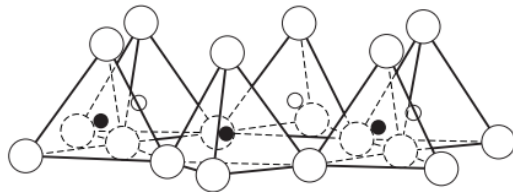
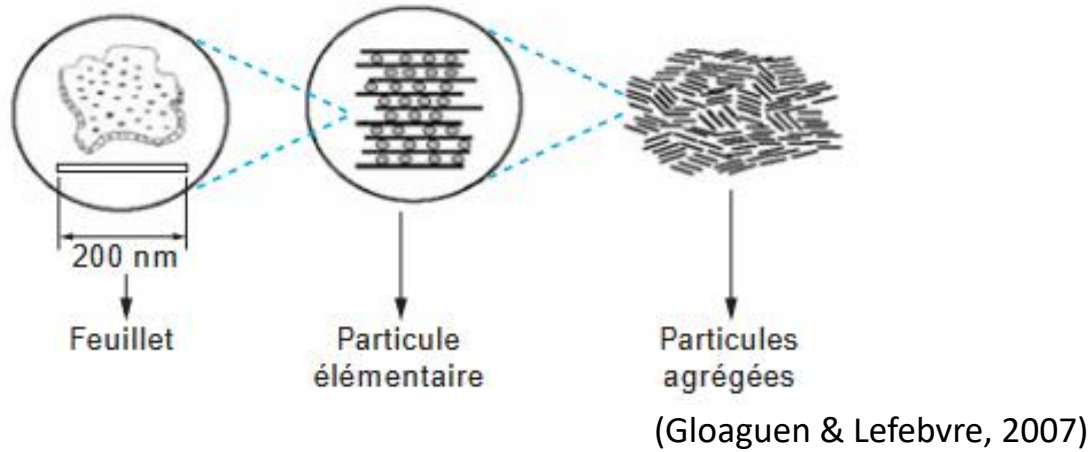


Étude des effets du séchage- humidification sur des sols argileux

Présentation du travail de fin d'études

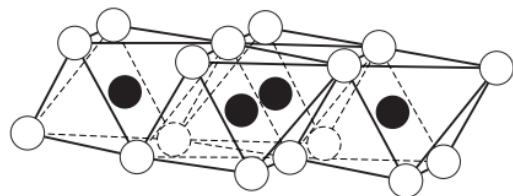
4 septembre 2023

Argiles



○ et ● Silicium ○ et ○ Oxygène

Ⓐ couche tétraédrique

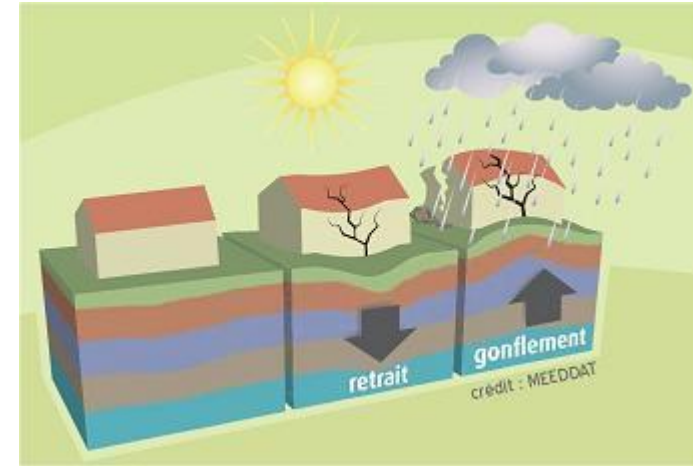


● Aluminium, magnésium, etc. ○ et ○ OH⁻

Ⓑ couche octaédrique

(Tran, 2017)

Phénomène de retrait/gonflement



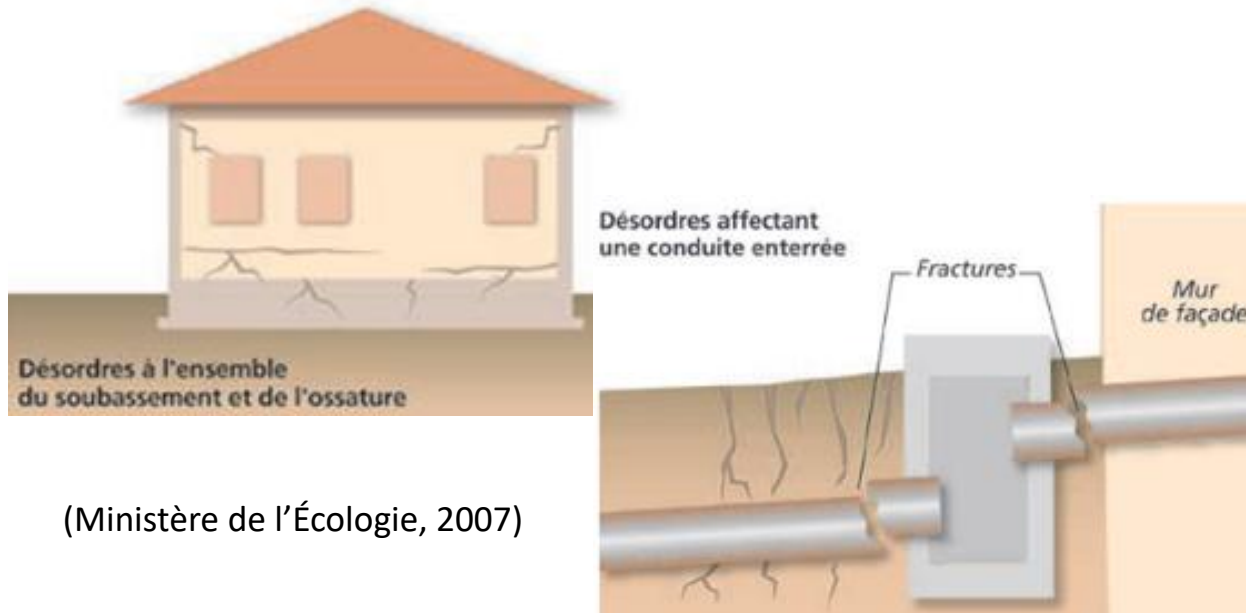
(Les services de l'état dans la marne, 2022)

- Variation naturelle de la teneur en eau du sol jusqu'à 1,5 m voire 2 m de profondeur
- Présence de végétation
- Présence de fuite dans les canalisations
- Réduction (naturelle ou artificielle) du niveau de la nappe phréatique

Dommages

Origine : variation de volume sous le niveau d'assise des fondations

- Engendre des mouvements différentiels
 - Apparition de fissures
- Engendre des mouvements globaux
 - Cisaillement de canalisation



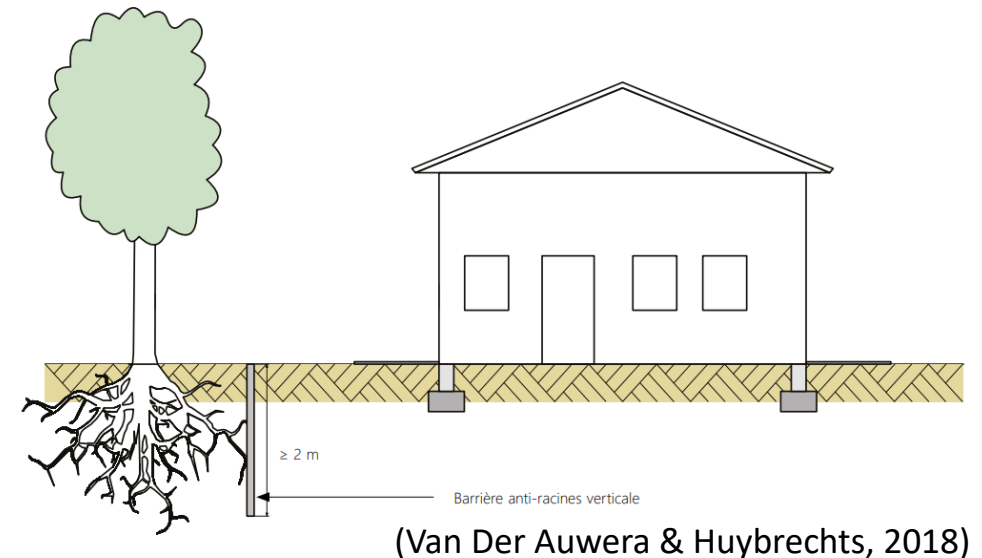
Mesures

Mesures préventives :

- Reconnaissance du sol
- Bâtiment fondé partout à la même profondeur
- Distance suffisante entre les arbres et le bâtiment

Mesures correctives :

- Abaisser le niveau des fondations
- Installer des barrières horizontales/verticales
- Élaguer et arracher la végétation

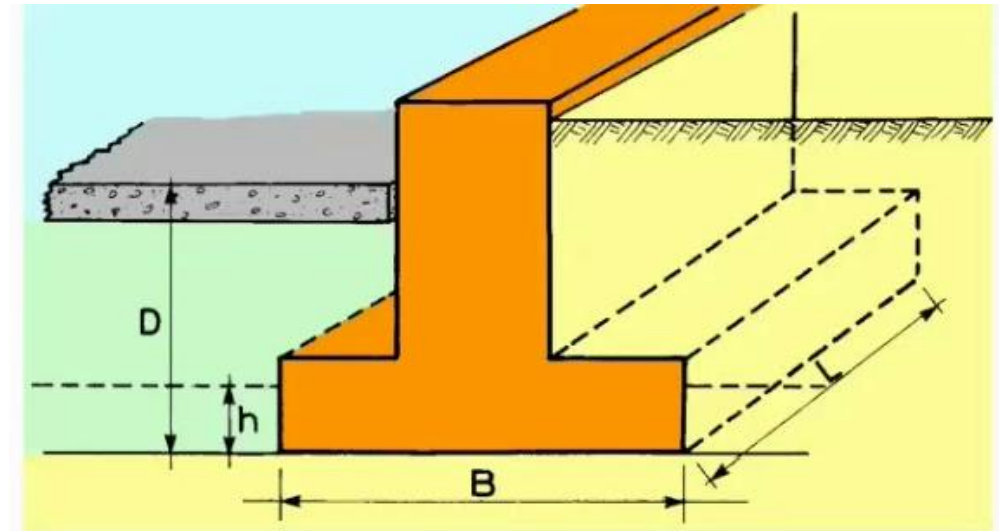


Objectif du travail

Développement d'une méthodologie expérimentale permettant d'évaluer l'effet de la sécheresse des sols argileux sur le comportement des fondations superficielles



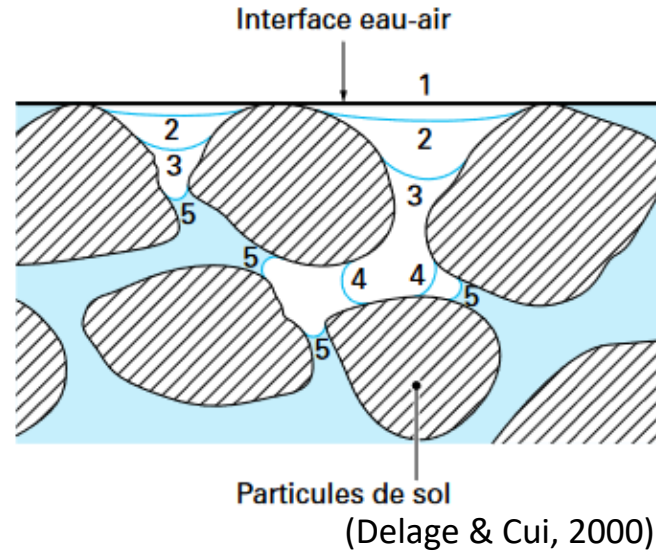
(Ducasse, 2019)



(Makhaly, 2021)

État de l'art

- **Succion** : Pression d'eau négative



- **Aspect hydrique** : Courbe de rétention d'eau

➤ Teneur en eau : $w = \frac{M_w}{M_s}$ [%]

➤ Degré de saturation : $S_r = \frac{V_w}{V_v}$ [-]

- **Aspect mécanique** : Contrainte effective

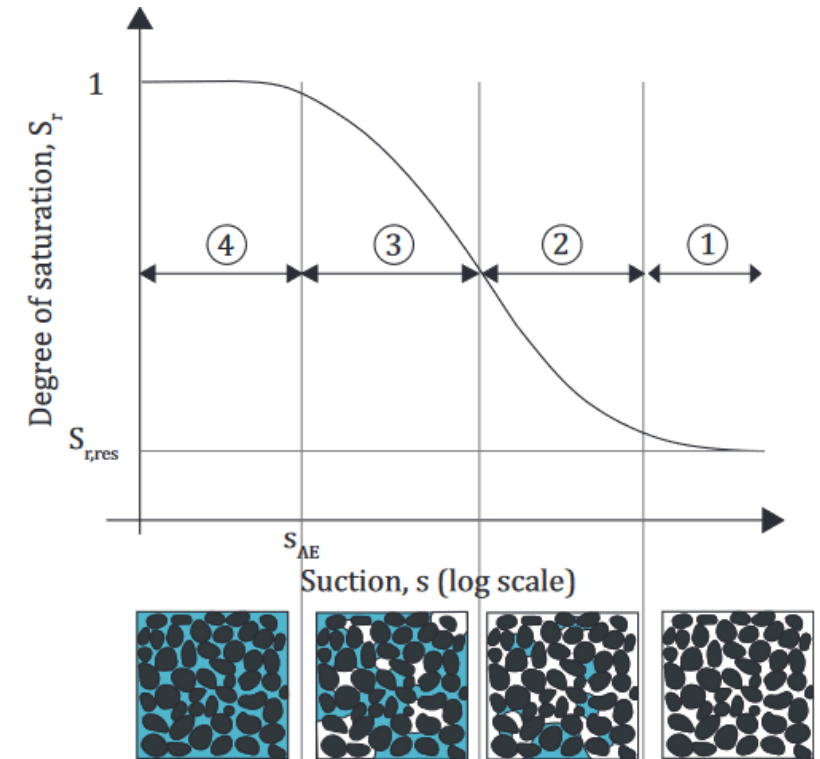
- **Sol saturé** : Concept de Terzaghi

$$\sigma' = \sigma - u$$

- **Sol non saturé** : Concept de Bishop

$$\sigma' = \sigma + \chi \cdot s$$

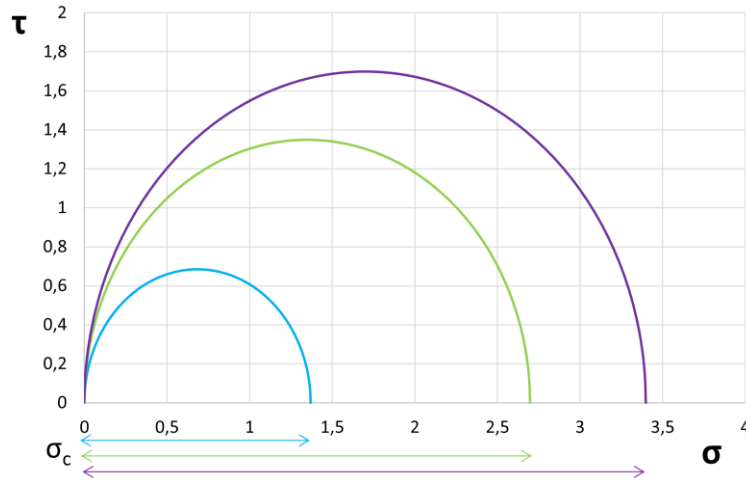
où $\chi = (S_r)^\alpha$
→ $\log \chi = \alpha \log S_r$



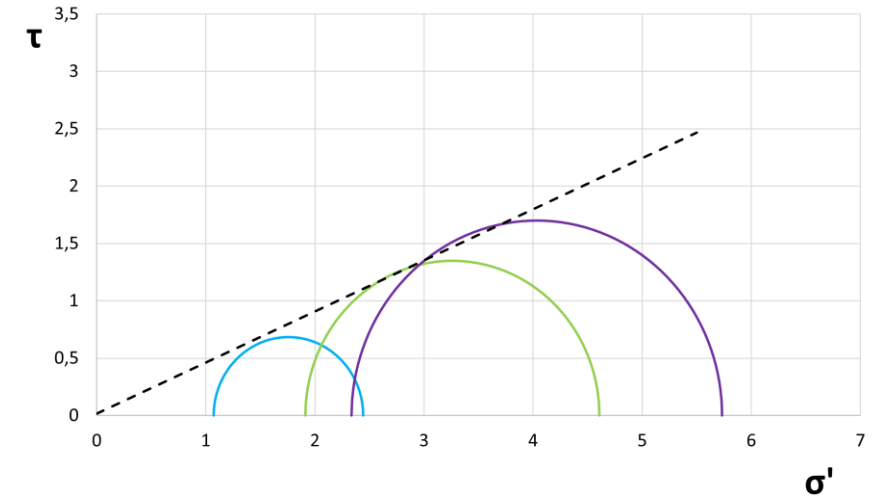
(Hubert, 2018)

Calibration du paramètre α

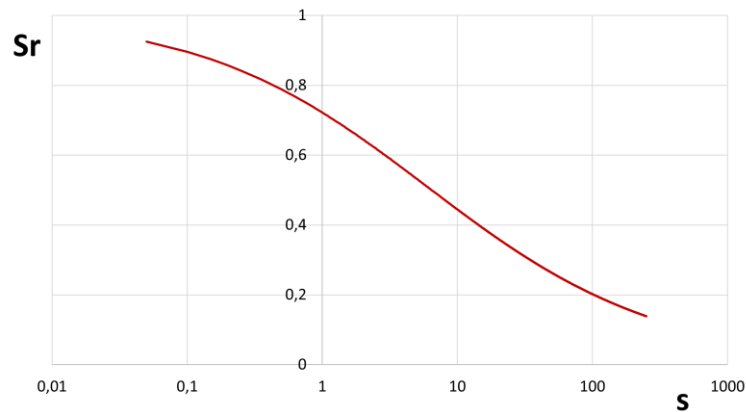
- **Objectif :** Déterminer le paramètre α tel que le critère de rupture soit unique



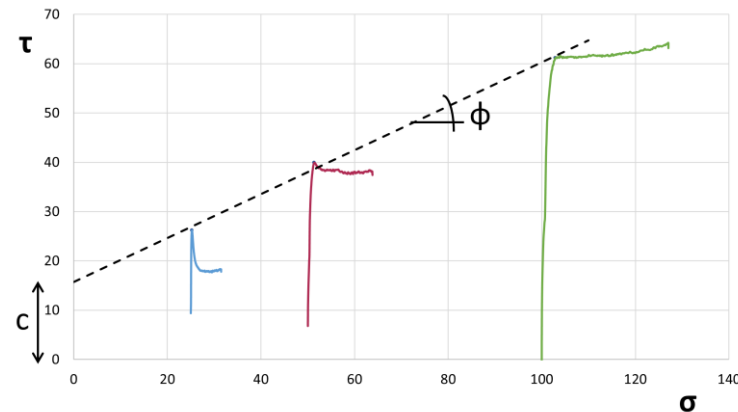
$\chi \cdot S$ →



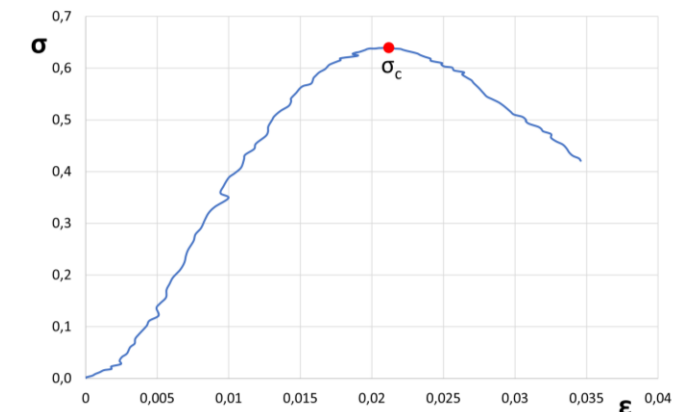
- **Courbe de rétention :**



- **Essais de cisaillement direct :**

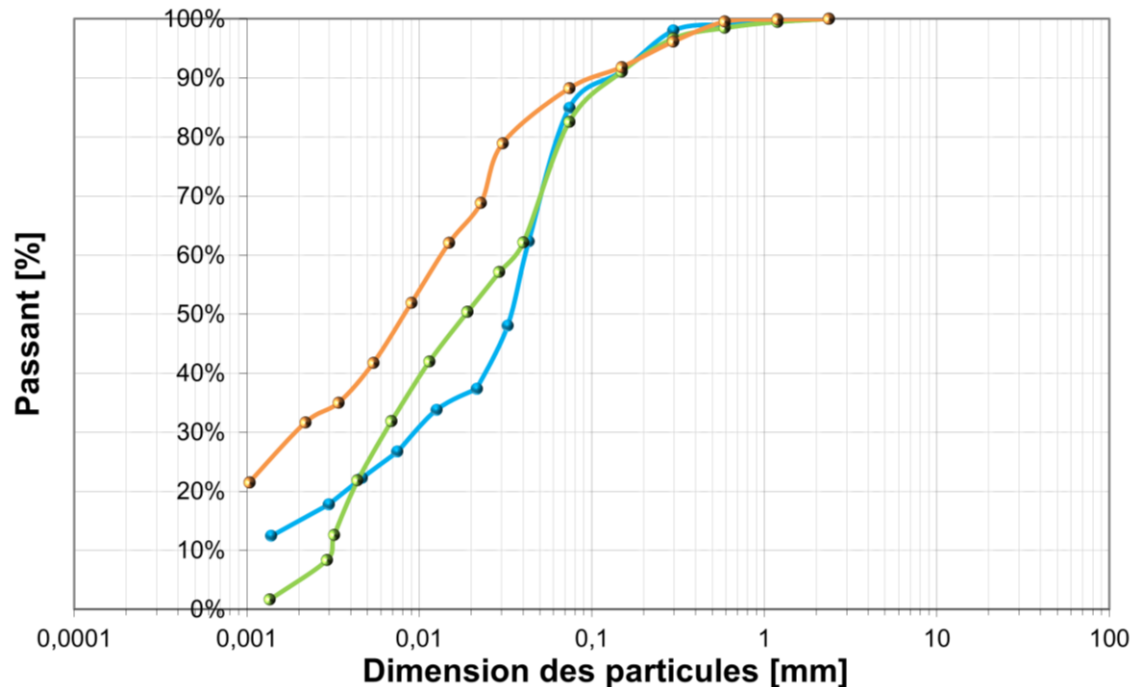


- **Essais de compression simple :**



Matériaux utilisés

- Trois types de sol :
 - Soignies
 - Kruibeke
 - Tournai



- Essais d'identification déjà réalisés par Ebrahimisadr :
 - Limites d'Atterberg
 - Analyse granulométrique
 - Essai Proctor

Nom des sols	Soignies	Kruibeke	Tournai
W_L [%]	36,39	56,1	141,1
W_p [%]	18,64	29,69	42,76
I_p [%]	17,75 <	26,41 <	98,33
w_{opt} [%]	17,6 <	27 <	47,6
γ_{opt} [kN/m ³]	17,16 >	14,5 >	10,42

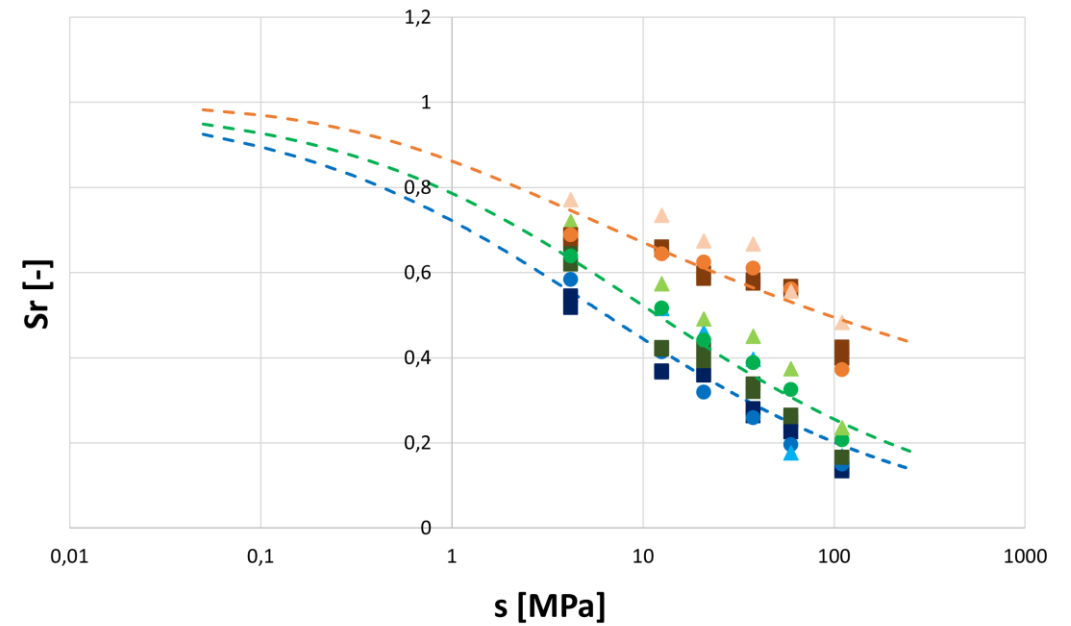
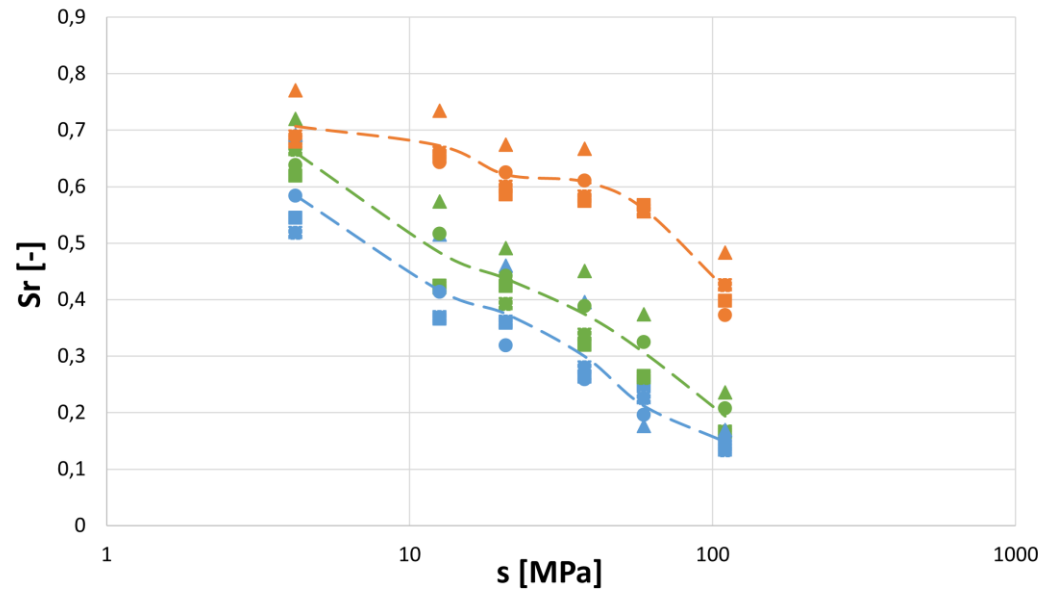
Contrôle de la succion

- **But** : contrôler le processus de séchage afin d'évaluer la courbe de rétention d'eau
- **Principe** : Technique de la solution saline → Ajuster l'humidité relative de l'air entourant l'échantillon
- **Loi de Kelvin** : Relation entre l'humidité relative et la succion → $s = \frac{RT}{Mg} \ln \frac{P}{P_0}$



	HR = P/P ₀	s [MPa]
1 – K ₂ SO ₄	0,97	4,2
2 – ZnSO ₄	0,913	12,55
3 – KCl	0,86	20,79
4 – NaCl	0,76	37,83
5 – NH ₄ NO ₃	0,65	59,38
L – LAB	0,45	110,06

Courbe de rétention d'eau



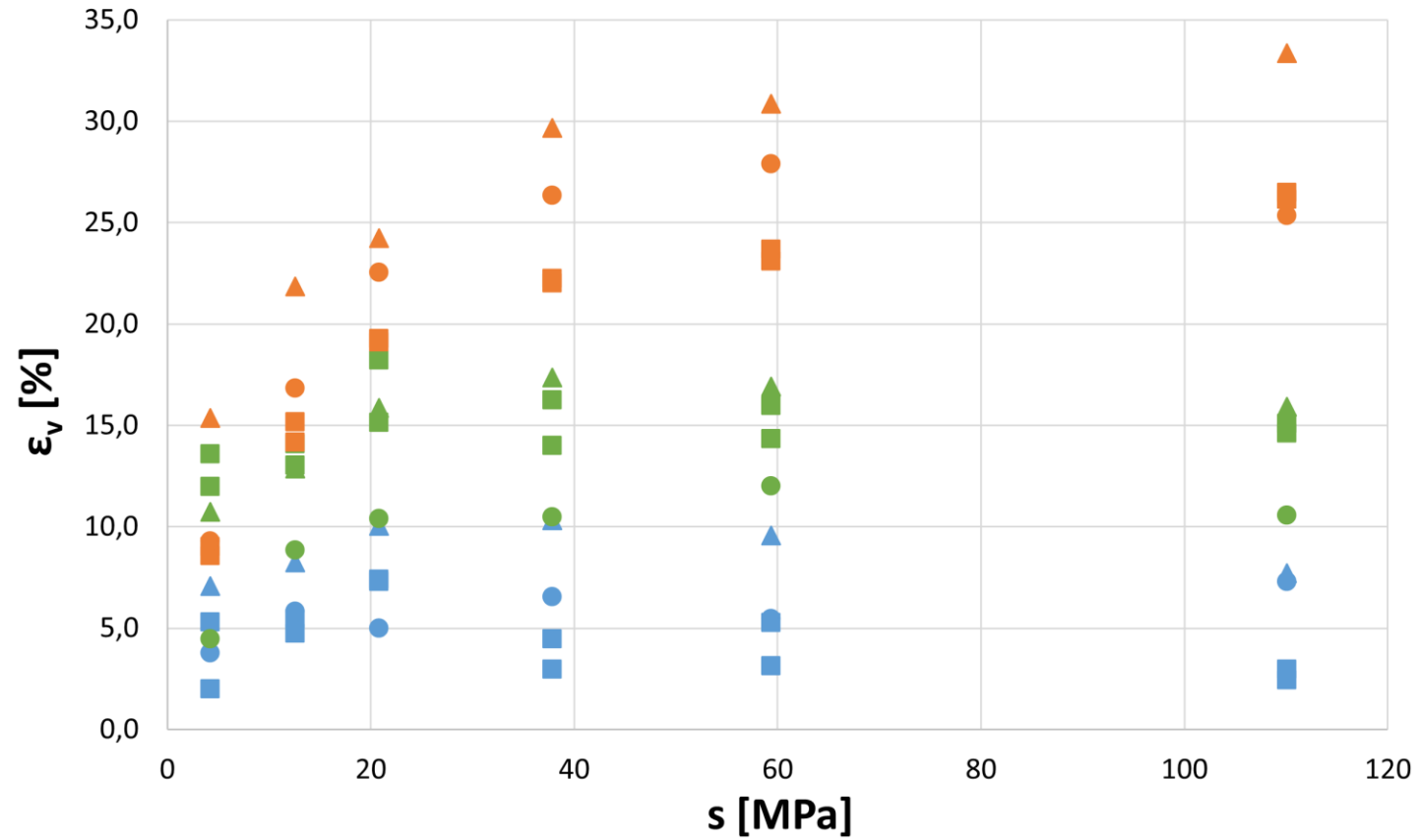
Équation de Van Genuchten :

$$S_r = \left[1 + \left(\frac{s}{P_r} \right)^n \right]^{1 - \frac{1}{n}}$$

P_r et n : paramètres d'ajustement

	P_r [-]	n [-]
Soignies	4976441	0,524
Kruibeke	7157671	0,549
Tournai	605892	0,863

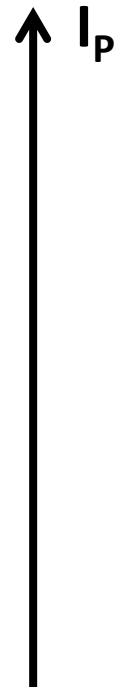
Déformation volumique



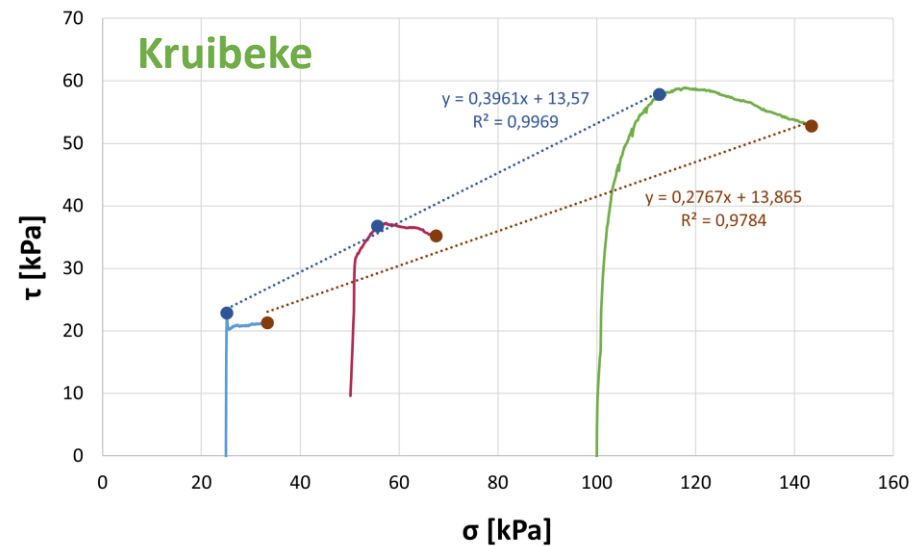
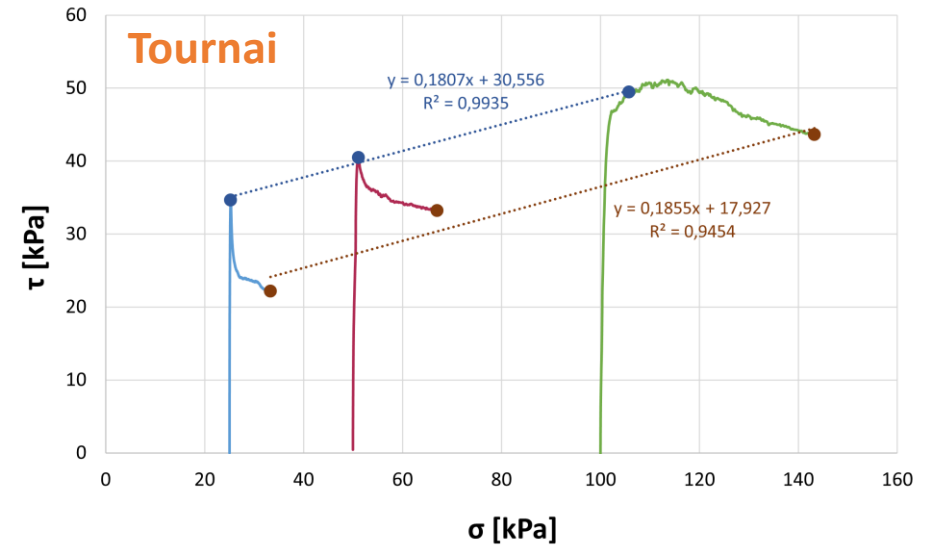
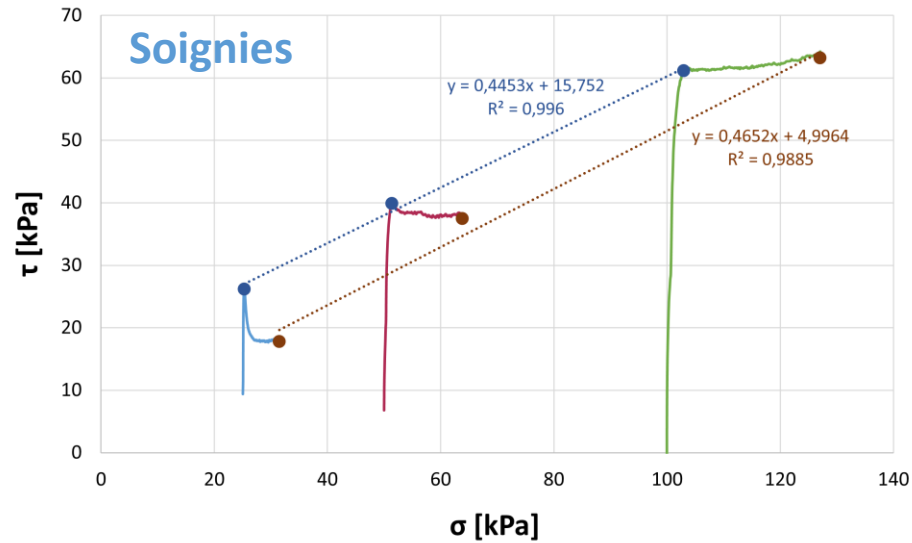
Tournai

Kruibeke

Soignies

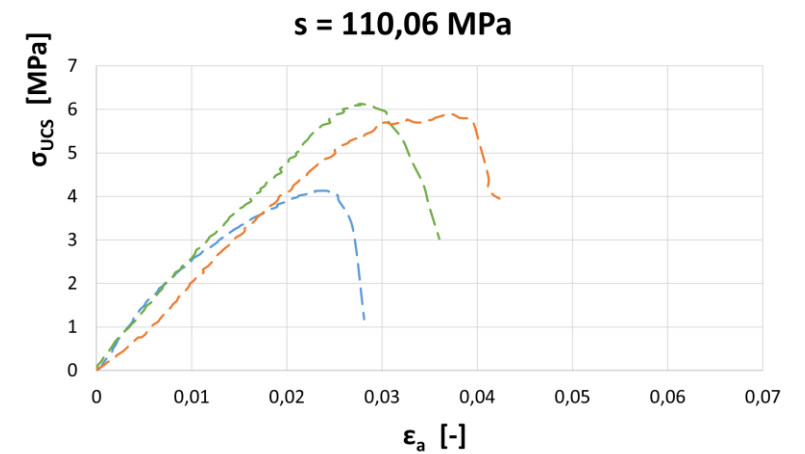
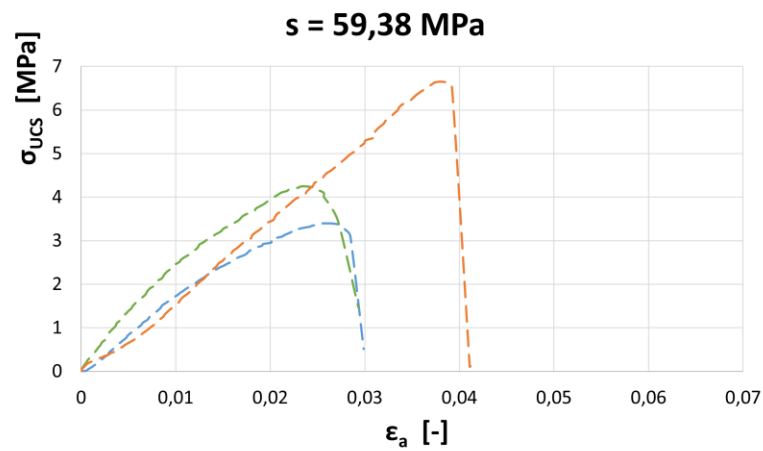
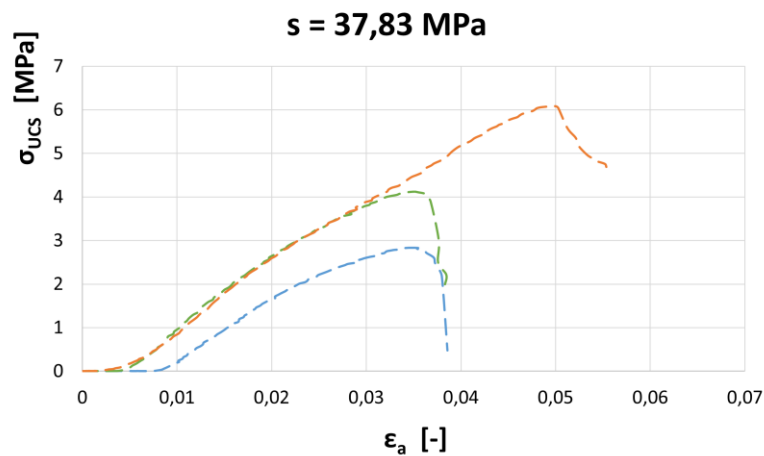
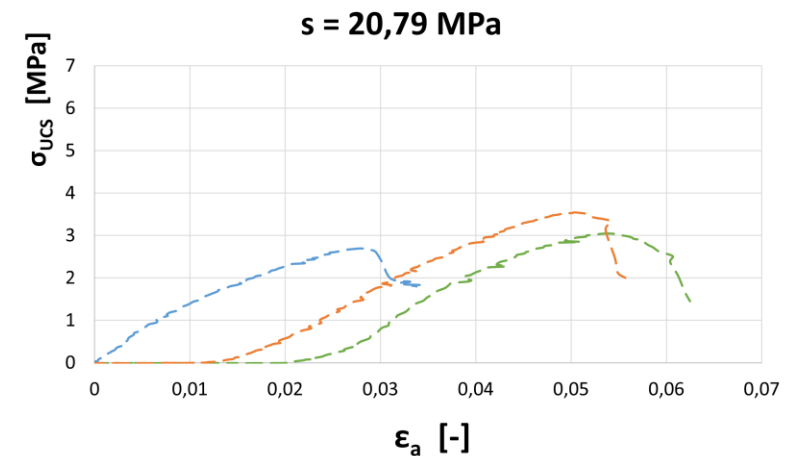
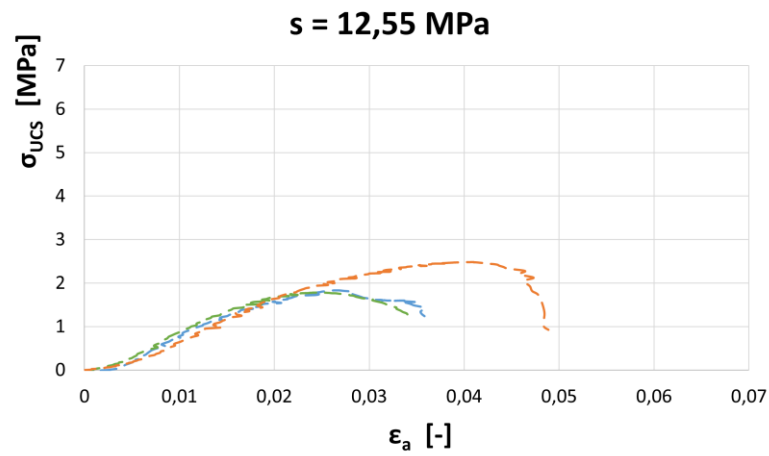
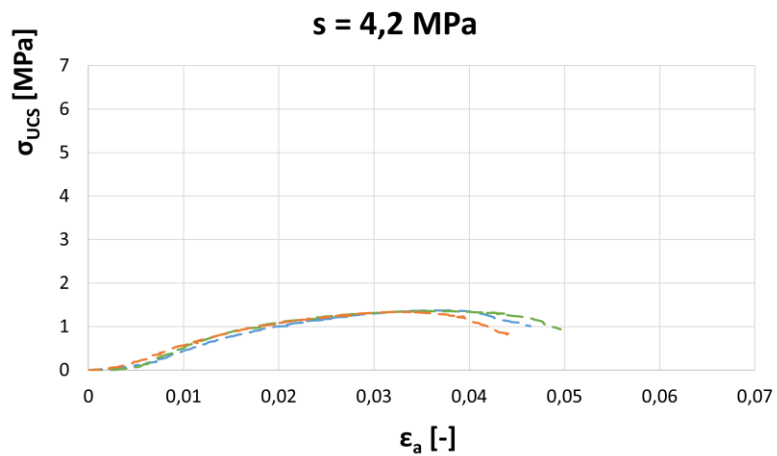


Essais de cisaillement direct



	I_p [%]	c_{Max} [kPa]	ϕ_{Max} [°]	c_{Res} [kPa]	ϕ_{Res} [°]
Soignies	17,75	15,8	24	5	24,9
Kruibeke	26,41	13,6	21,6	13,9	15,5
Tournai	98,33	30,6	10,2	17,9	10,5

Essais de compression simple



Soignies

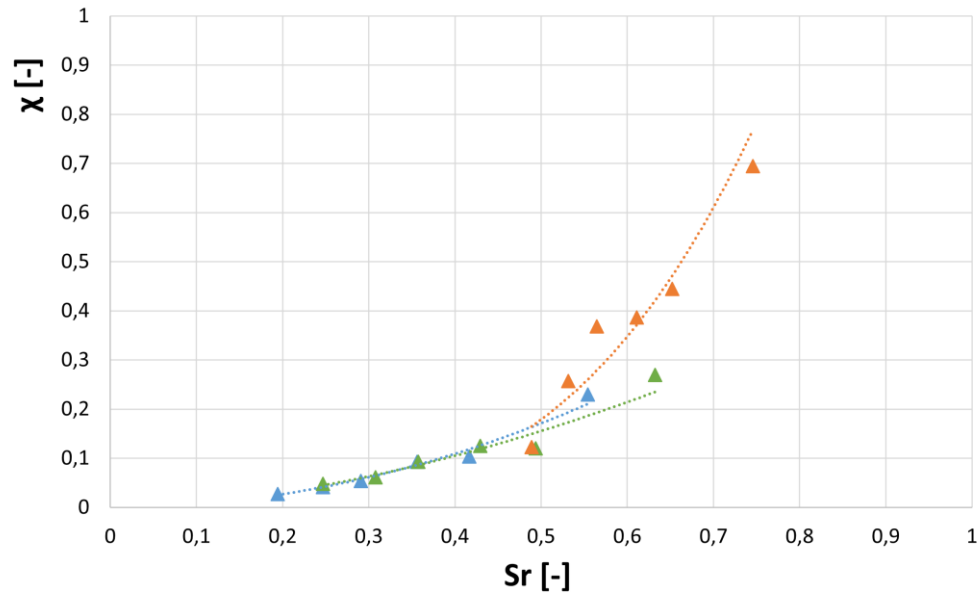
Kruibeke

Tournai

$$\sigma_{UCS} = f(s) \quad \text{et} \quad E = f(s)$$

Calibration du paramètre α

$$\chi = (S_r)^\alpha$$

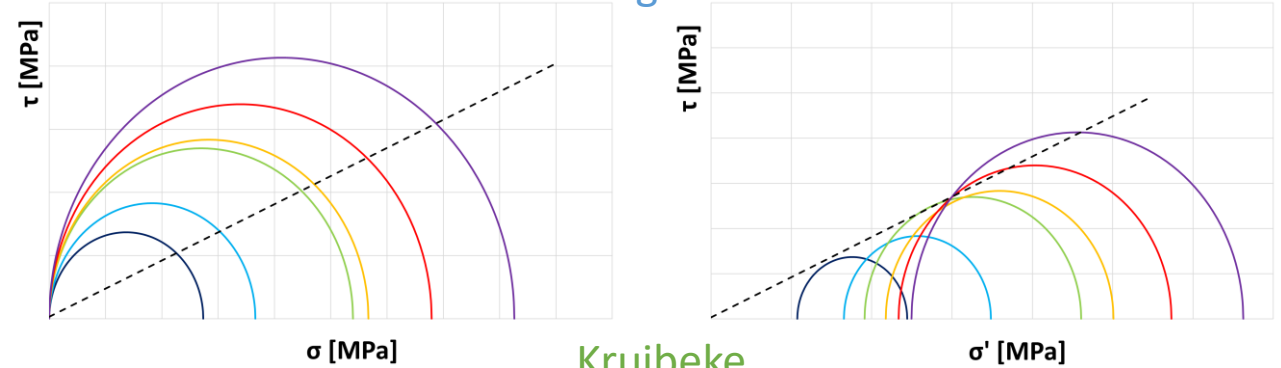


$$\alpha_{\text{Soignies}} = 2,31$$

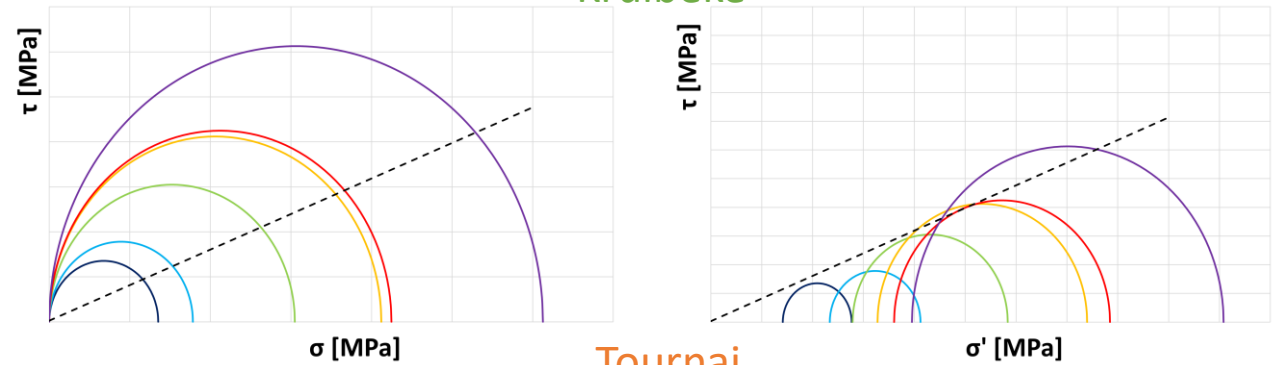
$$\alpha_{\text{Kruibeke}} = 2,38$$

$$\alpha_{\text{Tournai}} = 2,2$$

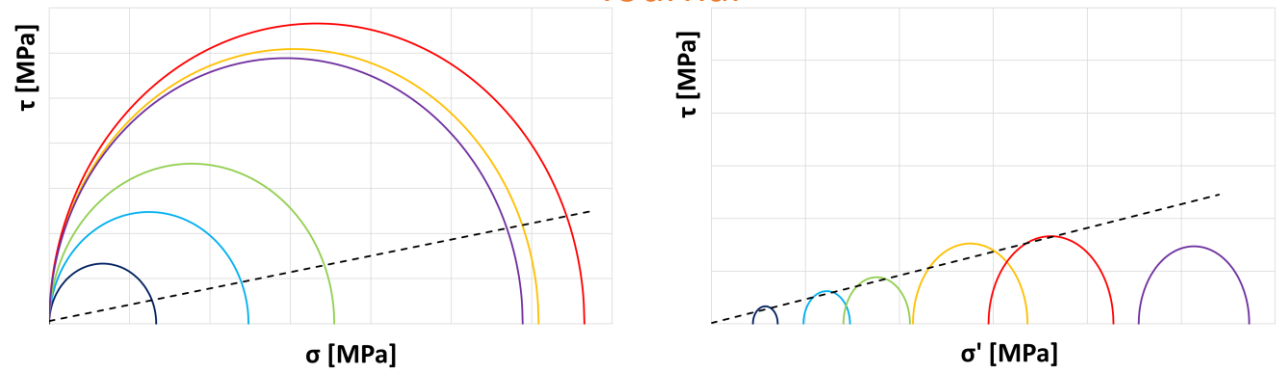
Soignies



Kruibeke




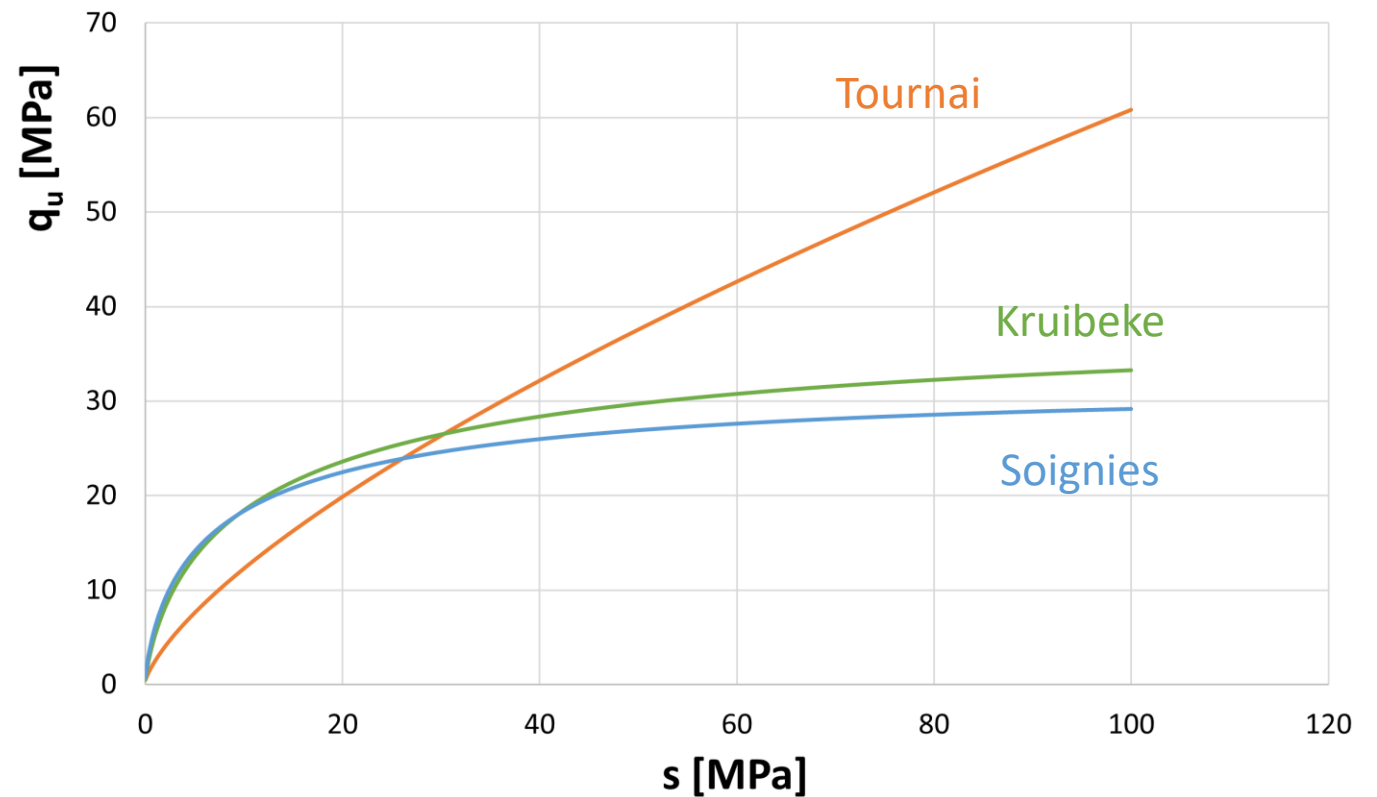
Tournai



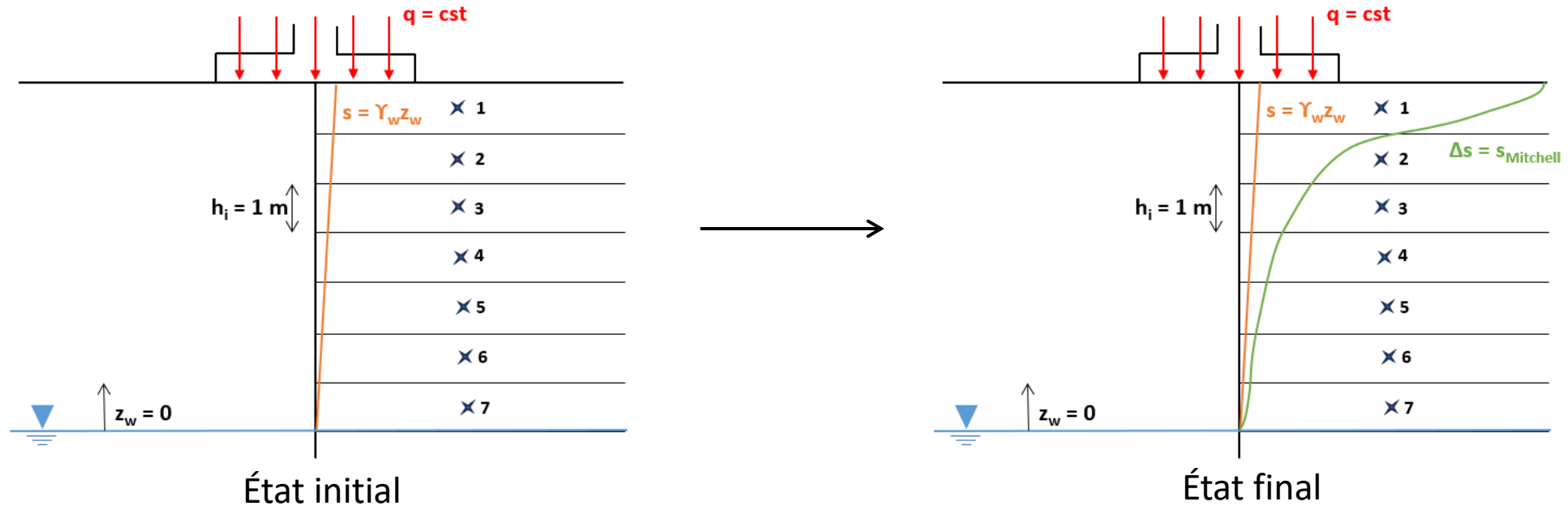
Fondation superficielle : capacité portante

$$q_u = \underbrace{d_q \cdot s_q \cdot (\gamma \cdot D + s_r^\alpha \cdot s)}_1 \cdot N_q + \underbrace{d_c \cdot s_c \cdot c \cdot N_c}_2 + \underbrace{\frac{1}{2} d_\gamma \cdot s_\gamma \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma}_3$$

-  Terme de surcharge
-  Terme de cohésion
-  Terme de surface
-  Effet du séchage



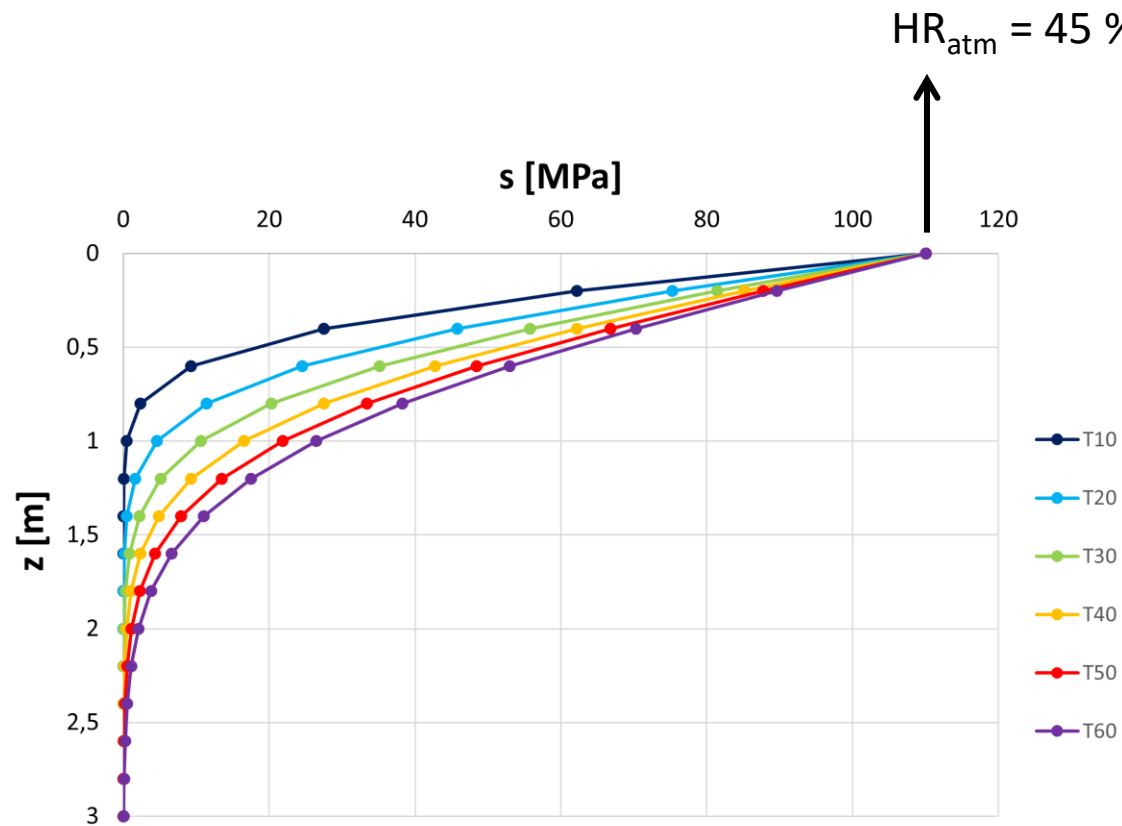
Fondation superficielle : tassement



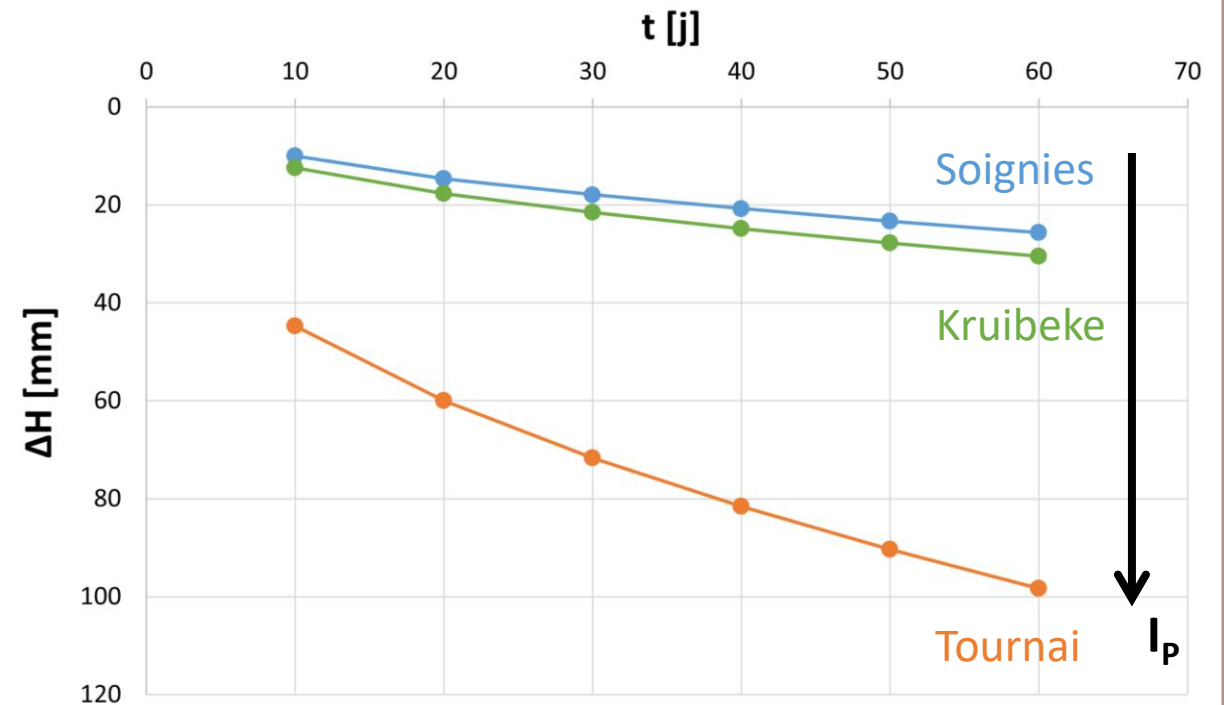
Profil de succion : équation de Mitchell

$$s = s_0 + (s_f - s_0) \left(1 - \text{erf} \left(\frac{z}{2\sqrt{\alpha_d \cdot t}} \right) \right)$$

Fondation superficielle : tassement



Profil de succion



Tassement

Conclusion

- Étude de l'effet du niveau de succion ou du degré de sécheresse sur les sols argileux
- Le sol le plus plastique est celui qui possède
 - une meilleure capacité de rétention d'eau
 - une plus grande déformation volumique
 - une cohésion plus grande mais un angle de frottement plus bas
 - une meilleure résistance à la compression simple
- Par rapport aux comportements des fondations superficielles, on retient :
 - une meilleure capacité portante
 - un tassement plus important



**Merci pour votre
attention !**