



Opération de Recherche TERRANOVA Terrassements Novateurs

Nantes, 28 mai 2018

REMBLAIS

STABILITÉ DES PENTES EN SOLS FINS COMPACTÉS

Thierry Dubreucq

<http://terrassementnovateur.ifsttar.fr/>

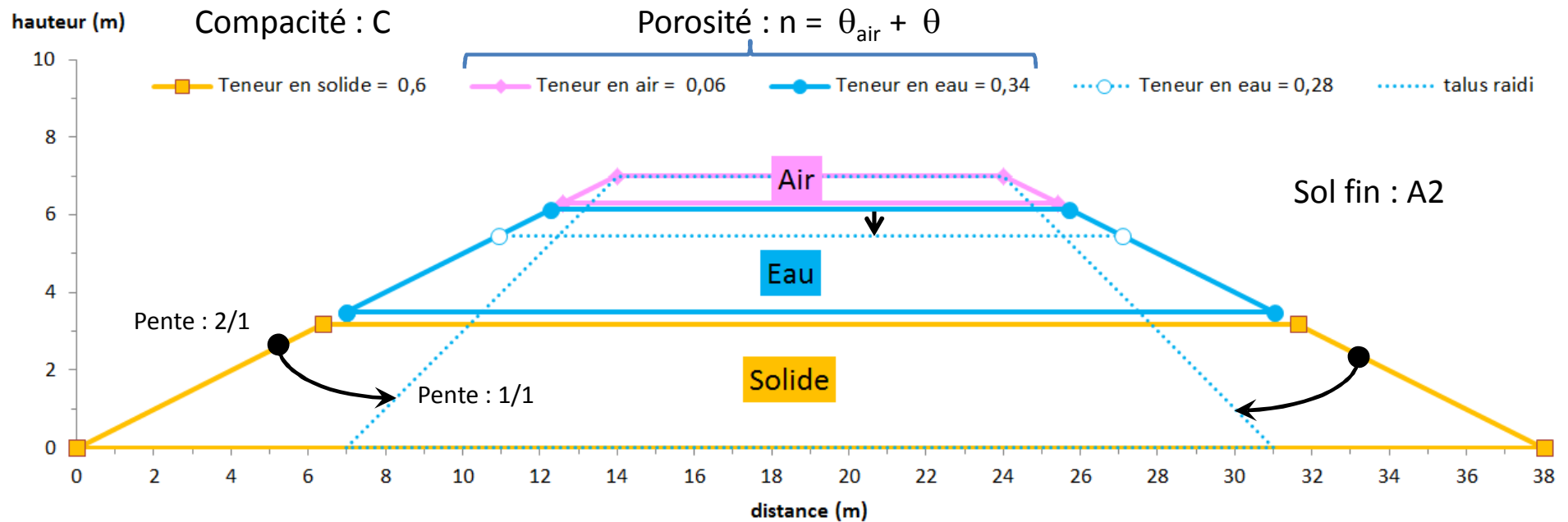
Exemples introductifs



« A gauche, exemple de fouille dont la stabilité est inexplicable sur la base des méthodes de calcul et des paramètres de sol généralement recommandés. A droite, effondrement de fouille brutal imprévu »

Source : CSTC, Bruxelles, Dossier n° 2/2010 – Cahier n°4

Constitution d'un remblai



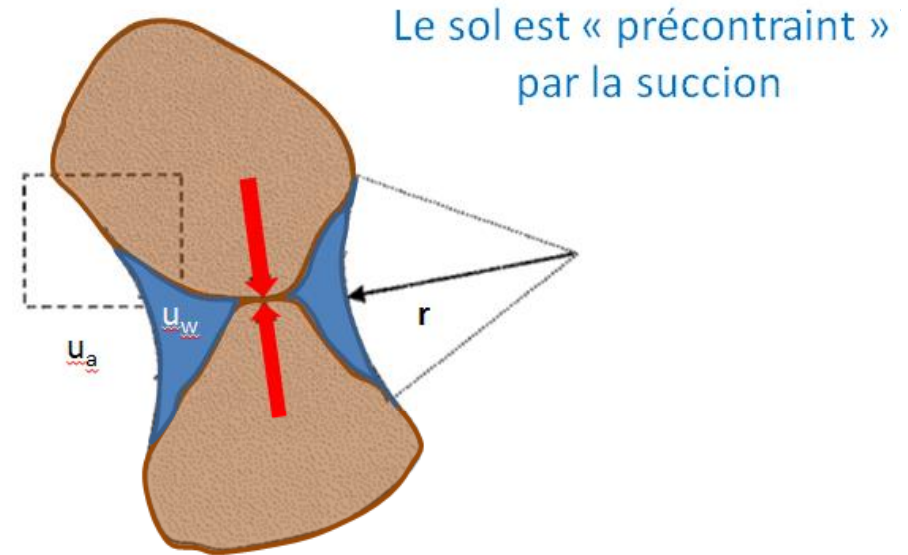
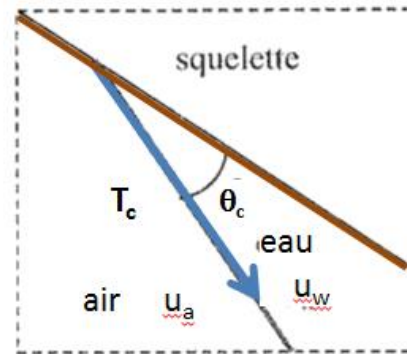
Classes de sols fins A à l'Optimum Proctor Normal (bornes inférieures)

Sols fins GTR92	I_p %	W_l %	W_o %	γ_{do} kN/m ³	S_{ro} %	θ_o	C_o	succion s_o kPa
A1	0	13	10	20	77	0,2	0,74	19
A2	12	30	15,6	18,1	84	0,28	0,67	99
A3	25	49	20,6	16,5	87	0,34	0,61	262
A4	42	70	24,5	15,4	89	0,38	0,57	531

Sources : Ferber, 2006 ; Fleureau, 1993 & 2002 ; Boussafir, 2016 ; Ifsttar 2002-2012

Succion dans un sol non saturé

La succion capillaire (loi de Jurin) :



succion :

$$s = u_a - u_w = \frac{2 \cdot T_c \cdot \cos(\theta_c)}{r} = \gamma_w h_c$$

r : rayon de courbure du ménisque

u_a : pression d'air

u_w : pression d'eau

θ_c : angle au contact solide, liquide et gaz

T_c : tension capillaire : $73,5 \cdot 10^{-3}$ N/m

γ_w : poids volumique de l'eau

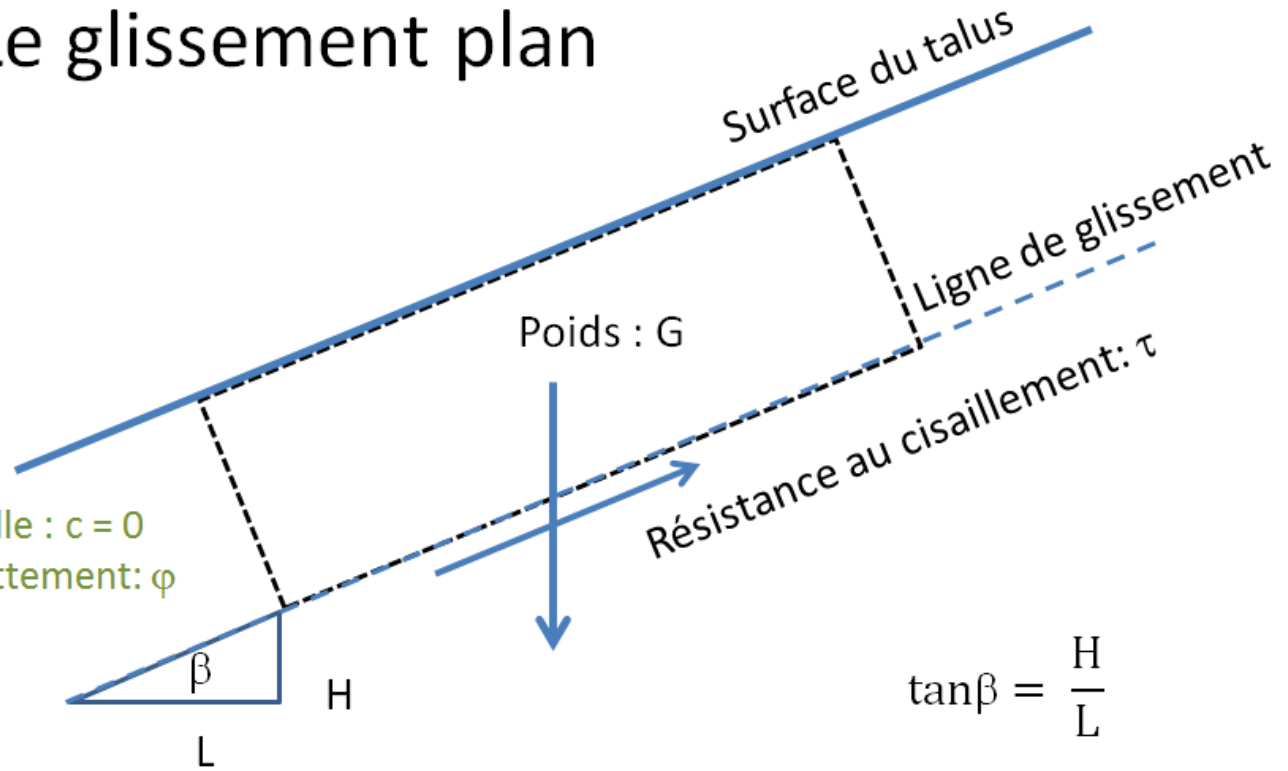
h_c : hauteur d'ascension capillaire

Le glissement plan

Coefficient de sécurité :

$$F = \frac{\text{effort résistant}}{\text{effort moteur}} \geq 1,5$$

cohésion nulle : $c = 0$
angle de frottement: φ



$$\tan\beta = \frac{H}{L}$$

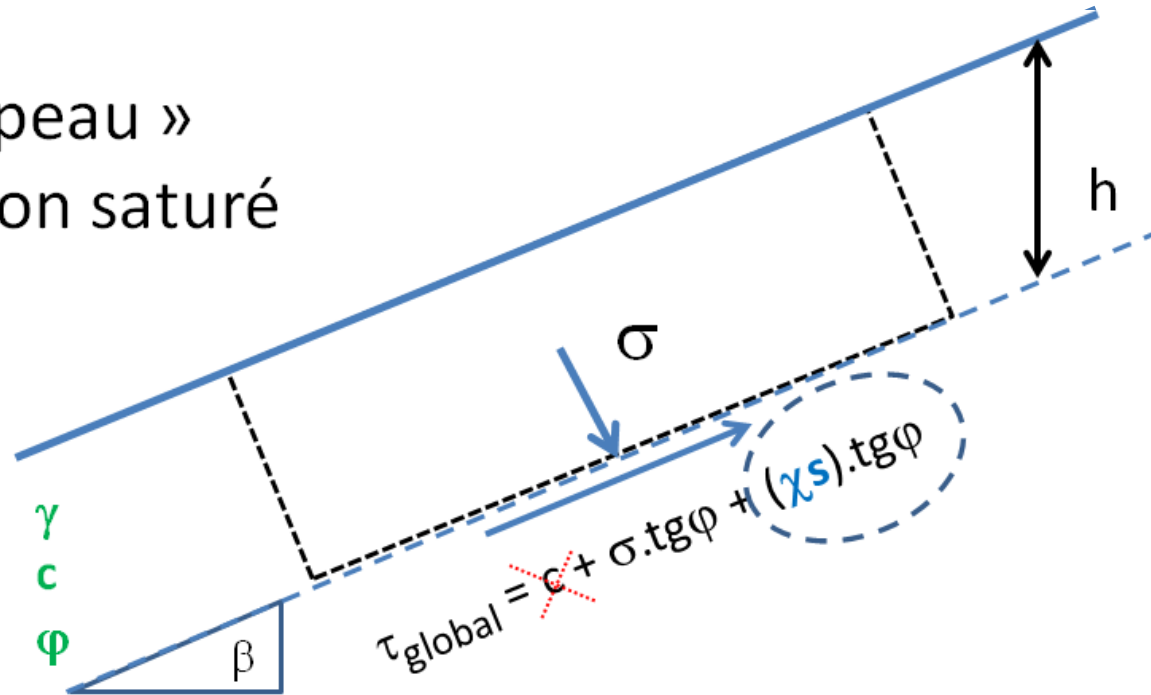
Sol : {
saturé
non saturé
sec

$$F_{\text{sat}} \approx \frac{1 \tan\varphi}{2 \tan\beta}$$

$$F_{\text{non saturé}} = ?$$

$$F_{\text{sec}} = \frac{\tan\varphi}{\tan\beta}$$

Dans la « peau »
du talus non saturé



État initial : succion s_0 d'entrée d'air

$$\tau_0 = s_0 \cdot \text{tg} \phi_0$$

$$F_0 = \left(1 + \frac{s_0}{\gamma_0 h_0} \right) \frac{\text{tg} \phi_0}{\text{tg} \beta}$$

Drainage



État final : succion s

$$\tau = (\chi s) \cdot \text{tg} \phi$$

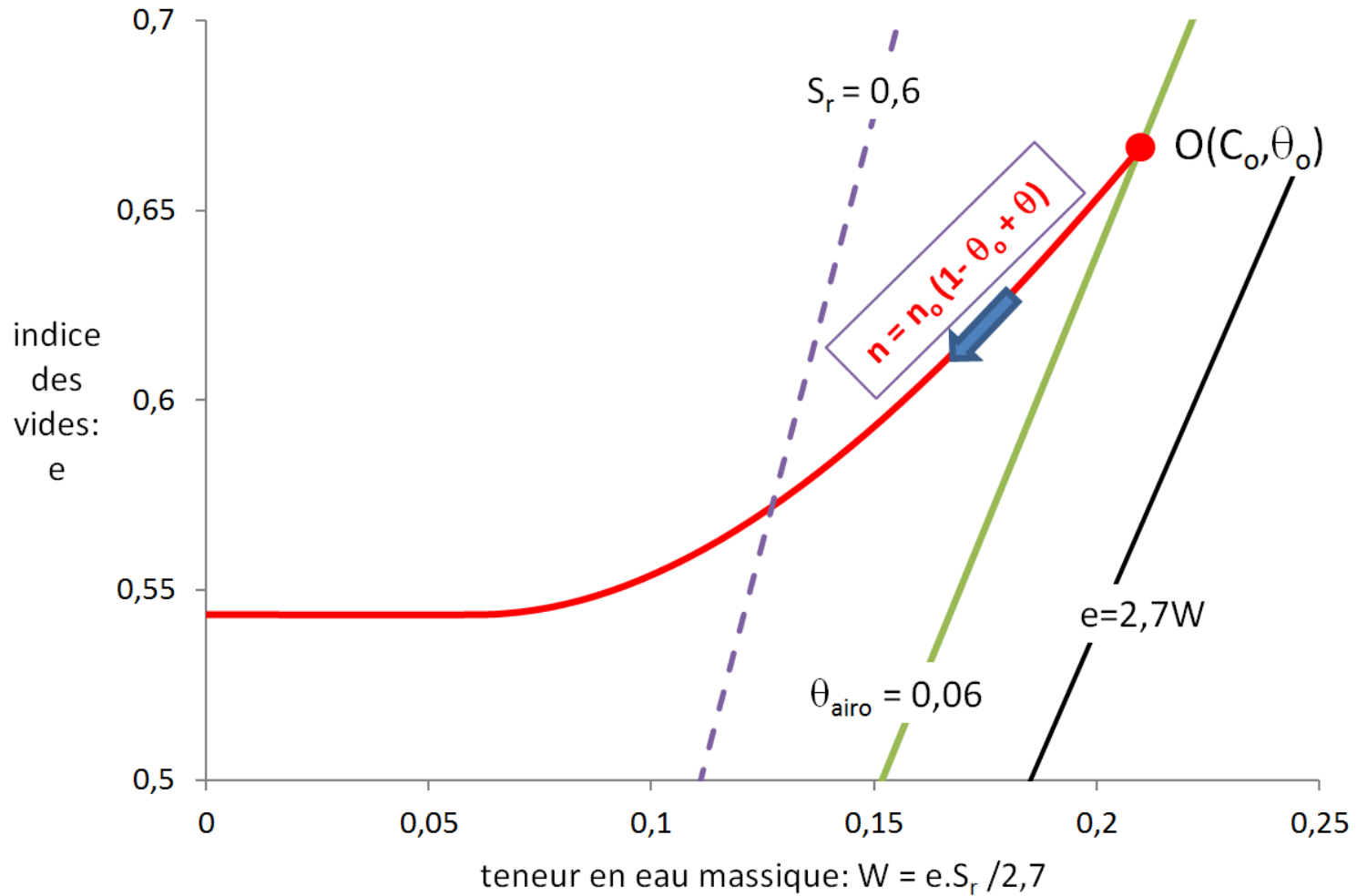
$$F = \left(1 + \frac{\chi s}{\gamma h} \right) \frac{\text{tg} \phi}{\text{tg} \beta}$$

si $\left\{ \begin{array}{l} \phi = \phi_0 \\ \beta = \beta \\ \gamma h = \gamma_0 h_0 \end{array} \right.$

alors

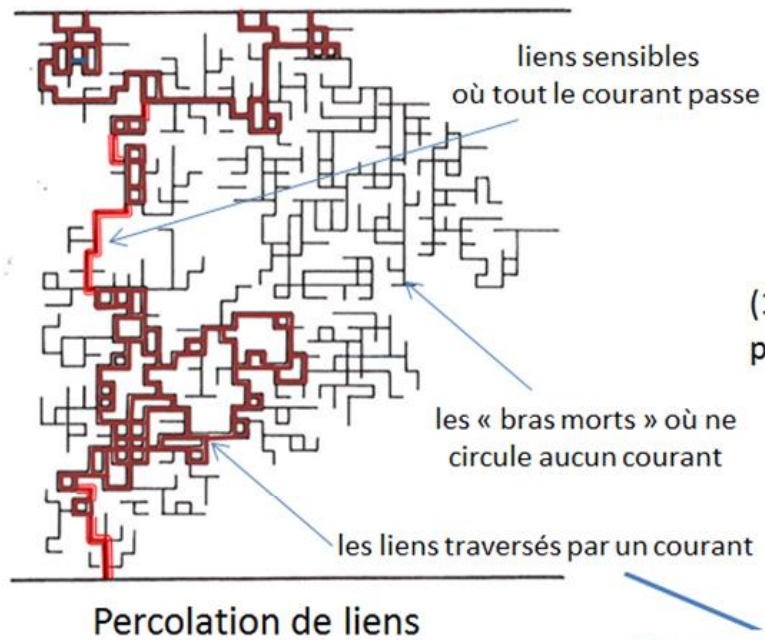
$$\frac{F-1}{F_0-1} = \frac{\chi s}{s_0} = \frac{\tau}{\tau_0}$$

Modélisation du retrait résiduel d'un sol fin

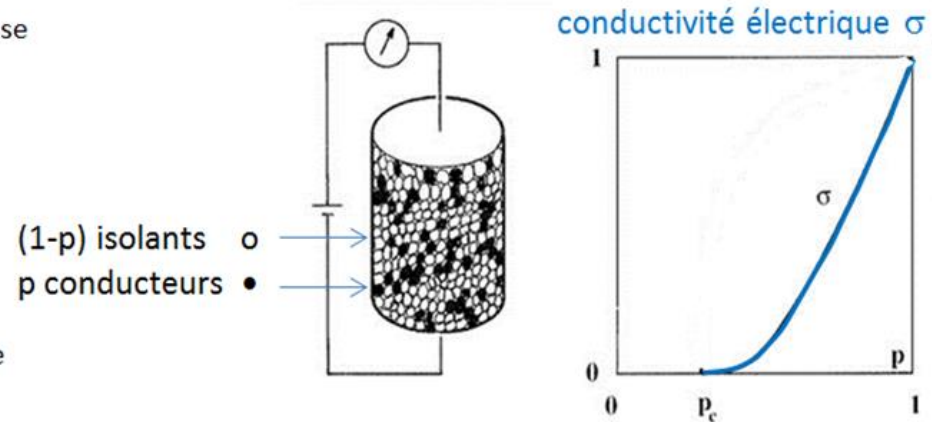


Sources : Braudeau, 1988; Tripathy, 2002

Localisation de l'eau à l'aide la percolation (probabiliste) une analogie électrique



Source : Guyon et Troadec, 1994



Percolation de sites

En cas de retrait du sol

$$\text{Teneur en eau volumique } \theta = n \cdot S_r : \frac{\text{volume d'eau}}{\text{volume total}} = \frac{\text{volume des vides}}{\text{volume total}} \times \frac{\text{volume d'eau}}{\text{volume des vides}}$$

$$\text{L'Eau efficace } \theta_e = n_e S_{re} : \frac{\theta_e \text{ (efficace)}}{\theta_{\text{sat}} \text{ (saturée)}} \approx \left(\frac{\theta \text{ (mesurée)}}{\theta_o \text{ (entrée d'air)}} \right)^2$$

Résistance au cisaillement induite par la succion

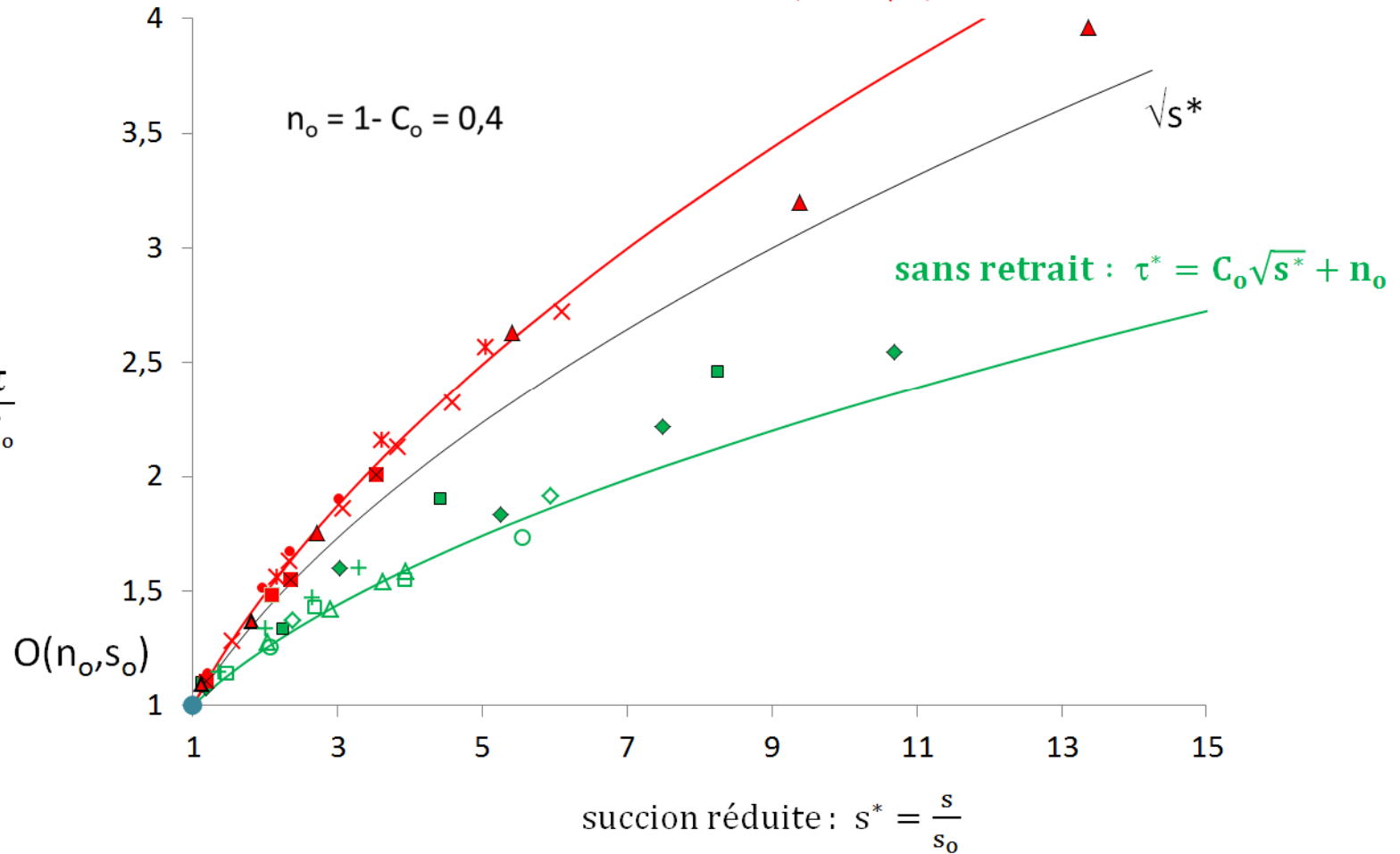
ou

coefficient de sécurité de la peau du talus

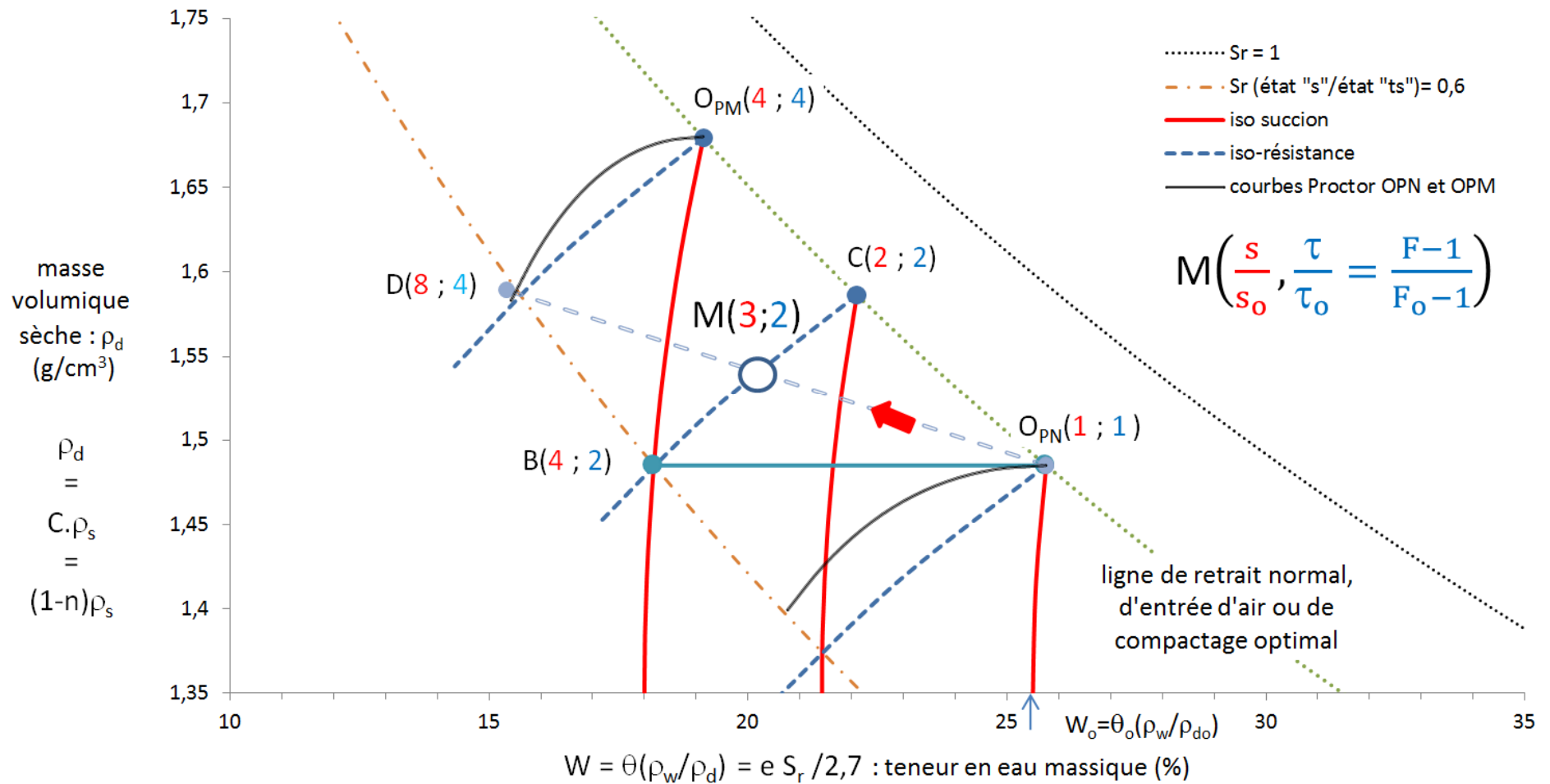
avec retrait : $\tau^* = \left(C_o + \frac{n_o}{\sqrt{s^*}} \right)^{-1} \left((1 - n_o C_o) \sqrt{s^*} + n_o C_o \right)$

résistance
au
cisaillement
réduit :

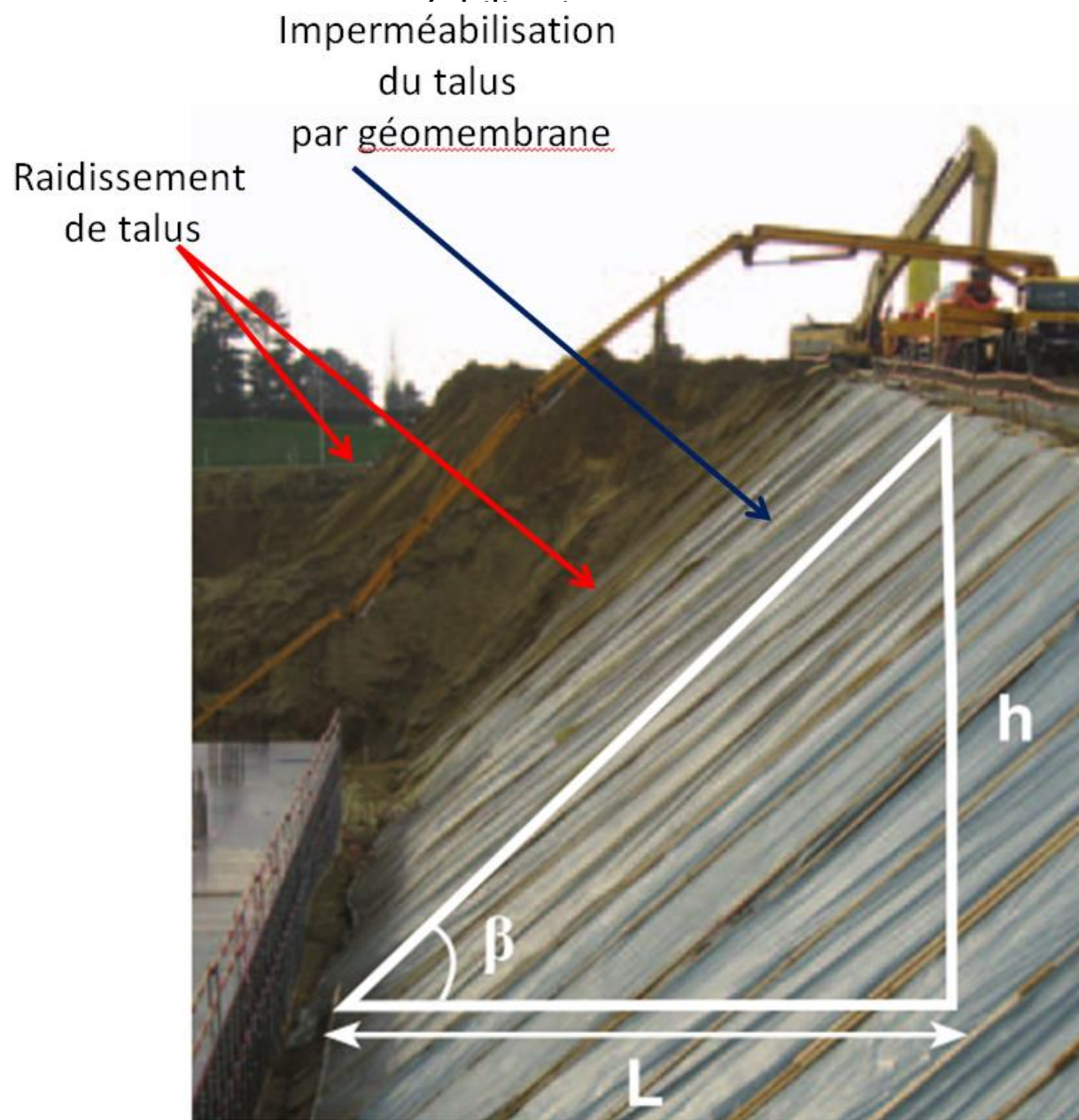
$$\tau^* = \frac{F-1}{F_o-1} = \frac{\tau}{\tau_o}$$



Iso-succion et iso-résistance dans le diagramme Proctor sur des éprouvettes de sols argileux (synthèse)



Sources: Li Z.M., 1995; Li Z.S, 2016, Romero, 1999; Andriatréhina, 2016; Suriol, 1998; Cui, 2003; Serratrice, 1995; Qian, 2002



Source : CSTC, Bruxelles, Talus de Gasthuisberg (Leuven)

Au point M

Hypothèse : $F = F_0$

$$\tan\beta \approx \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right) \cdot \tan\beta_0$$

($s \gg \gamma h$)

$$\tan\beta \approx 2x\left(\frac{1}{2}\right) = 1$$

Vrai à court terme !

⚠ : Haut Remblai



À paraître en 2019

Conception et construction des ouvrages en terre en sols fins

Enseignements du projet ANR TERREDURABLE
et retour d'expériences

Tome 1 : synthèse

Merci pour votre
attention

thierry.dubreucq@ifsttar.fr

Projet ANR TERREDURABLE