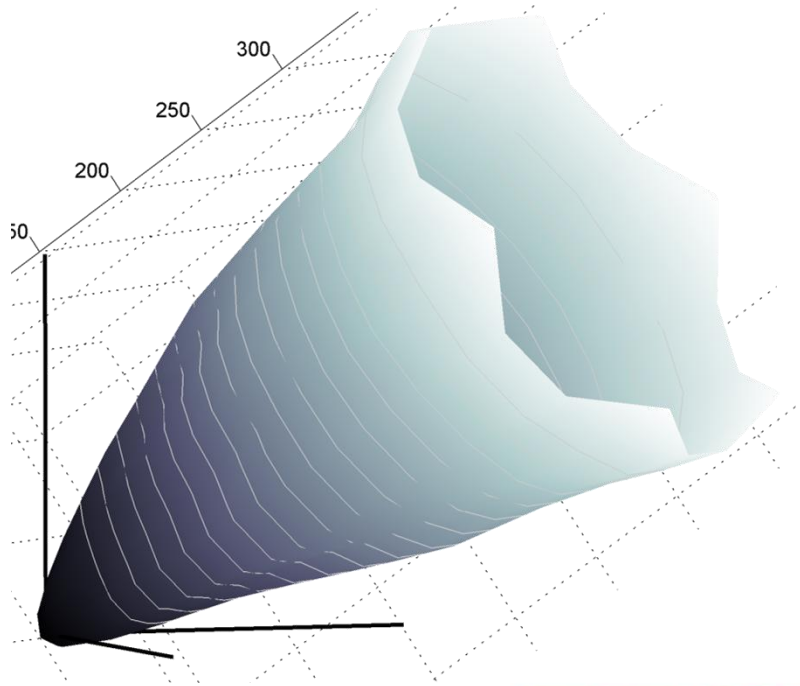




POLYTECH.MONS

Groupe de contact FNRS
« Géomécanique, couplages, ouvrages »

Modélisation des enveloppes limites par différents critères



Fanny DESCAMPS

Chargée de recherches FNRS
fanny.descamps@fpms.ac.be

2/09/2009

FACULTÉ POLYTECHNIQUE DE MONS



ACADÉMIE
UNIVERSITAIRE
WALLONIE-
BRUXELLES

Modélisation des enveloppes limites par différents critères

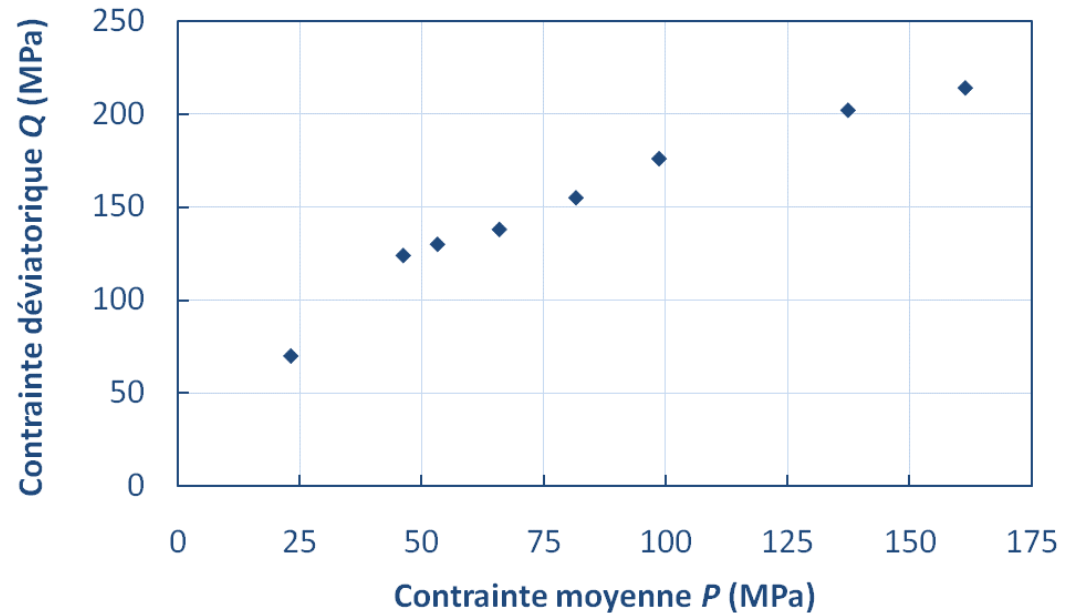
- Introduction
- Construction des enveloppes
- Modélisation des enveloppes
- Vers des enveloppes tridimensionnelles intégrant les effets de la pression de pore et de la température
- Conclusions et perspectives

Modélisation des enveloppes limites par différents critères

- Introduction
- Construction des enveloppes
- Modélisation des enveloppes
- Vers des enveloppes tridimensionnelles intégrant les effets de la pression de pore et de la température
- Conclusions et perspectives

Quel système de représentation ?

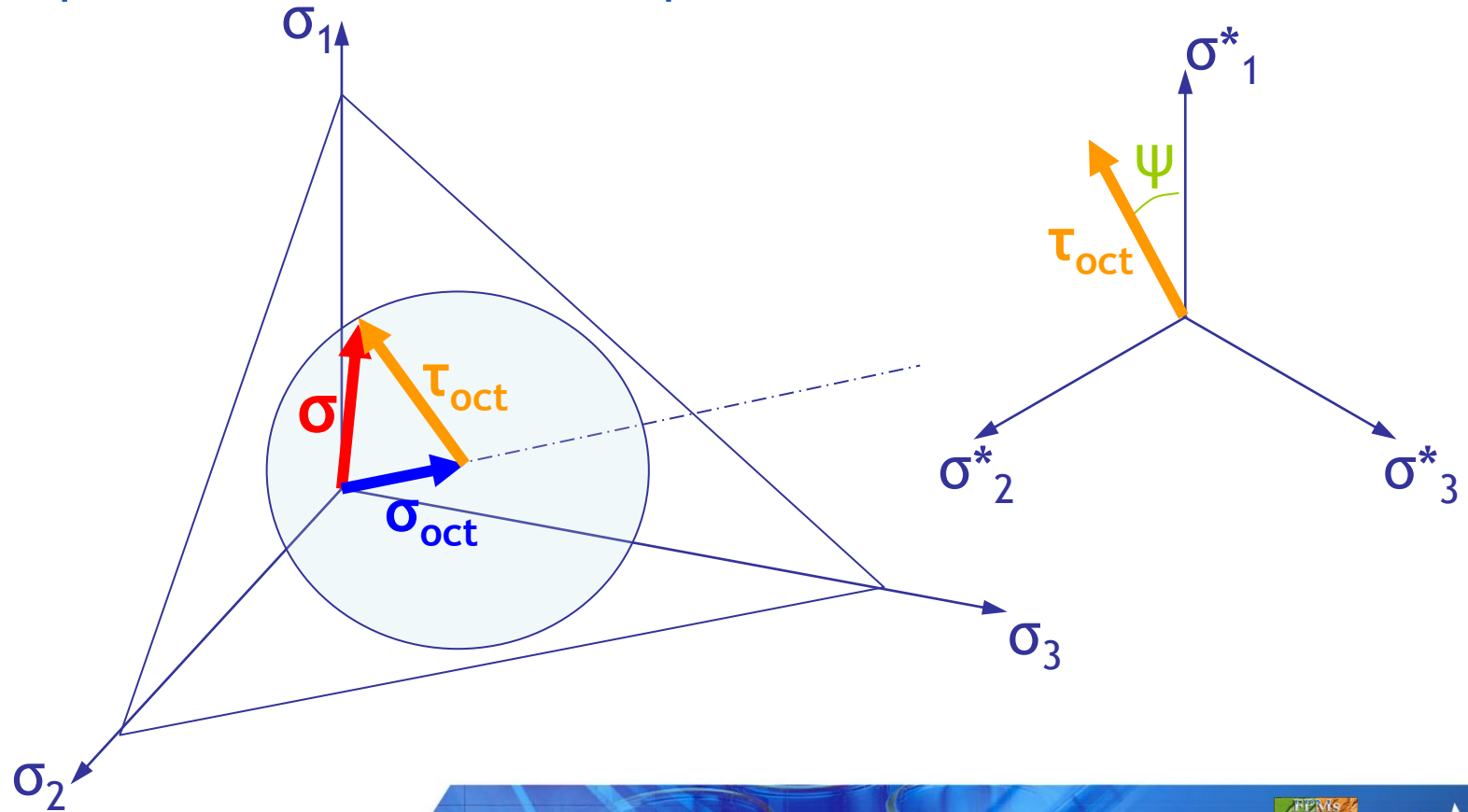
- Plan de Mohr (σ, τ)
- (σ_1, σ_3)
- (P, Q)
- (P', Q)



➔ Représentations en plan, adaptées pour des enveloppes construites à partir d'essais triaxiaux conventionnels (pas d'influence de σ_2)

Quel système de représentation ?

- Espace des contraintes principales
- Représentation octaédrique



Définitions

- Contrainte normale octaédrique ou contrainte moyenne :

$$\sigma_{oct} = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$$

- Contrainte tangentielle octaédrique :

$$\tau_{oct} = \frac{1}{3}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = \frac{\sqrt{2}}{3}Q$$

- Angle de Lode ψ :

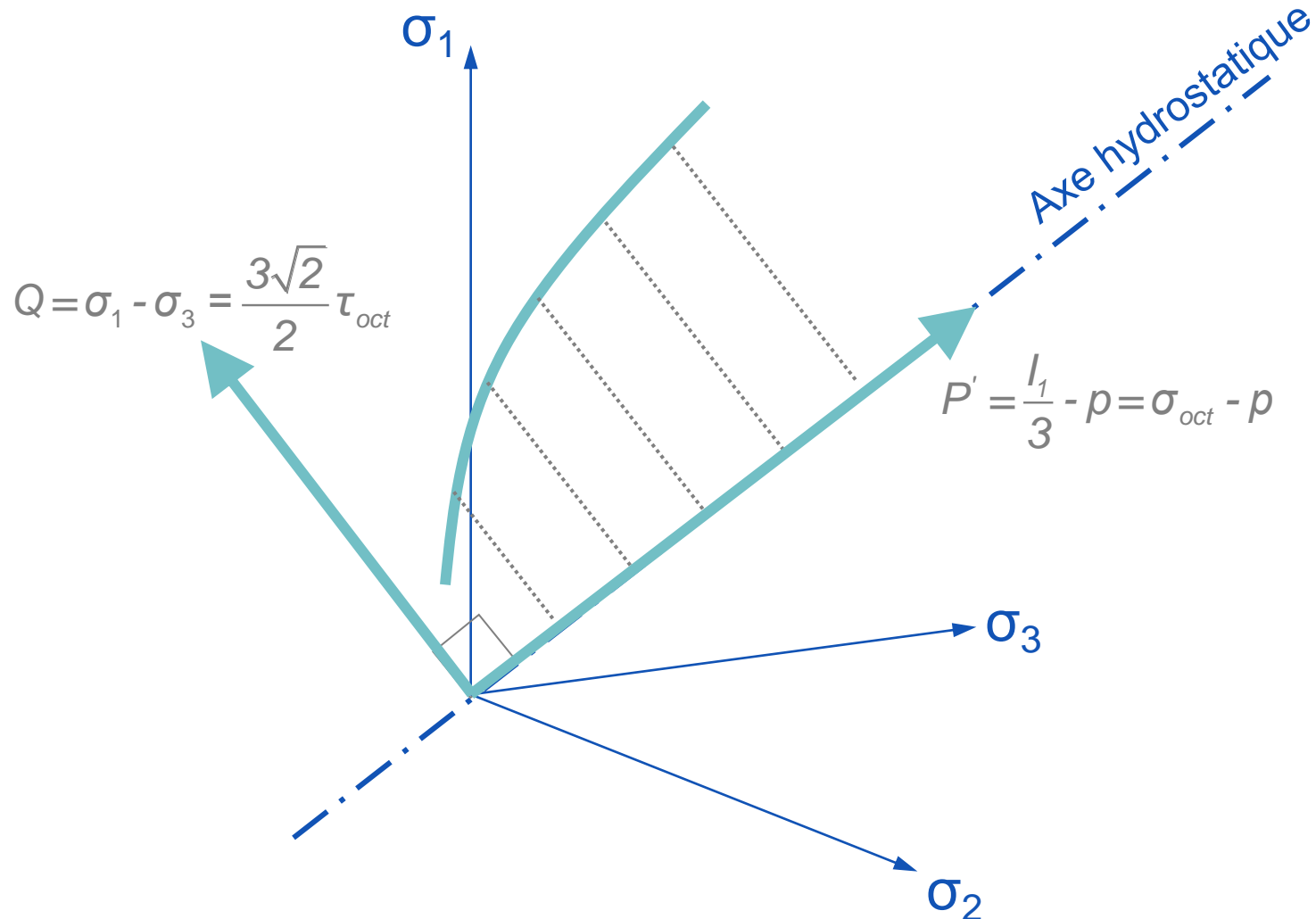
$$\cos \psi = \frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \left(-\frac{\sqrt{6}}{3}a + \frac{\sqrt{6}}{6}b + \frac{\sqrt{6}}{6}c \right)$$

$$a = \sigma_2 + \sigma_3 - 2\sigma_1$$

$$b = \sigma_3 + \sigma_1 - 2\sigma_2$$

$$c = \sigma_1 + \sigma_2 - 2\sigma_3$$

Relation entre $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$ et (P', Q)

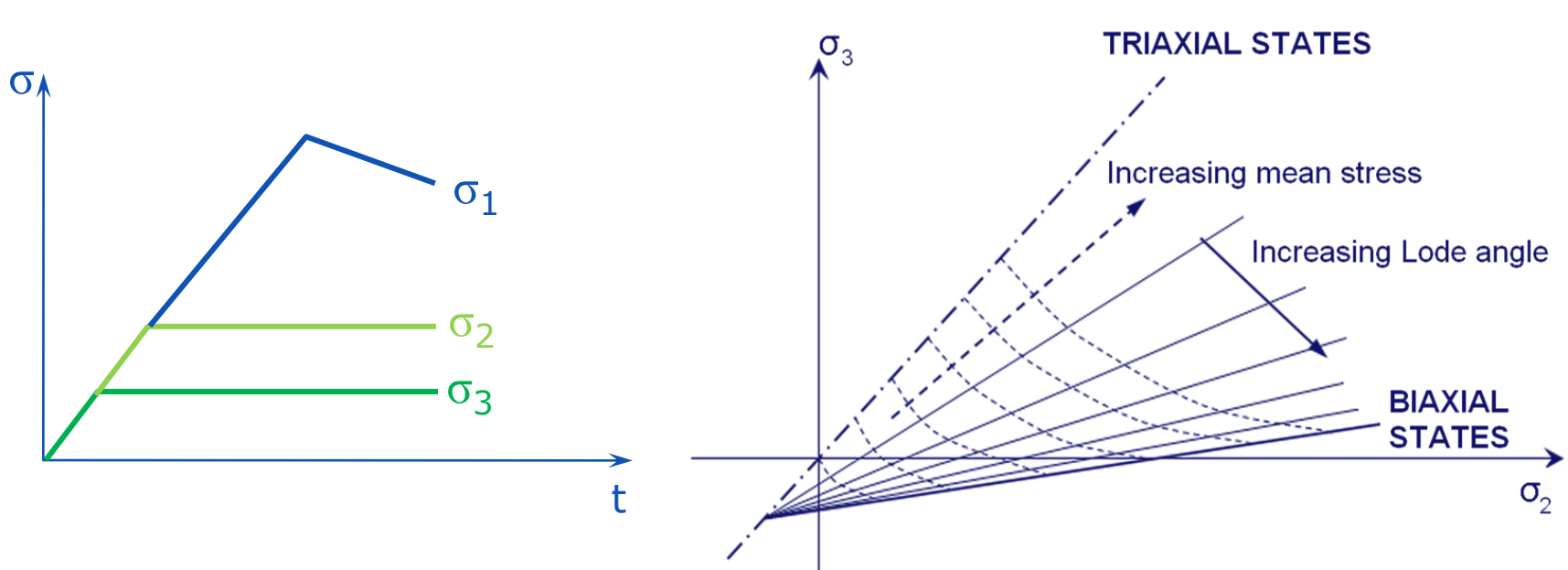


Modélisation des enveloppes limites par différents critères

- Introduction
- Construction des enveloppes
- Modélisation des enveloppes
- Vers des enveloppes tridimensionnelles intégrant les effets de la pression de pore et de la température
- Conclusions et perspectives

Conditions et hypothèses de travail

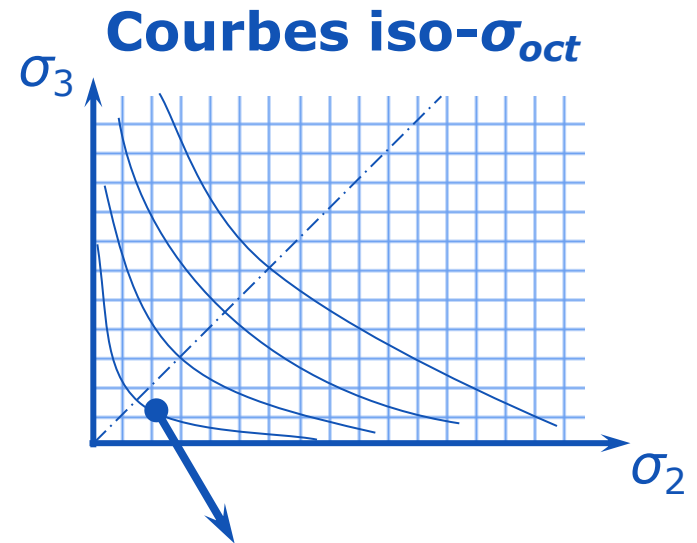
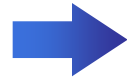
- Essais polyaxiaux $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$, avec σ_2 et σ_3 fixés



- Matériau isotrope
 - Données réparties entre $0^\circ \leq \psi \leq 60^\circ$
 - Répétition du motif par symétrie

Méthode de construction des enveloppes limites

σ_1	σ_2	σ_3
⋮	⋮	⋮

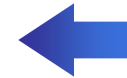
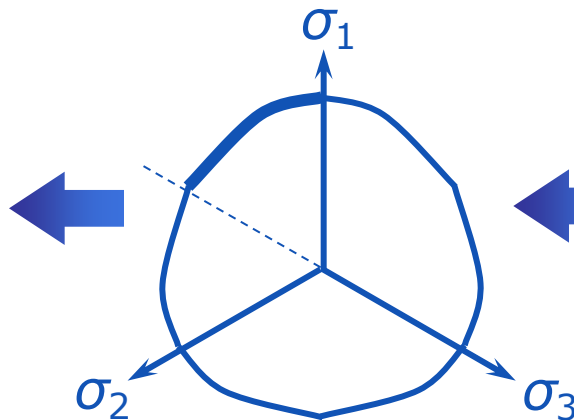


3D

$$x = -\tau_{oct} \sin(\psi)$$

$$y = -\tau_{oct} \sin(\psi)$$

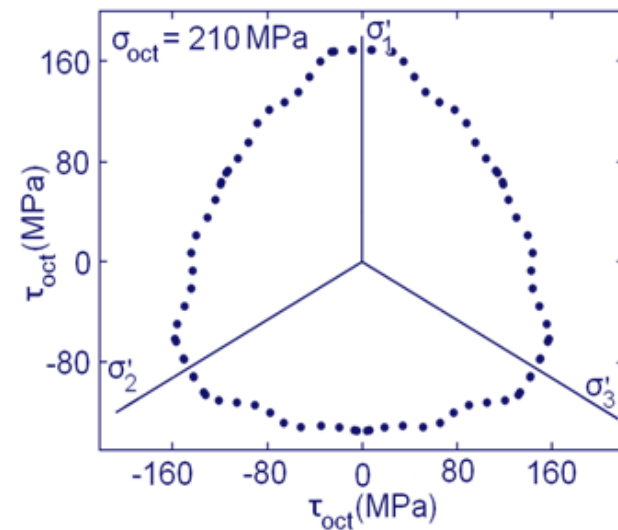
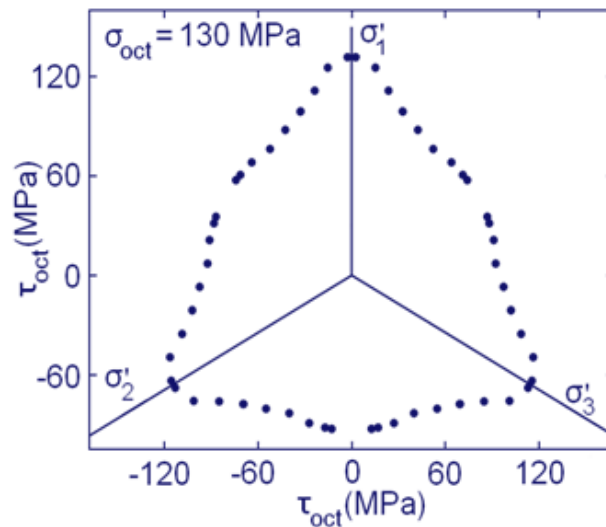
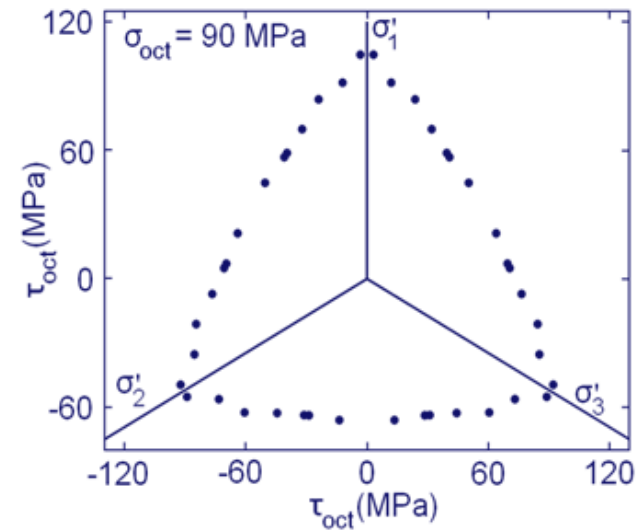
$$z = \sqrt{3} \sigma_{oct}$$



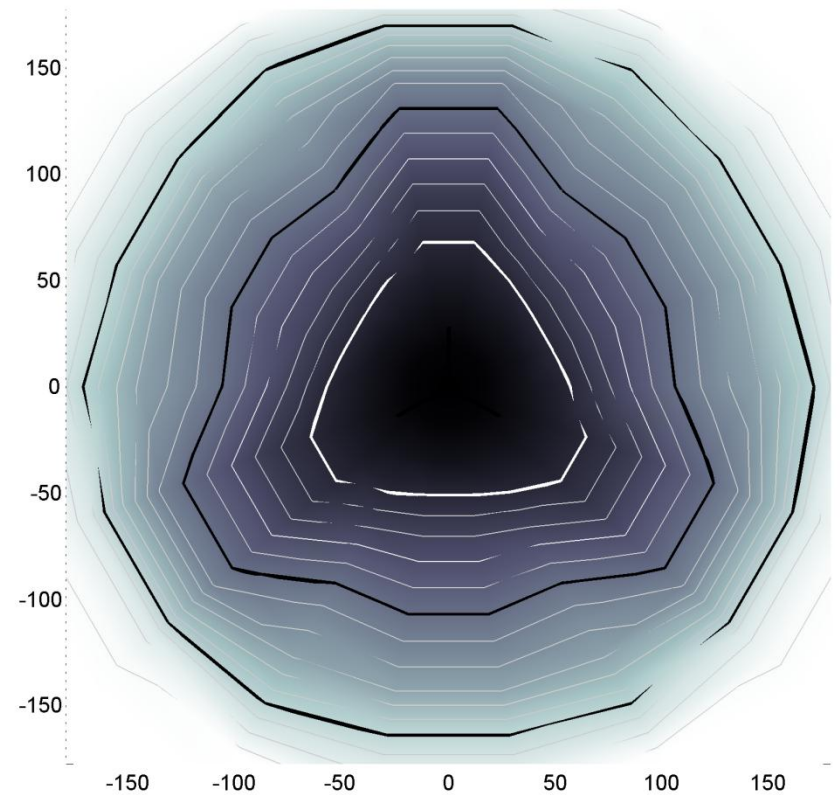
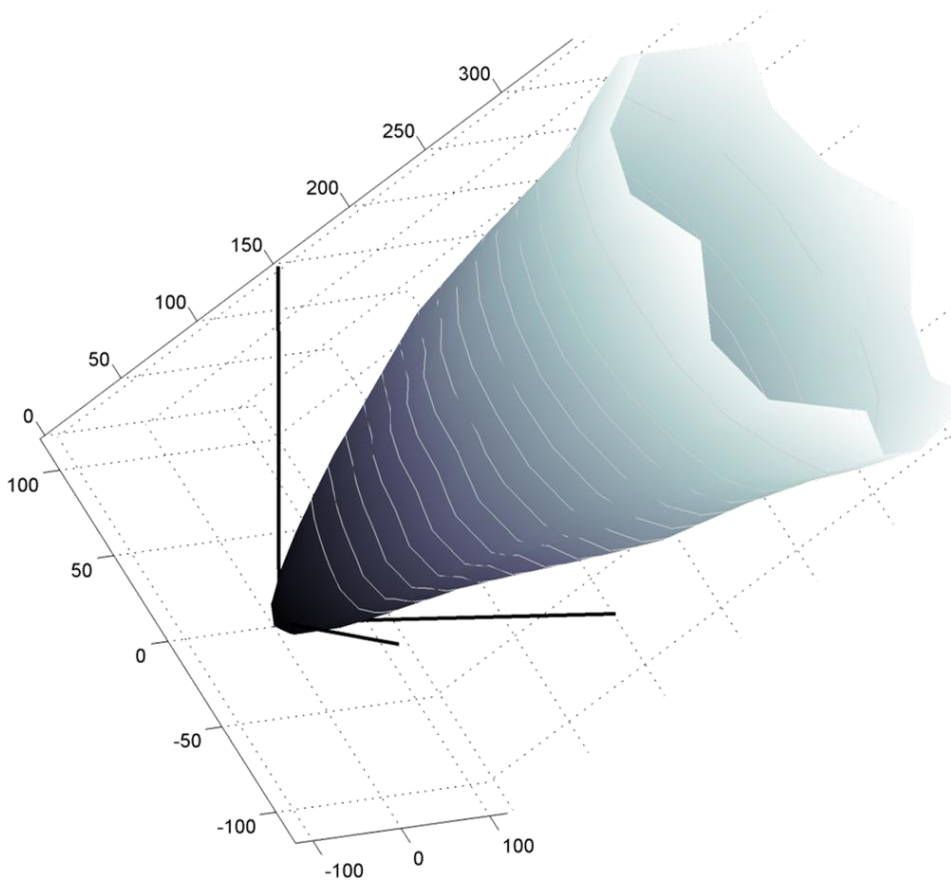
$$\begin{cases} \sigma_1 = 3\sigma_{oct} - \sigma_2 - \sigma_3 \\ \tau_{oct} = \tau_{oct}(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) \\ \psi = \psi(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) \end{cases}$$

Quelques résultats

- Enveloppes octaédriques du Calcaire de Soignies pour des contraintes moyennes de 90, 130 et 210 MPa



Enveloppe 3D pour le Grès des Vosges

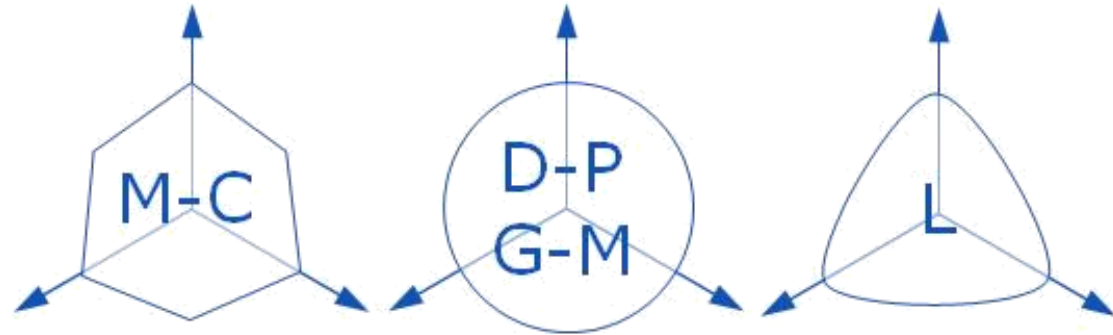


Modélisation des enveloppes limites par différents critères

- Introduction
- Construction des enveloppes
- Modélisation des enveloppes
- Vers des enveloppes tridimensionnelles intégrant les effets de la pression de pore et de la température
- Conclusions et perspectives

Critères actuellement traités

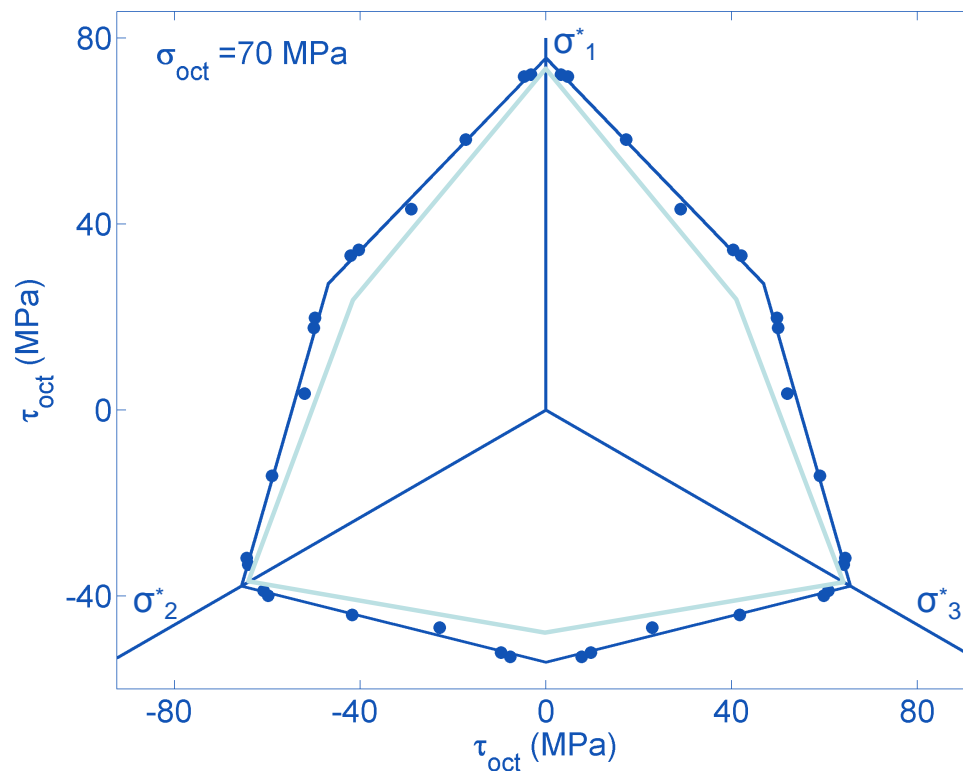
- Mohr-Coulomb
- Drucker-Prager
- Griffith-Murrell
- Critères de type Lade



- Choix de ces surfaces de charge justifié par :
 - Evolution de la forme des enveloppes octaédriques
 - Critères largement connus

Modélisation par le critère de Mohr-Coulomb

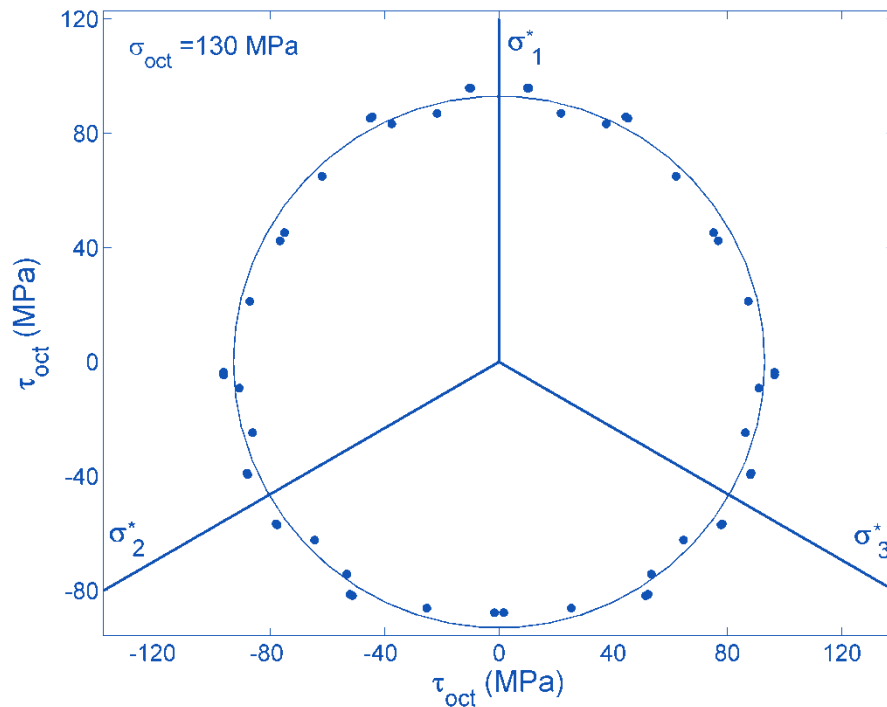
- 2 méthodes utilisées :
 - Plan de Mohr → plan octaédrique (indépendant de σ_2)
 - Plan octaédrique → plan de Mohr (dépendant de σ_2)



Modélisation par des critères circulaires

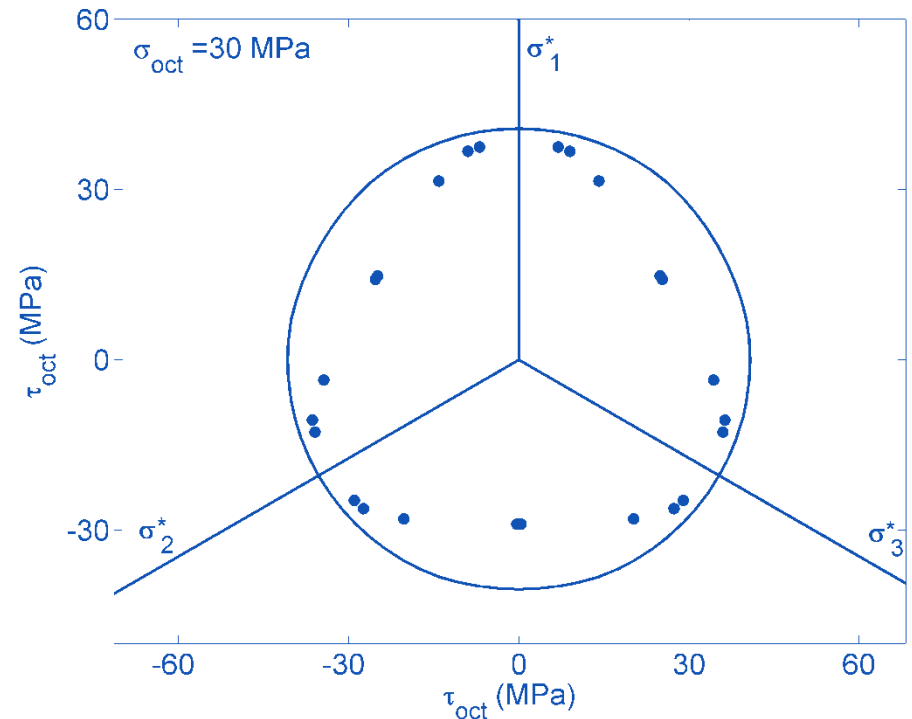
● Drucker-Prager :

- rayon moyen
- en plan octaédrique



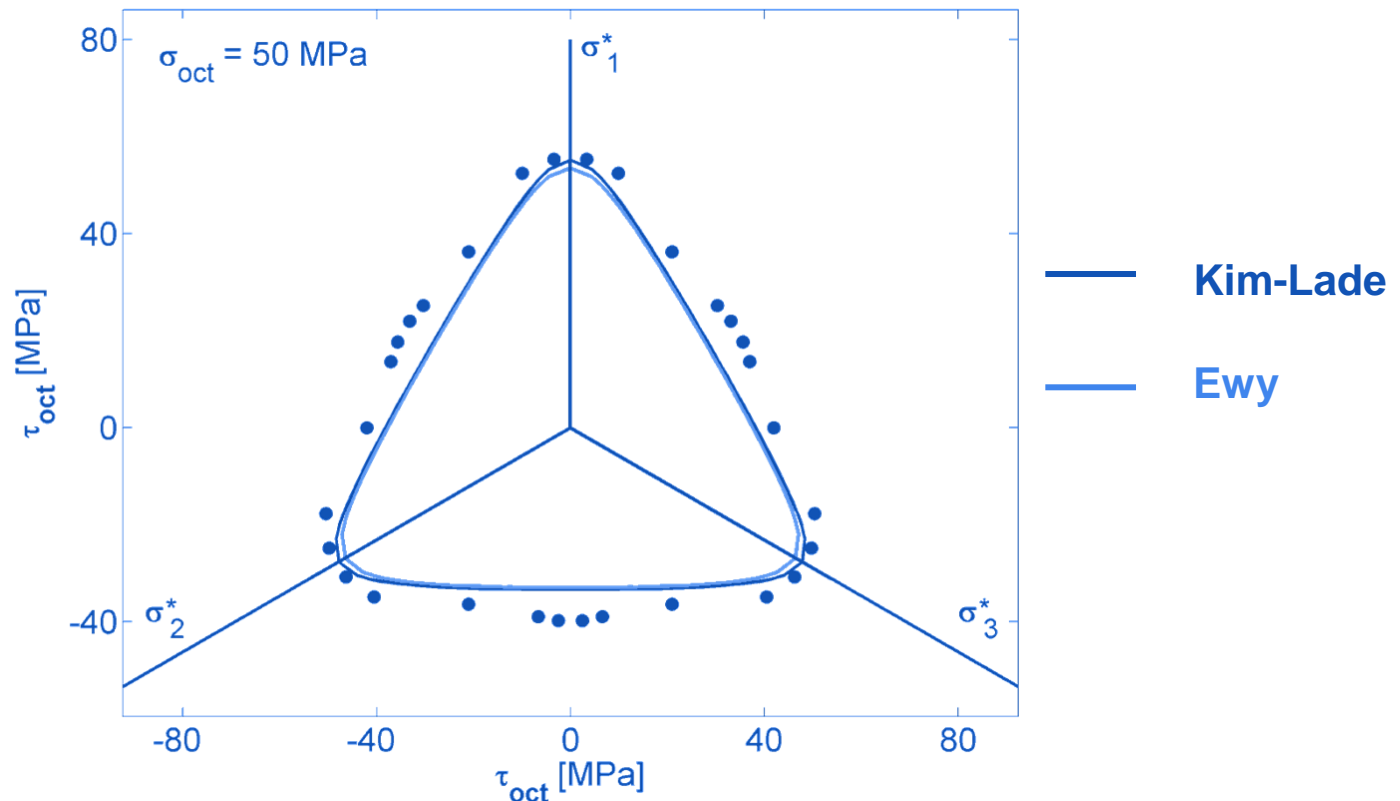
● Griffith-Murrell :

- rayon moyen
- sur plusieurs plans octa.



Modélisation par les critères de type « Lade »

- Prise en compte de la résistance à la traction
- Ajustement des paramètres m et η_1

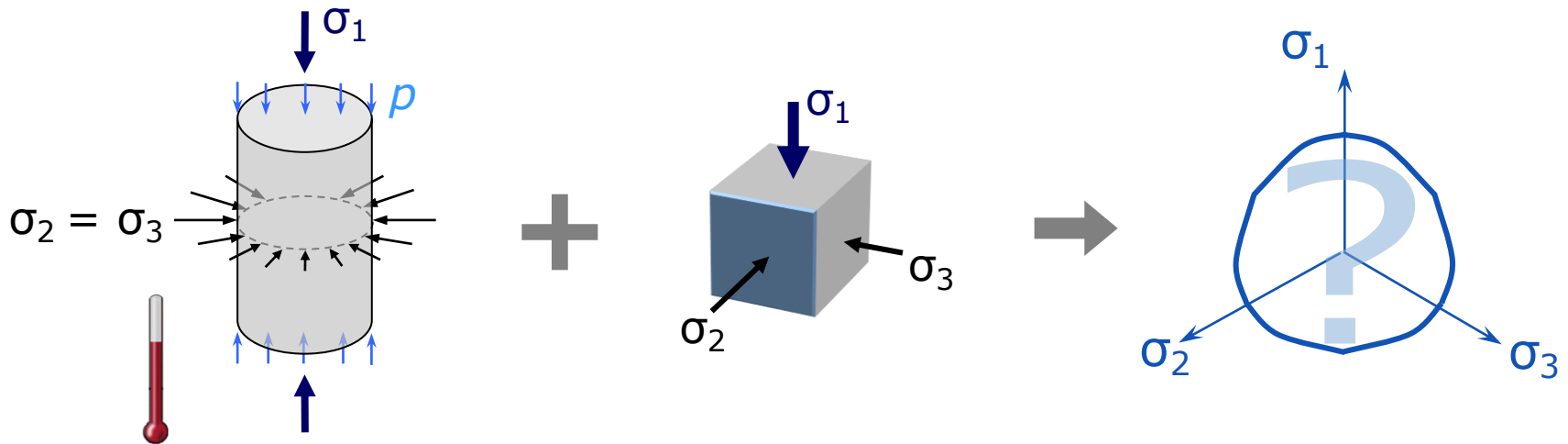


Modélisation des enveloppes limites par différents critères

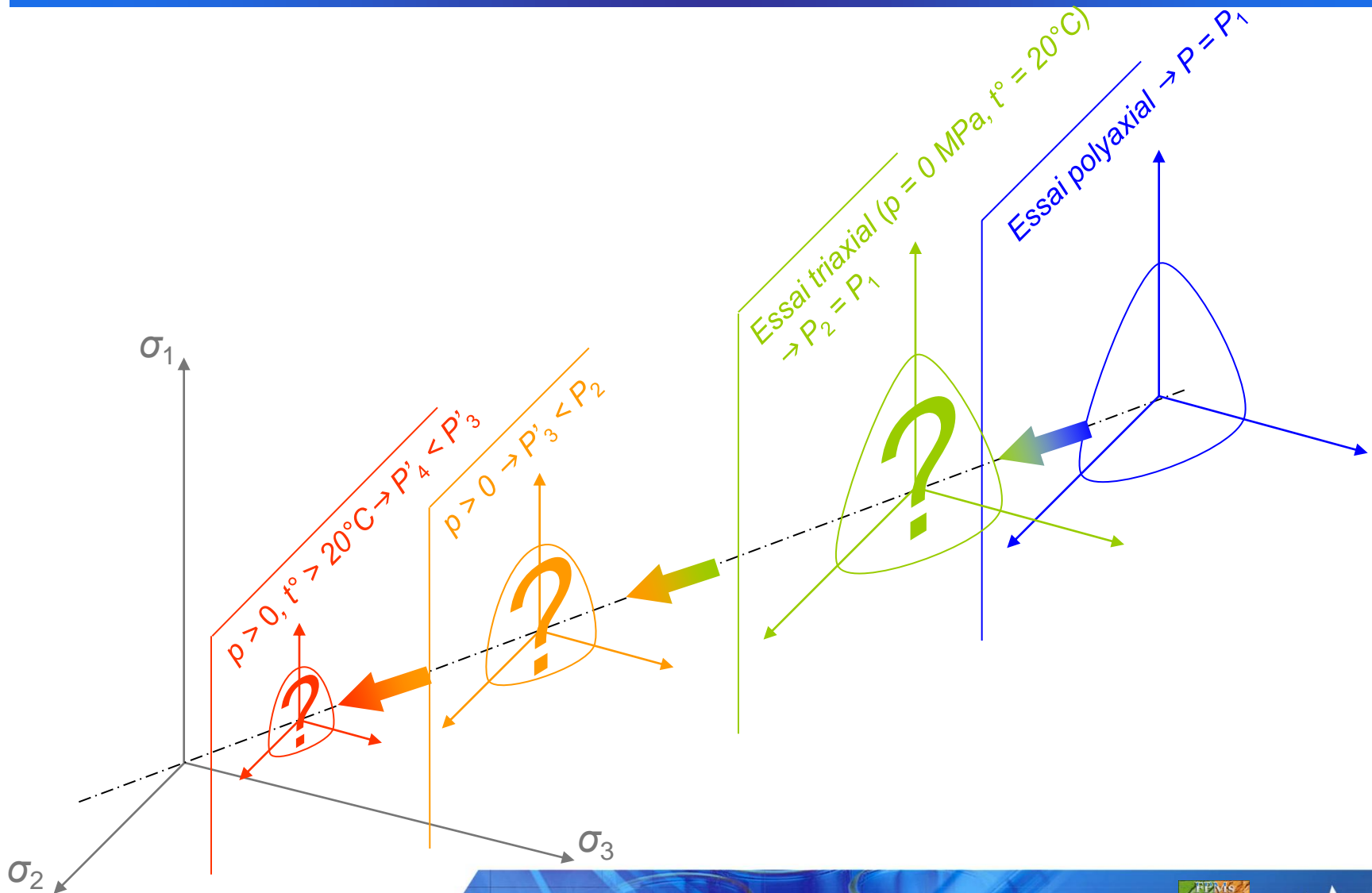
- Introduction
- Construction des enveloppes
- Modélisation des enveloppes
- Vers des enveloppes tridimensionnelles intégrant les effets de la pression de pore et de la température
- Conclusions et perspectives

Equipements expérimentaux

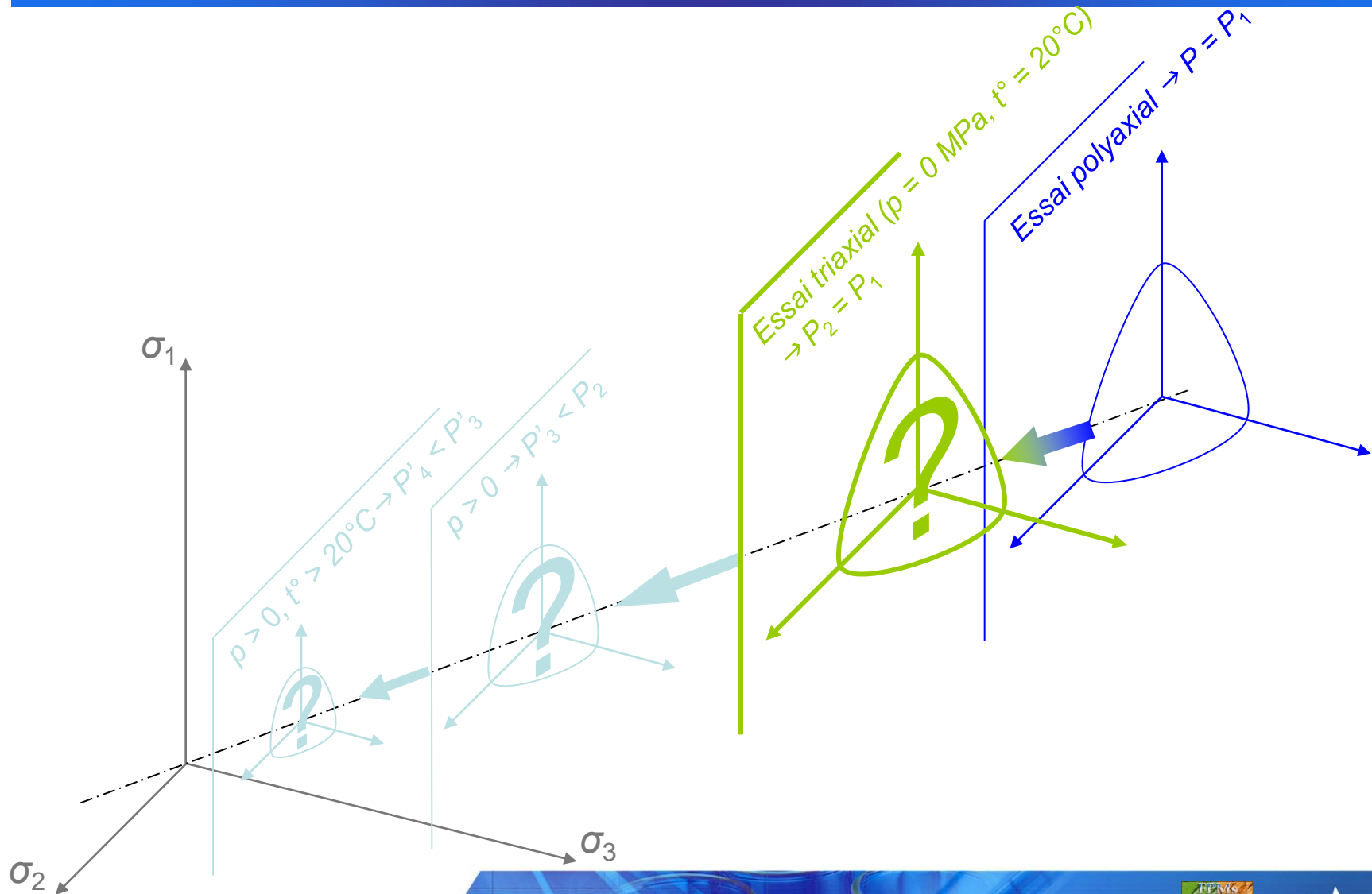
- Système triaxial automatisé avec contrôle de la pression de pore et de la température
- Système polyaxial (véritable triaxial)



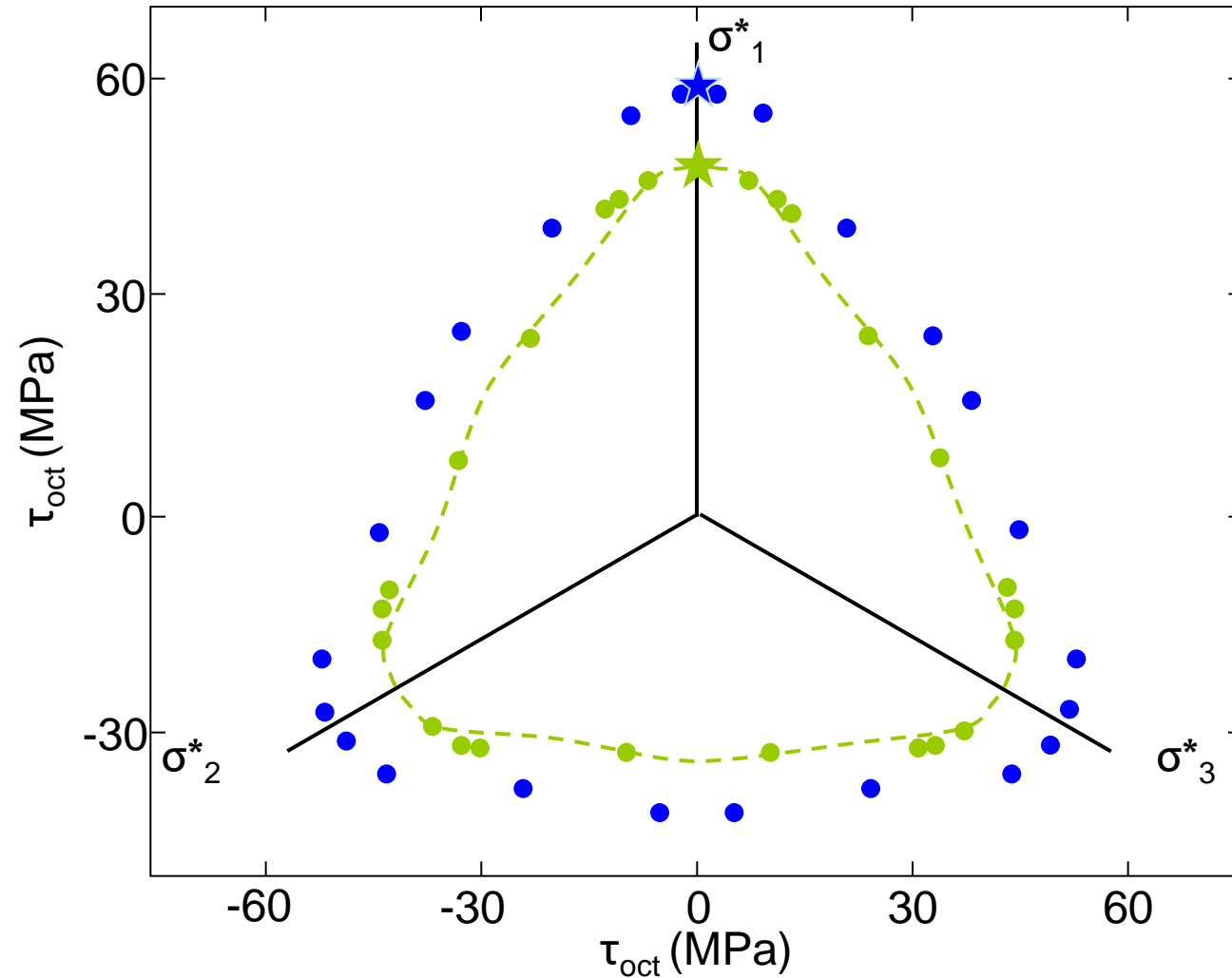
Aperçu général des étapes



Passage des essais polyaxiaux aux essais triaxiaux

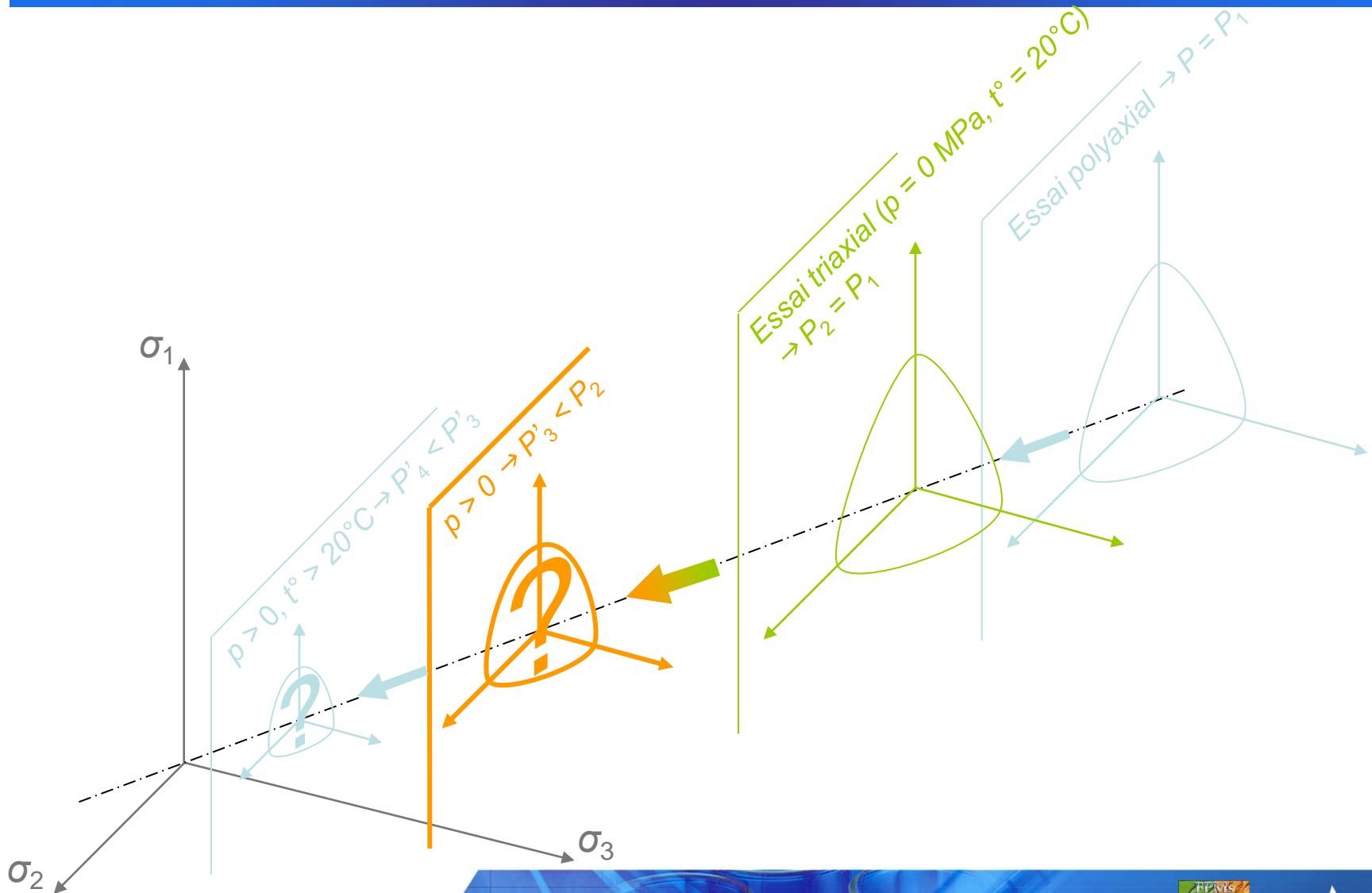


A même confinement, les essais polyaxiaux donnent des résistances plus élevées que les essais triaxiaux



- ★ Essai polyaxial
 $\sigma_2 = \sigma_3 = 10$ MPa
- Enveloppe octaédrique
 $\sigma_{oct} = 53$ MPa
- ★ Essai triaxial
 $\sigma_2 = \sigma_3 = 10$ MPa
 $\sigma_{oct} = 39$ MPa
- Enveloppe octaédrique
 $\sigma_{oct} = 39$ MPa
- Homothétie de l'enveloppe octaédrique
 $\sigma_{oct} = 53$ MPa

Effet de la pression de pore



Le concept de contraintes effectives pour prendre en compte la pression de pore

- $[\sigma'] = [\sigma] - b.p$

- Rupture : $b = 1$
(Boutéca et Guéguen)

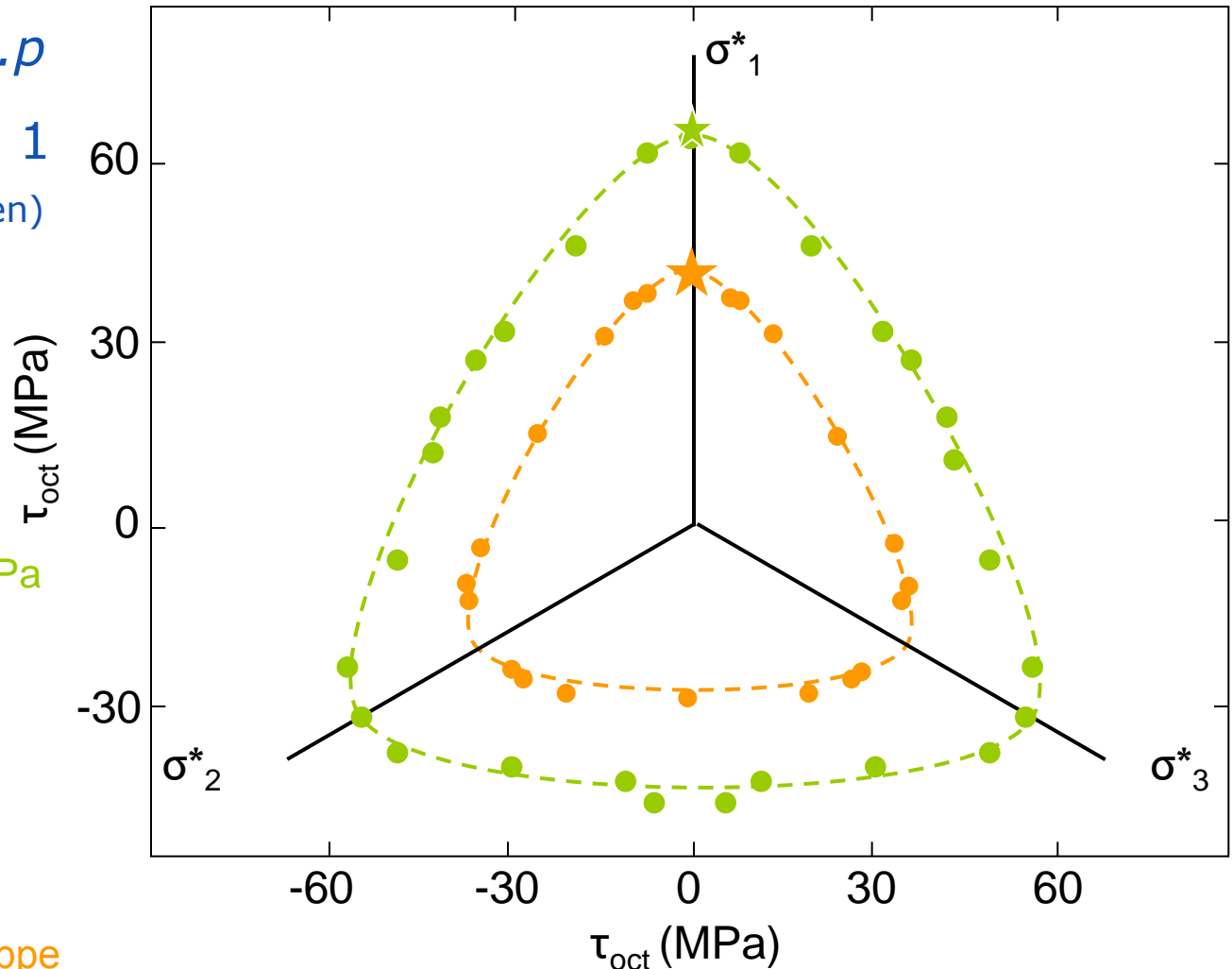
- ★ Essai triaxial
 $\sigma_2 = \sigma_3 = 20$ MPa
 $\sigma_{oct} = 59$ MPa

- Envel. Octa. $\sigma_{oct} = 59$ MPa

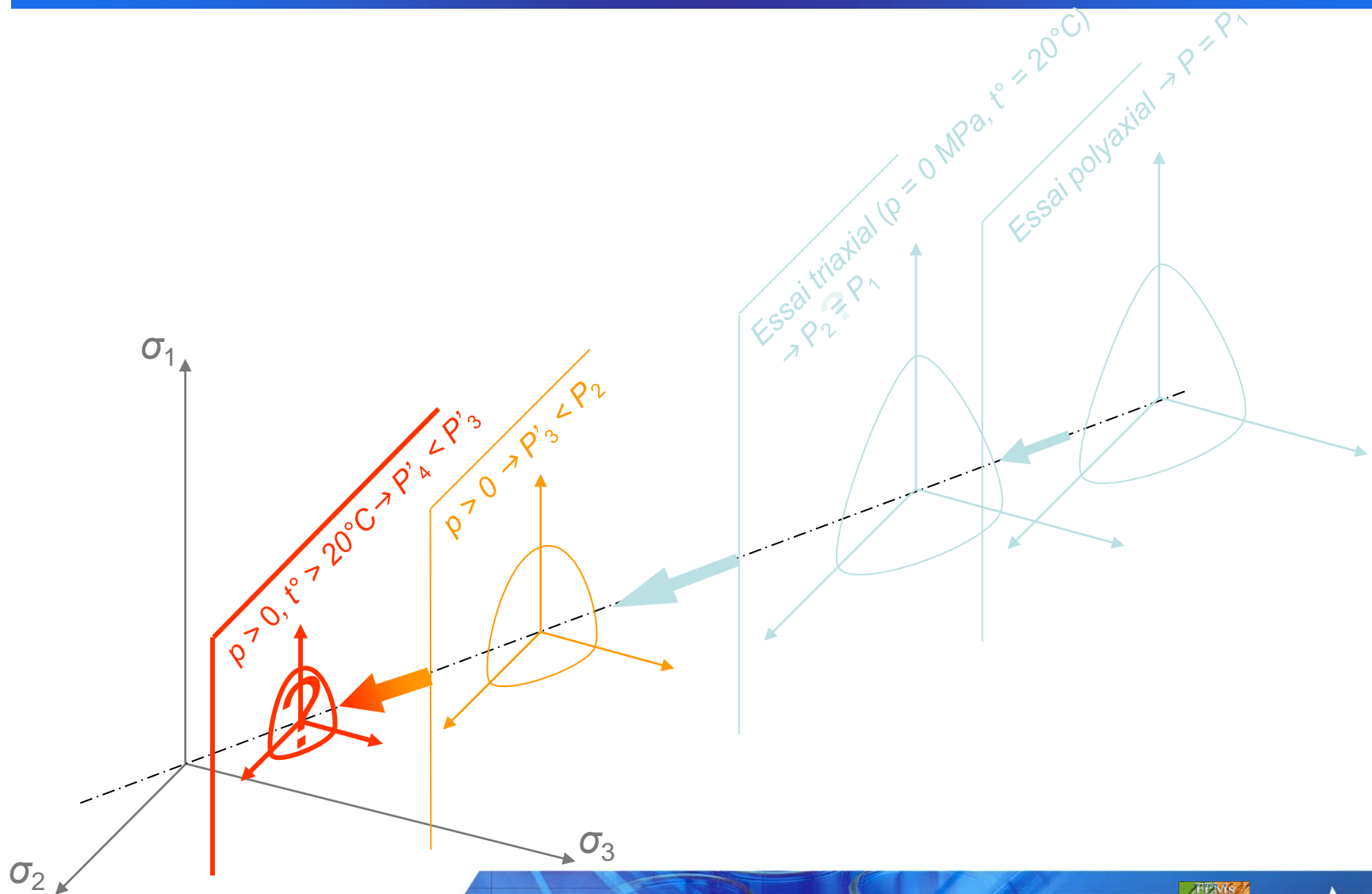
- ★ $p = 10$ MPa
 $\sigma'_{oct} = 30$ MPa

- Enveloppe octaédrique
 $\sigma_{oct} = 30$ MPa

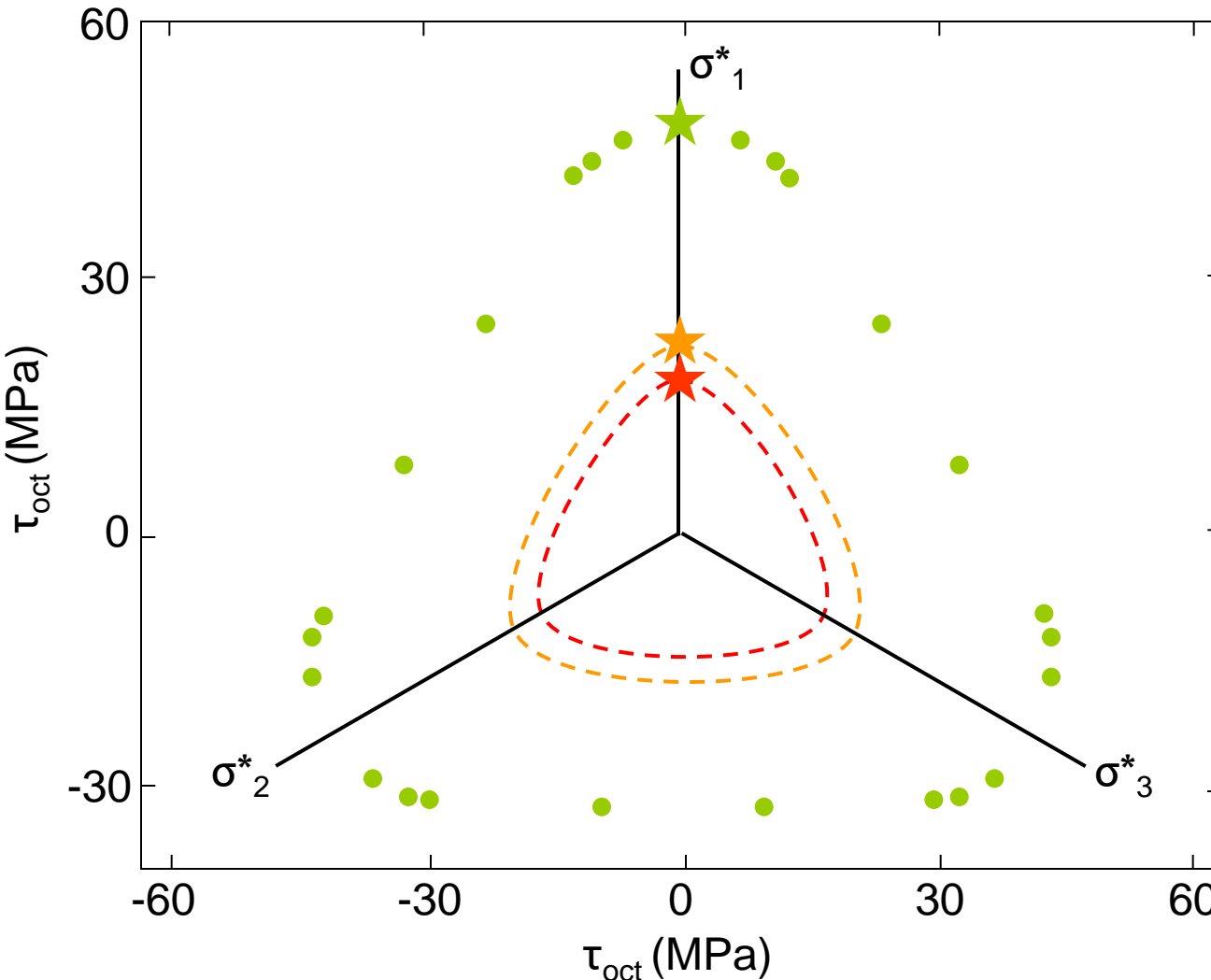
- Homothétie de l'enveloppe octaédrique $\sigma_{oct} = 59$ MPa



Effet de la température



La combinaison p et t° décale encore l'enveloppe dans les plans octaédriques et réduit sa taille



★ Essai triaxial $\sigma_3 = 10$ MPa
→ $\sigma_{oct} = 39$ MPa

★ Essai triaxial $\sigma_3 = p = 10$ MPa
→ $\sigma'_{oct} = 16$ MPa

★ Essai triaxial
 $\sigma_3 = p = 10$ MPa à 90°C
→ $\sigma'_{oct} = 12$ MPa

Modélisation des enveloppes limites par différents critères

- Introduction
- Construction des enveloppes
- Modélisation des enveloppes
- Vers des enveloppes tridimensionnelles intégrant les effets de la pression de pore et de la température
- Conclusions et perspectives

Conclusions

- Mise au point d'outils pour représenter des enveloppes limites dans l'espace des contraintes principales
- Modélisation par des surfaces de charge largement utilisées en mécanique des roches et avec des formes variées en plan octaédrique
- Premiers pas vers la prise en compte des effets de la pression de pore et de la température

Perspectives

- Développer un outil pour déterminer la meilleure surface de charge théorique par rapport à une enveloppe donnée
- Affiner la représentation intégrant les effets de pression de pore et de température
- Représenter les enveloppes limites pour des roches anisotropes
- ...