



Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC)

Division Mécanique des Sols et des Roches et Géologie de l'Ingénieur (MSRGI)

Modélisation Numérique par Eléments Finis du creusement d'une galerie et du boulonnage de l'EDZ Fracturé

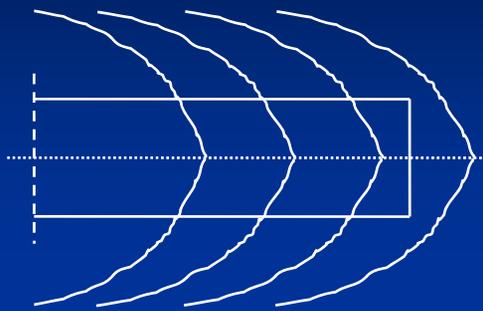
Présenté par:

Ahmad Pouya

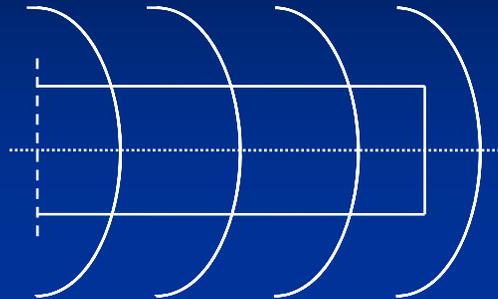
Ehsan Seyedi Hosseininia

Mai 2009

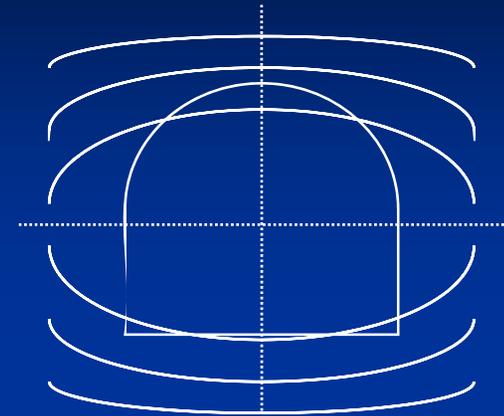
Fracture en chevrons (Fch)



(a)



(b)

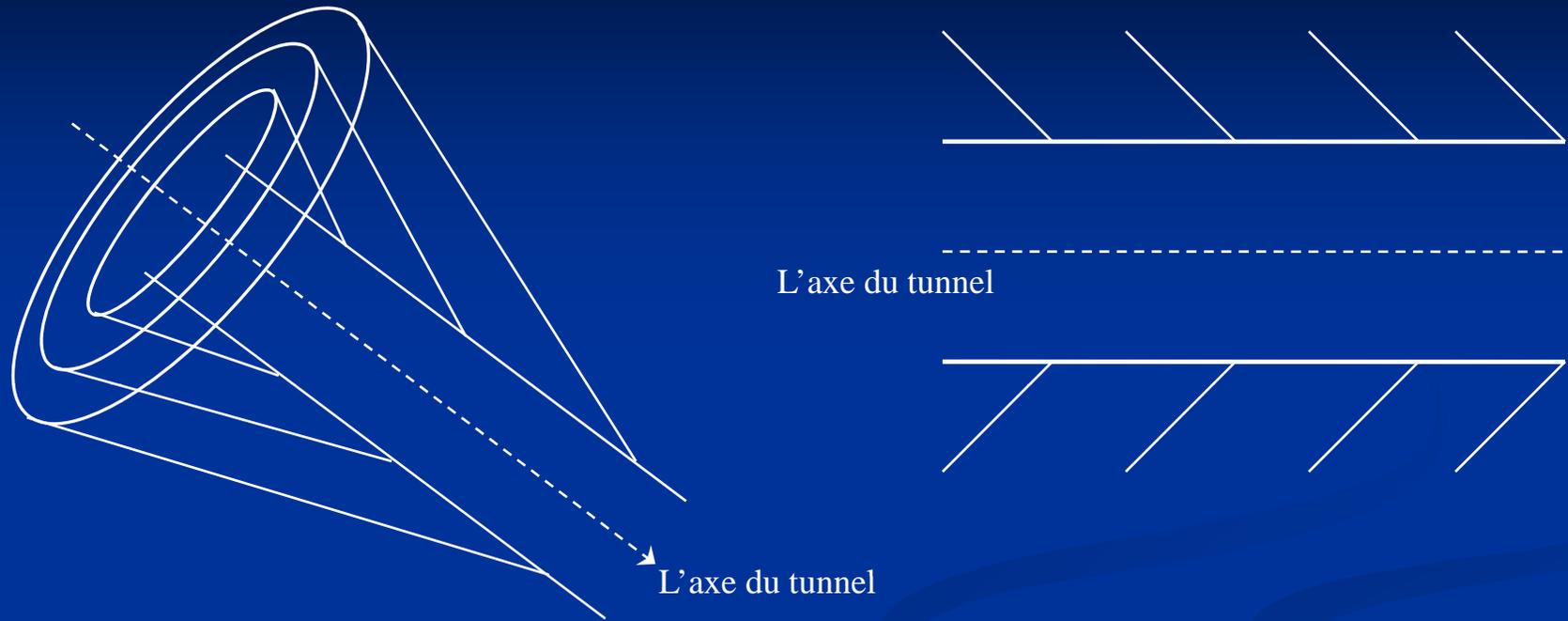


(c)

Géométrie des fractures en chevron (Fch) observées dans l'EDZ représentée dans trois plans de coupe (ANDRA 2008):

- (a) vertical parallèle à l'axe de la galerie
- (b) horizontal
- (c) vertical orthogonal à l'axe de la galerie.

Représentation simplifiée des Fch



Représentation de la géométrie des fractures en chevrons sous forme de surfaces coniques de symétrie axiale autour de l'axe de la galerie

Boulonnage

Modèle Multiphasique (de Buhan et Sudret 1999)

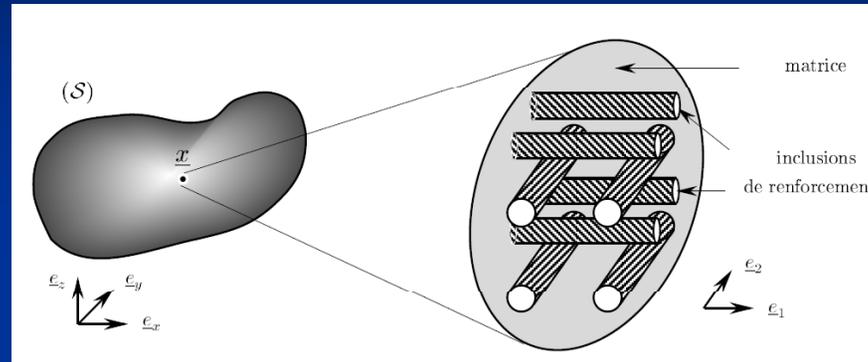
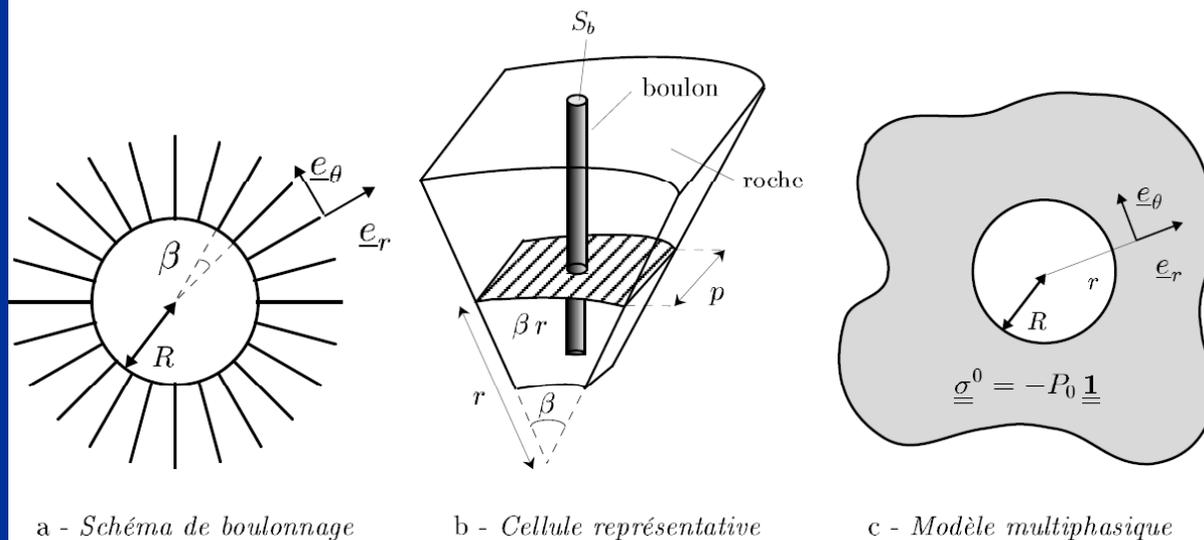


Schéma de renforcement



Modèle Numérique

1- Étude paramétrique

Modélisation d'une galerie :

- Section circulaire (diamètre = 5 m)
- Profondeur de 75 m (Surcharge = 1,50 MPa)
- Épaisseur des zones fracturées:

2 m pour la paroi

2,5 m pour le front de taille

Maillage

Tunnel à creuser

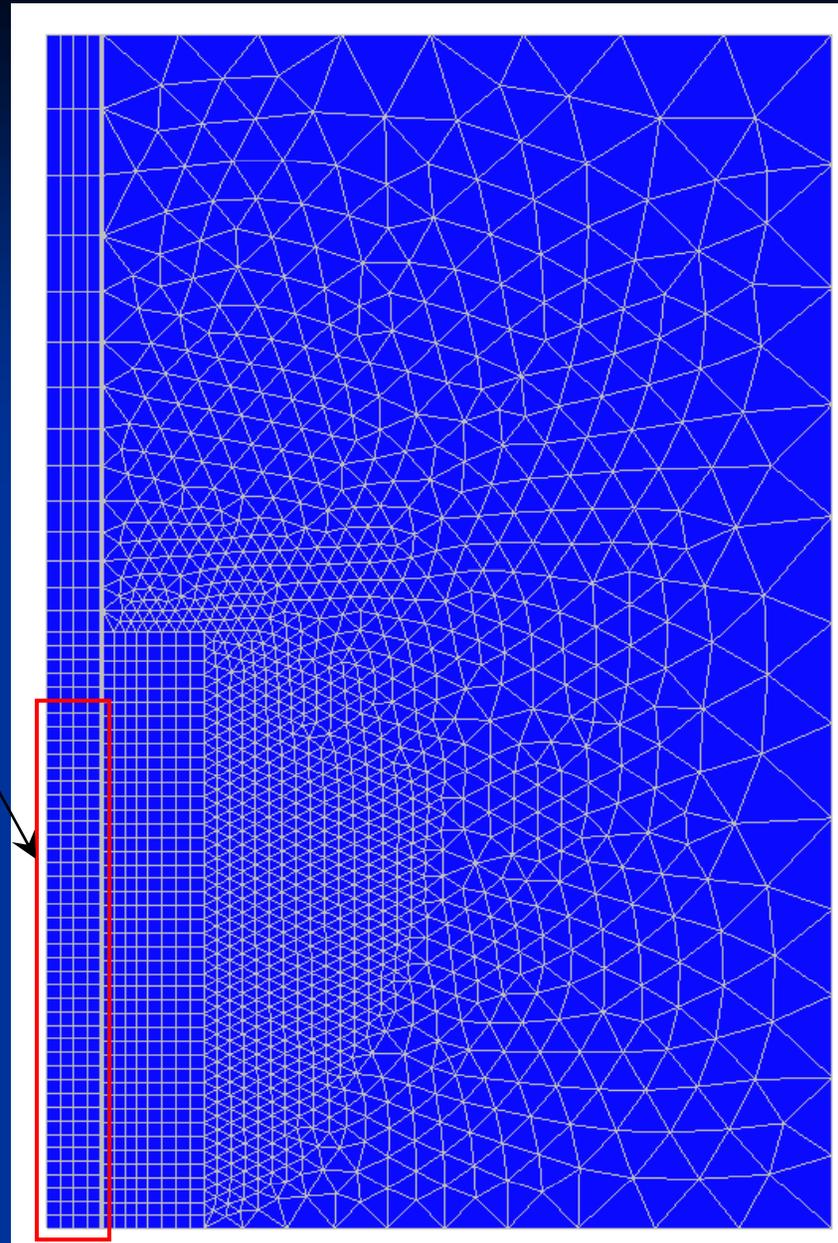
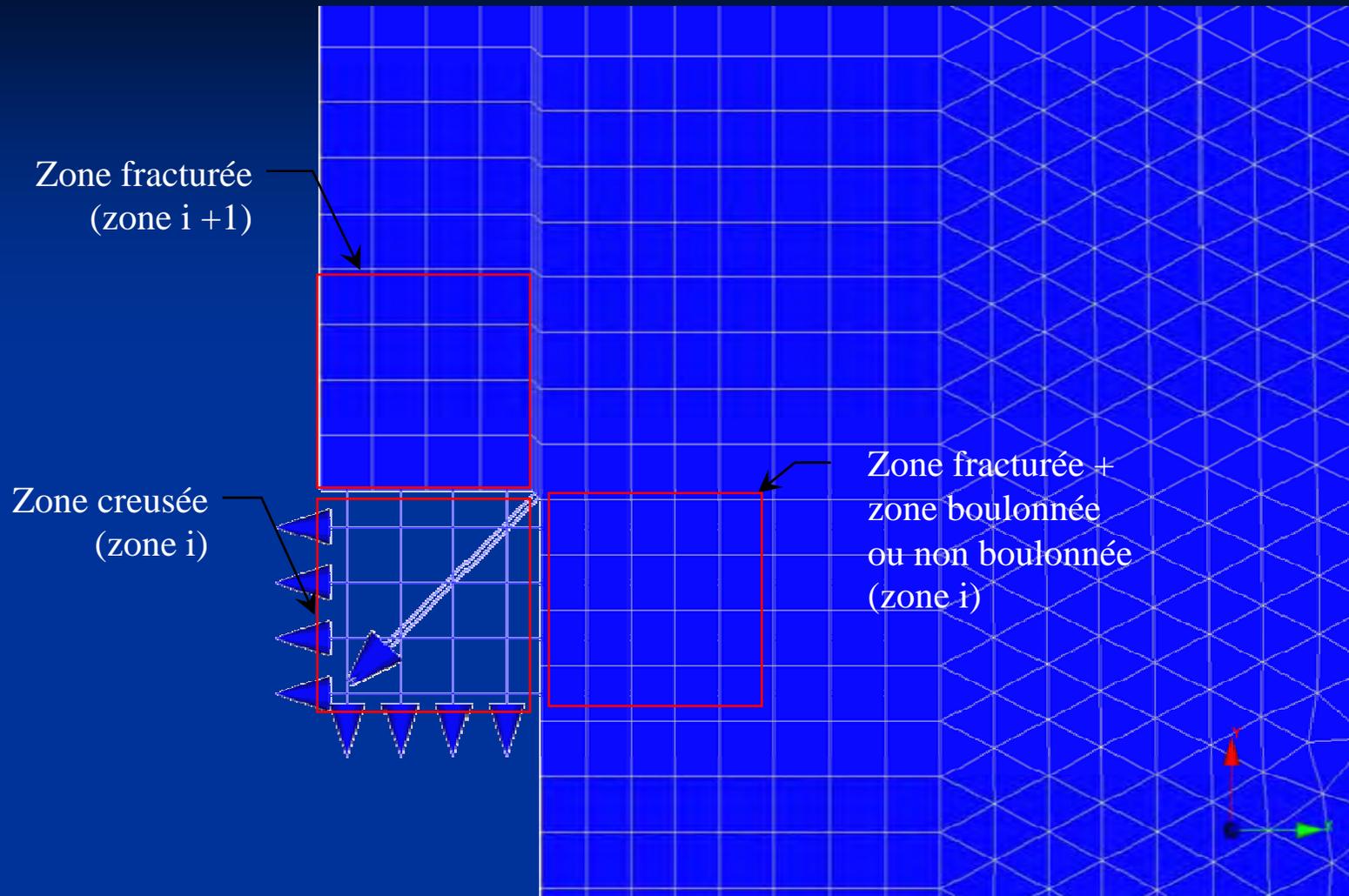


Schéma du Maillage



Représentation des zones et de la pression de déconfinement dans chaque passe de la modélisation

Caractéristiques du terrain sain

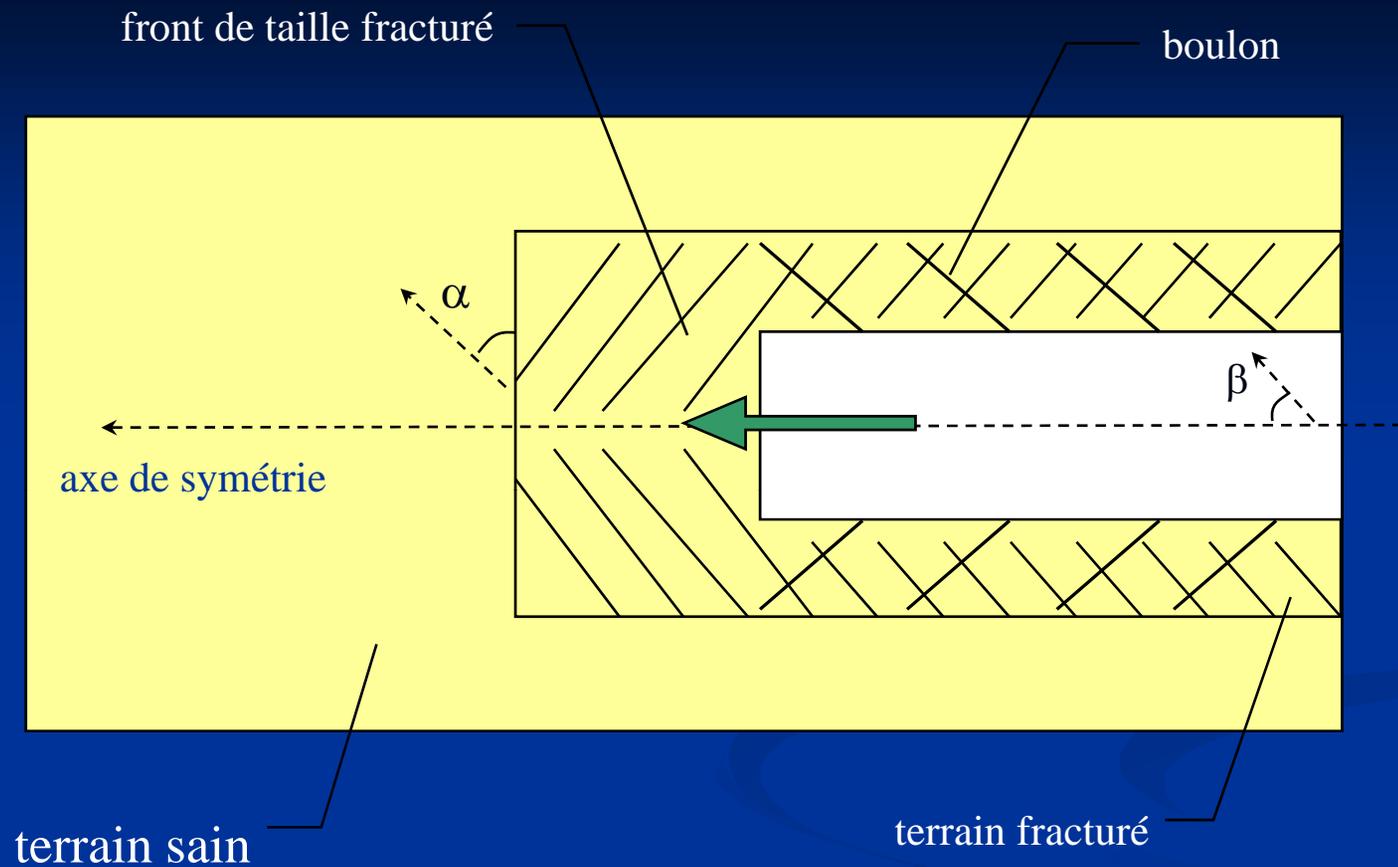
Module d'Young	Coefficient de Poisson	Cohésion	Angle de frottement	Angle de dilatance
MPa	-	(kPa)	degré	degré
50	0,35	100	30	20

$$E_1 = E ; \nu_1 = \nu ; E_2 = \frac{1}{\frac{1}{E} + \frac{1}{k_n D}} ; \nu_2 = \nu \frac{E_2}{E} = \frac{\nu}{1 + \frac{E}{k_n D}} ; G = \frac{1}{\frac{2(1+\nu)}{E} + \frac{1}{k_t D}}$$

Caractéristiques des fractures

Kn	Kt	D	α
MPa/m	MPa/m	m	Degré
500	5	0,2	-60, -45, -30, +30, +45, +55

- La rigidité normale, Kn
- La rigidité tangentielle, Kt
- L'espace entre deux fractures successives, D
- L'angle α entre l'axe perpendiculaire de symétrie et le plan tangent aux fractures



Définition des angles α et β dans le modèle géométrique du tunnel creusé

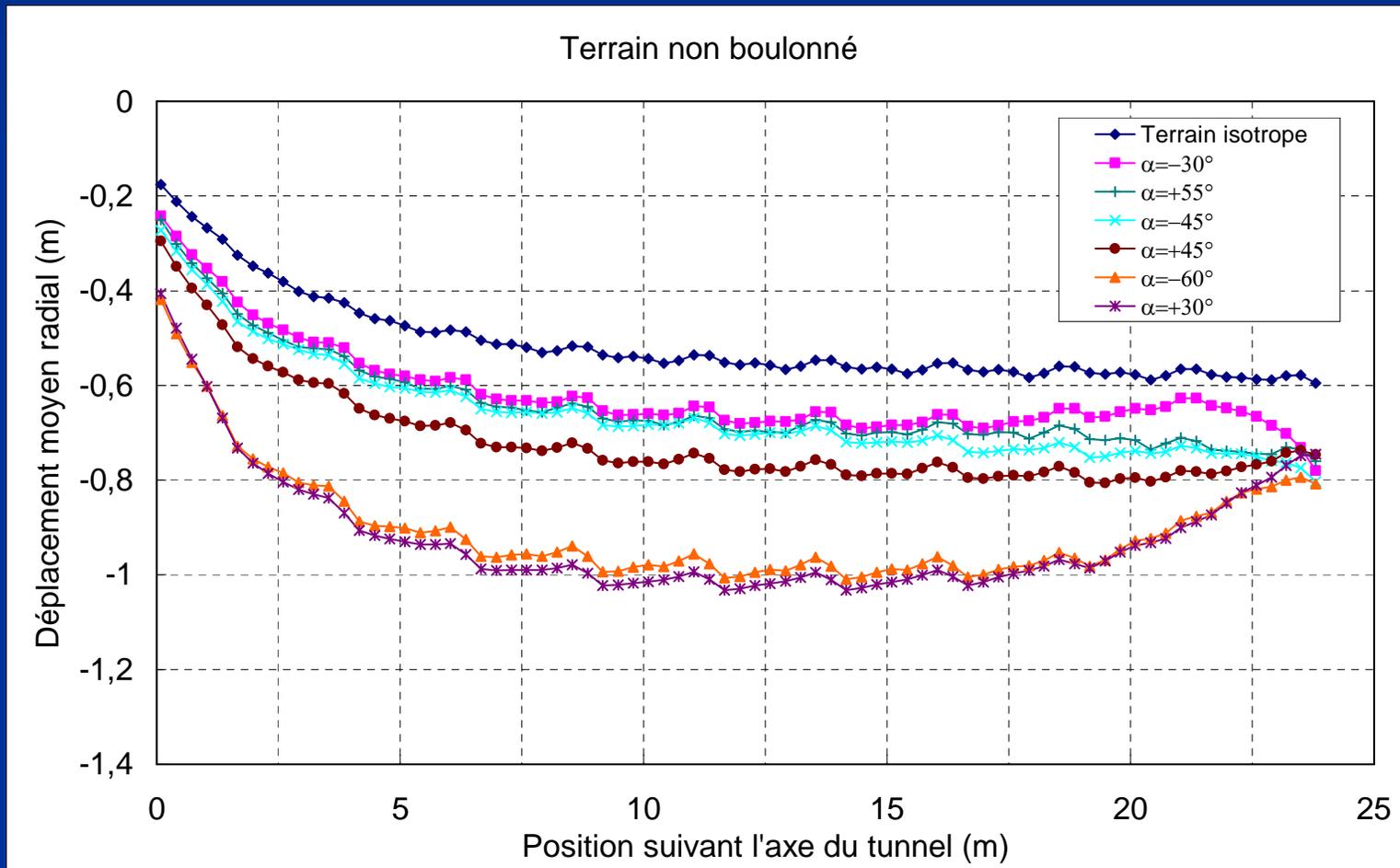
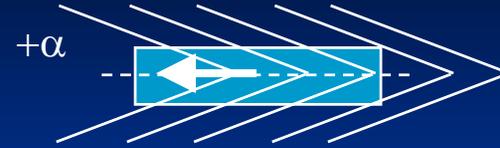
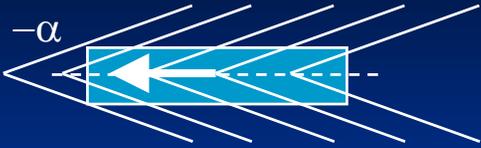
Caractéristiques des boulons

E^b	d	β	Densité
GPa	mm	degré	boulon/m ²
210	25	30, 60, 90	1

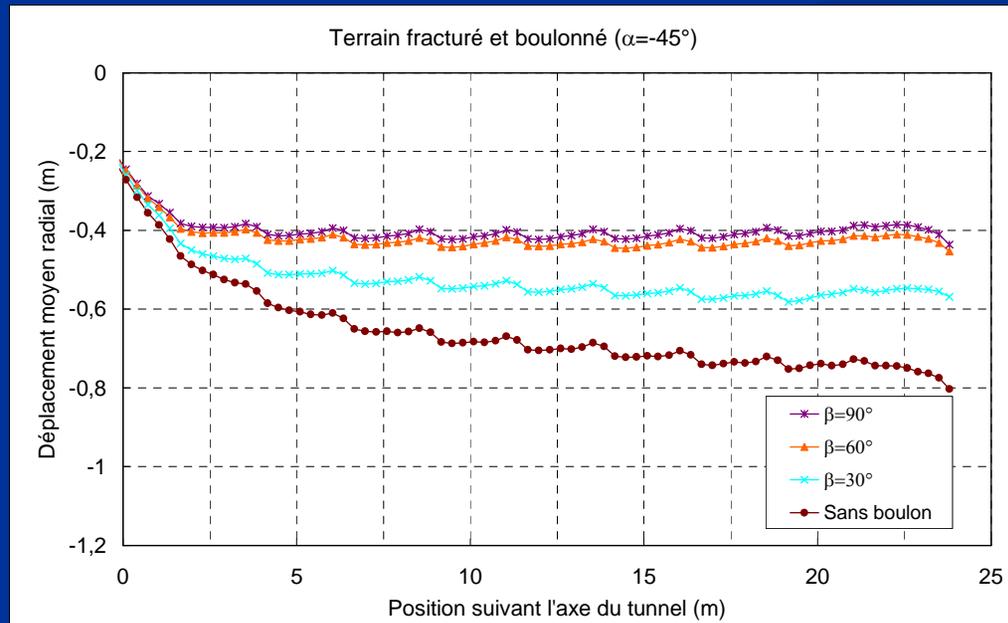
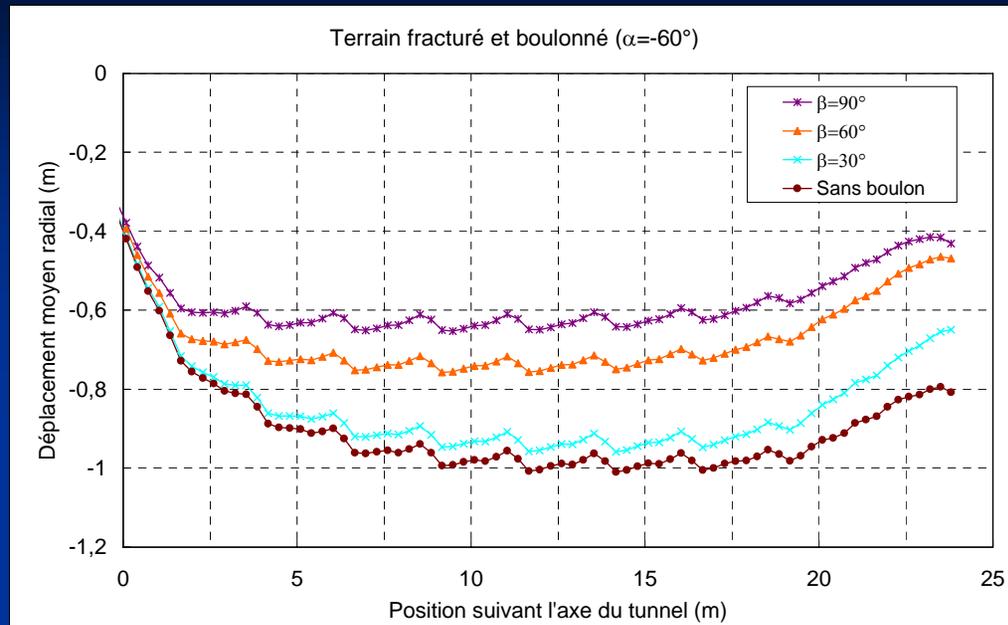
- Le module d'Young, E^b
- La diamètre, d
- L'angle β entre l'axe de symétrie (c'est-à-dire l'axe du tunnel) et le plan des boulons

RESULTATS

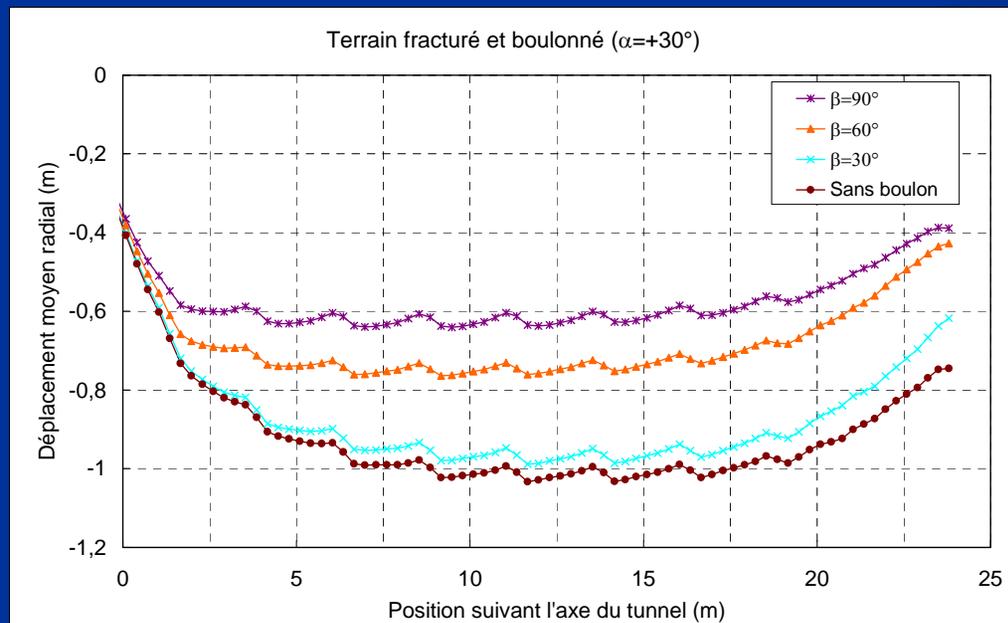
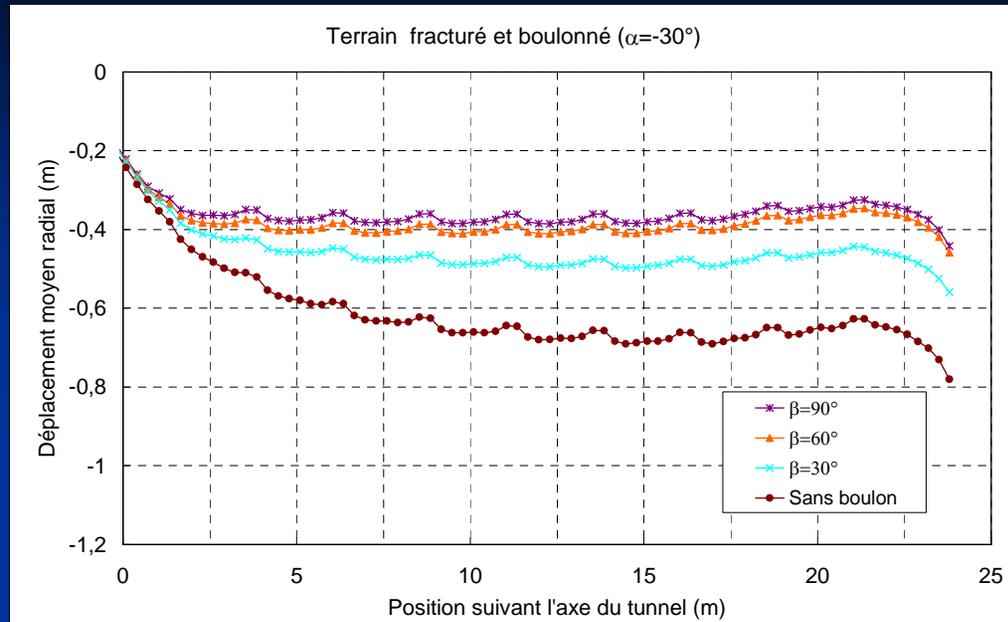
Effet de la fracturation du terrain



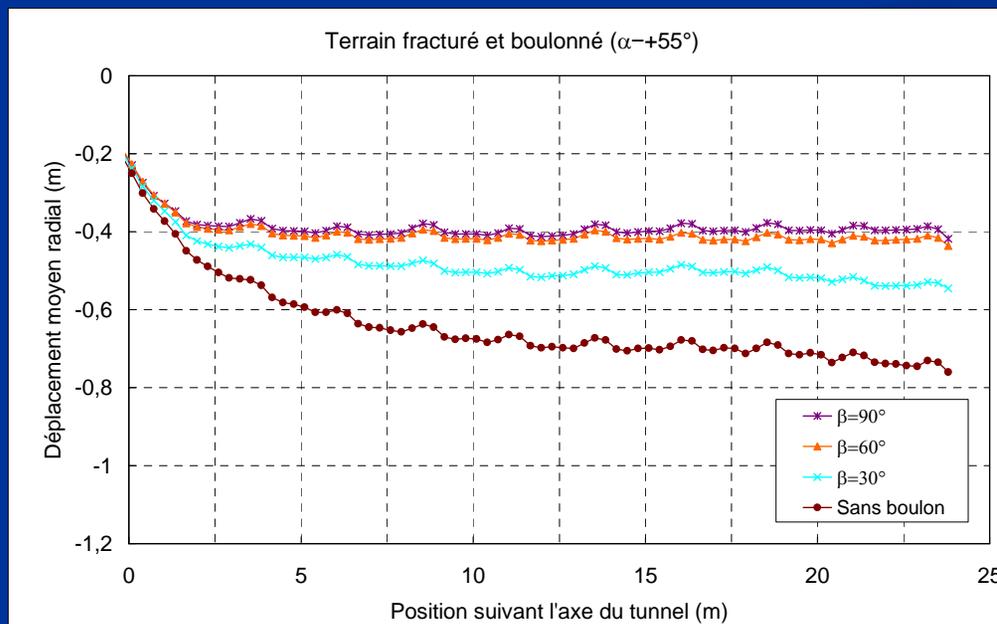
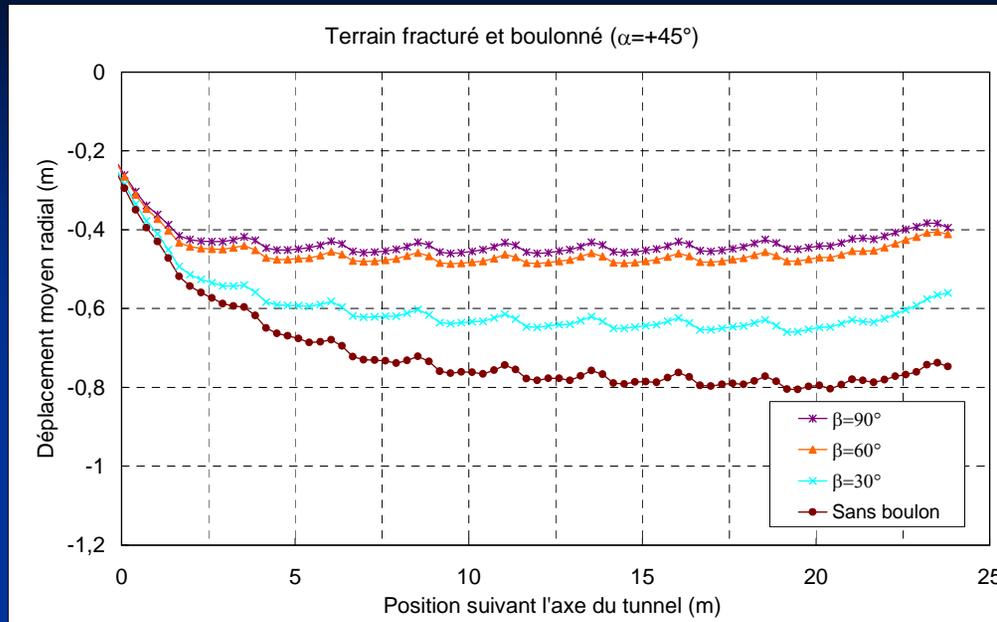
Effet du boulonnage



Effet du boulonnage



Effet du boulonnage



Conclusion 1

On retrouve bien que la convergence de l'intrados du tunnel est plus faible dans le terrain sain (isotrope) que le terrain fracturé (anisotrope).

Le principal résultat est le suivant :

La réduction de convergence due aux boulons est maximale pour des boulons perpendiculaires à l'axe du tunnel, quelle que soit l'ouverture des chevrons.

Modèle Numérique

2- Étude de l'ANDRA

Modélisation d'une galerie :

- Section circulaire (diamètre = 5 m)
- Profondeur de 500 m (Surcharge = 12,1 MPa)
- Épaisseur des zones fracturées :

2 m pour la paroi

2,5 m pour le front de taille

Paramètres du terrain

Chiarelli et al. (2003)

Module d'Young	Coefficient de Poisson	Cohésion	Angle de frottement	Angle de dilatance
MPa	-	(kPa)	degré	degré
8400	0,30	7,26	31,5	20

Caractéristiques des fractures

K_n	K_t	D
MPa/m	MPa/m	m
8400	840	0,6

Paramètres du terrain

ANDRA (2005)

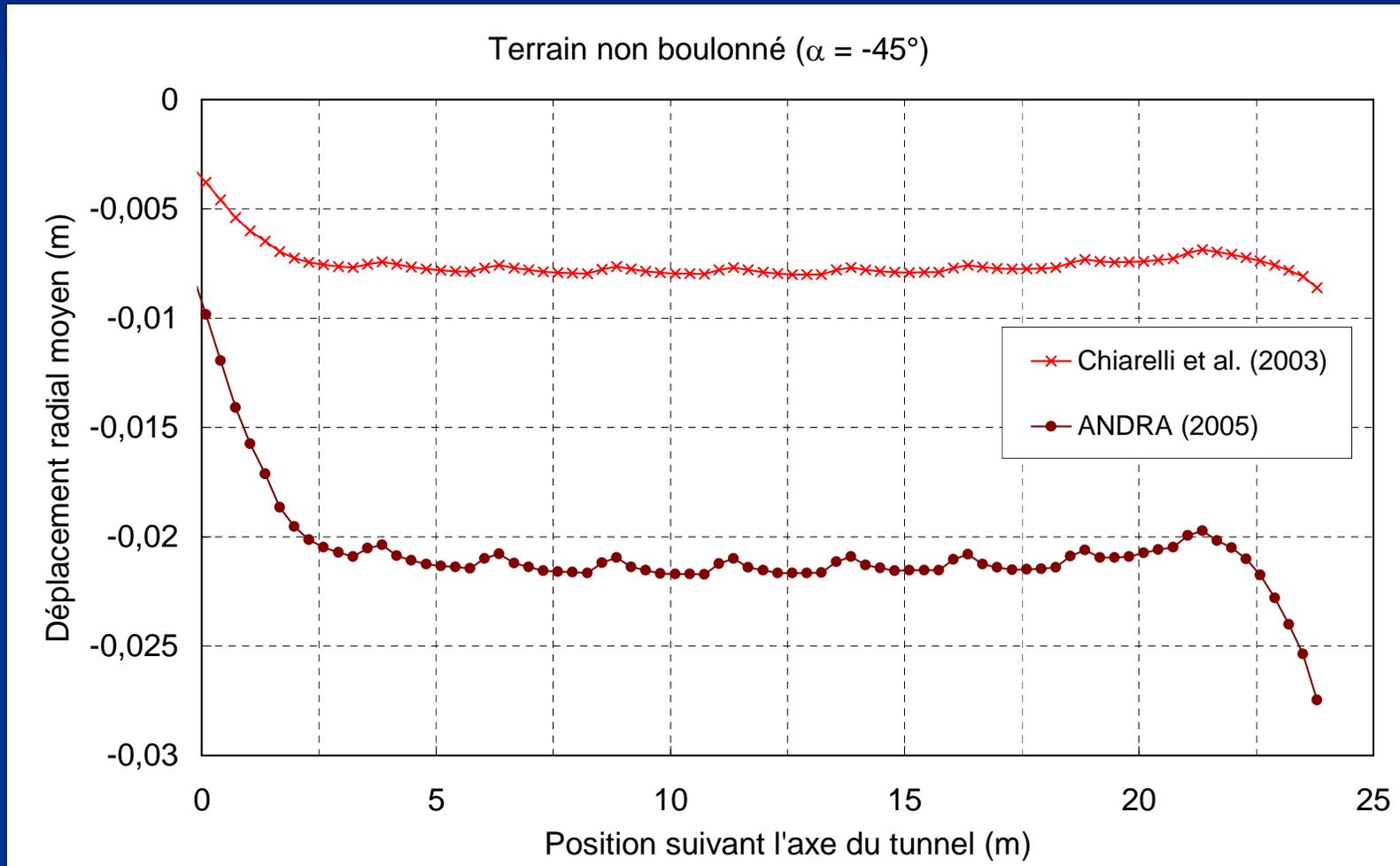
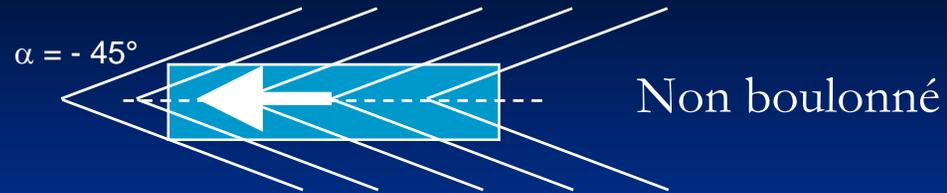
Module d'Young	Coefficient de Poisson	Cohésion	Angle de frottement	Angle de dilatance
MPa	-	(kPa)	degré	degré
4000	0,30	6	16	10

Caractéristiques des fractures

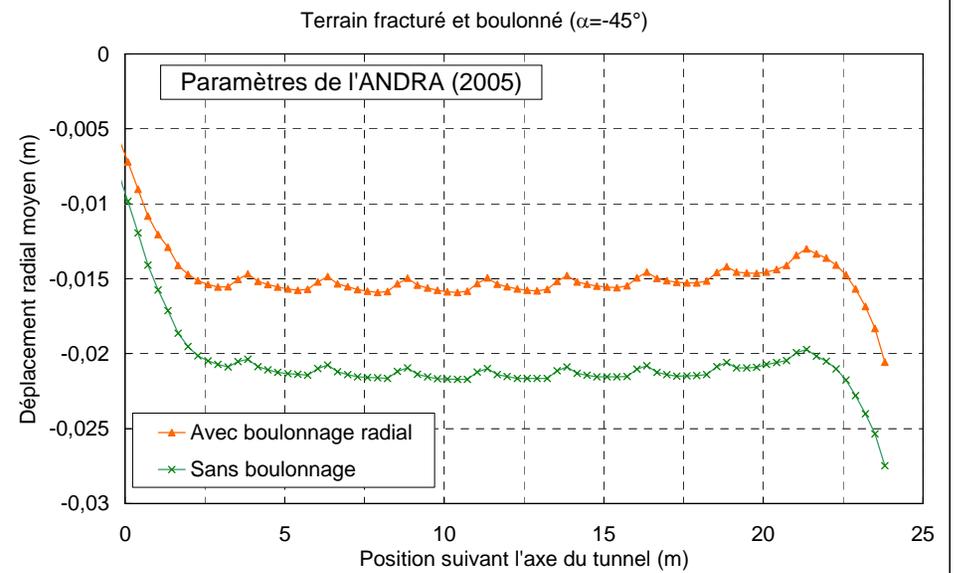
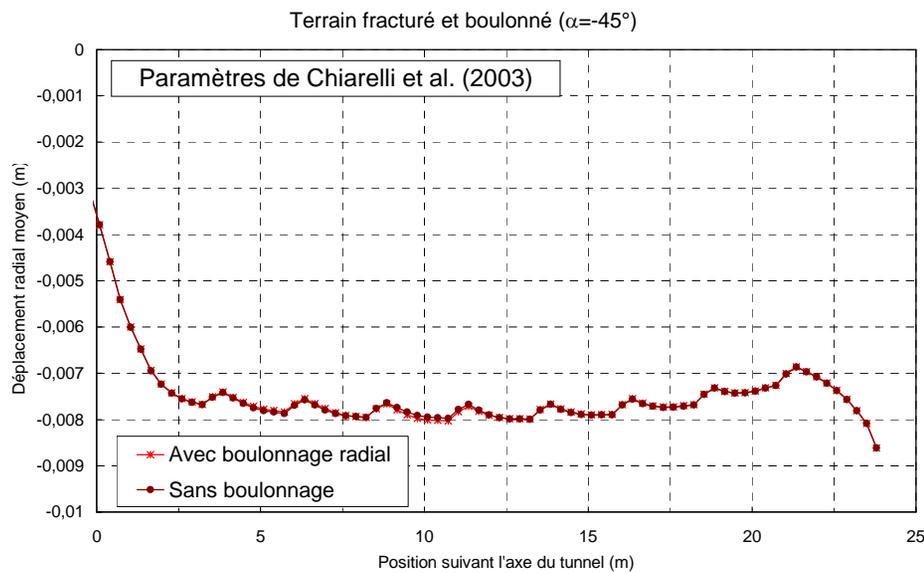
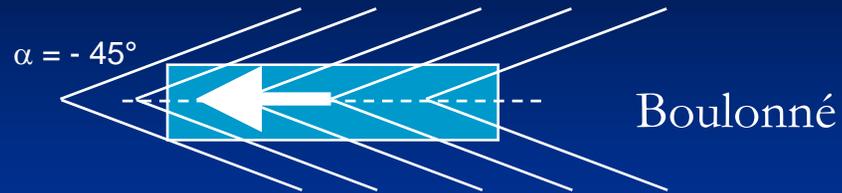
K_n	K_t	D
MPa/m	MPa/m	m
4000	400	0,6

RESULTATS

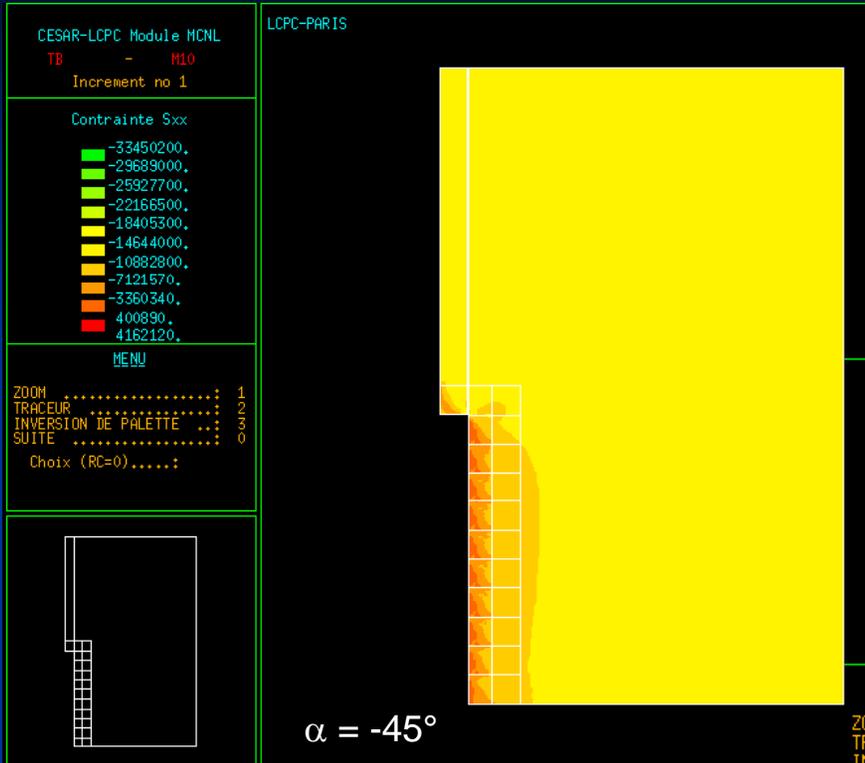
Comparaison par rapport aux paramètres choisis



Comparaison par rapport aux paramètres choisis



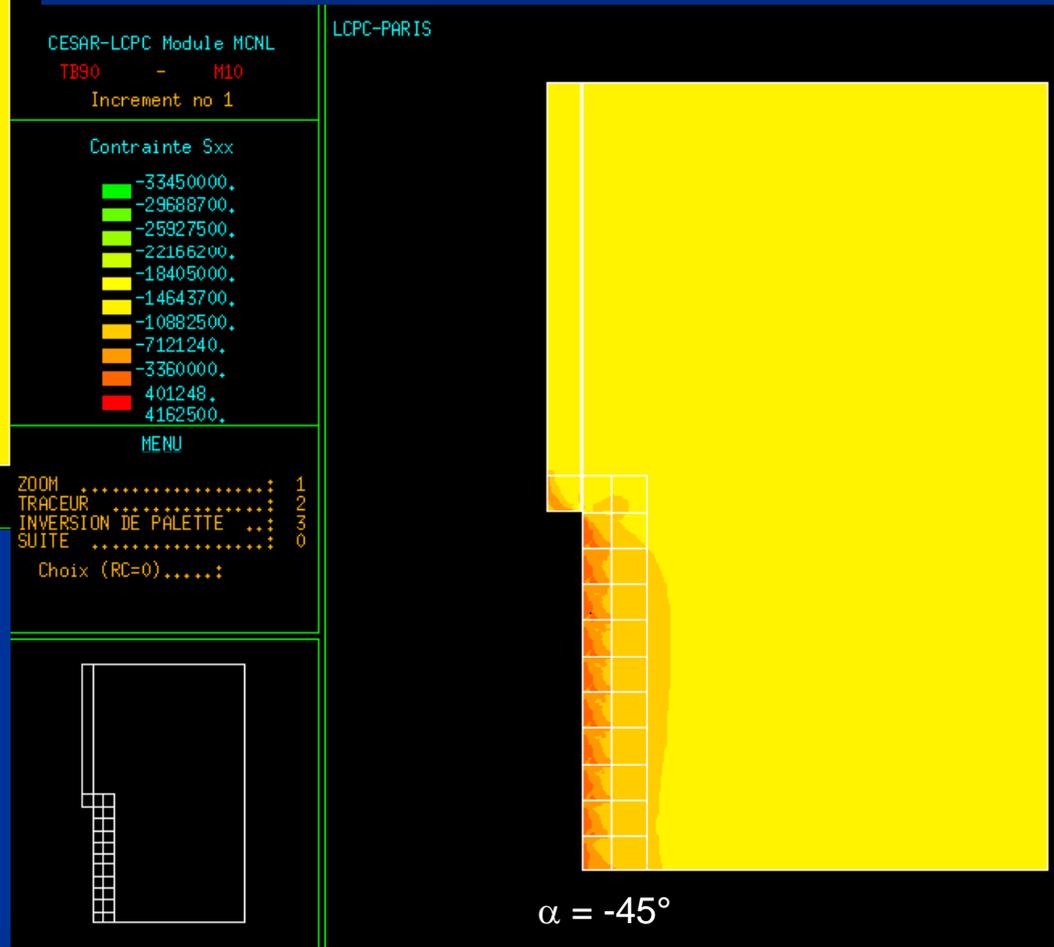
Comparaison par rapport aux paramètres choisis



Sans Boulonnage

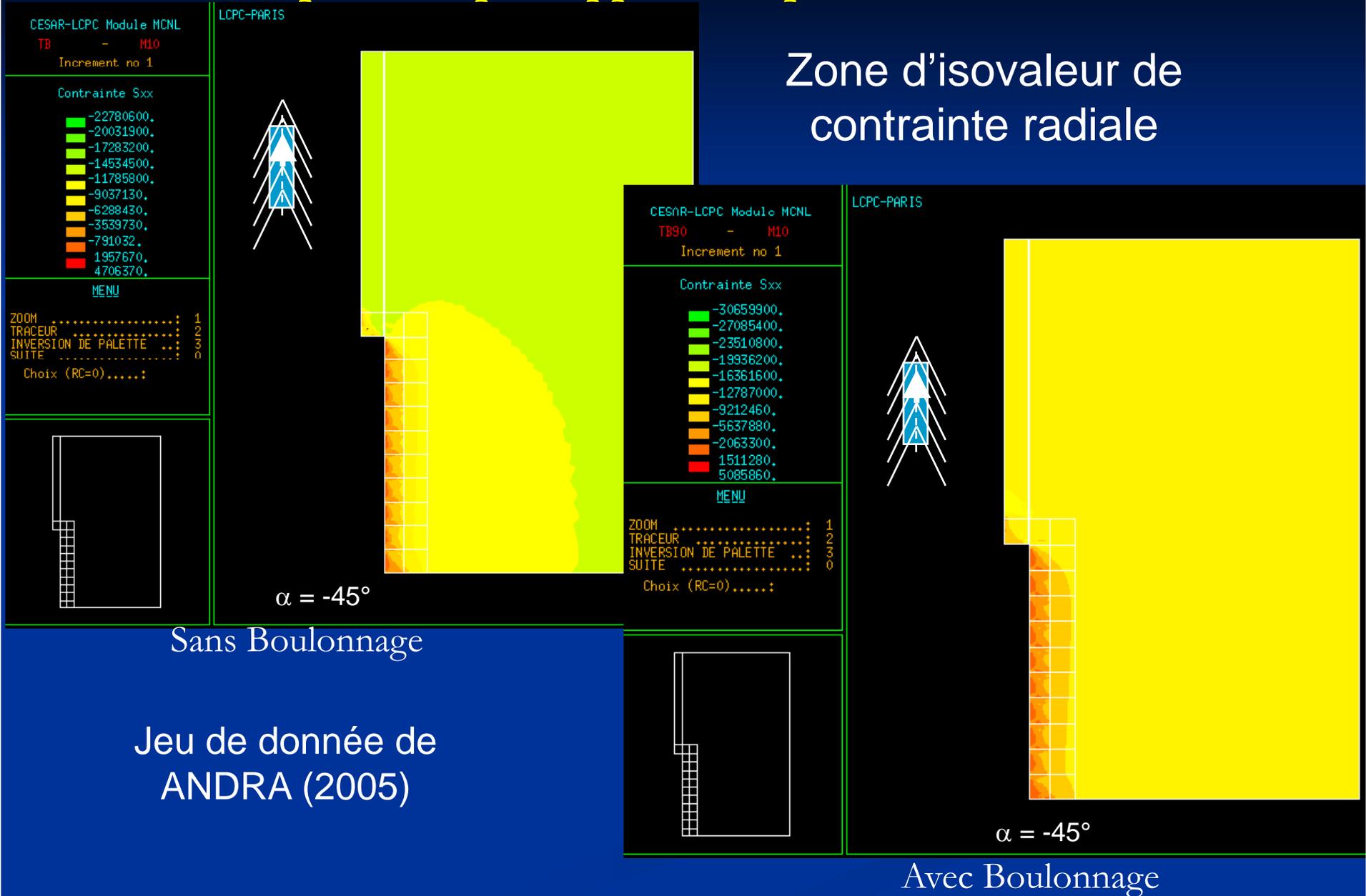
Jeu de donnée de
Chiarelli et al. (2003)

Zone d'isovaleur de
contrainte radiale

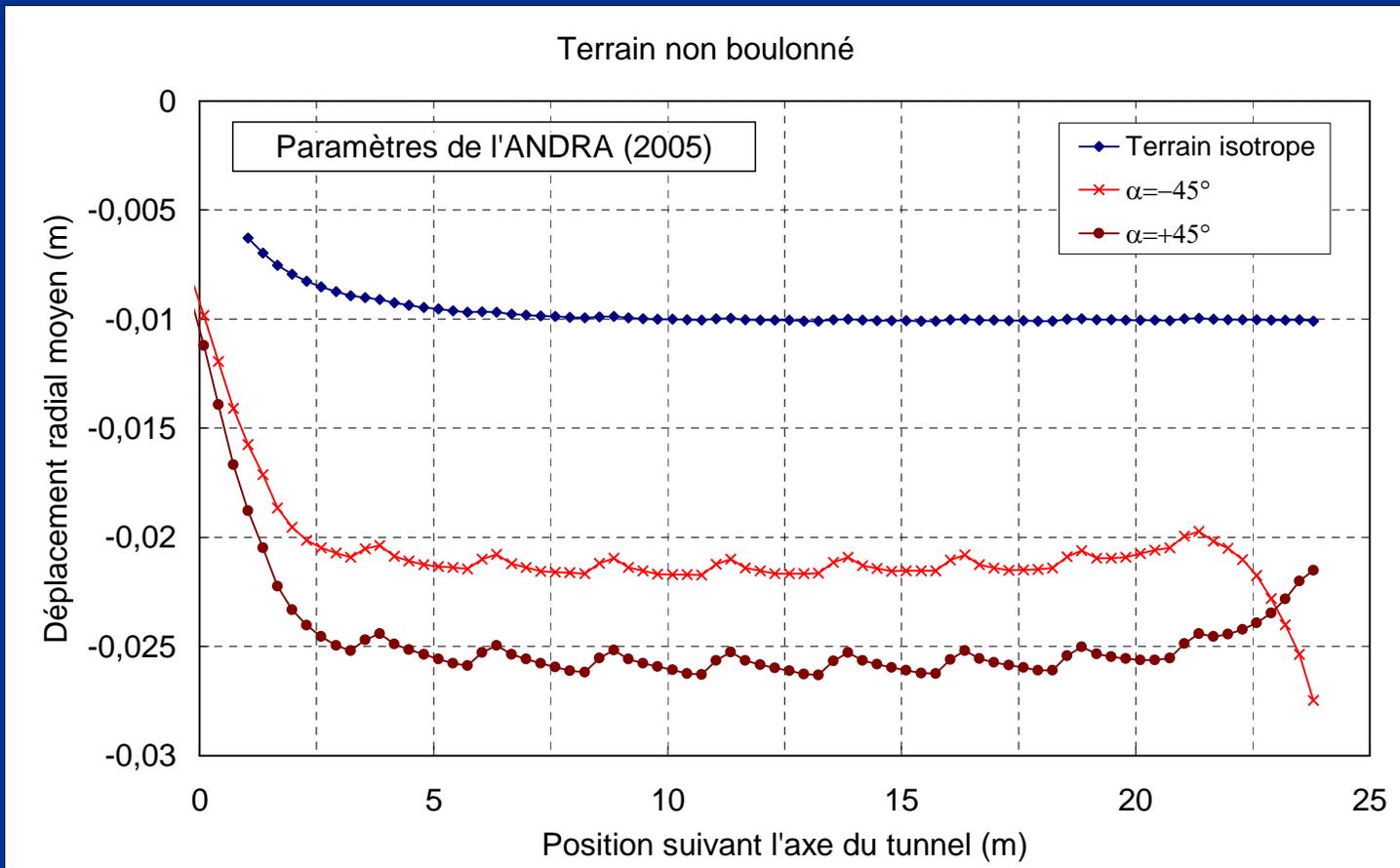


Avec Boulonnage

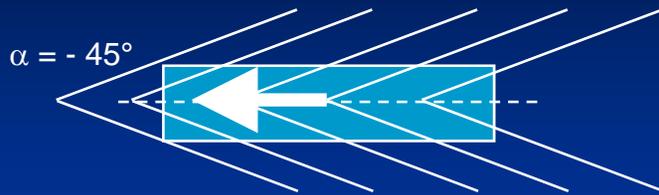
Comparaison par rapport aux paramètres choisis



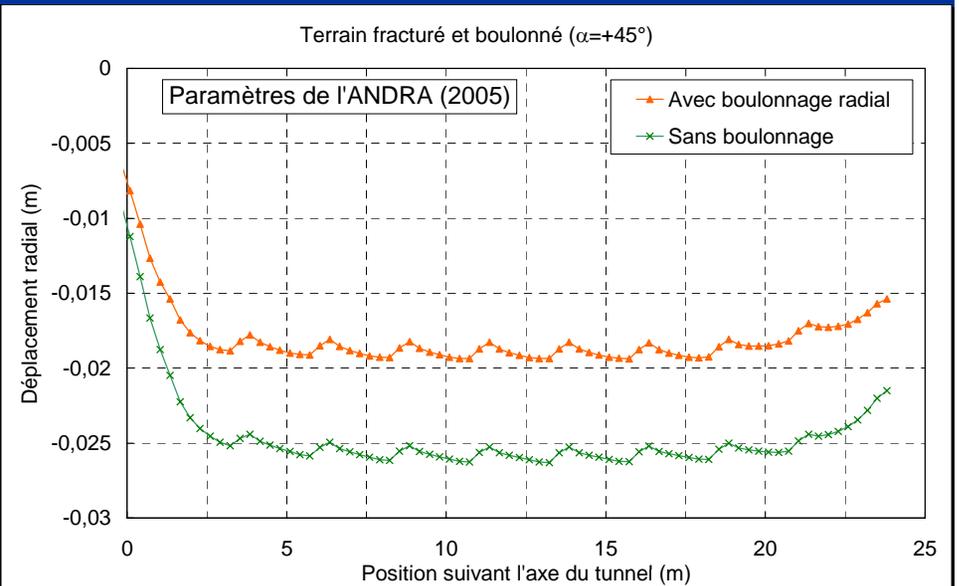
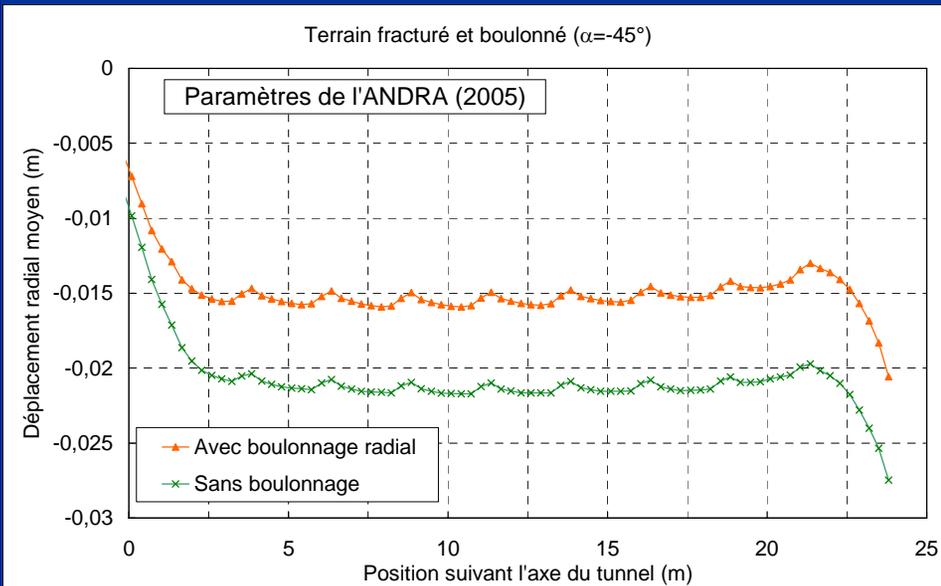
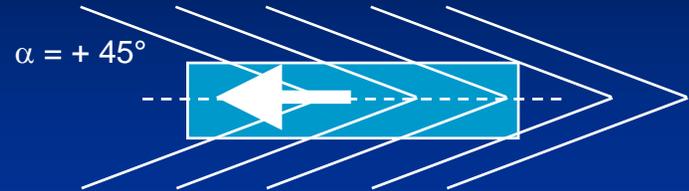
Effet de la direction des Fch



Effet de la direction des Fch

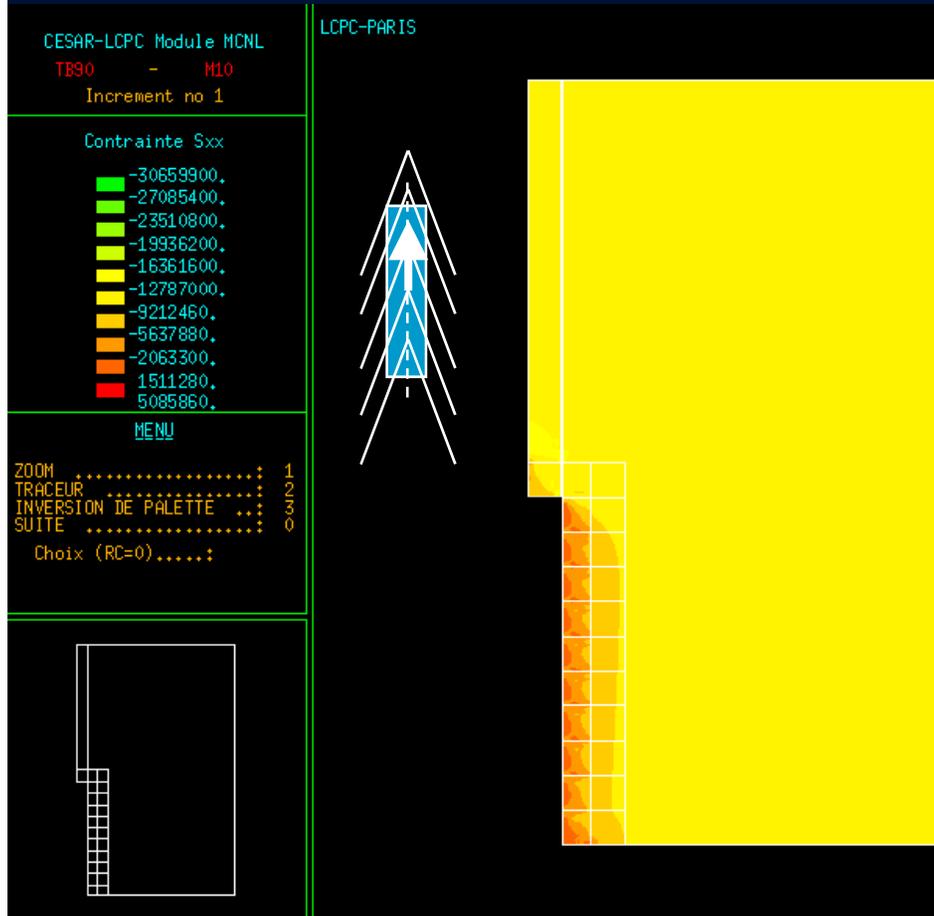


Boulonné

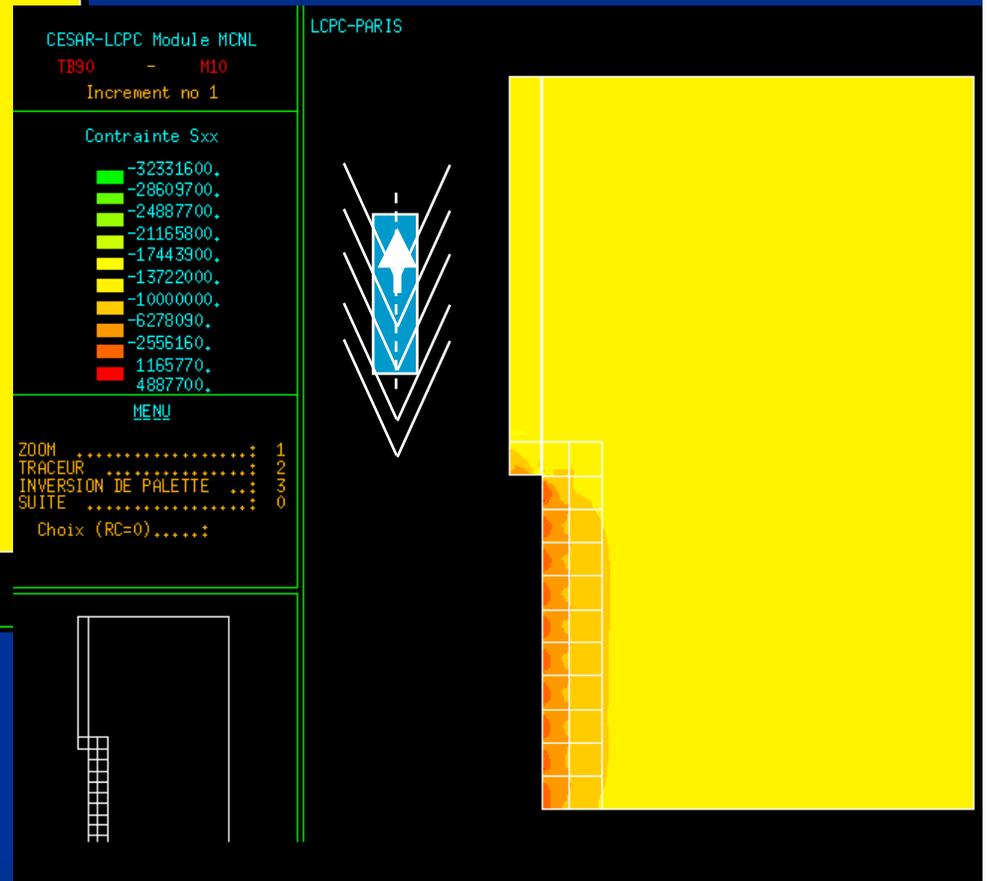


Comparaison par rapport aux paramètres choisis

Zone d'isovaleur de contrainte radiale



$\alpha = -45^\circ$



$\alpha = +45^\circ$

Jeu de donnée de
ANDRA (2005)

Conclusion 2

L'effet du boulonnage sera plus fort si la roche est plus déformable :

Le calcul avec les données de Chiarelli et al. (2003) donne très peu de convergence et donc, le boulonnage n'a aucun effet sur la stabilisation ni sur les valeurs de contraintes.

FIN