



Restitution du GT CFMS "modélisation numérique"

Recommandations sur l'utilisation des modèles numériques pour le calcul des ouvrages géotechniques

Chapitre 1 / La construction du modèle

Sommaire

- 1- Introduction
- 2- Choix du type d'analyse
- 3- Hypothèses géométriques
- 4- Etat initial des contraintes
- 5- Prise en compte du phasage de construction
- 6- Modélisation des structures

1 - Introduction

- Un modèle est une schématisation simplifiée de la réalité
- Cette schématisation vise à calculer quelque chose de précis
- La construction du modèle est le résultat d'un ensemble de choix plus ou moins volontaires et contrôlés
 - le plus souvent, on fait des calculs avec un comportement instantané; pour prendre en compte des effets différés, il y a plusieurs façons de faire
 - on peut introduire dans le modèle des composants qui ne servent qu'à faciliter le dépouillement des résultats
- Les choix qu'on fait dépendent de ce qu'on veut calculer

2 - Choix du type d'analyse

- Méthode des éléments finis : équations aux dérivées partielles
- Quelles équations veut-on résoudre ?
 - Mécanique des milieux continus (1D, 2D, 3D)
 - Hydraulique, thermique
 - Couplage hydro-mécanique
- On néglige généralement les variations de température, alors qu'elles jouent un rôle pour des chantiers qui durent des mois
 - Gares du Grand Paris Express
 - Est-ce utile de prendre en compte ces effets thermiques ? Paramètres ?

3 - Hypothèses géométriques

- 2D/3D
 - l'ouvrage réel est 3D ... mais on gagne beaucoup à faire des calculs 2D
 - dans quels cas le passage en 2D est-il légitime ?
- Etendue du domaine maillé
 - on ne sait pas bien où placer les bords du domaine
 - Leur position a une influence plus ou moins marquée en fonction des autres choix de modélisation (calculs mécaniques/hydrauliques, 2D/3D, calculs d'excavation) et aussi des paramètres de sol
- Influence de la discrétisation
 - intérêt des éléments à interpolation élevée
 - on peut « créer » ou « gommer » des difficultés numériques selon le maillage

4 - Etat initial des contraintes

- En plasticité, l'état initial des contraintes a une influence directe sur les résultats
- On ne sait pas mesurer les contraintes initiales
- Des choix à faire :
 - Contraintes géostatiques
 - Initialisation par gravité
 - Prise en compte de nappes superposées...

5 - Prise en compte du phasage de construction

- Un très grand nombre d'ouvrages nécessitent de prendre en compte des phases successives de construction
 - mur en terre armée
 - tunnel
 - excavations profondes
- Le choix des phases à prendre en compte dans le calcul n'est pas toujours évident
 - on n'a pas intérêt à multiplier inutilement les calculs...
 - garder en tête le résultat qu'on veut obtenir

6 - Modélisation des structures

- Éléments de massif / éléments sans épaisseur
- Interfaces sol-structure
- Modèles « alternatifs »
- Les logiciels mettent en œuvre des solutions plus variées qu'il n'y paraît, la comparaison directe n'est pas toujours facile... Une source possible de différences entre des modèles réalisés avec le même logiciel (peut-être du même ordre que celles provenant des modèles de comportement de sol)

Conclusion

- Un modèle combine toutes sortes de choix
certains ne sont pas évidents et leur influence n'est pas facile à anticiper
- La méthode permet de faire des choses très compliquées
mais ce n'est pas toujours astucieux – temps de calcul, paramètres inconnus...
- Si possible, commencer par quelque chose de simple et compliquer/raffiner progressivement
- Garder en tête ce qu'on veut calculer
- Faire des études de sensibilité
- Examiner attentivement les résultats



Journée scientifique et technique du 1^{er} Juin 2022
Restitution du GT Modélisation numérique

Chapitre 2 : Lois de comportement

Jean-Michel Pereira
(Laboratoire Navier)

“A model is a lie that helps you see the truth.”

–Howard Skipper

Sommaire

- De quoi parle-t-on ?
- De quoi a-t-on besoin ?
- Quelques exemples
- Comment choisir ?

De quoi parle-t-on ?

- De façon générale : relation (souvent incrémentale) entre contraintes et déformations
- En mécanique des sols : relation contraintes effectives – déformations
- Relation définie à l'échelle du matériau (VER)
- « Intégrées » numériquement au niveau du point matériel (point de Gauss si MEF)

Savoir ce qu'on cherche...

- Cadre de modélisation (classes de comportement) :
 - Élasticité vs Plasticité
 - Comportement cyclique
 - Effets du temps (viscosité, fluage, relaxation)
 - Endommagement, etc.
 - Influence de l'état de saturation
 - Couplages avec la température

Quelques définitions

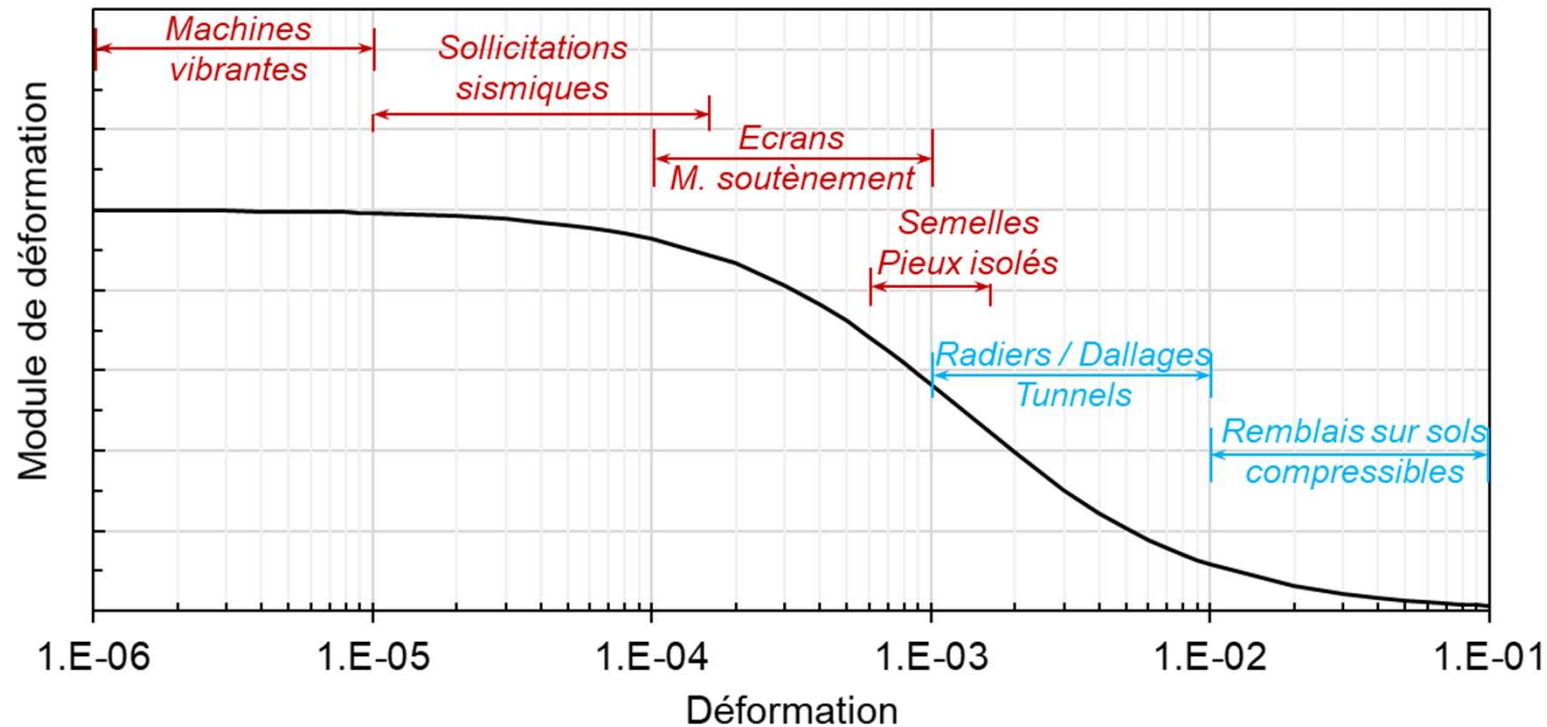
- Élasticité = réversibilité (au sens énergétique)
- Plasticité = irréversibilité
- Rupture (matériau) $\neq$ plasticité
- Critère de rupture

Ingrédients

- Élasticité, linéaire ou non-linéaire
- Surface de charge, critère de plasticité
- Potentiel plastique, règle d'écoulement
- Loi d'écrouissage (plastique)

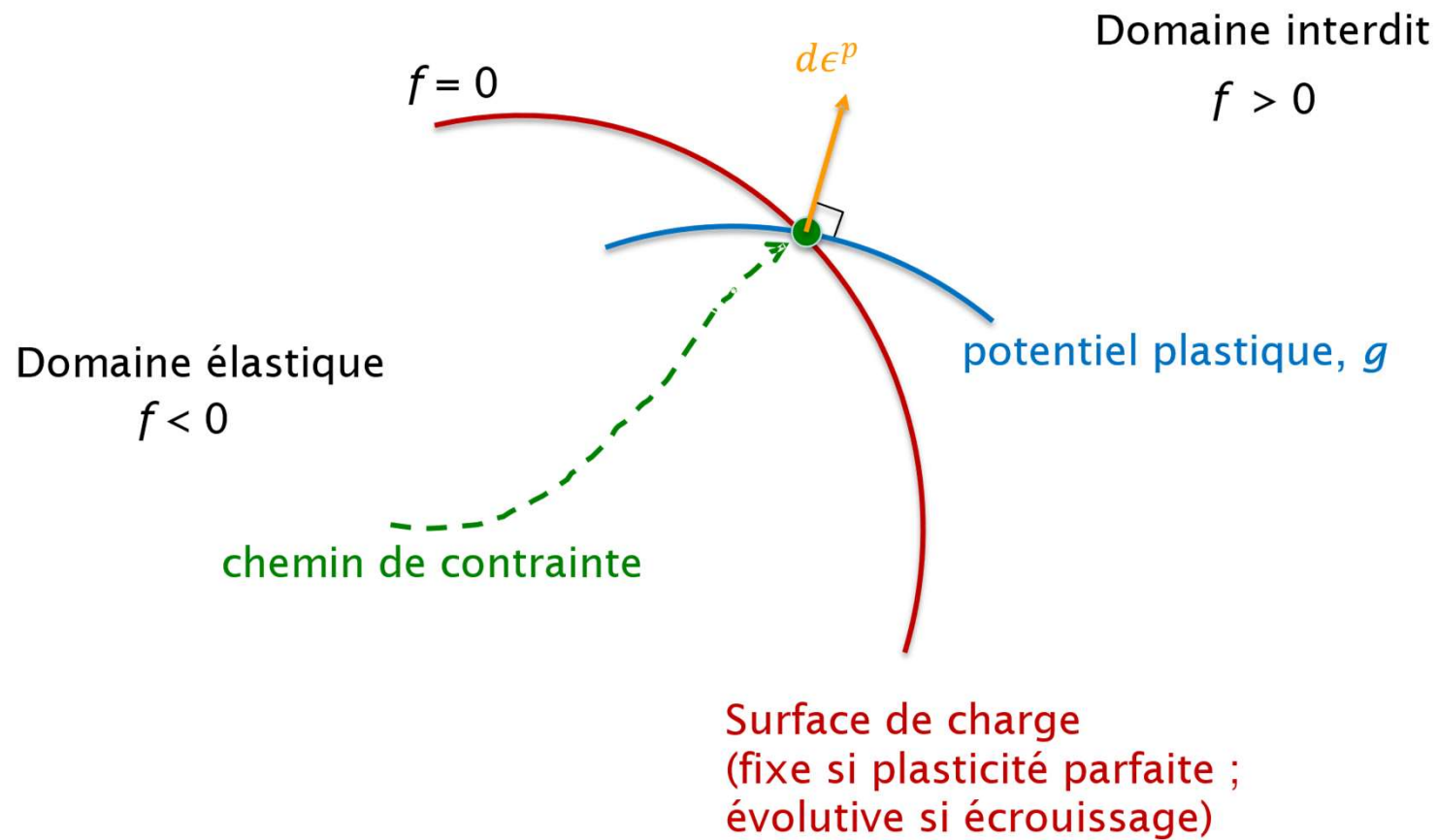
Ingrédients – Élasticité

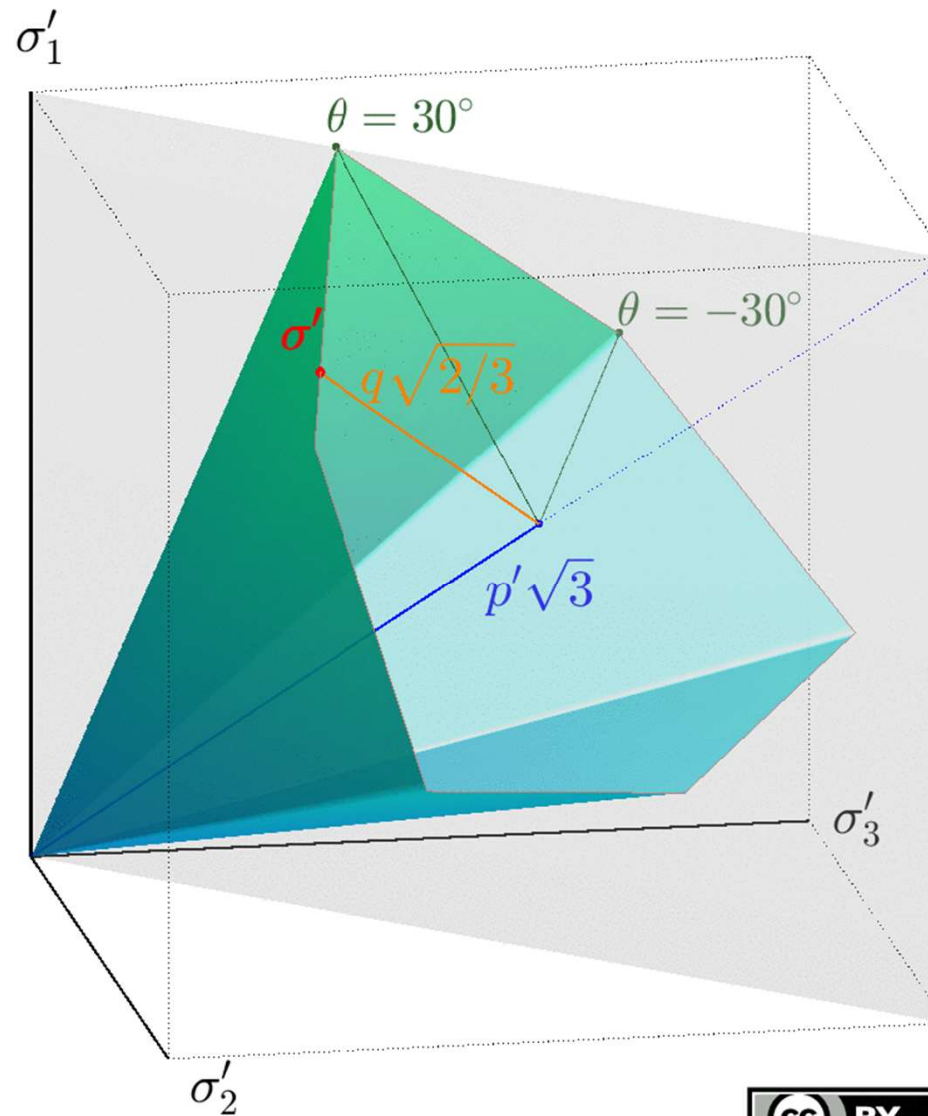
- Non-linéarité : modules dépendant des contraintes et/ou déformations
- Attention, pas n'importe comment !



Ingrédients – Surface de charge

- Surface de charge, critère de plasticité





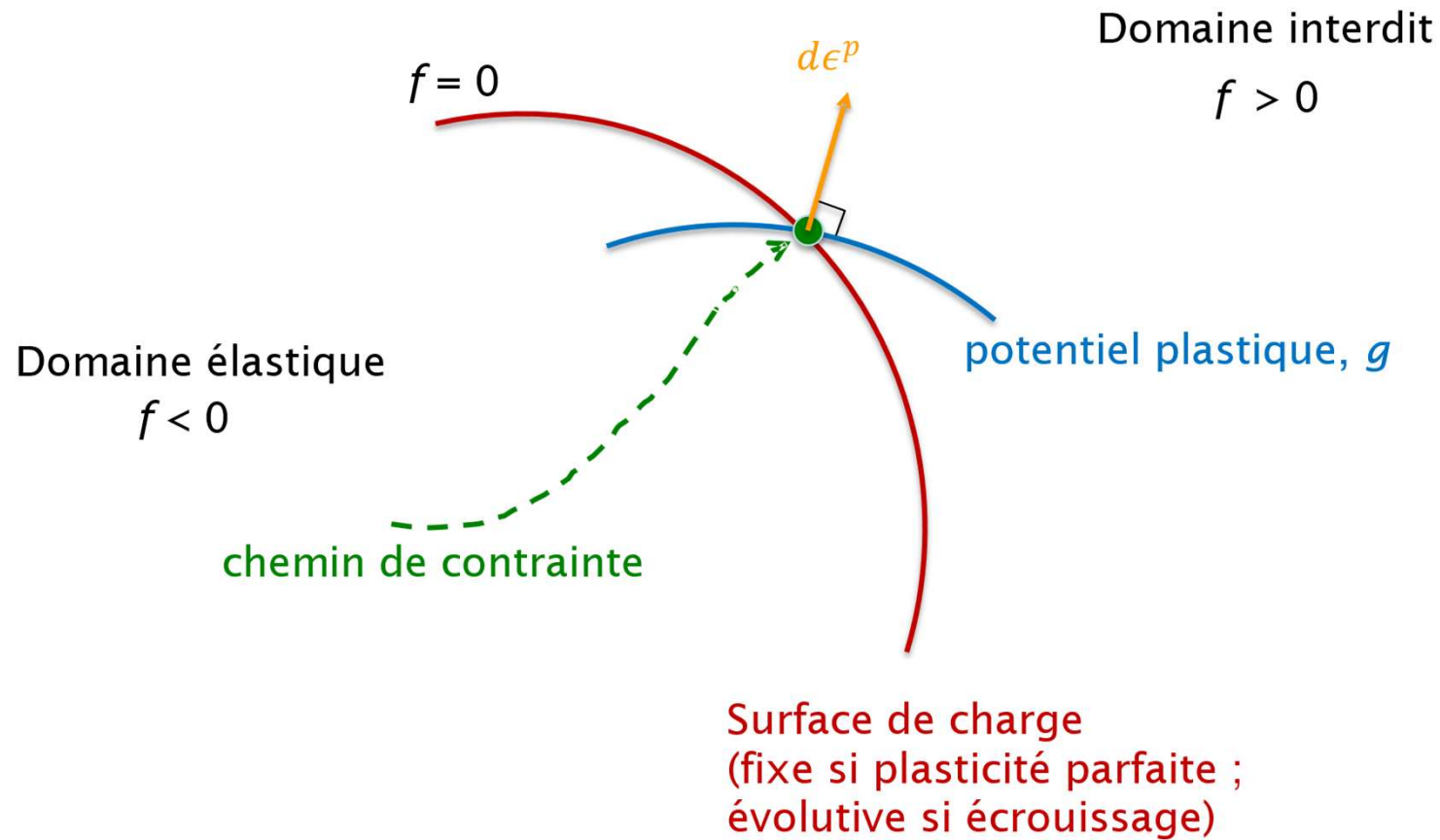
Mohr - Coulomb: $\varphi = 30^\circ$, $c = 0$



Gertraud Medicus

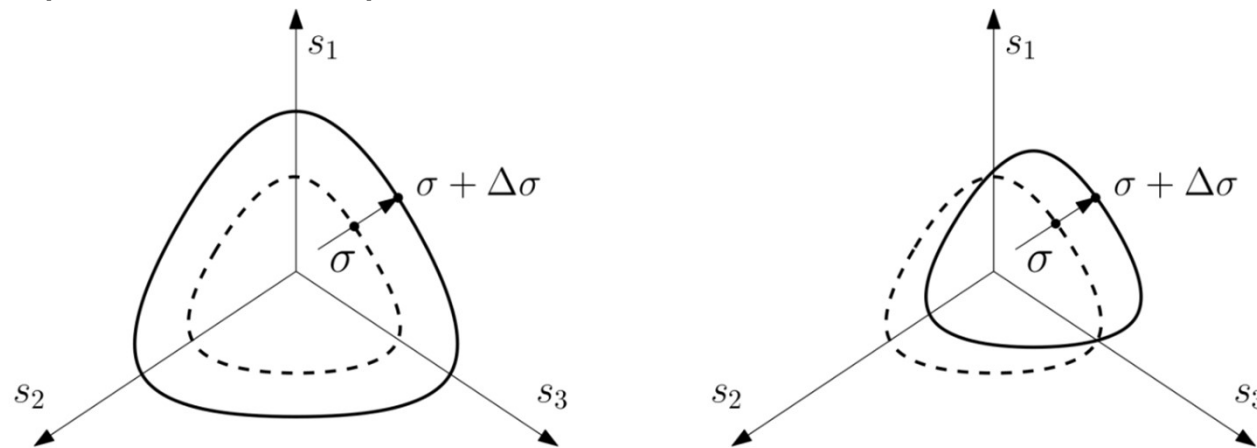
Ingrédients – Règle d'écoulement

- Règle associée vs non-associée

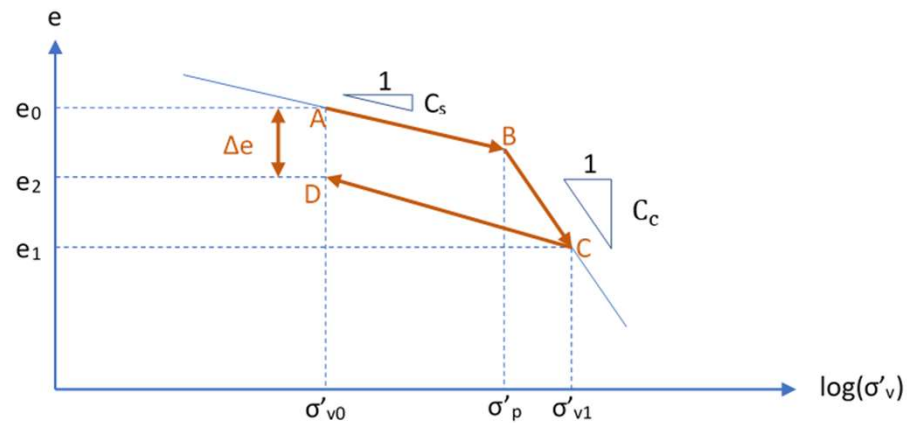


Ingrédients – Loi d'écrouissage

- Écrouissage isotrope ou cinématique

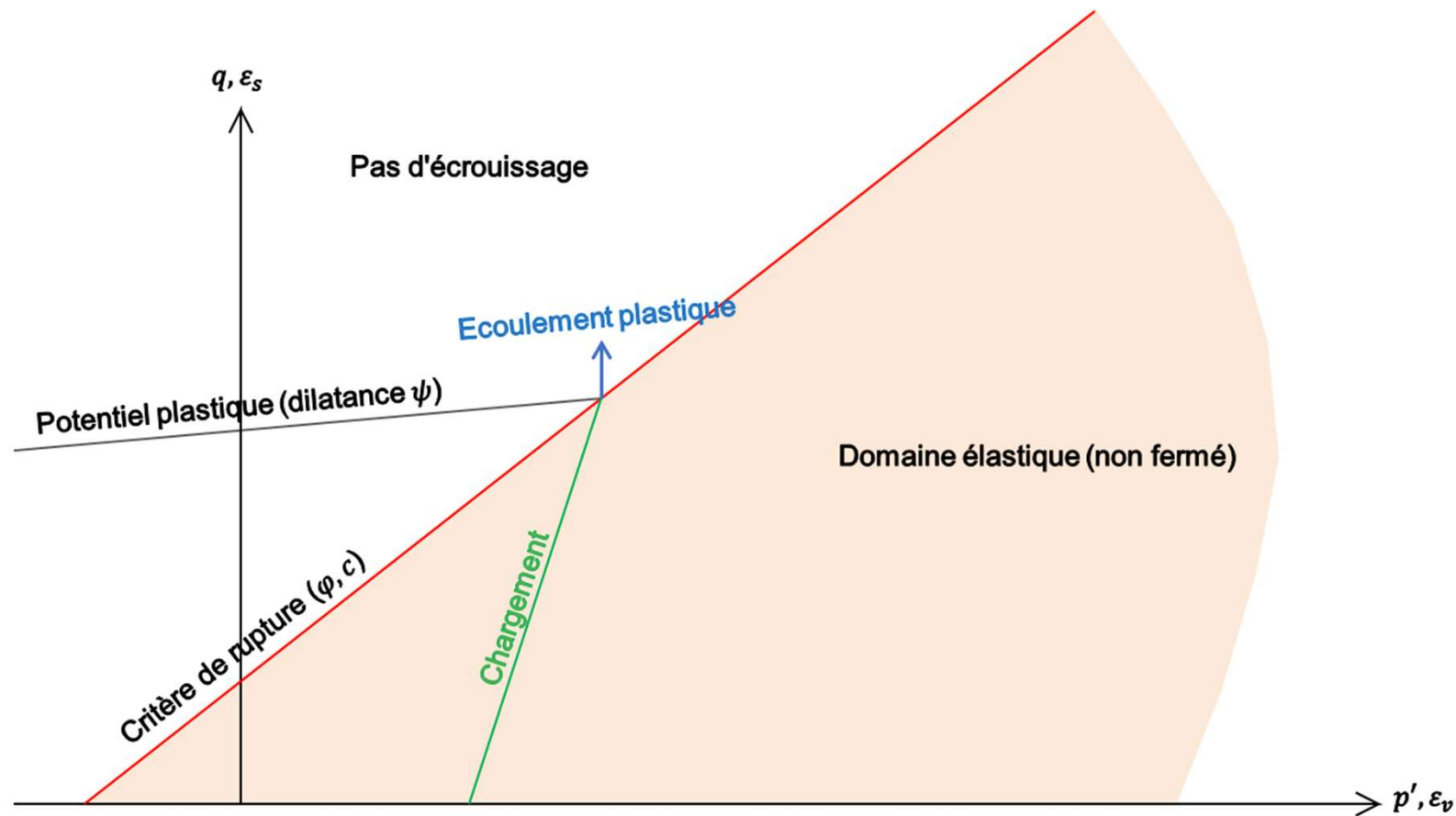


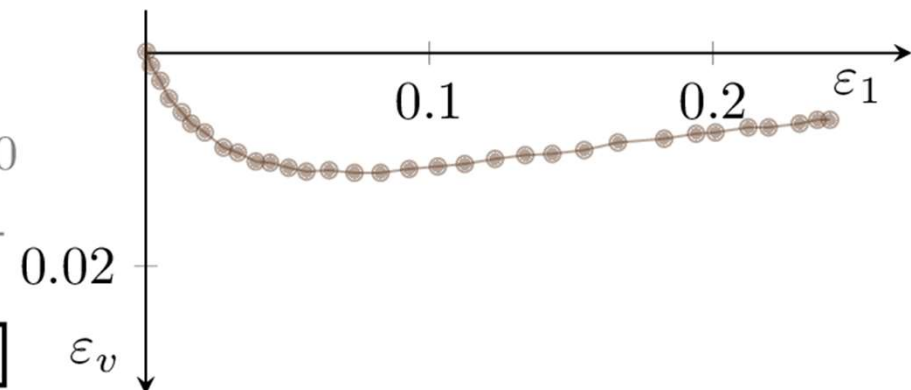
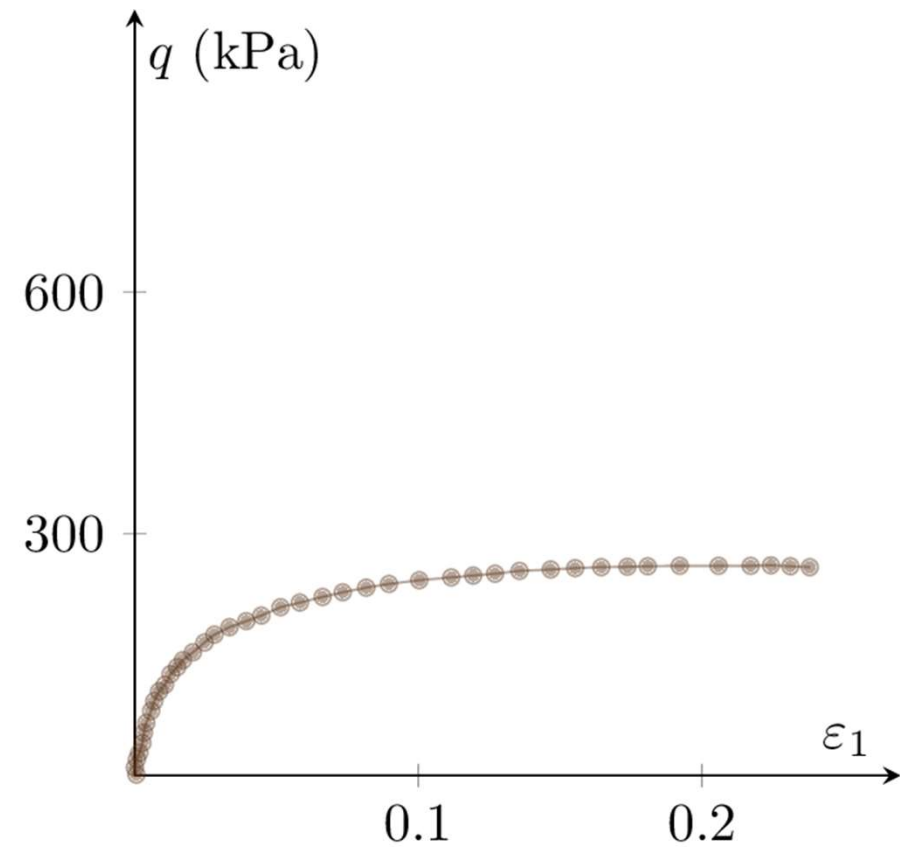
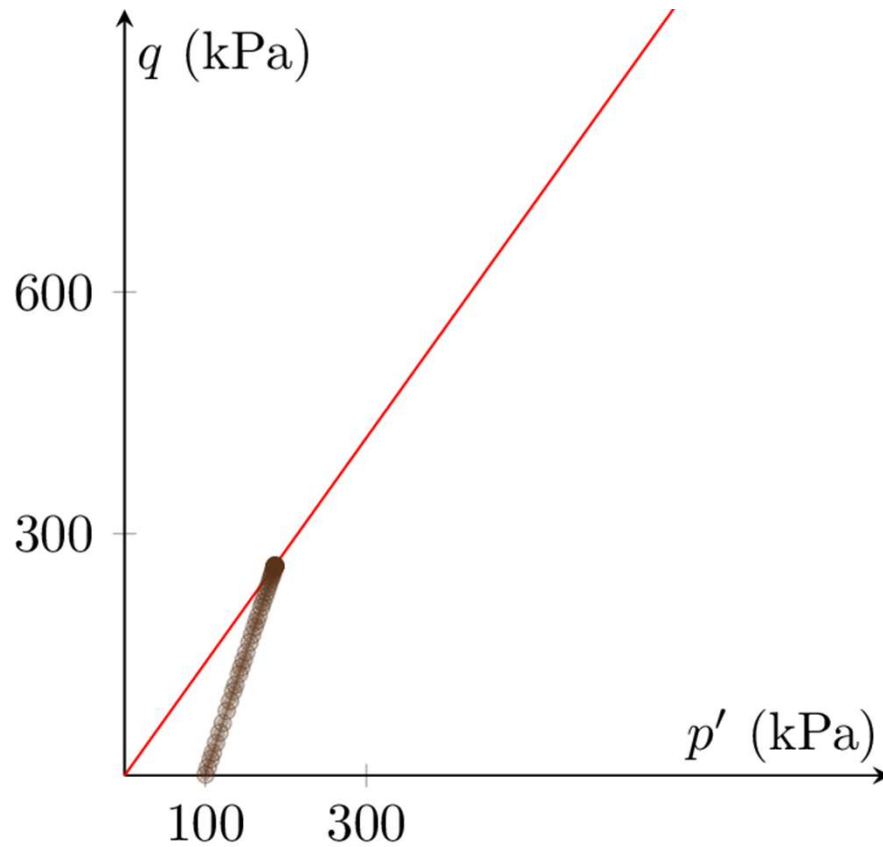
Cas d'une compression
oedométrique



Quelques exemples

- Élastoplasticité parfaite avec critère de Mohr-Coulomb





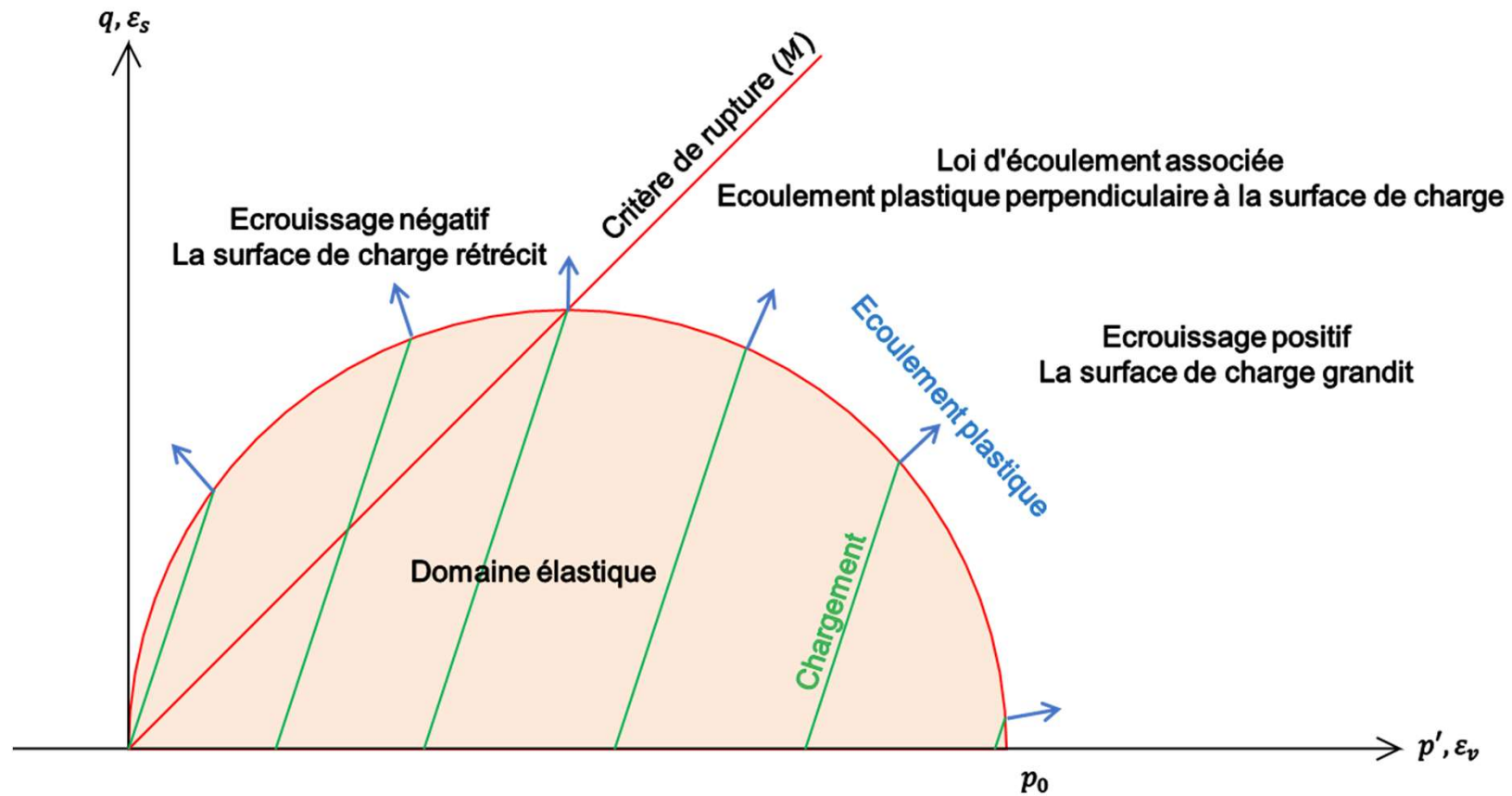
Drained triaxial (cd) tests: Hostun Sand data by Desrues et al. (2000): host-l-triaxc-cd-100, host-l-triaxc-cd-300 linear-elastic, perfectly-plastic (Mohr-Coulomb)

Gertraud Medicus



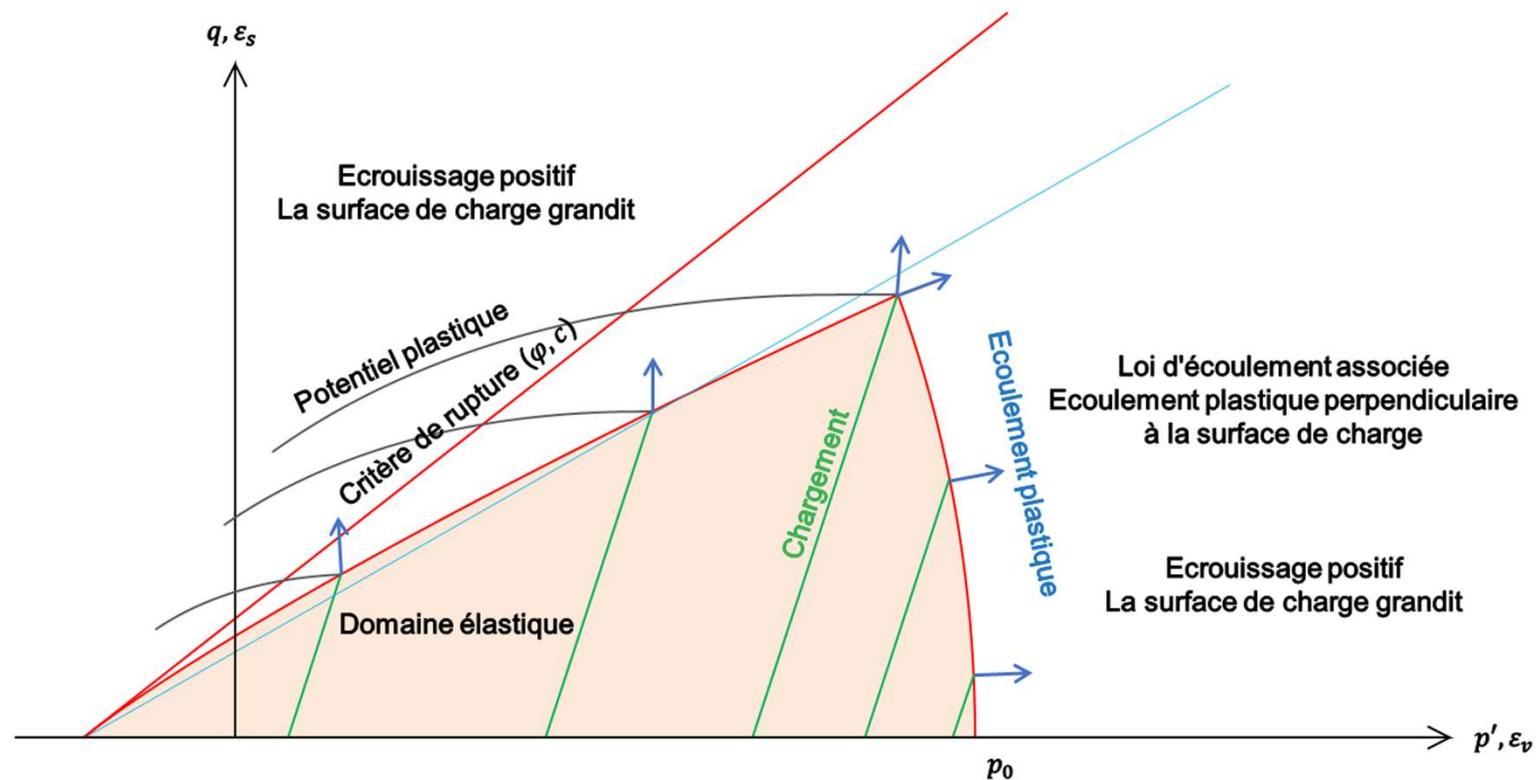
Quelques exemples

- Camclay modifié



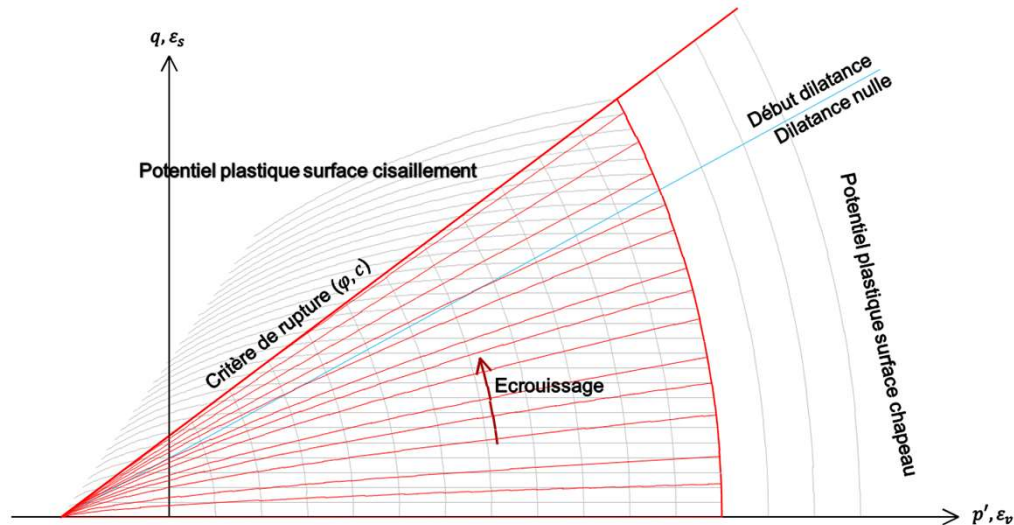
Quelques exemples

- Hardening Soil

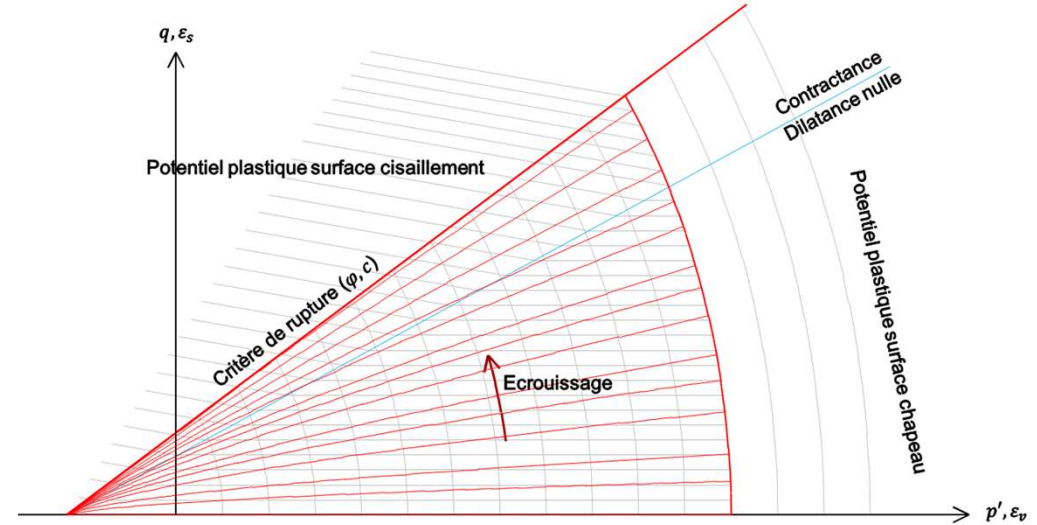


Quelques exemples

- Hardening Soil



Comportement dilatant



Comportement contractant

Conclusions

- Ne pas utiliser un modèle de comportement trop sophistiqué
- Plus de complexité = plus de paramètres = plus couteux
- Paramètres : essais de laboratoire ou in situ, corrélations empiriques...

“All models are wrong but some are useful.”

–*George Box*