

## **Comportement des sols sous solicitations cycliques**

Pierre-Yves Hicher

*Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique,  
Ecole Centrale de Nantes*

### **Plan de l'exposé**

Introduction

Essais drainés

Rotation des axes principaux

Essais non drainés

Modélisation

Conclusion

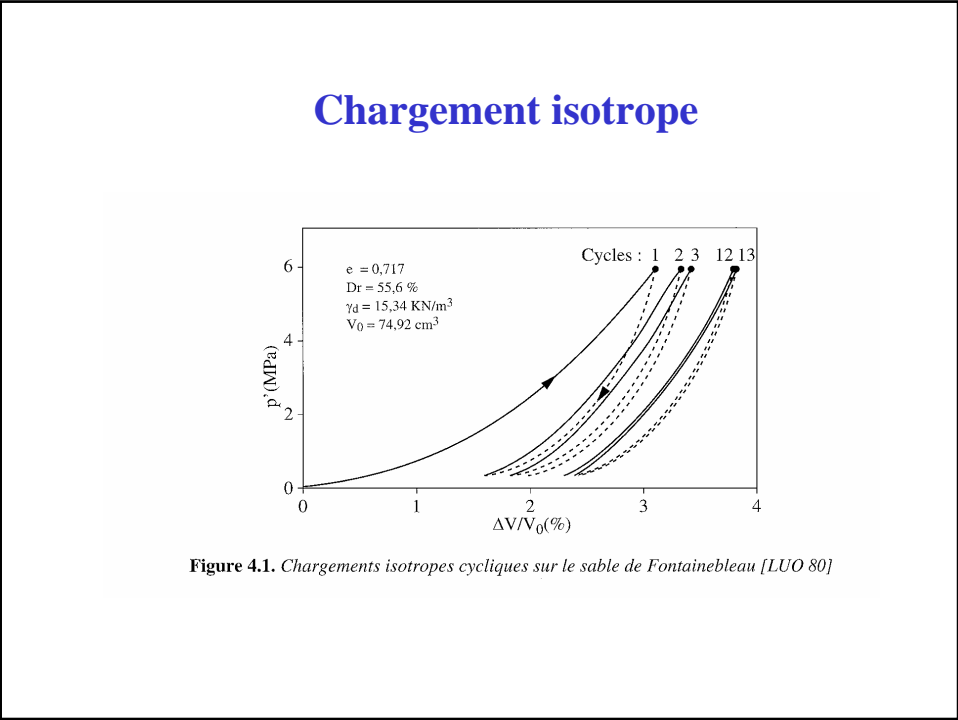
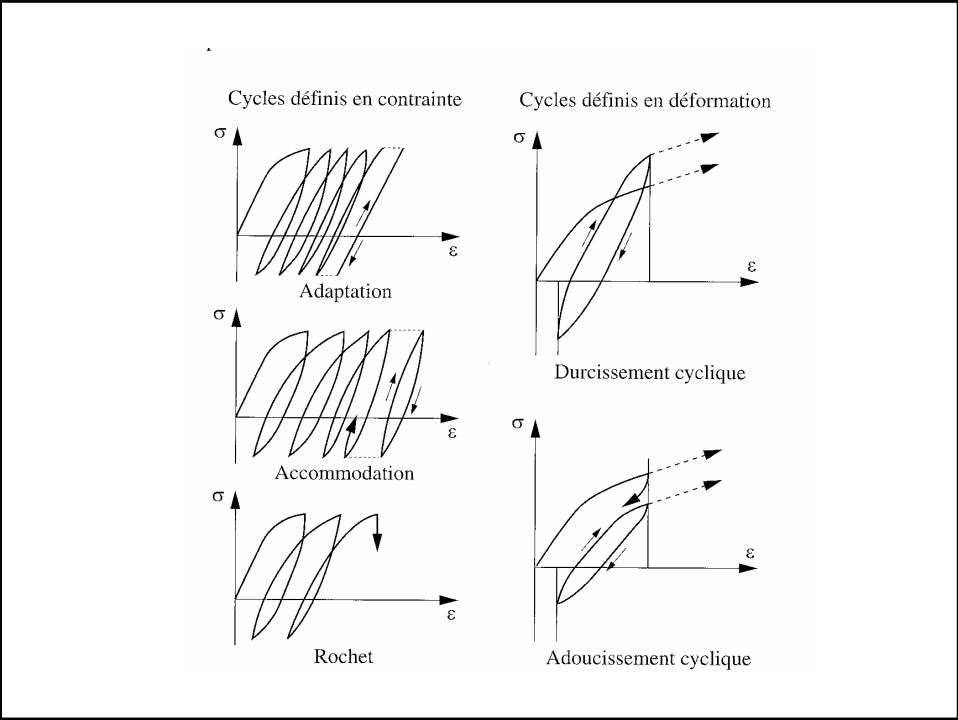


Figure 4.1. Chargements isotropes cycliques sur le sable de Fontainebleau [LUO 80]

## Chargement triaxial drainé

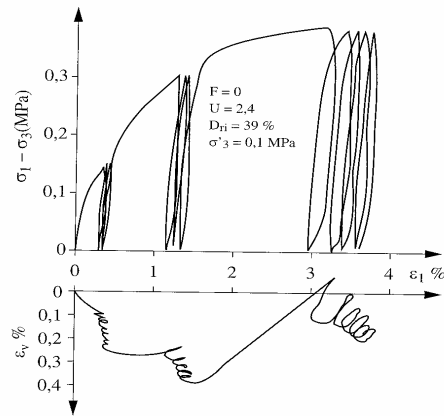


Figure 4.2. Essai triaxial répété sur le sable de Granville [FRA 79]

## Chargement triaxial drainé

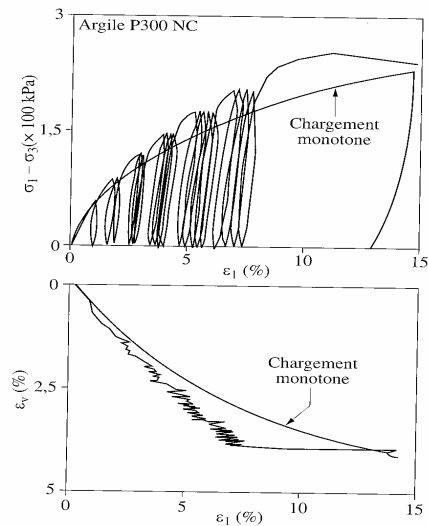
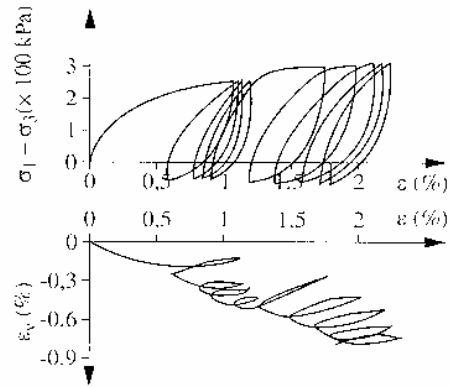


Figure 4.3. Essai triaxial répété sur une argile normalement consolidée [DOA 84]

## Chargement triaxial drainé



Essai triaxial alterné sur le sable de Granville

## Chargement triaxial drainé

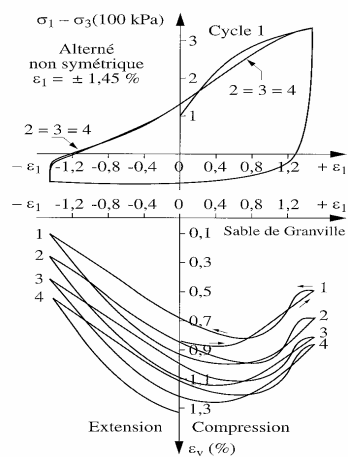


Figure 4.6. Essai triaxial alterné à amplitude déformation contrôlée [FRA 79]

## Chargement triaxial drainé

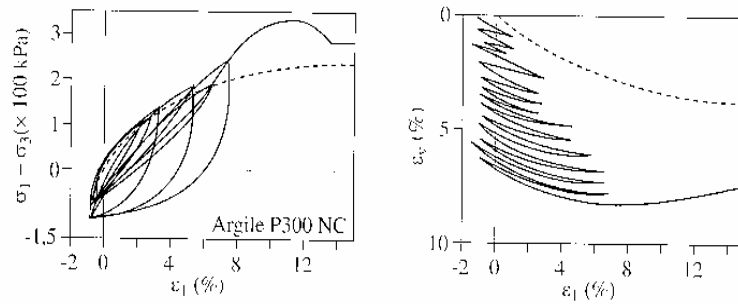


Figure 4.5. Essai triaxial alterné sur une argile normalement consolidée [DOA 84]

## Essais drainés avec rotation des axes principaux

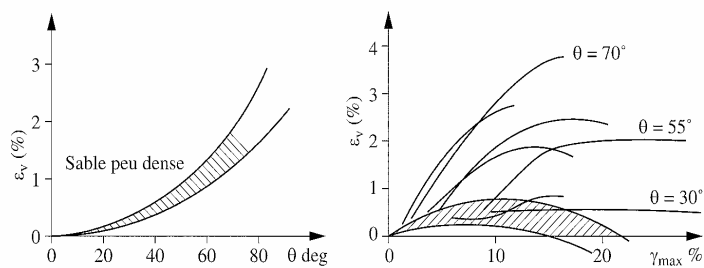


Figure 4.7. Variations de volume dues aux rotations cycliques des axes principaux [WON 86]

## Essais drainés avec rotation des axes principaux

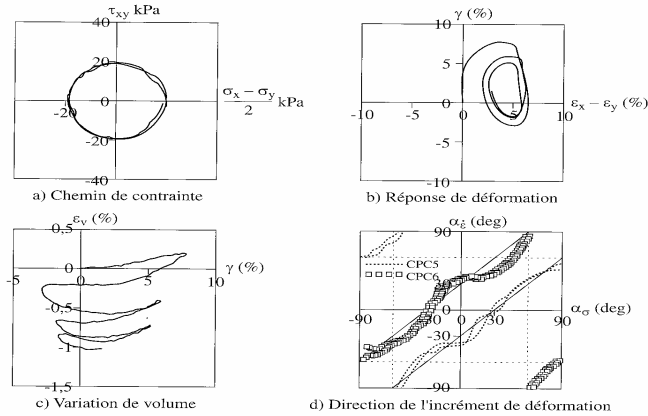


Figure 4.8. Compaction cyclique due à la rotation des axes principaux [JOE 91]

## Effet d'anisotropie induite

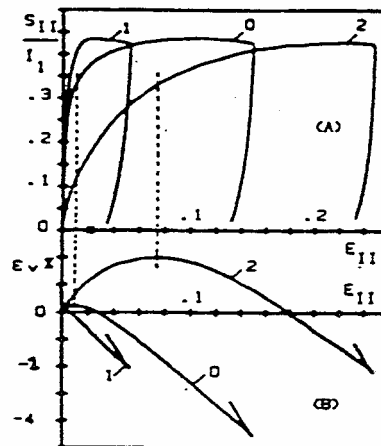
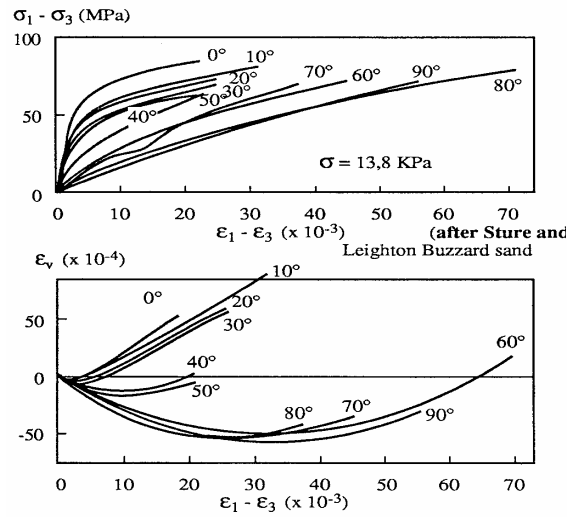


FIG.21 : Induced anisotropy : Comparison of three compression tests ( $\sigma_2 = \sigma_3 = 0.3$  MPa). Loading curves and volume change ( $>0$  in compression) are plotted. (0) virgin sample. (1) reloading. (2) reloading on X-direction after a compression on Z-direction (from CAMBOU, LANIER - 1988)

## Effet d'anisotropie induite



## Anisotropie initiale et induite

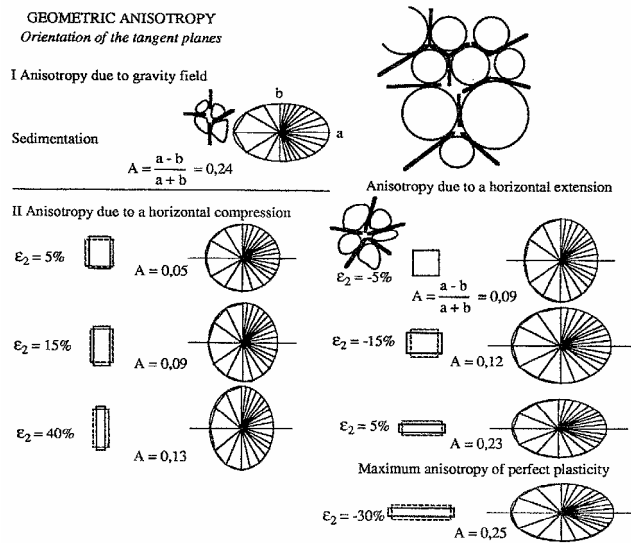
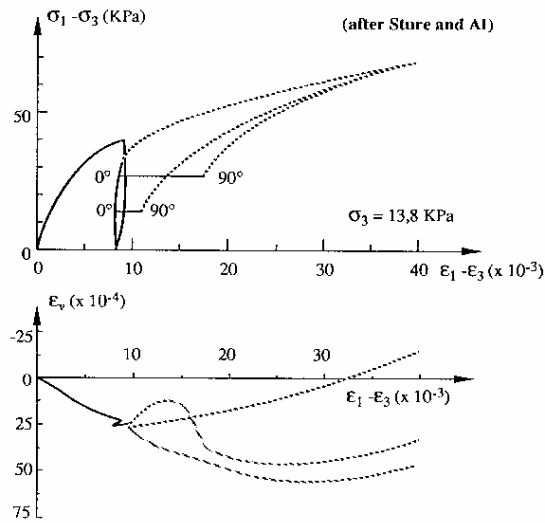
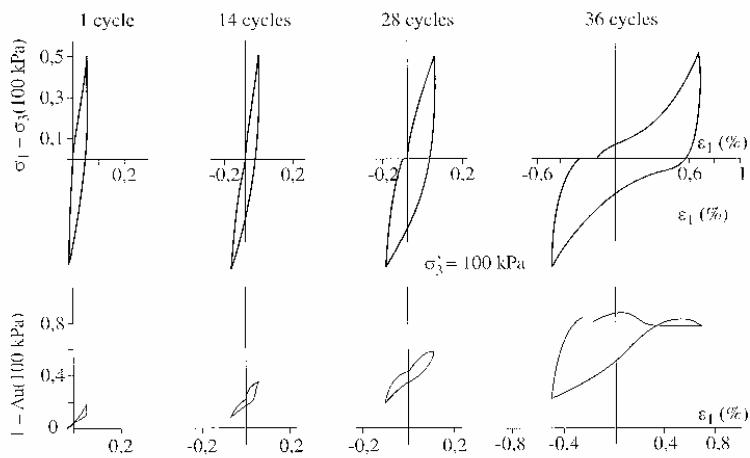


Figure 9.1.

## Effet d'anisotropie induite

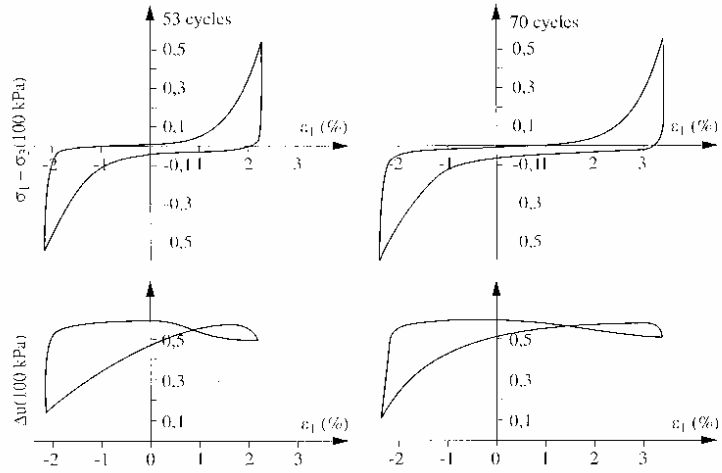


## Chargement triaxial non drainé





## Chargement triaxial non drainé



## Chargement triaxial non drainé

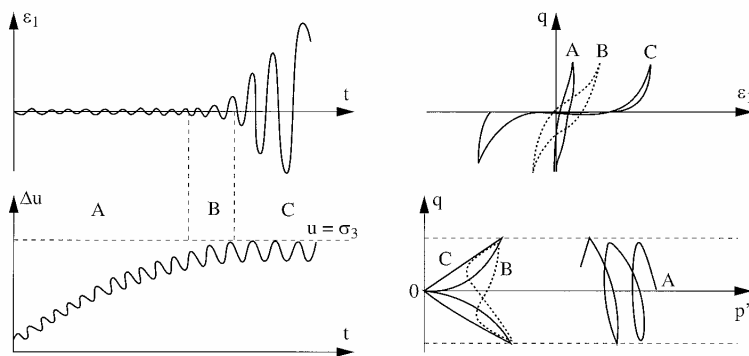


Figure 4.10. Représentation d'un essai de liquéfaction

## Chargement triaxial non drainé

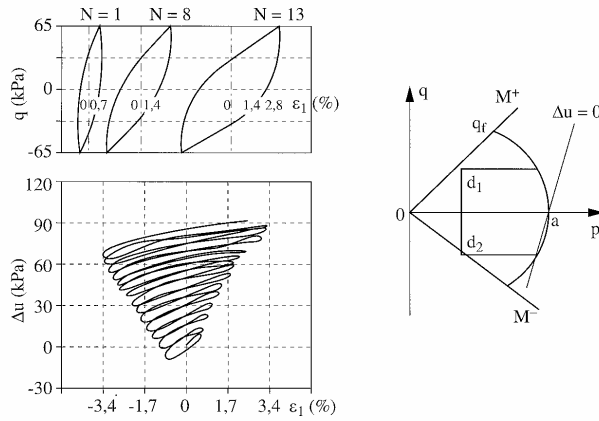


Figure 4.11. Essai triaxial cyclique non drainé sur une argile normalement consolidée

## Chargement triaxial non drainé

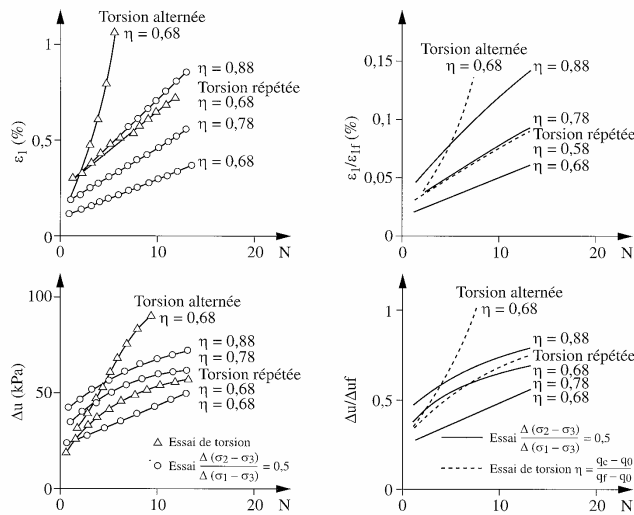


Figure 4.13. Influence d'une rotation des axes principaux en condition non drainée sur une argile normalement consolidée

## Chargement triaxial non drainé

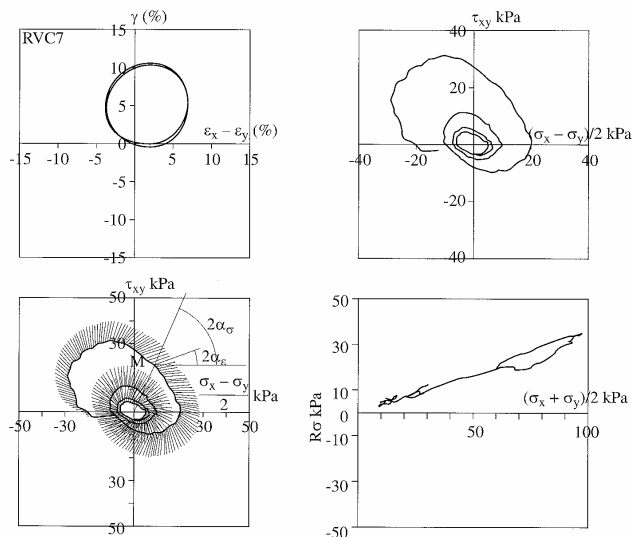
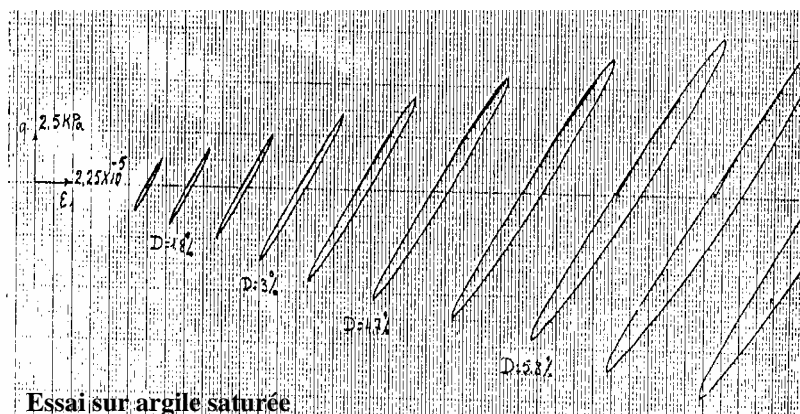


Figure 4.12. Liquéfaction par rotation des axes principaux de déformation [JOE 91]

## Modélisation cyclique: approche viscoélastique



Essai sur argile saturée

## Module sécant et amortissement fonction de la déformation

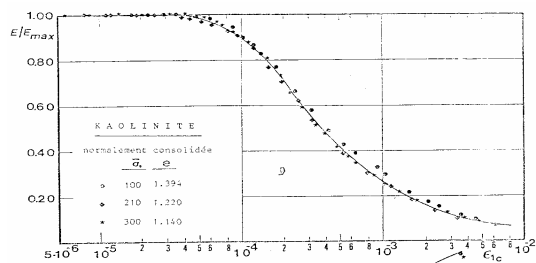


Fig.IV-10a: Variation du  $E/E_{max}$  en fonction de l'amplitude de déformation cyclique.

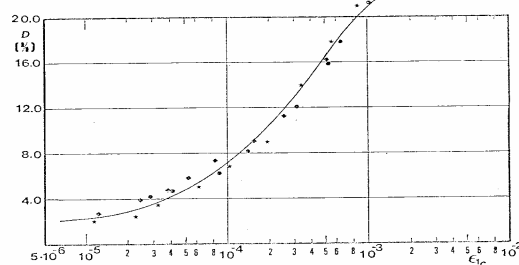
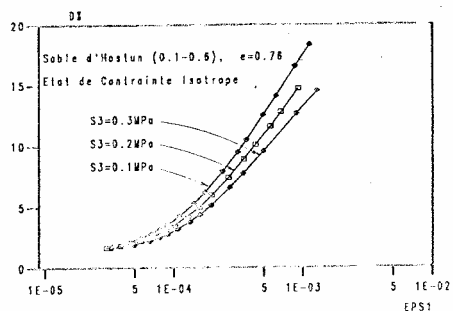
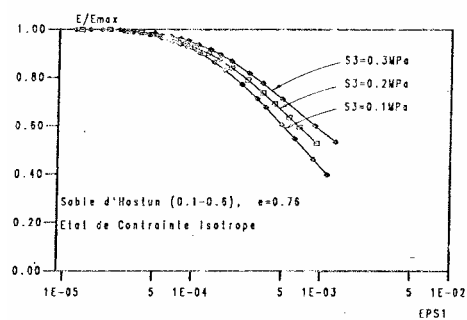


Fig.IV-10b: Variation du coefficient d'amortissement en fonction de l'amplitude de déformation cyclique.

Argile saturée

## Module sécant et amortissement fonction de la déformation



Sable sec

## Modélisation viscoélastique ou hystérétique

$$G^* = G (1 + 2iD) \text{ et } E^* = E (1 + 2iD)$$

Modèles viscoélastiques: G, E et D fonction de la fréquence

Modèles hystérétiques: G, E et D indépendants de la fréquence

Modèle linéaire équivalent: G, E et D fonction de l'amplitude des déformations

(exemples: Hardin-Drnevitch, Ramberg-Osgood)

## Modèle hystérétique linéaire équivalent

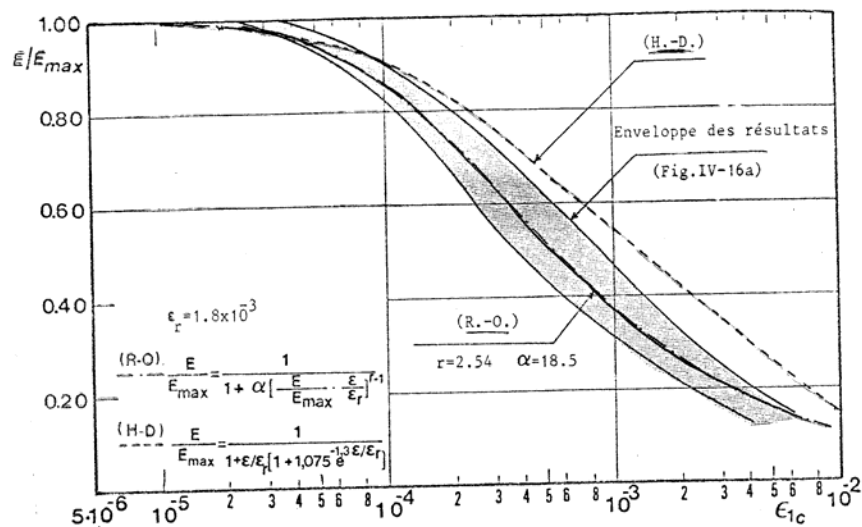


Fig. IV-29a: Variation du  $E/E_{max}$  avec l'amplitude de déformation cyclique pour des échantillons non remaniés de silt argileux, (comparaison des résultats).

## Modèle hystérétique linéaire équivalent

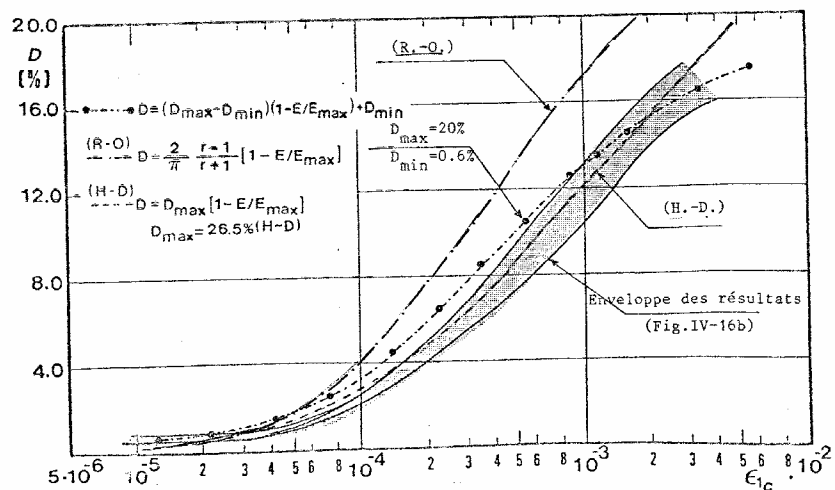


Fig.IV-29b: Variation du coefficient d'amortissement avec l'amplitude de déformation cyclique pour des échantillons non remaniés de silt argileux, (comparaison des résultats).

## Ecrouissage cinématique de type Mroz

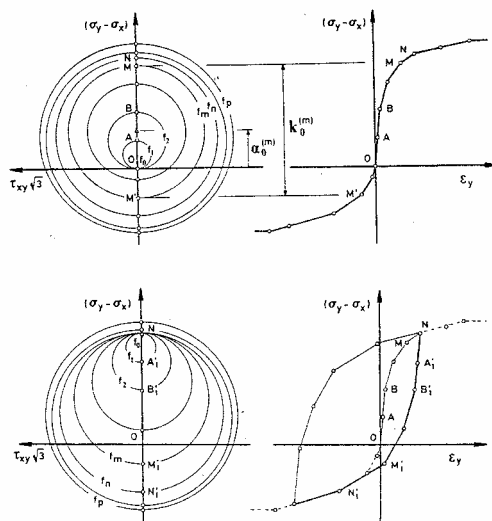
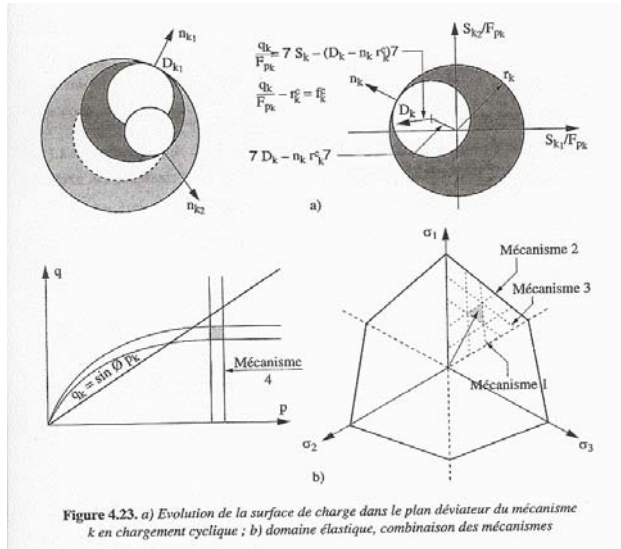


fig 1.36 Application du concept de champ de modules plastiques sur un chemin triaxial. Dans le cas présenté, un nombre fini de cercles est utilisé. Chaque cercle délimite un

## Exemple d'application du concept de Mroz: le modèle Hujeux



## Le modèle Hujeux: illustration de l'activation des mécanismes dans l'espace des contraintes

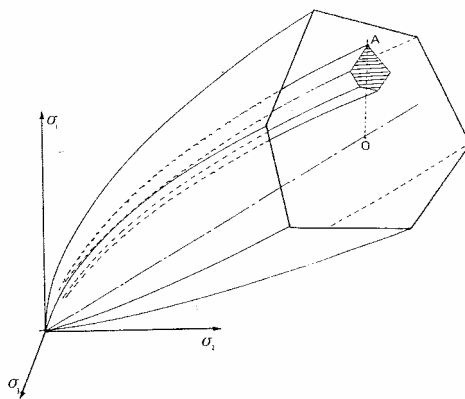


fig 2.19 Une configuration possible des mécanismes

## Modèle Hujeux: modélisation d'un essai triaxial drainé

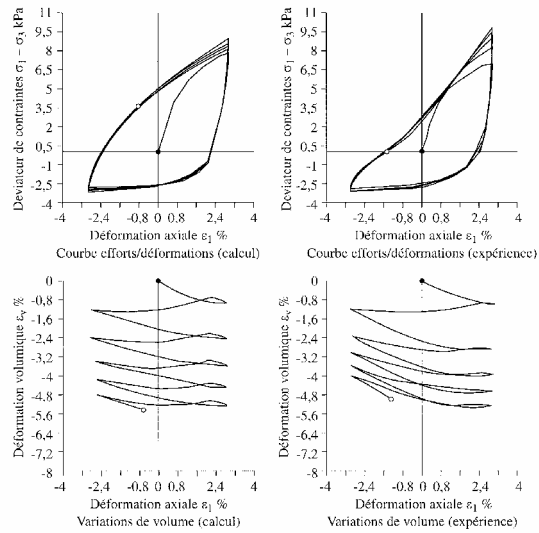


Figure 4.24. Modélisation d'un essai cyclique drainé avec le modèle Hujeux

## Modèle Hujeux: modélisation d'un essai triaxial non drainé

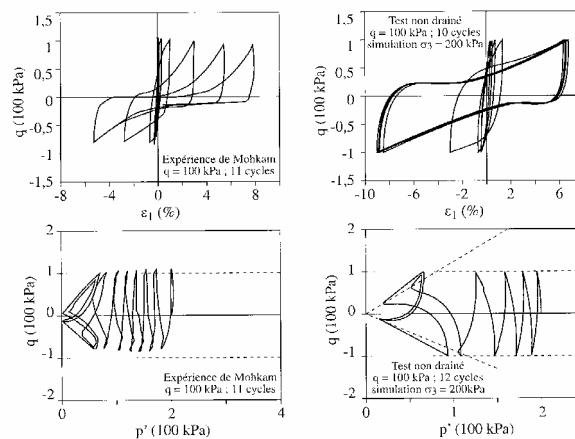
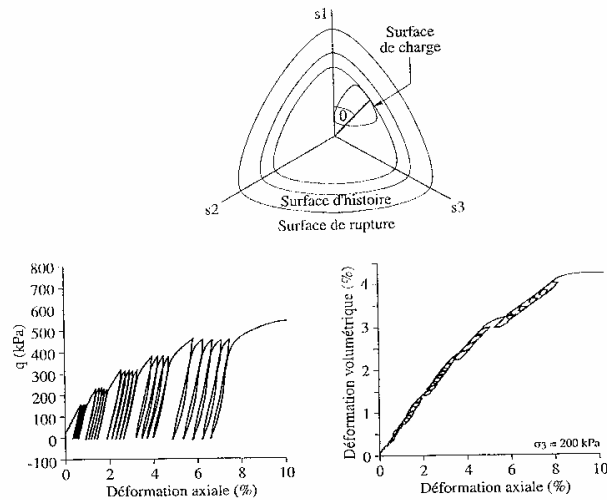


Figure 4.25. Liquéfaction cyclique d'un sable saturé. Comparaison expérience-modélisation à l'aide du modèle Hujeux [MOH 83]



## Modèle CJS: modélisation d'un essai triaxial drainé



## Conclusion

Mise en évidence des principaux comportements observés sous sollicitations drainées et non drainées

Mise en évidence de l'effet de la rotation des axes principaux en relation avec l'anisotropie induite au cours du chargement

Propositions de modélisation des comportements observés

- Approche viscoélastique ou hystérétique : pas de déformation permanente
- Approche élastoplastique avec écrouissage cinématique: prise en compte de comportements irréversibles