



NOUVELLE APPROCHE D'ANALYSE DE LA CONSOLIDATION UNIDIMENSIONNELLE DES SOLS ARGILEUX

**Par M. Mohamed
AYEB**

PLAN DE L'EXPOSÉ

- Introduction
- Théorie de la consolidation 1-D
- Limites de l'approche usuelle
- Nouvelle approche : modèle hyperbolique

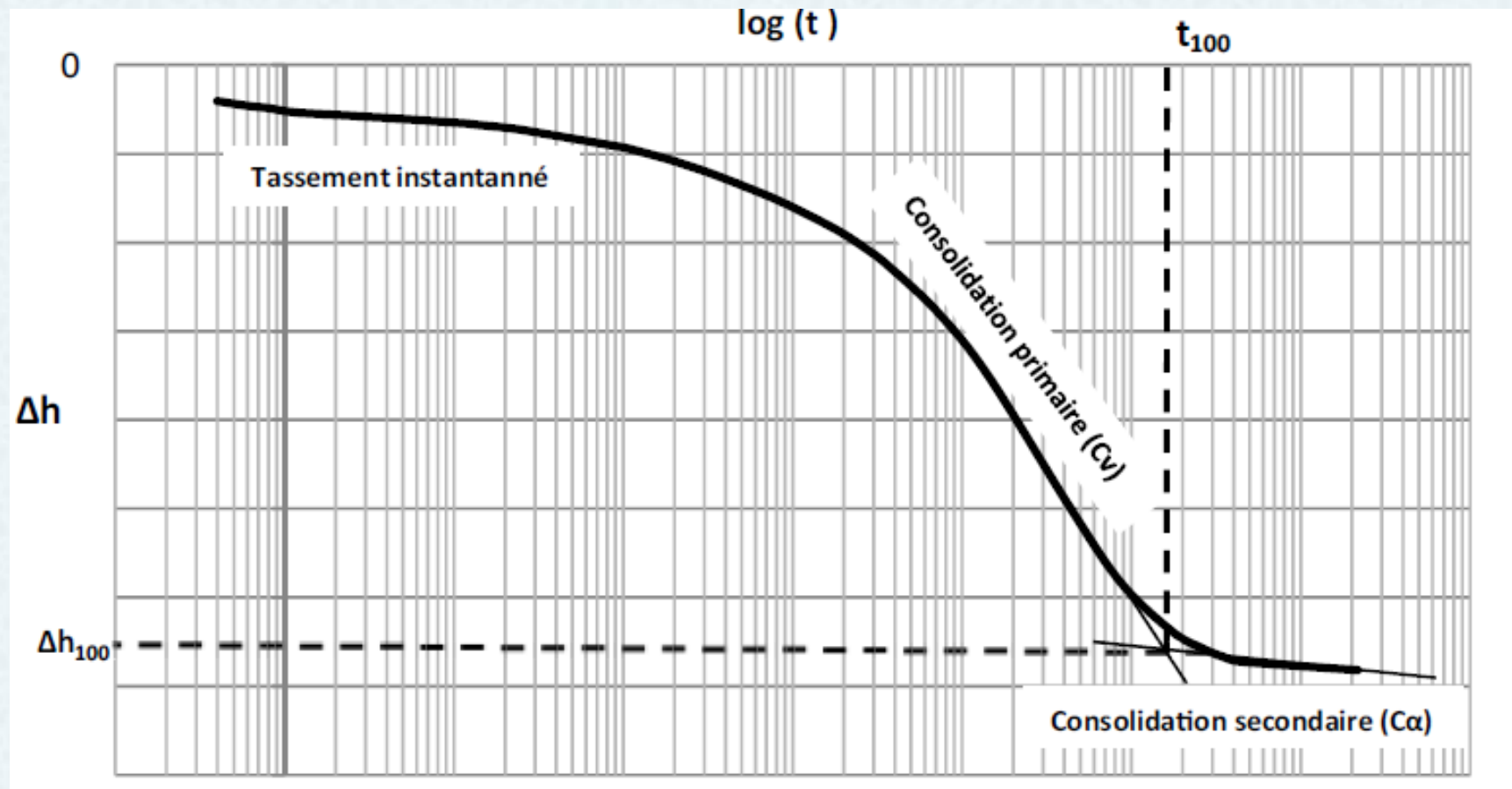
Introduction

- Contexte : projet de construction de la LGV – TOARC 0
- Lithologie : alternance vases compressibles et sables surmontant des marnes/pélites ;
- Compilation des résultats des essais :
 - Compressibilité : e_0 , C_s , σ'_p , C_c , C_v et C_α
 - Mécaniques : C_u , ϕ_u , C' , ϕ'
 - *In situ* pressiométriques : P_f^* , P_l^* , et E_M

- Traitement du sol compressible :
 - Purge totale et substitution ;
 - Purge partielle, substitution et préchargement ;
 - Préchargement et drains verticaux ;
 - Inclusions rigides.
- Solution optimale :
 - Respect des contraintes :
 - Remblai courant : $S(25 \text{ ans}) < 10 \text{ cm}$ et $S(1 \text{ an}) < 1 \text{ cm}$;
 - Bloc technique et ouvrage rigide : $S(25 \text{ ans}) < 2 \text{ cm}$.
 - Economie : Coûts et durée des travaux.

Théorie de la consolidation – 1D

Théorie de la consolidation 1 - D



Théorie de la consolidation 1 - D

- Consolidation primaire, Terzaghi (1923) : Dissipation de la surpression interstitielle;
- Equation type de la diffusion de la chaleur :

$$\frac{\partial(\Delta u_{(z,t)})}{\partial t} = c_v \cdot \frac{\partial^2(\Delta u_{(z,t)})}{\partial z^2}$$

avec $C_v = \frac{E_{oed} \cdot K}{\gamma_w}$ (déterminé par les méthodes graphiques de Casagrande ou Taylor)

- La résolution fait intervenir :
 - $U(t) = \frac{\Delta h(t)}{\Delta h_{100}}$ = taux de consolidation ;
 - $T_v = \frac{C_v \cdot t}{H^2}$ où H est la longueur de drainage ;
 - $U(t) = f(T_v)$ tabulé.

- Consolidation secondaire, Buismanet Koppejan (1948) :

$$\Delta h_{secondaire}(t > t_{100}) = h_0 * C_\alpha * \log\left(\frac{t}{t_{100}}\right)$$

Avec C_α coefficient de fluage.

- Origines supposées : Réarrangement des grains, libération localisées des contraintes dans la masse du sol, déformation visco-plastique, etc.

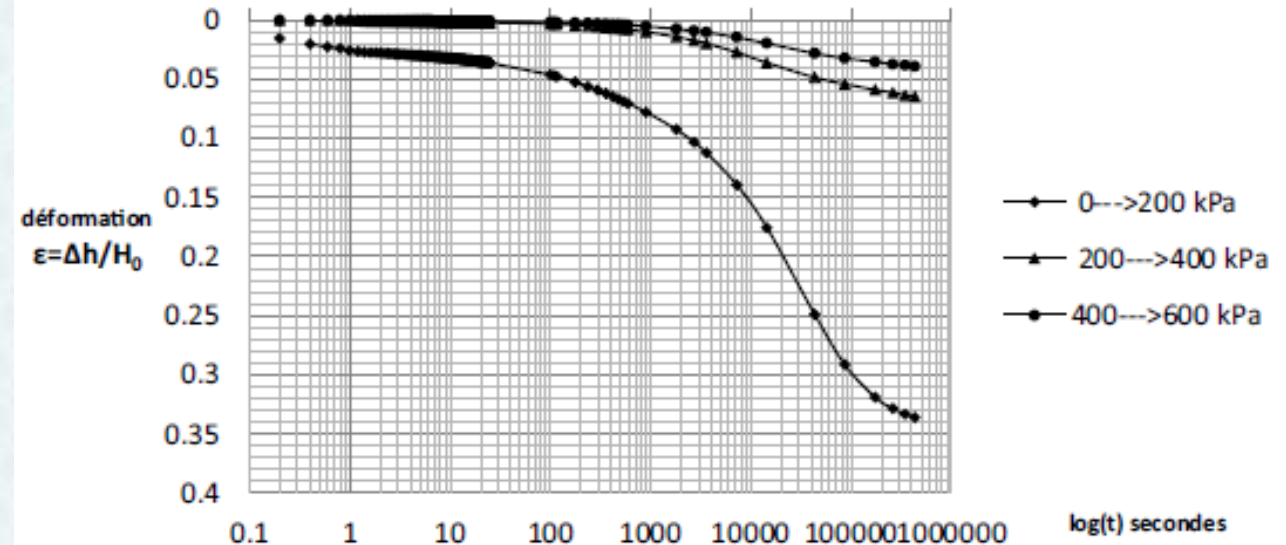
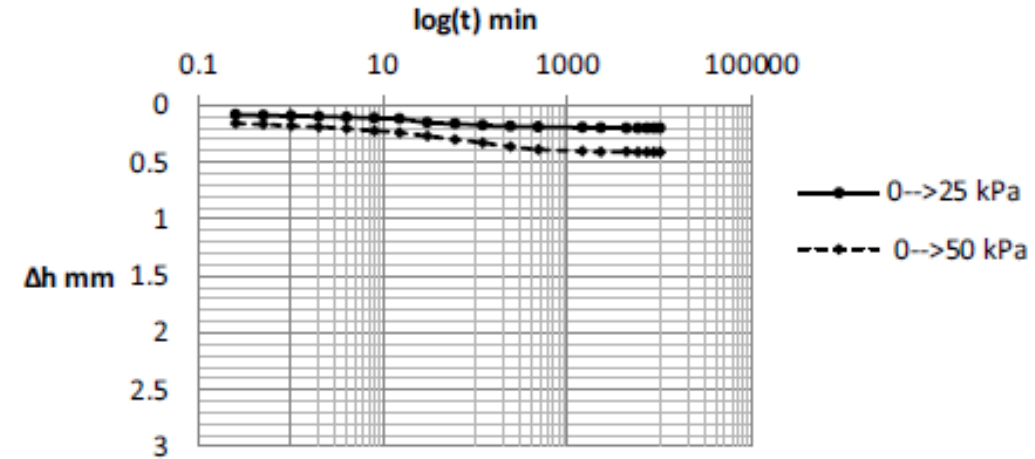
Limites de l'approche segmentée usuelle

Limites de l'approche segmentée usuelle

- Calcul du C_v dans le domaine surconsolidé :

- Formule empirique :

$$\frac{C_{v,sc}}{C_{v,nc}} = \frac{C_c}{C_s}$$

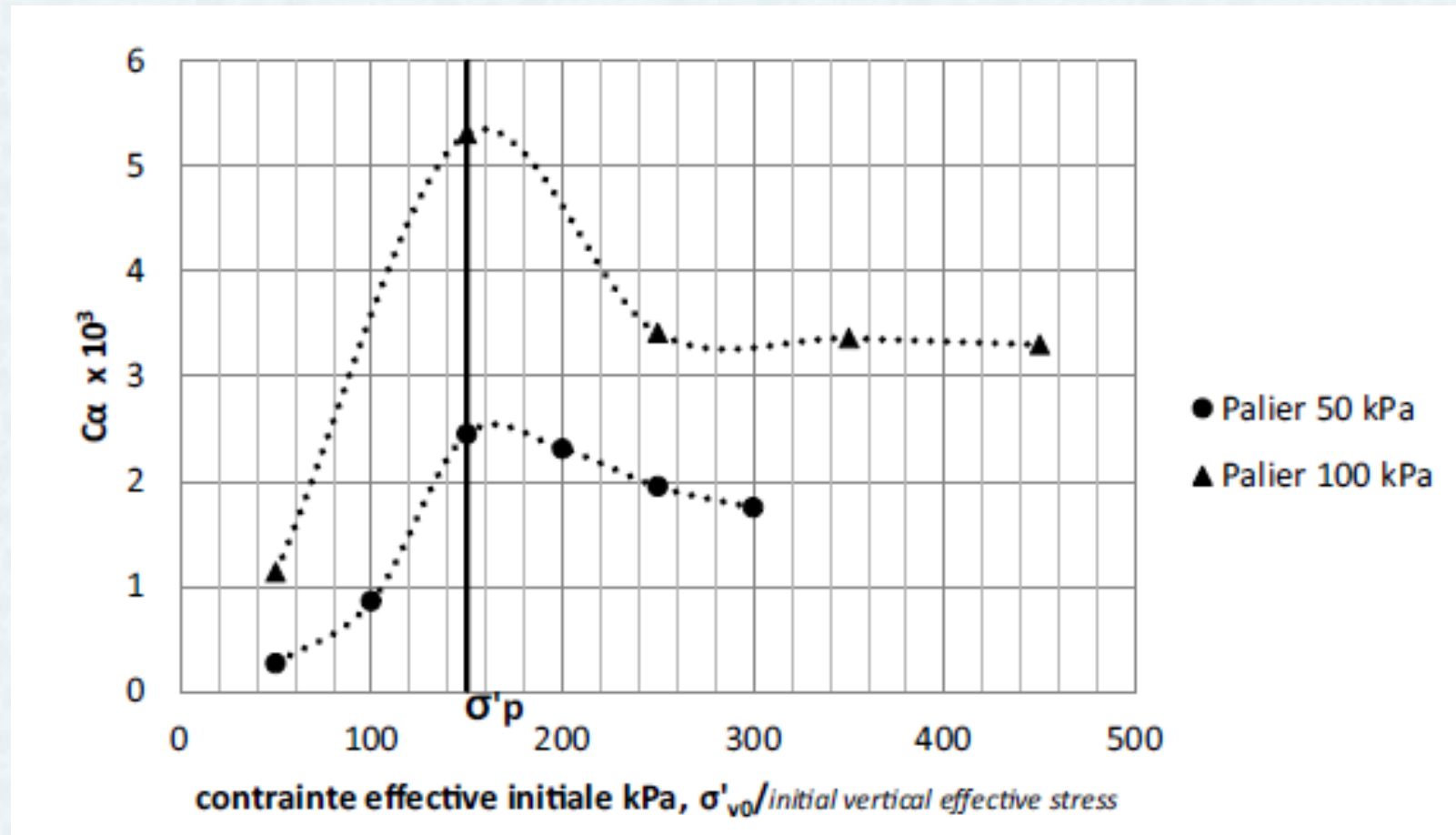


Limites de l'approche segmentée usuelle

- C_v dépend du palier :
 - Essais sur Ghassoul :
 - 0 à 15kPa : $C_v = 9.5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$;
 - 50 à 150 kPa : $C_v = 2.9 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$;
- C_v dépend du chemin hydraulique (ou longueur de drainage):
 - Essais sur vase, palier 0 à 100 kPa (5 jours) :
 - Drainage unilatéral : $C_v = 7.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$
 - Drainage bi-latéral : $C_v = 1.1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

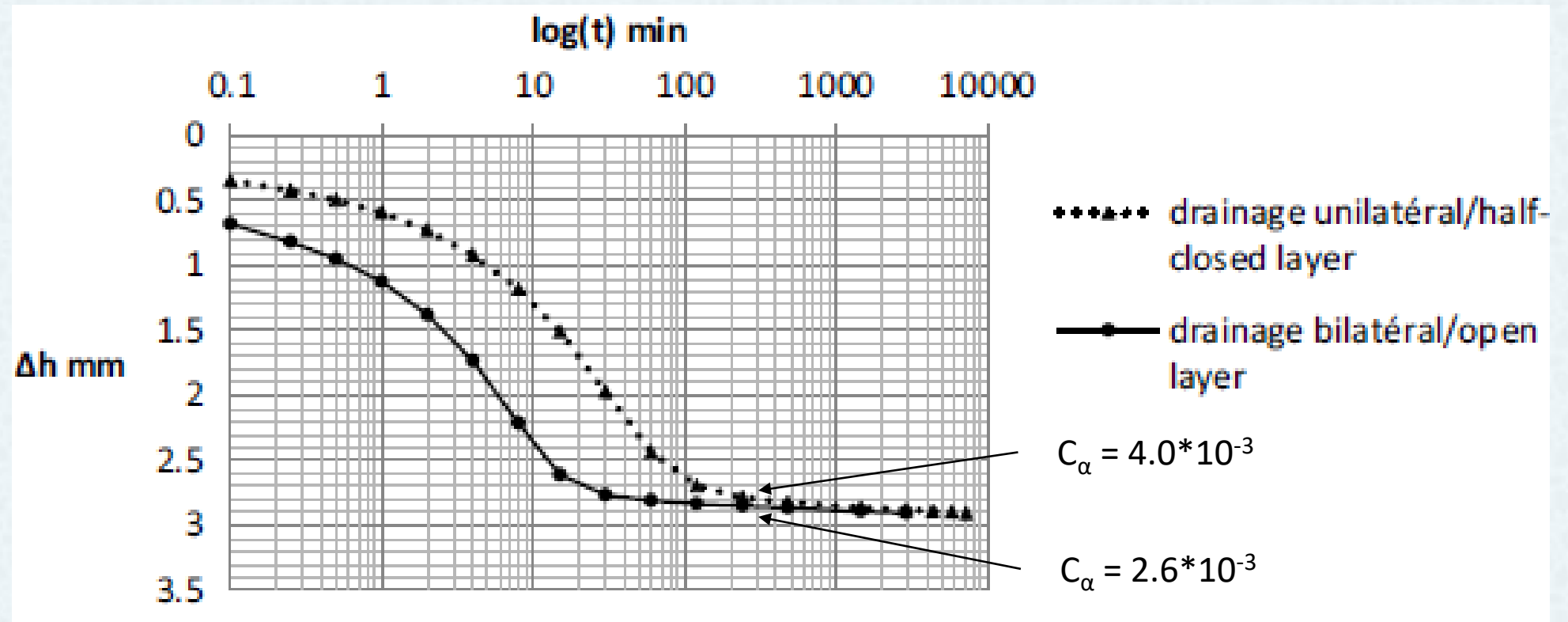
Limites de l'approche segmentée usuelle

- C_α dépend du palier et de σ'_{v0} (essais vase) :



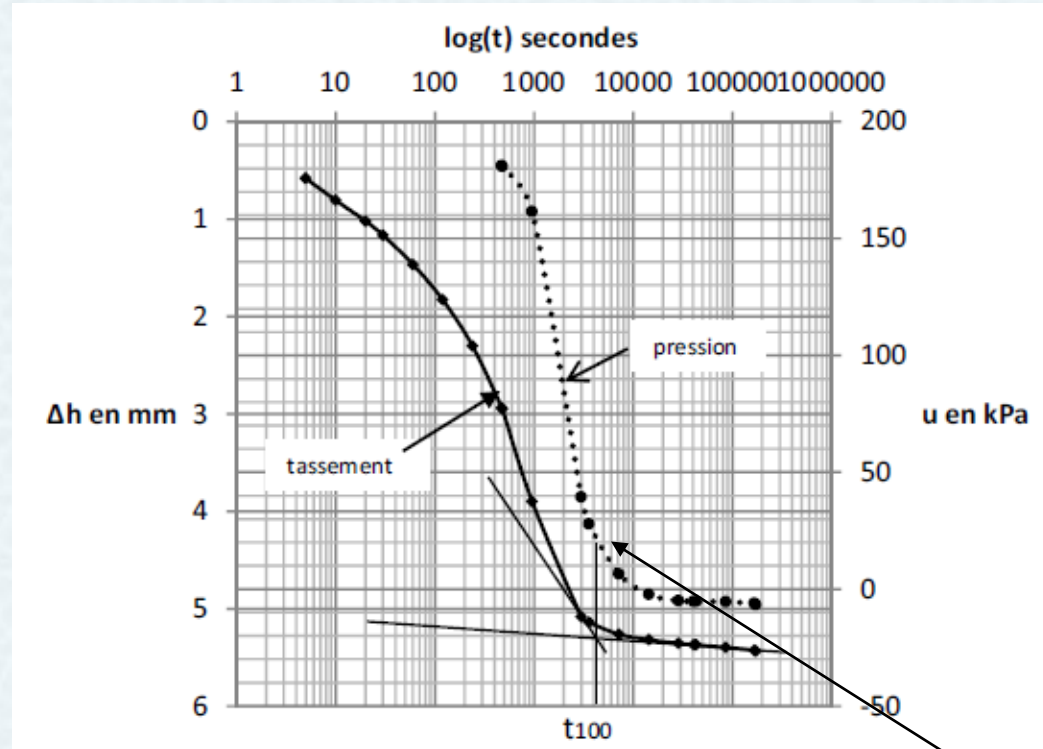
Limites de l'approche segmentée usuelle

- C_α dépend du chemin hydraulique

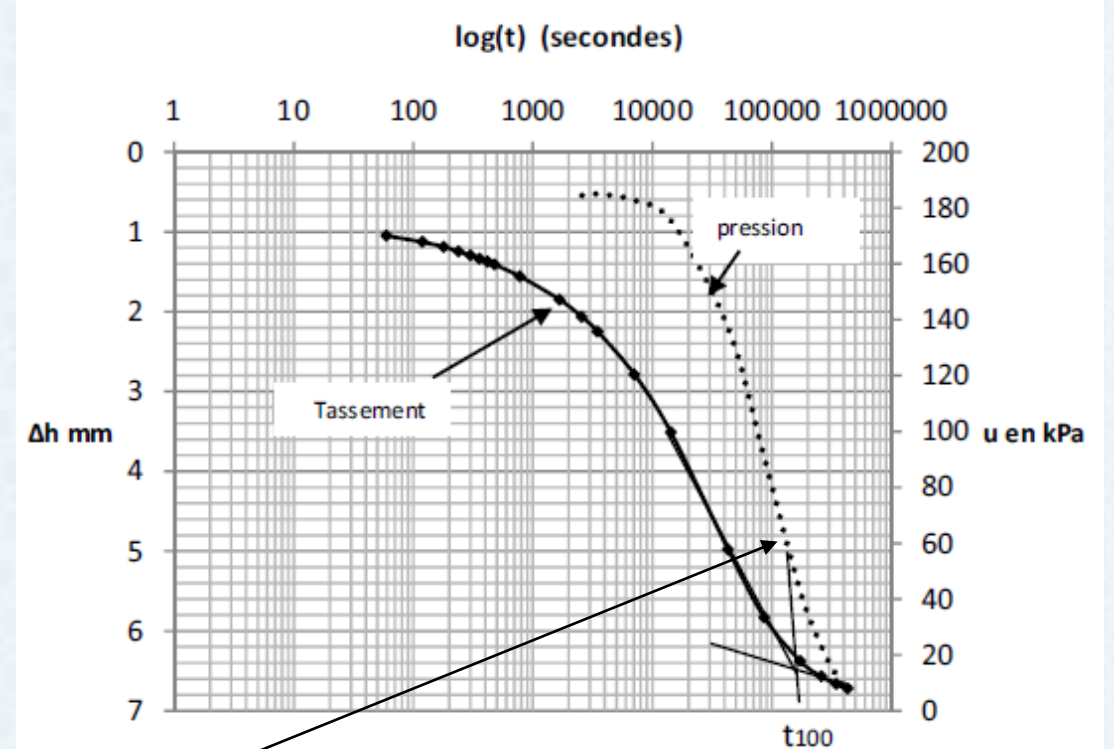


Limites de l'approche segmentée usuelle

- Mesures de la pression interstitielle $u(t)$:



Vase



Ghassoul

$$u(t_{100}) \neq 0 !$$

Limites de l'approche segmentée usuelle

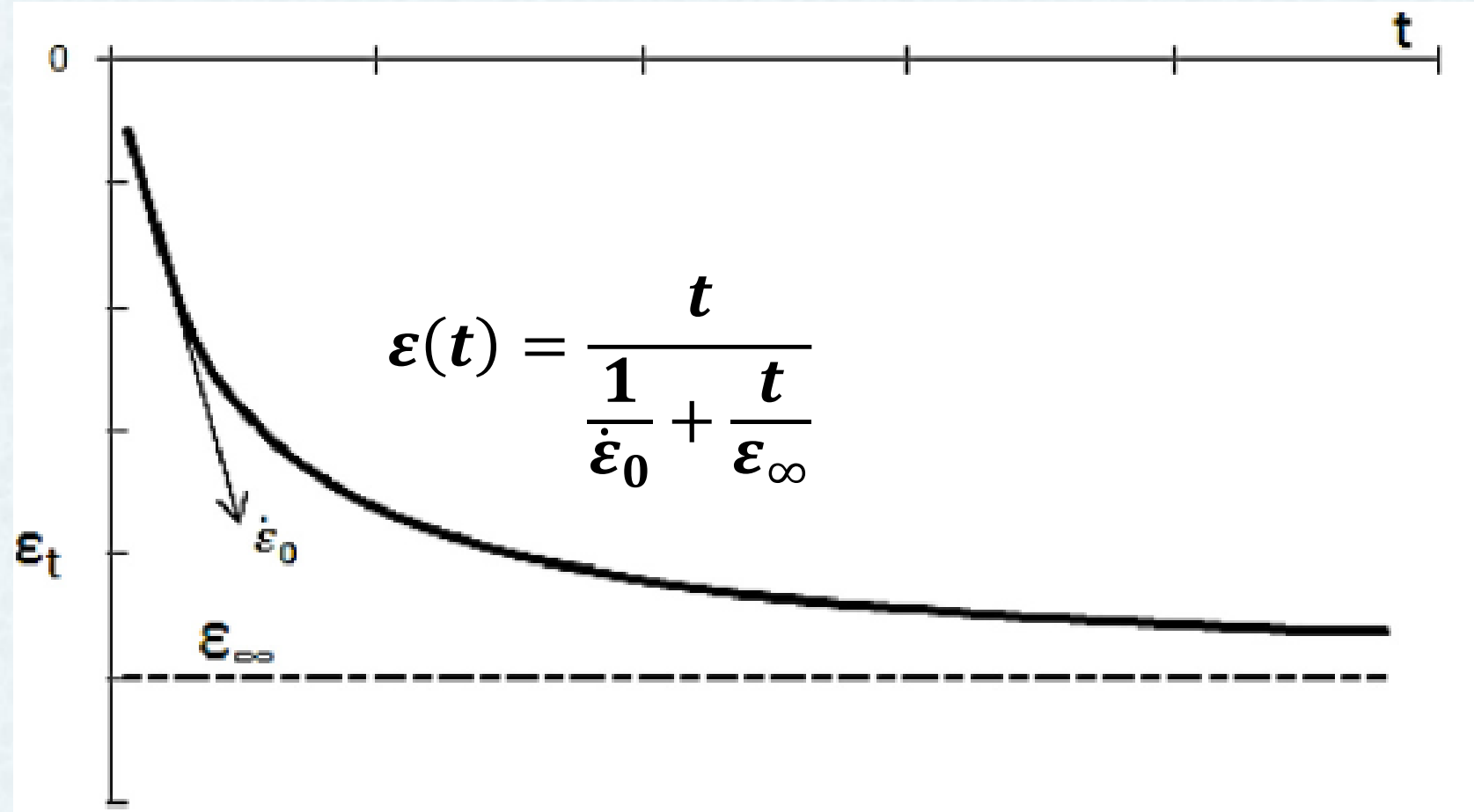
- Dépendance des paramètres C_v et C_α de :
 - Palier $\Delta\sigma$;
 - Chemin hydraulique.
- C_α dépend en plus de σ'_{v0}
- $\Delta u(t_{100}) \neq 0$
- Pas de drainage => pas de tassement (primaire et secondaire)

Le processus de consolidation dans sa globalité relève de la dynamique hydraulique

Nouvelle approche de la consolidation

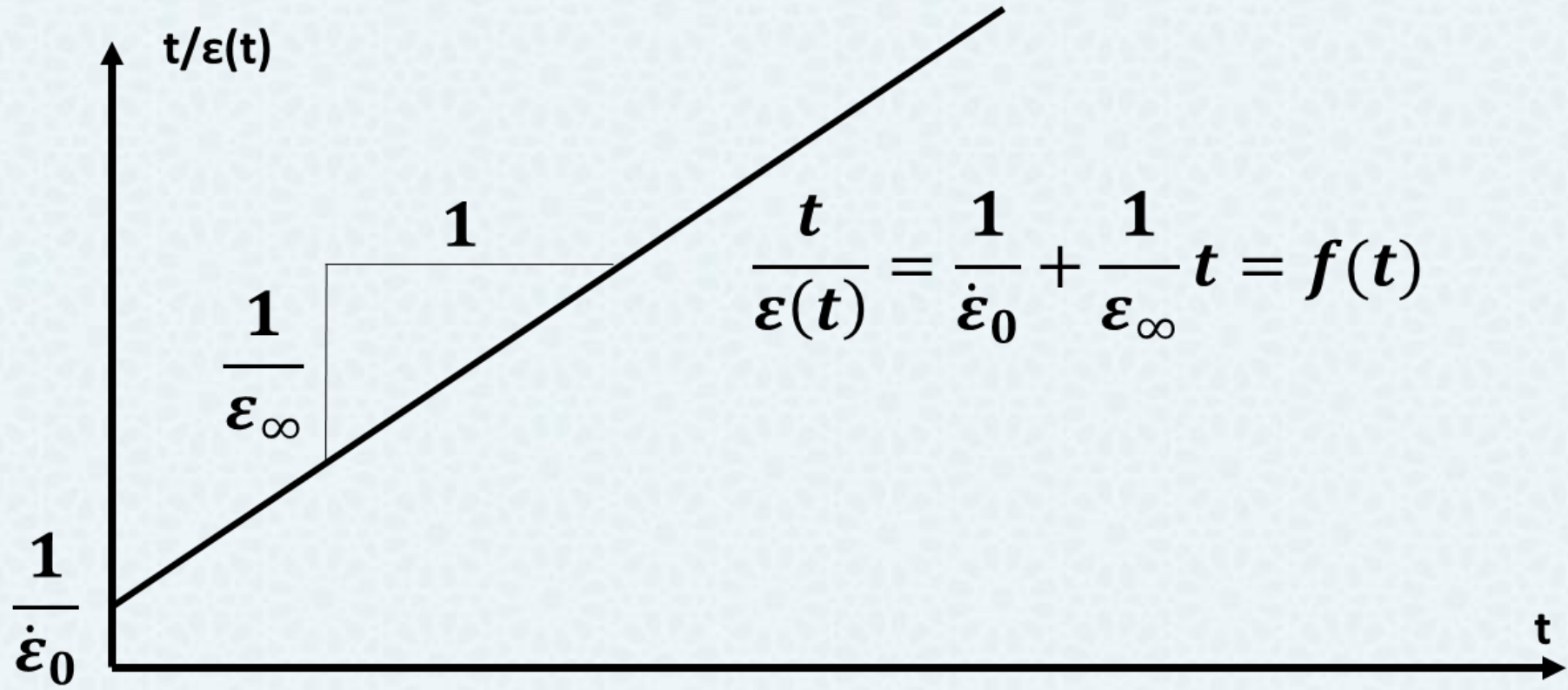
Nouvelle approche de la consolidation

- Modèle hyperbolique :



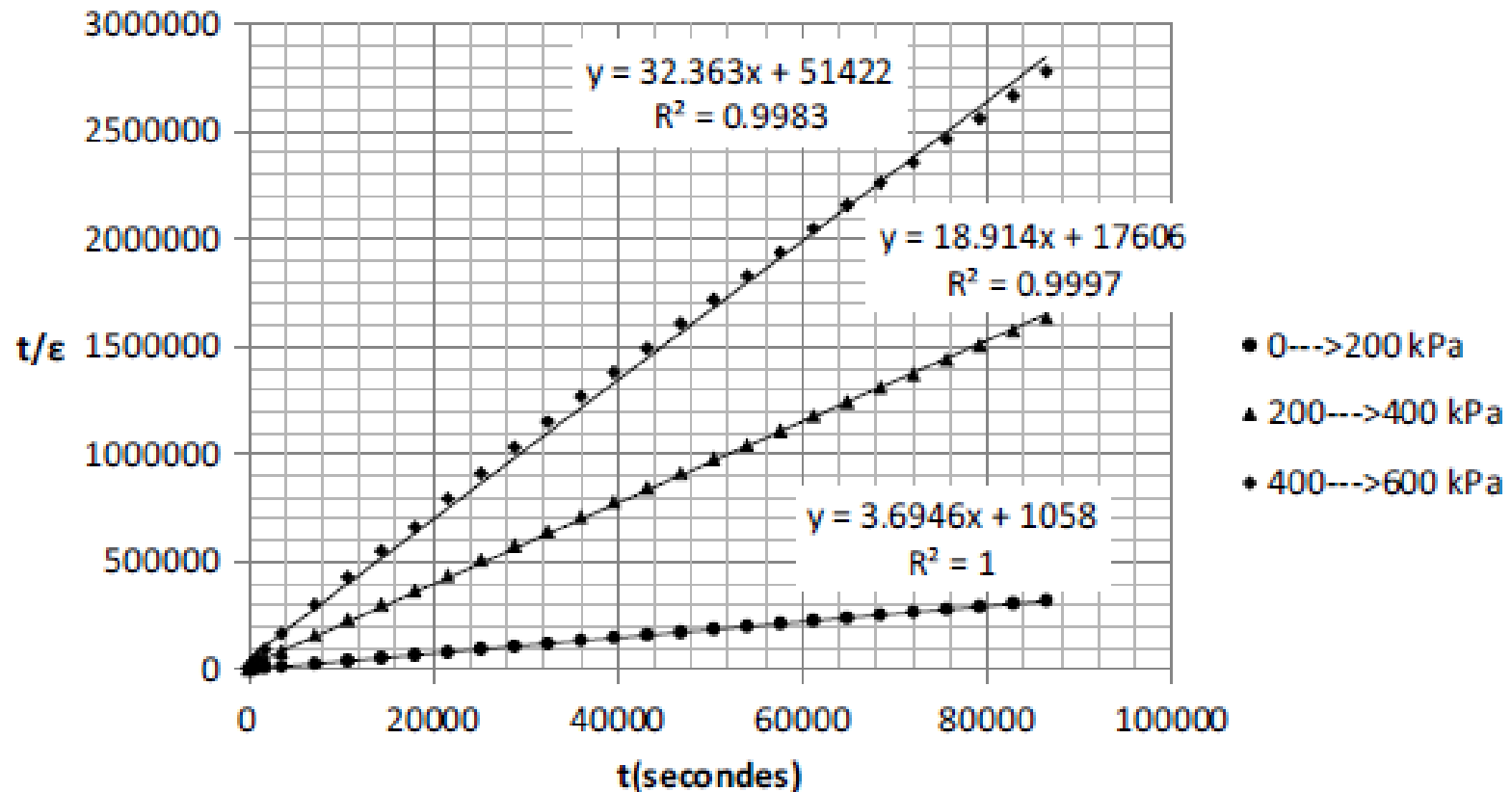
Nouvelle approche de la consolidation

- Modèle hyperbolique : représentation linéaire



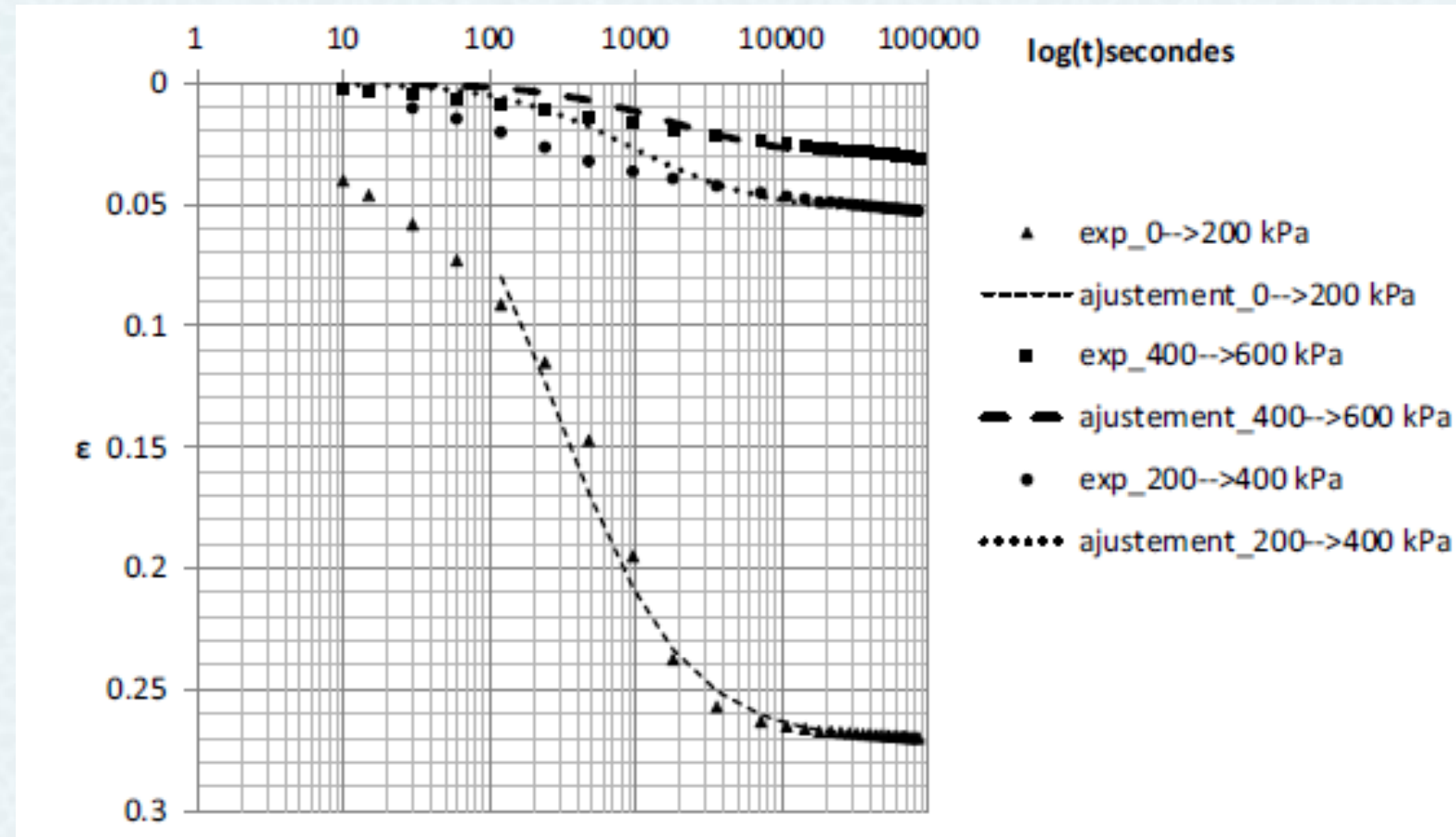
Nouvelle approche de la consolidation

- Exemple : Vase (essai œdométrique)



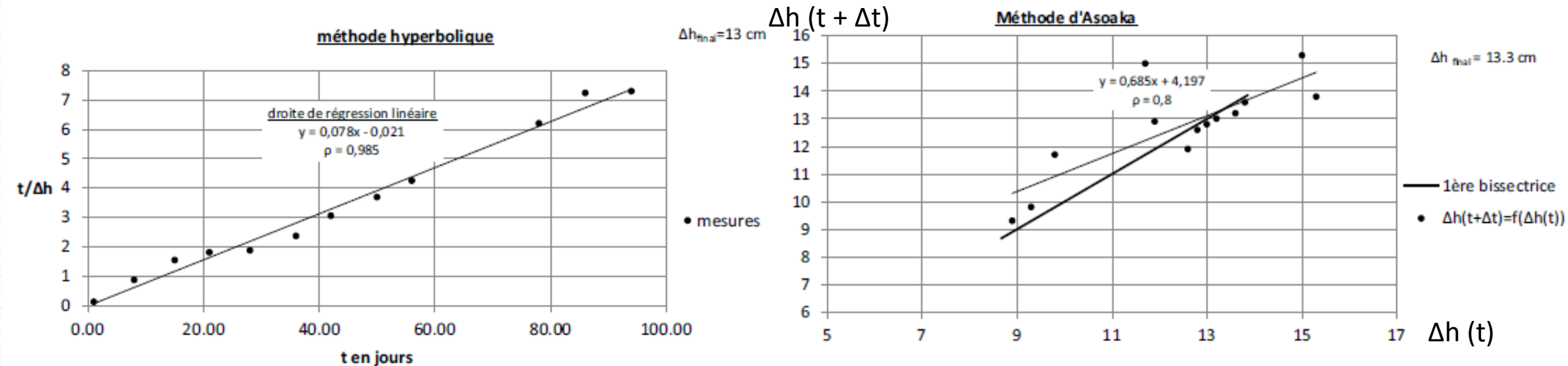
Nouvelle approche de la consolidation

- Exemple : Ajustement expérimental pour la vase (essai œdométrique)



Nouvelle approche de la consolidation

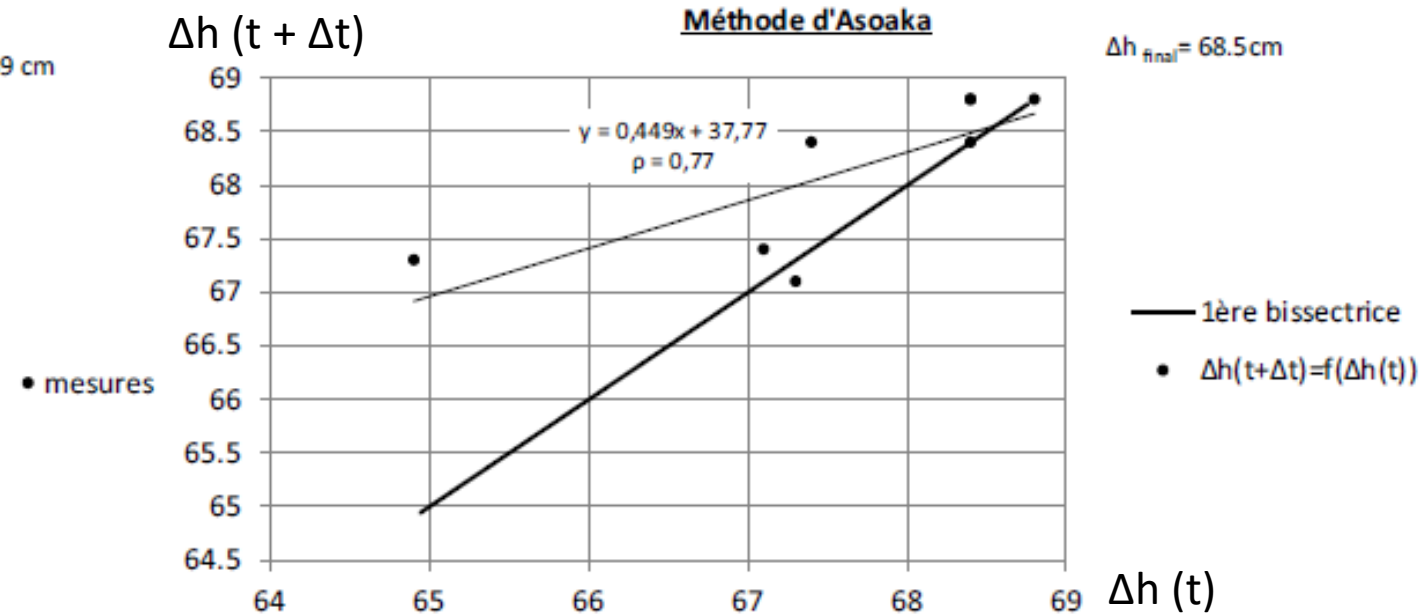
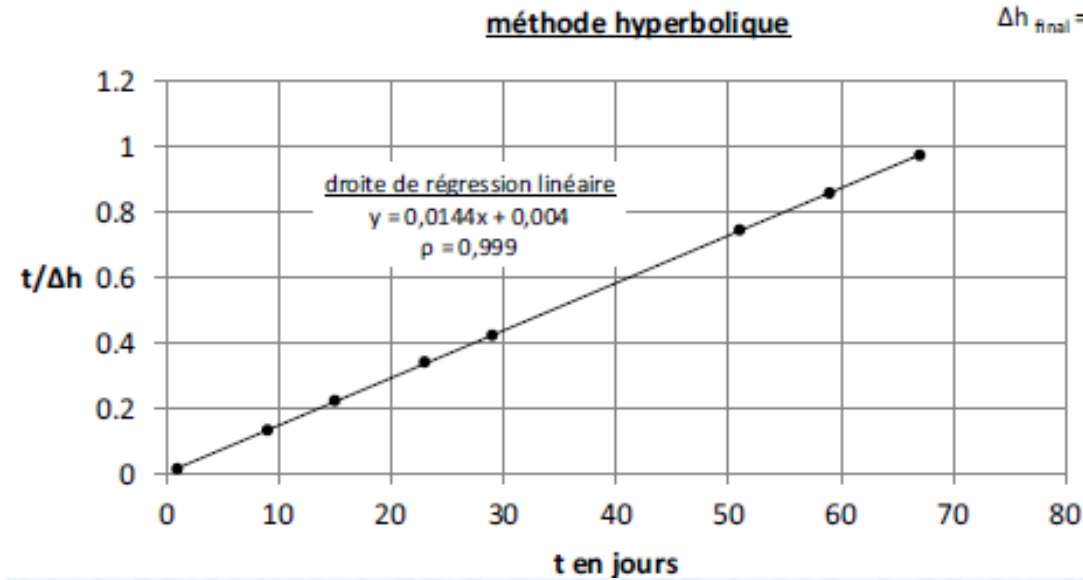
- Exemple : Estimation des tassements finaux sous remblai de la deuxième rocade urbaine Rabat – Salé



Remblai 1

Nouvelle approche de la consolidation

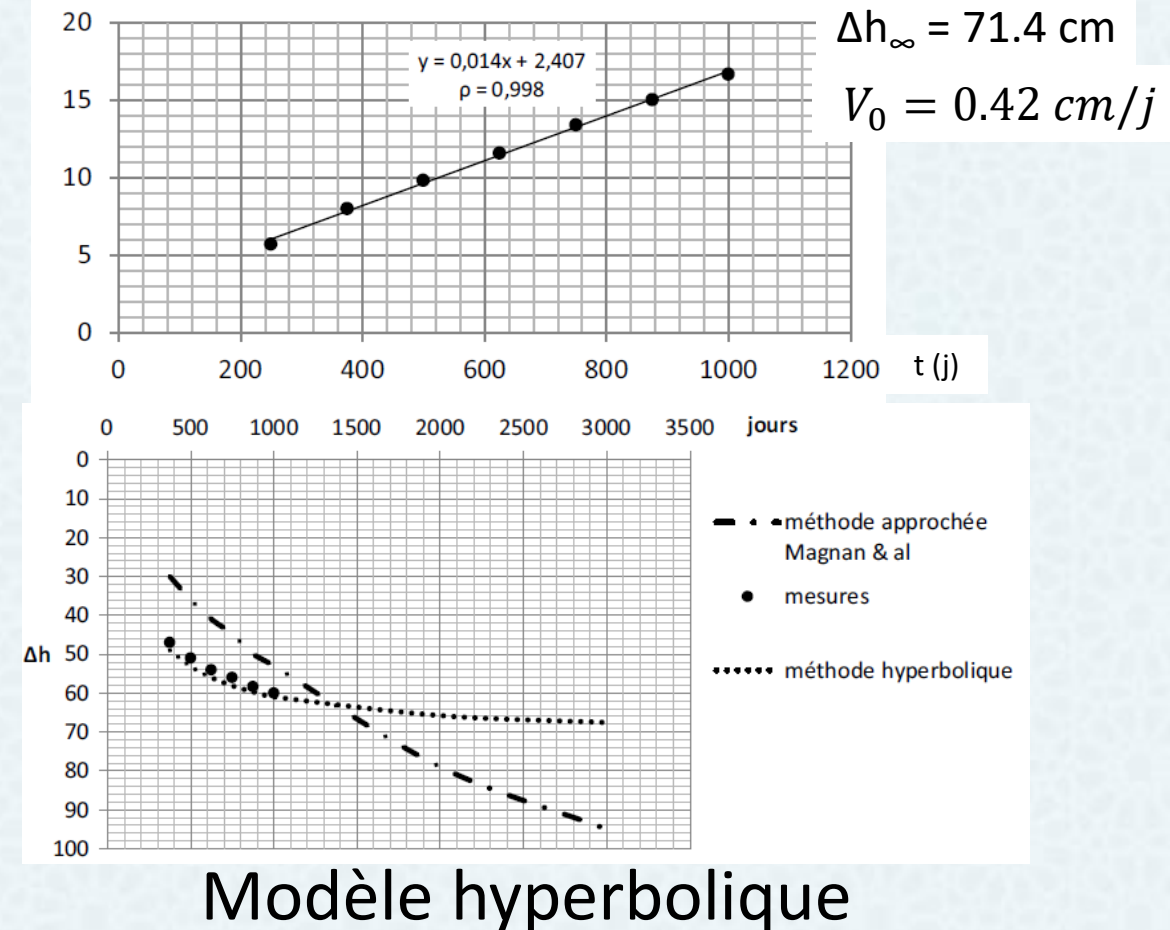
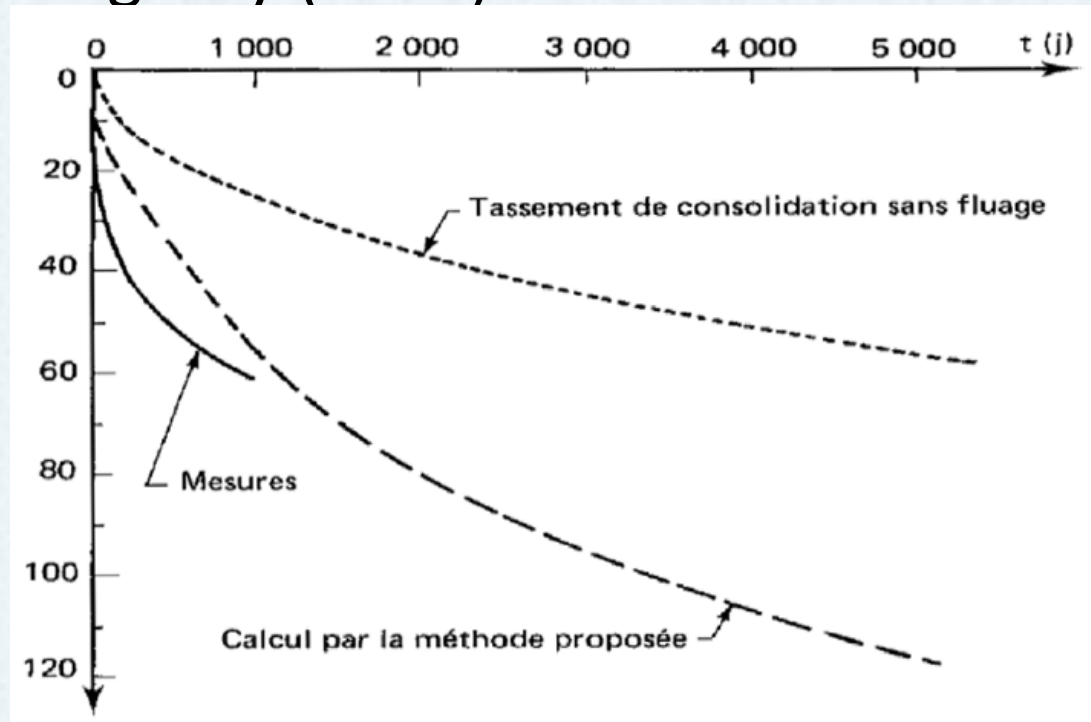
- Estimation des tassements finaux sous remblai de la deuxième rocade urbaine Rabat – Salé



Remblai 2

Nouvelle approche de la consolidation

- Application sur le site de Cubzac-les-Ponts (remblai B) d'après Magnan et Baghery (1981)



Nouvelle approche de la consolidation

- Méthode pour estimer C_v :
 - Détermination expérimentale de la loi hyperbolique $\varepsilon = f(t)$ (essai œdométrique)
 - Déduction de t_{50} : $\varepsilon(t_{50}) = \frac{\varepsilon_{\infty}}{2}$ soit $t_{50} = \frac{\varepsilon_{\infty}}{\dot{\varepsilon}_0}$
 - Déduction de C_v : $C_v = \frac{0.197 \cdot h^2}{t_{50}}$

Méthode	c_v (m ² /s)	
	Drainage unilatéral	Drainage bilatéral
Casagrande	$7,49 \cdot 10^{-8}$	$1,11 \cdot 10^{-7}$
Hyperbolique	$8,74 \cdot 10^{-8}$	$1,14 \cdot 10^{-7}$

Conclusions

Conclusions

- Dimension hydraulique de la consolidation dans sa globalité (phases primaire et secondaire) ;
- La courbe $e = f(t)$ montre deux régimes d'écoulement :
 - Rapide ;
 - Lent ;
- Loi hyperbolique pour modéliser les déformations en fonction du temps ;
- Application aux cas pratiques : concordance ;
- Loi hyperbolique : méthode simple pour déterminer C_v et estimer les tassements.

Merci pour votre attention

Annexes

Matériaux utilisés dans l'étude

- Vase du canal de rocade d'Al Haouz
- Le ghassoul: argile cosmétique

Paramètre	Vase	Ghassoul
WL (%)	48	137
WP (%)	34	54
IP (%)	14	83
Fraction argileuse (%<2µm)	44	30
Coefficient d'activité argileuse IP/%<2µm	0.32	2.77
Classe de Skempton	Inactif	Très actif

Matériels utilisés dans l'étude

- Matériel utilisé: deux oedomètres:
- 1^{er} oedomètre de type classique: drainé des deux faces avec une longueur du chemin hydraulique de 1cm
- 2nd oedomètre est drainé uniquement de la face supérieure. La face inférieure est munie d'un capteur de mesure de la pression interstitielle. Le chemin hydraulique est de 2cm

- Références bibliographiques

- Asaoka A. (1978). Observational procedure of settlement prediction. *Soils and Foundations*, 18(4), 87-100.
- Baguelin F. (1999). La détermination des tassements finaux de consolidation : une alternative à la méthode d'Asaoka. *Revue Française de Géotechnique*, n°86, pp. 9-17.
- Bjerrum L. (1967). Seventh Rankine Lecture. Engineering geology of normally-consolidated marine clays as related to settlements of buildings. *Géotechnique*, 17(2), 82-118.

Matériels utilisés dans l'étude

- Magnan J.P., Baghery S. (1981). Une méthode approchée pour la prévision des vitesses de tassement des sols fins doués de fluage. *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 111, pp 87-91.
- Sridharan et al. (1987). Rectangular hyperbola method of consolidation analysis. *Geotechnique* 37,355-368.
- Philipponnat G. Hubert B. (2011). Fondations et ouvrages en terre. Eyrolles, Paris
- Taylor D.W. (1948). *Fundamentals of soil mechanics*. New-York, NY : John Wiley & Sons.

Matériels utilisés dans l'étude

- Taylor D.W., Merchant W. (1940). Theory of clays consolidation accounting for secondary compression. *Journal of Mathematics and Physics*, 19(3), 167-185.
- Terzaghi K. (1923) "*Die Berechnung der Durchlässigkeit des Tones aus dem Verlauf der hydrodynamischen Spannungserscheinungen*" Akademie der Wissenschaften, Wien, Sitzungsberichte, Math. Naturwiss. Klasse, part. li-a, vol. 132 (3/4), pp. 125 -138