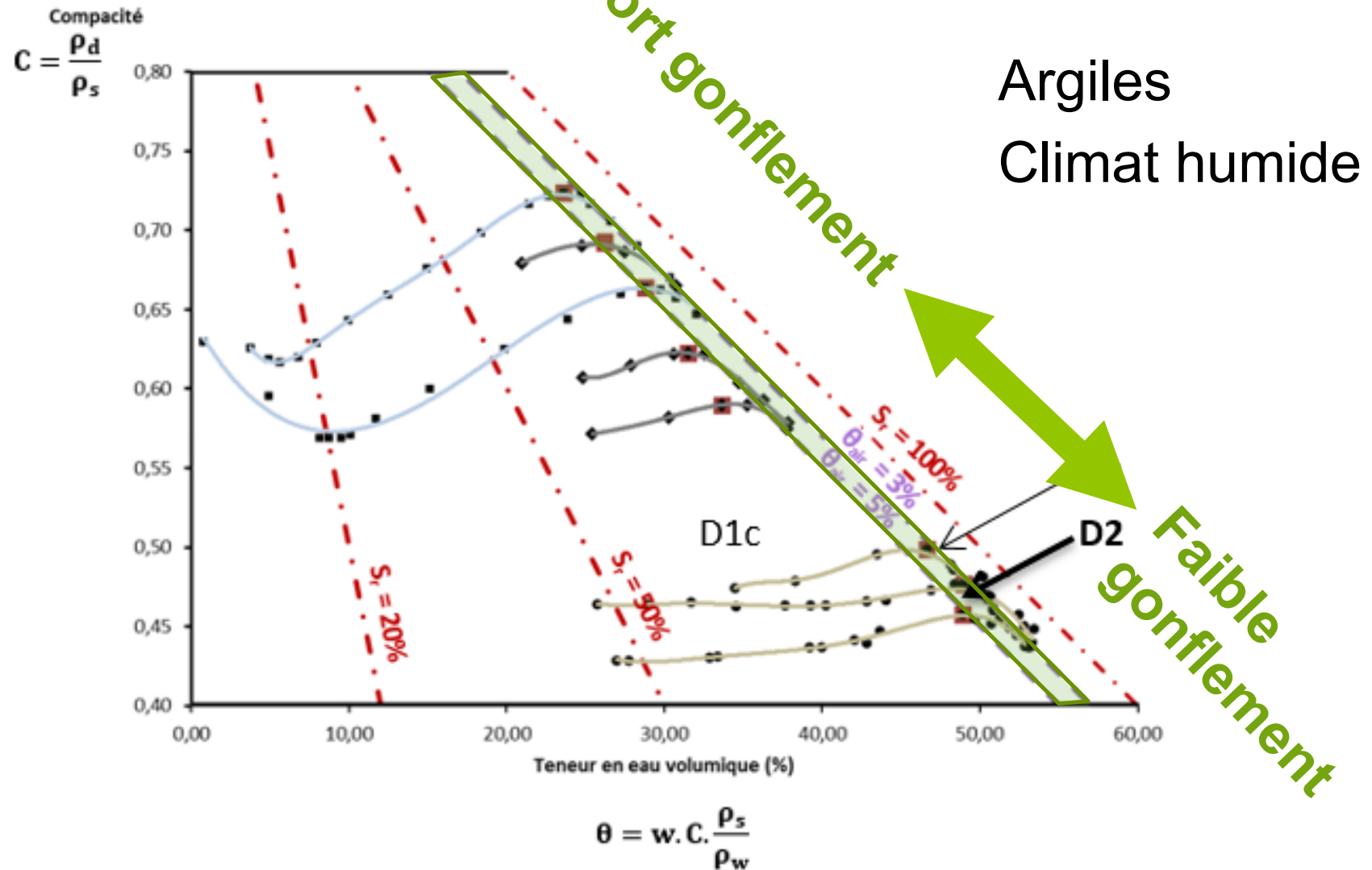
Equilibre hydrique à
très long terme?



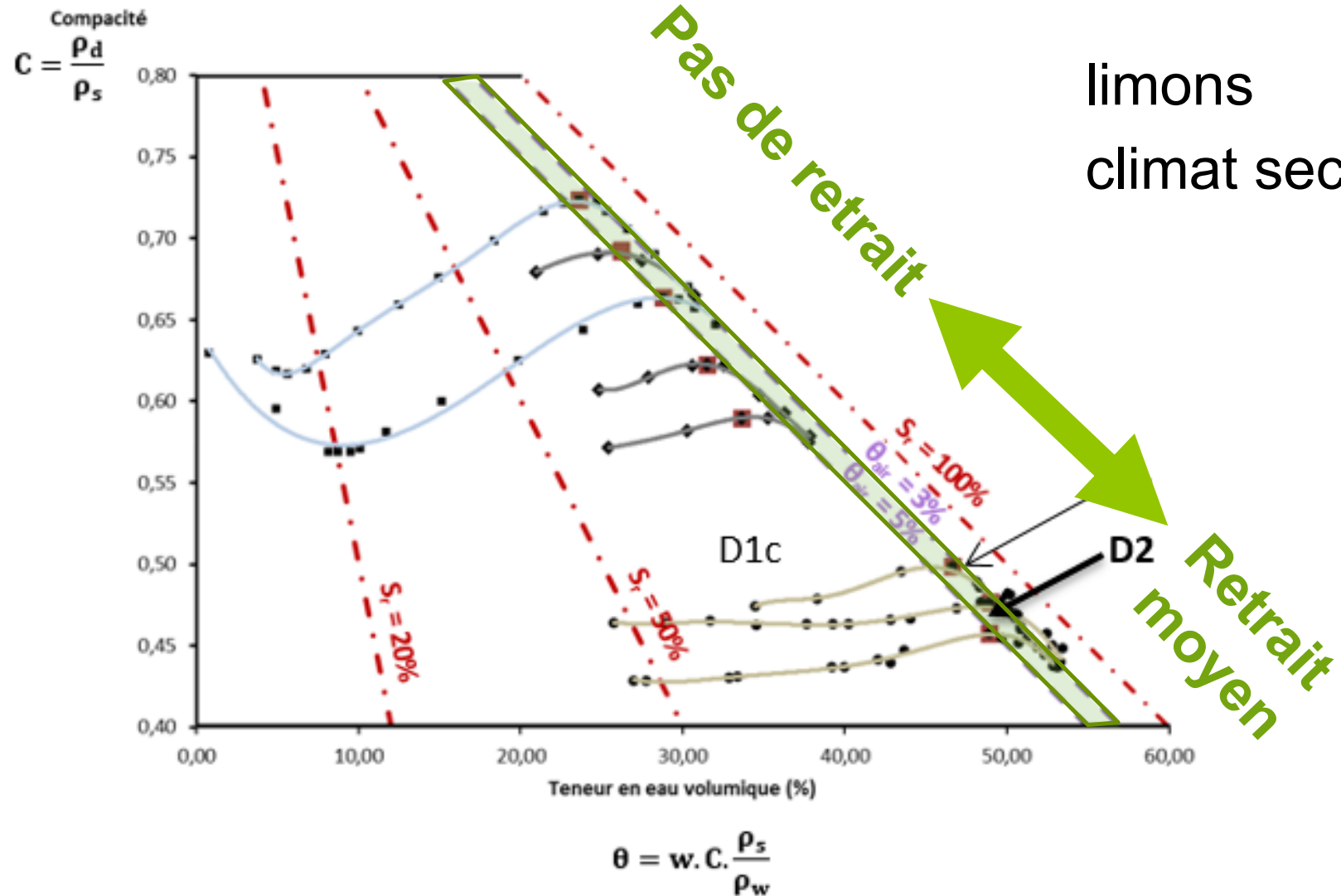
Conséquences des variations d'état hydrique sur talus



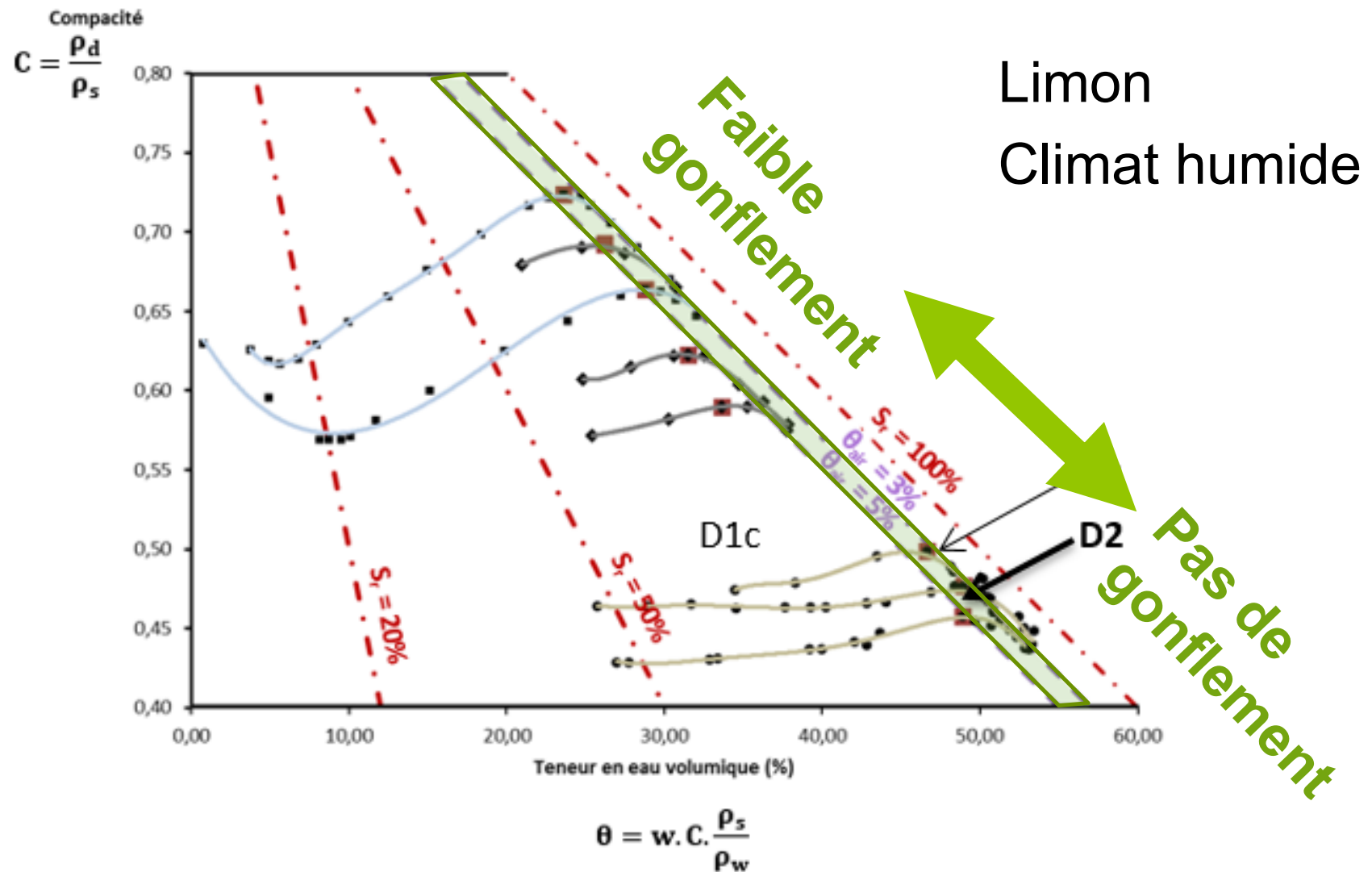
Conséquences des variations d'état hydrique sur talus



Conséquences des variations d'état hydrique sur talus



Conséquences des variations d'état hydrique sur talus



Recommandations pour les talus de remblais non protégés: limiter les déformations

	compacité	climat sec	climat humide	hivers humide / été sec
Limon $\theta_{\text{air}} \leq 5\%$ (D2)	$C > C_{\text{OPN}}$	++	++	++
	$C < C_{\text{OPN}}$	= (retrait possible)	++	= (retrait possible)
argiles $\theta_{\text{air}} \leq 5\%$ (D2)	$C > C_{\text{OPN}}$	+	= (gonflement)	= (retrait / gonflement)
	$C < C_{\text{OPN}}$	--- (fort retrait et fissures)	+	-- (fort retrait et fissures)

Essai de retrait!

Recommandations pour les talus de remblai non protégés: stabilité

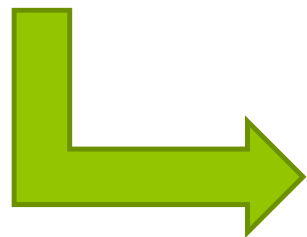
- La terre végétale n'est pas une protection suffisante. Si son épaisseur est trop importante, elle peut être un réservoir d'eau.
- Etudes stabilité talus en sols fins non traités:



caractéristiques à l'état critique (sol remanié) sur 2 à 4m d'épaisseur sur talus

Les talus de remblais ^{BL2} sont-ils protégeables?

- Double objectif: **éviter l'évaporation et l'infiltration**
- La terre végétale n'est pas une protection suffisante.
- Le masque de **protection granulaire est efficace** en milieu tempéré: REX déblai + Vaughan et al. (1978) pour les remblais
- **Talus traités**: bonne tenue mais risque de fissuration (retrait des liants, contraste de rigidité par rapport au reste du remblai) puis d'infiltration?



Recherches et REX à poursuivre...

Diapositive 22

BL2

tableau

BOUTONNIER Luc; 13/05/2019

Talus déblais (domaine D2 en général)

- Talus déblais non protégés

Risque retrait / gonflement et perte compacité / résistance

Épaisseur = 1 ou 2m (REX)

- Recommandations

Non protégé: calcul état critique sur
ép. = 1 ou 2m + cas accidentel avec u_w

Protégé: masque granulaire
ép. = 0,5 à 0,7m

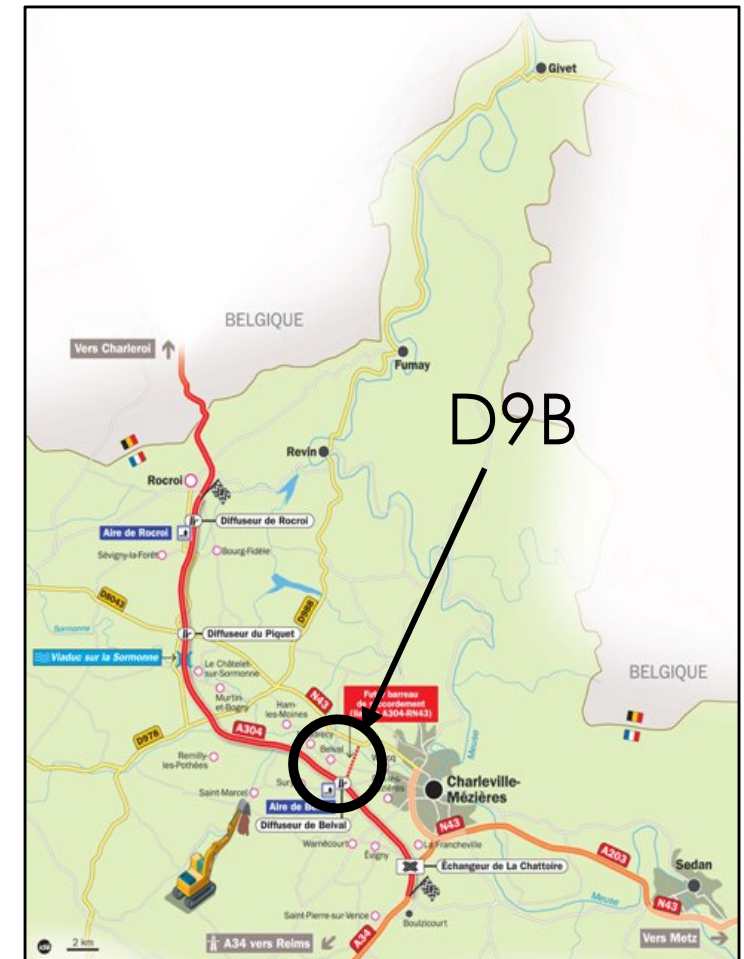
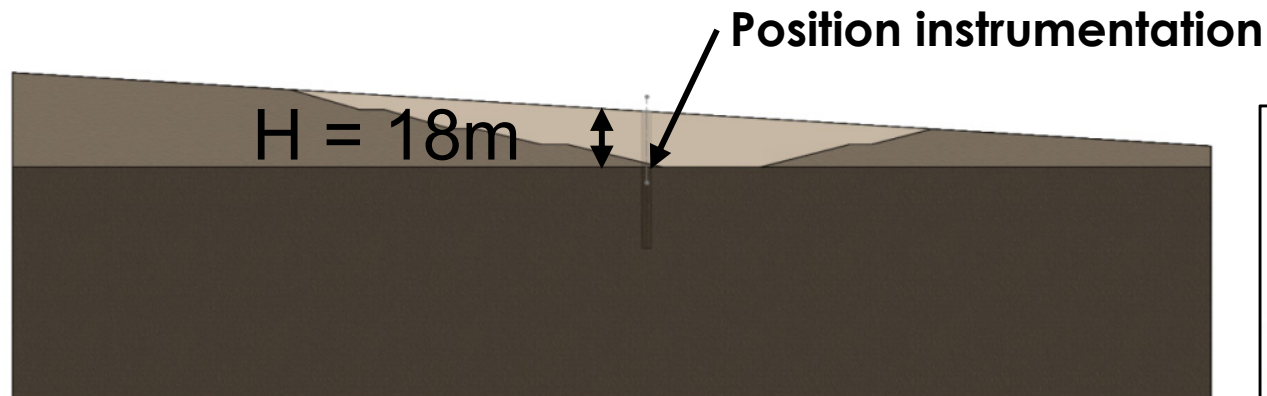
Plateformes déblais - objectif

- Comprendre les mécanismes des gonflements différés observés sur certaines plateformes routières, autoroutières ou ferroviaires

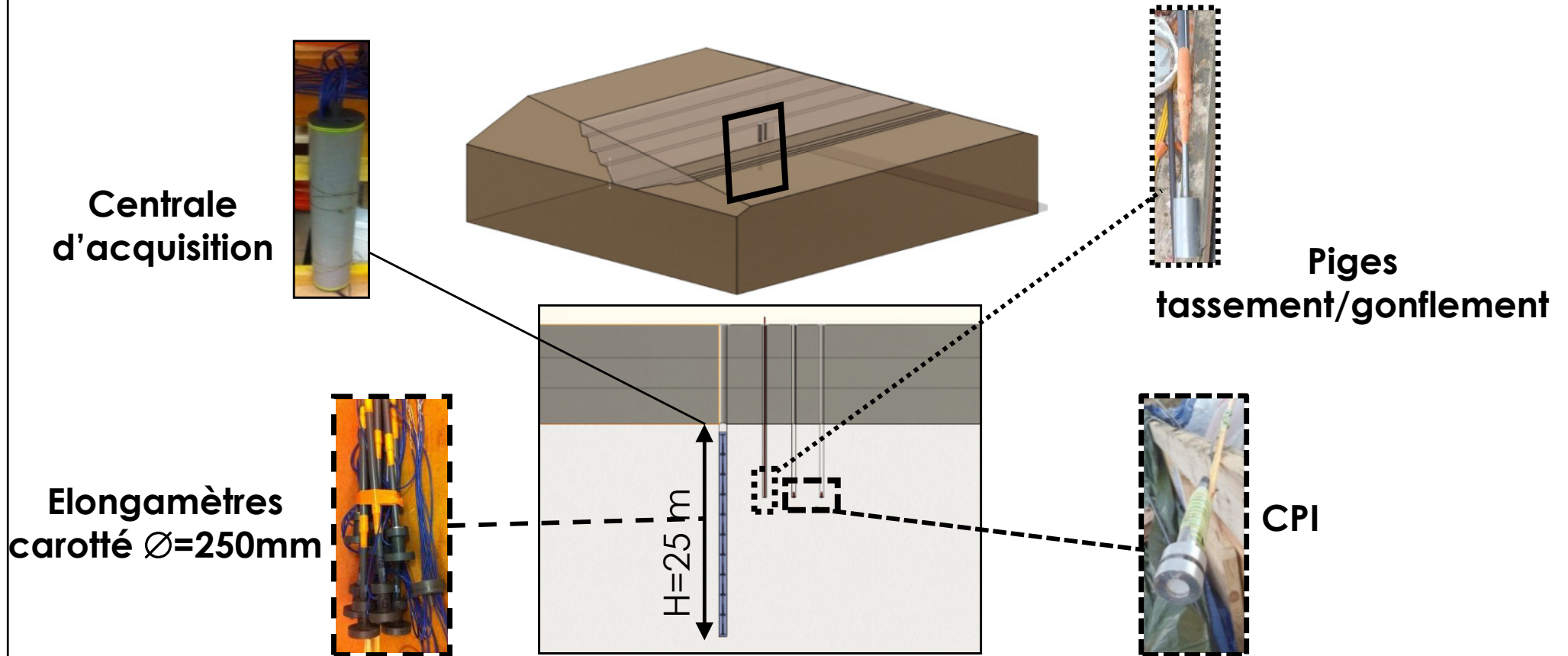


Expérimentation d'un déblai sur l'autoroute A304 dans le cadre du projet Terredurable

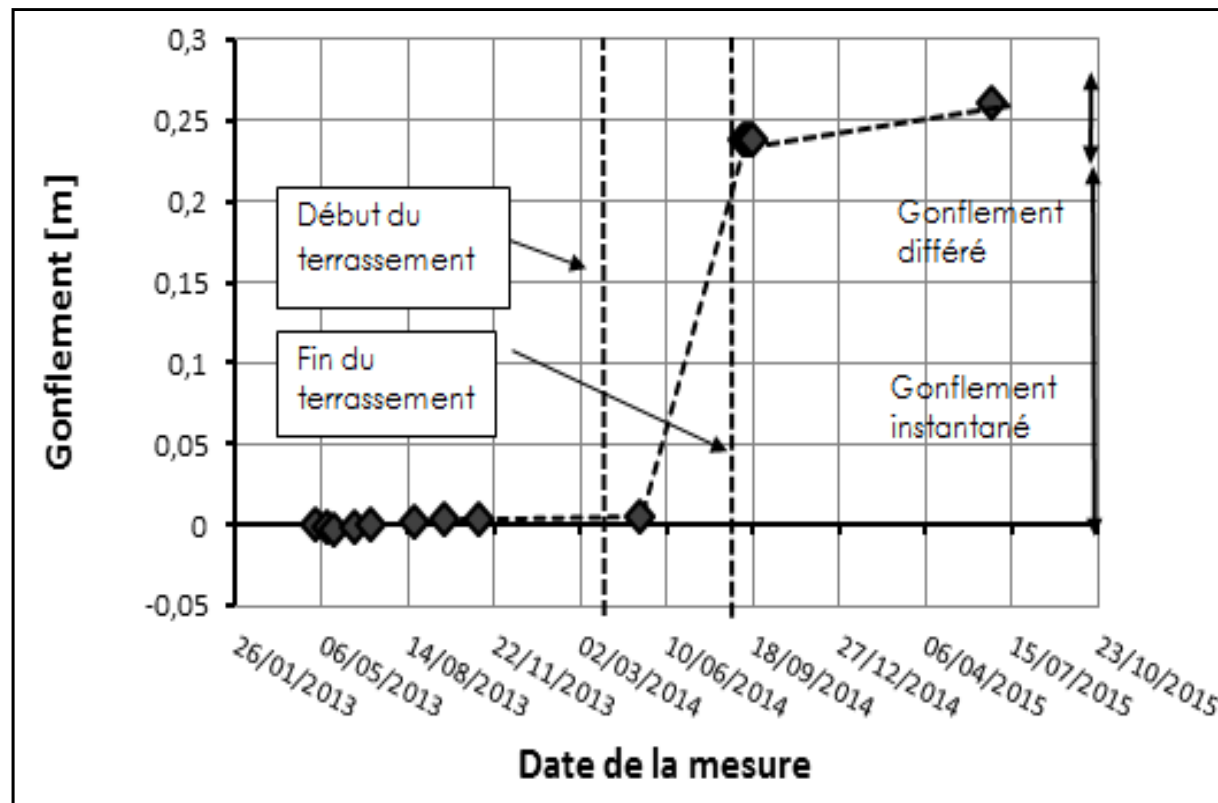
Localisation



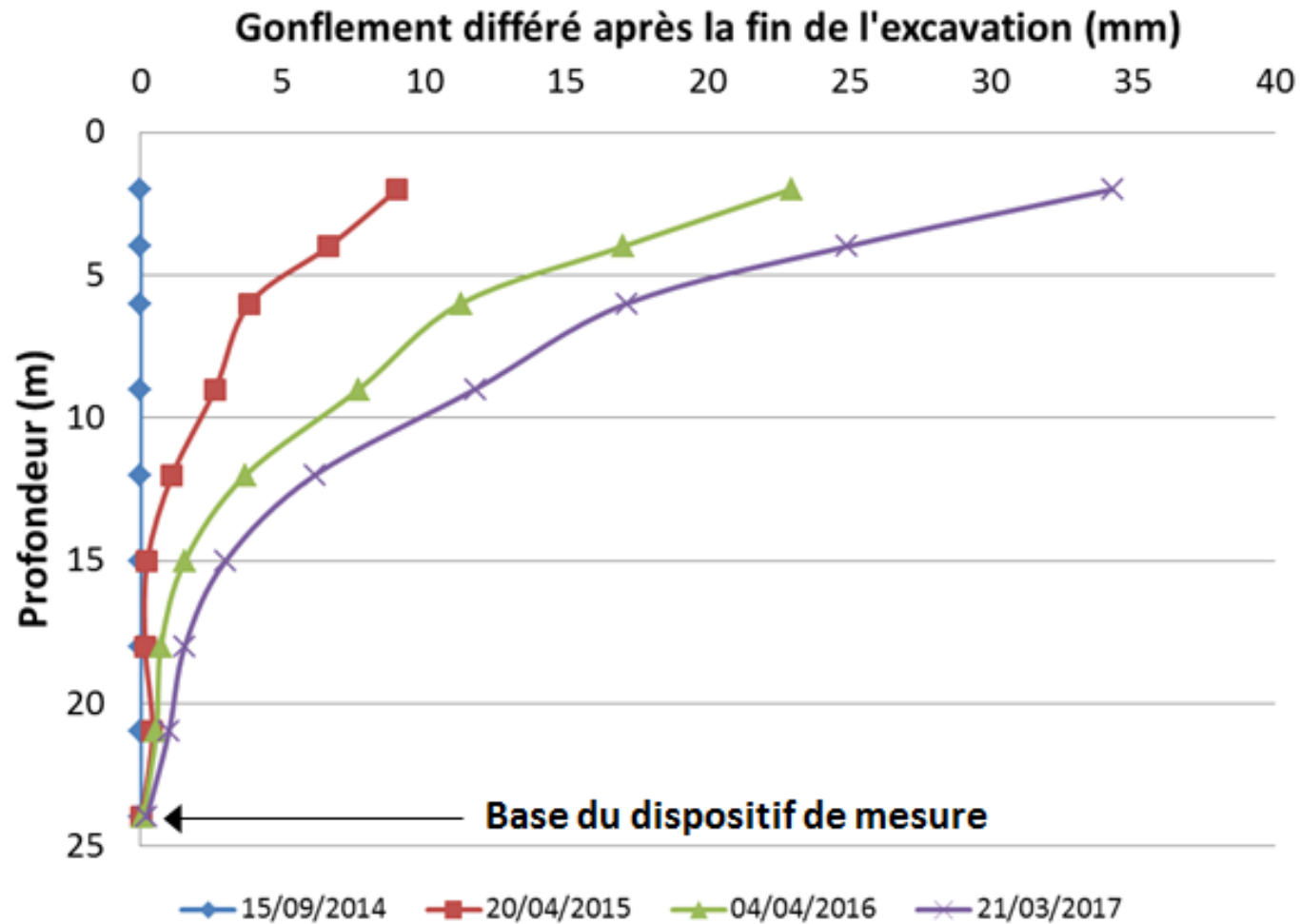
Instrumentation



Résultats piges gonflement



Résultats élongamètres

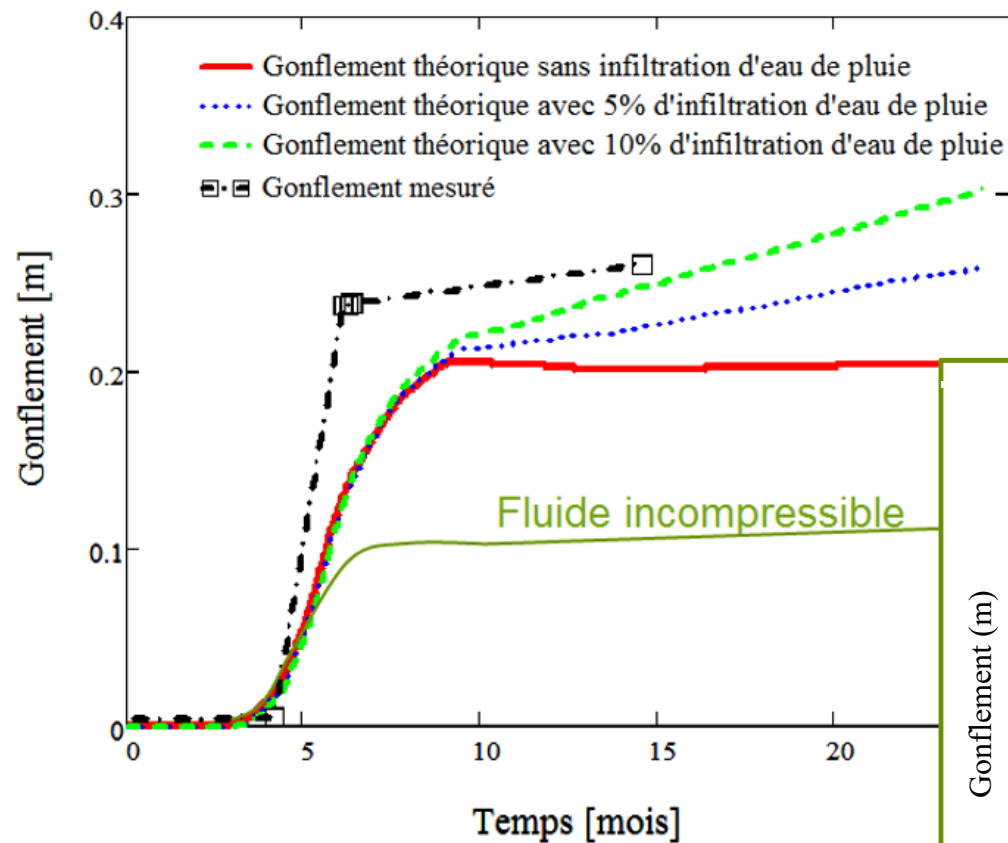


Hypothèses modélisation

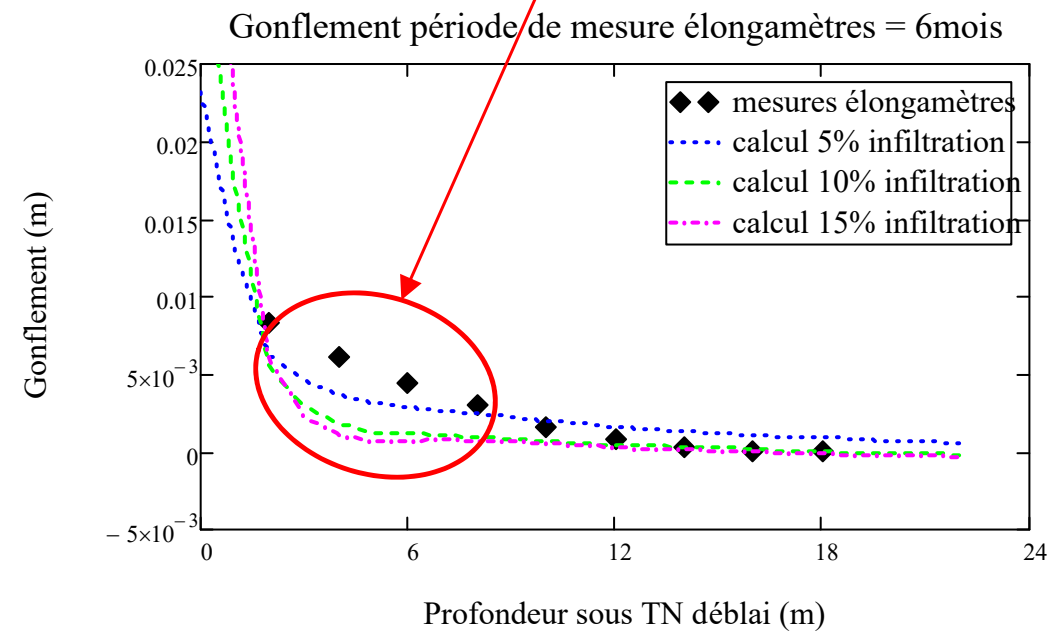


	Modèle	Profondeurs	Caractéristiques mécaniques	Caractéristiques hydriques	Paramètres quasi-saturés
Couche 1 : Marne argileuse	Cam Clay	0-21	$\lambda=0.081$ $\kappa=0.021$ $M=0.809$ $p'_c=1600\text{kPa}$ $\nu=0.2$	$k=10^{-10} \text{ m/s}$	$S_{re}=0.96$ $S_{rair}=0.90$ $S_{air}=1000\text{kPa}$ $r_{bm}=2\mu\text{m}$
Couche 2 : Marne compacte	Cam Clay	21-fond	$\lambda=0.056$ $\kappa=0.0056$ $M=0.809$ $p'_c=2000\text{kPa}$ $\nu=0.2$	$k=10^{-10} \text{ m/s}$	$S_{re}=0.98$ $S_{rair}=0.95$ $S_{air}=2000\text{kPa}$ $r_{bm}=2\mu\text{m}$

Résultats modélisation



Passées plus perméables?
Fluage?



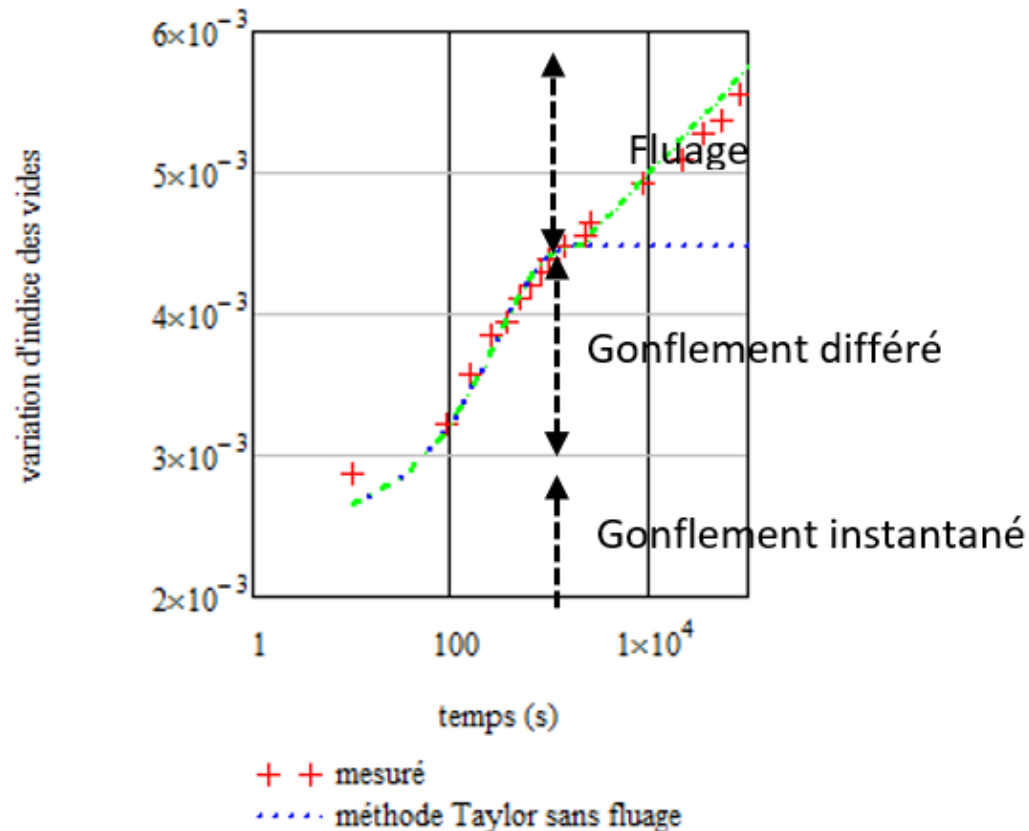
Résultats modélisation

$$\sigma_{z_ini} = 250 \text{ kPa} \quad \sigma_{z_fin} = 120 \text{ kPa}$$

$$C_{v_mes} = 8.8 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$B_{mes} = 0.47 \quad E_{oedo_mes} = 43500 \text{ kPa}$$

$$t_{00_max} = 2063 \text{ s} \quad c_{rv_max} = 3.2 \times 10^{-4}$$



Mise en évidence du
fluage sur essais
oedométriques

Maximal sous fort OCR
(résultat du déchargement)

Plateformes déblais - recommandations

- Trois mécanismes: gonflement non drainé (instantané), gonflement drainé (différé), gonflement dû au fluage (différé)

Drainage correct plateforme et/ou étanchéité → limite apports d'eau et gonflement drainé sur premiers mètres

Risque fluage (et rupture en extension): purge et confinement sur premiers mètres

En profondeur: gonflement drainé et fluage difficiles à maîtriser

Merci de votre attention...

