

CFMS 23 janvier 2002

**MODELISATION DU
COUPLAGE
ENTRE L'EAU ET LE SOL
DANS LES DIGUES EN TERRE**

**Jean-Jacques FRY
EDF-CIH**

EDF-CIH jean-jacques.fry@edf.fr

CFMS Paris le 23 janvier



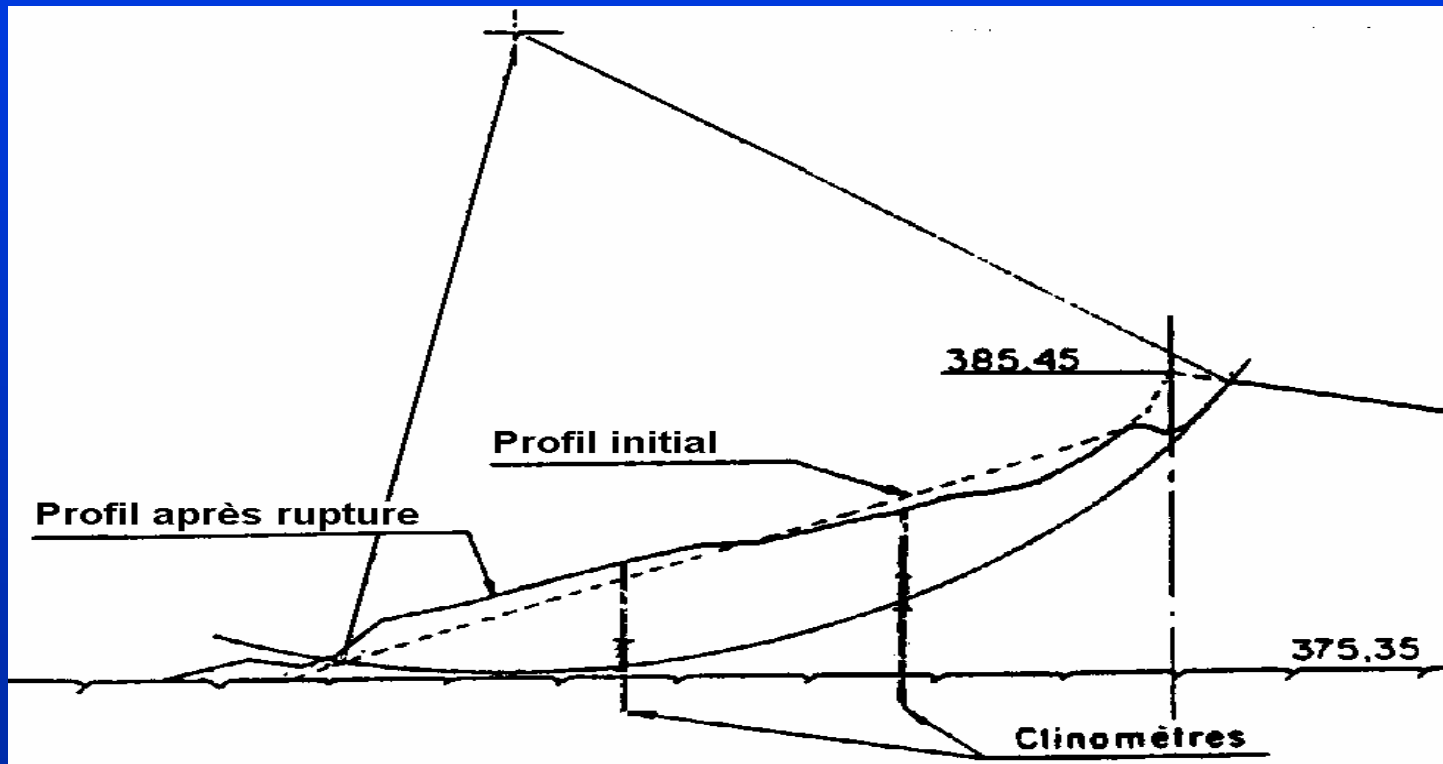
LE PROBLEME TRAITE

ANALYSE DE LA VIDANGE

- Quelle approche utiliser pour modéliser l'effet de marnage de la retenue?

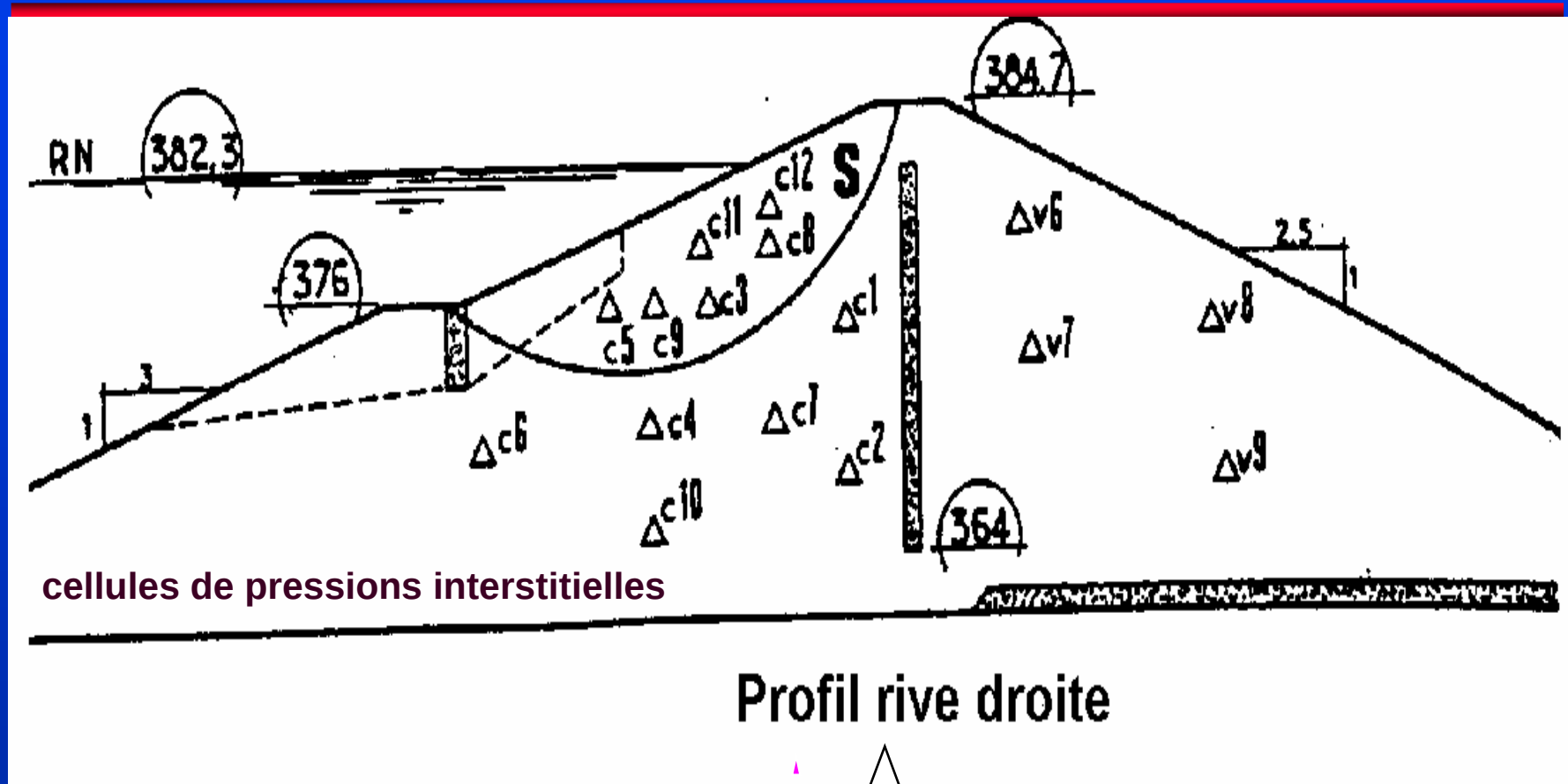
MODE DE RUPTURE EN VIDANGE

NOMBREUSES RUPTURES EN FRANCE



Digue de Cercey (H = 14 m, 1836) glissement amont après 150 ans

LE GLISSEMENT DE MONDELY



GLISSEMENT LORS DE LA PREMIERE VIDANGE 1981

H= 21m (1980)

EDF-CIH jean-jacques.fry@edf.fr

CFMS Paris le 23 janvier

LES MODELES DE CALCUL

- 1 Hypothèse de Bishop
- 2 Calcul d'écoulement 2D
- 3 Calculs couplés FEM

HYPOTHESE DE BISHOP

$$\alpha = \frac{du}{d.h_w}$$
$$\alpha = \bar{B} = 1$$

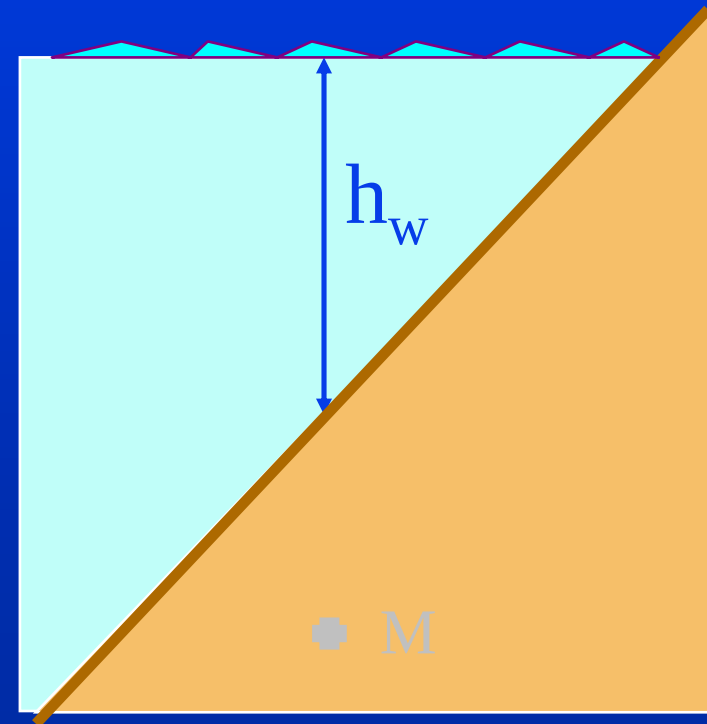
Hypothèse :

$$\alpha = 1$$

mais

$$\text{Si } S_r < 1$$

alors $\alpha < 1$



Barrage de Mirgenbach

Auscultation en vidange

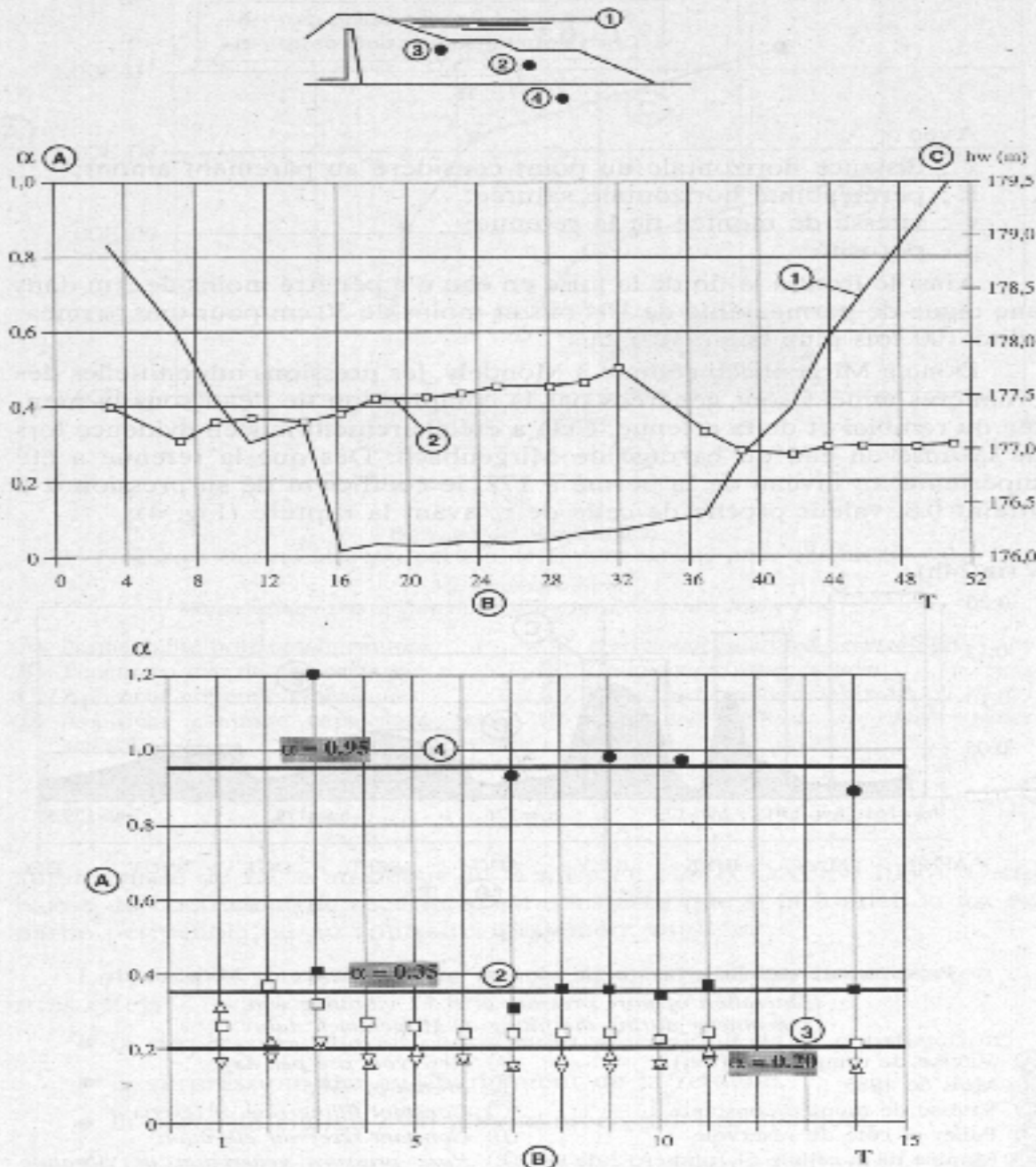
Cellule 2 :

$$0.3 < \alpha < 0.45$$

Cellule 3 :

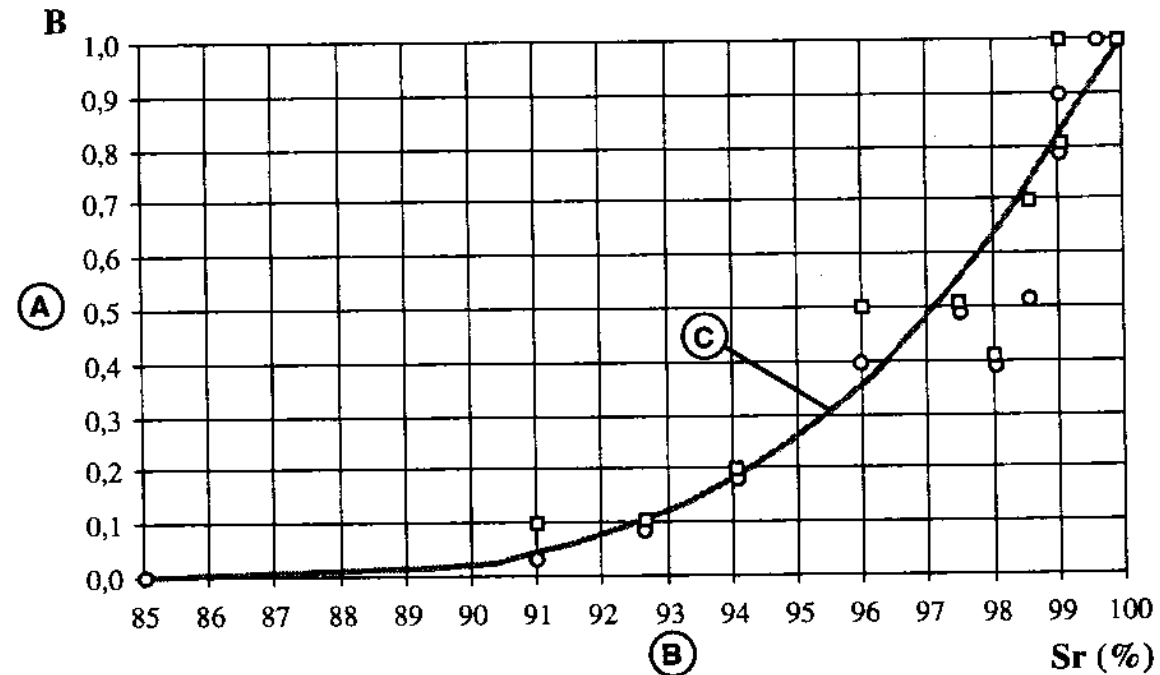
$$0.15 < \alpha < 0.30$$

Paris le 23 janvier



α est dépendant du degré de saturation

■ B fonction du degré de saturation à Mirgenbach



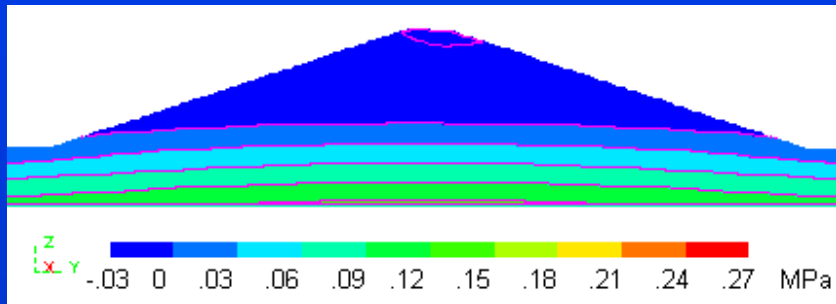
Coefficient B de Skempton fonction du degré de saturation au barrage de Mirgenbach

Relationship between the coefficient of Skempton B and the degree of saturation S_r - Mirgenbach dam

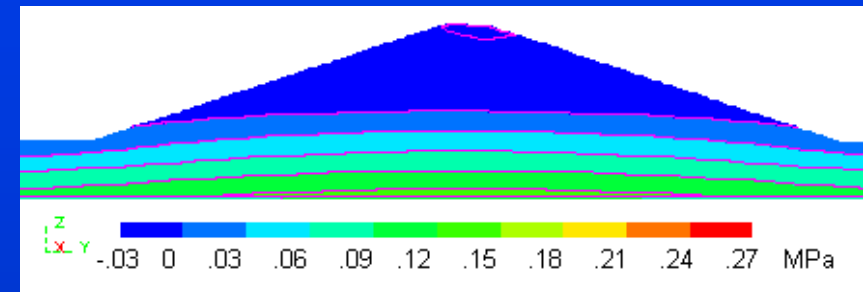
- (A) Coefficient de Skempton B
- (B) Degré de saturation S_r (%)
- (C) Relation trouvée à Mirgenbach

- (A) Coefficient of Skempton B
- (B) Degree of saturation S_r (%)
- (C) Mirgenbach relationship $B = f(S_r)$

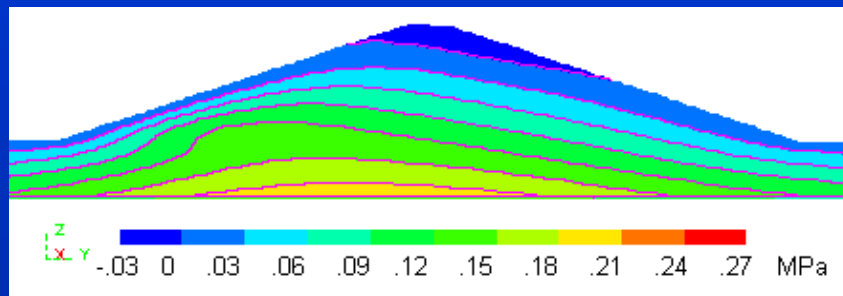
ÉCOULEMENTS TRANSITOIRES



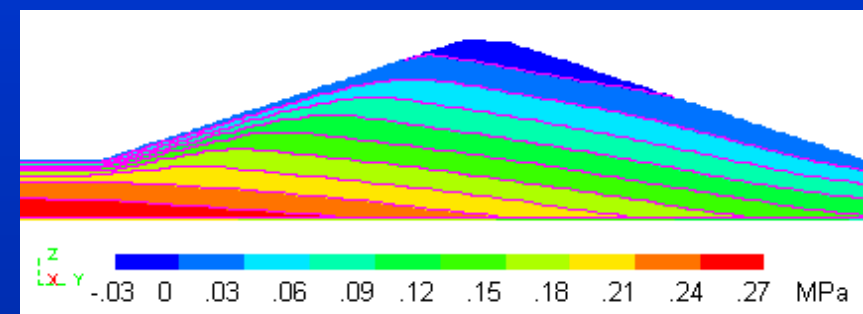
$k_y = 1\text{E-}6 \text{ m/s}$ $C_w = 0$ $Sr = 0.8$



$k_y = 1\text{E-}6 \text{ m/s}$ $C_w = 4.5\text{E-}7 \text{ Pa}^{-1}$ $Sr = 0.8$

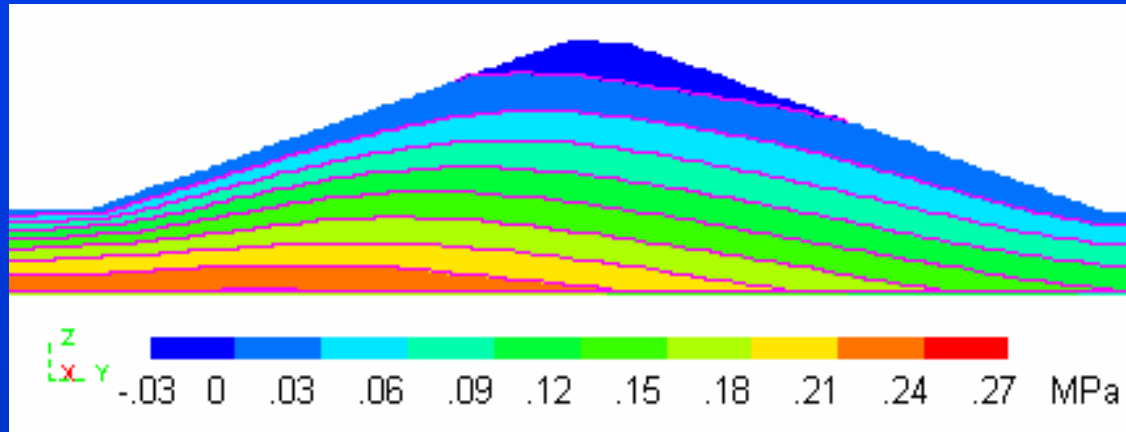


$k_y = 1\text{E-}9 \text{ m/s}$; $C_w = 0$; $Sr = 0.8$

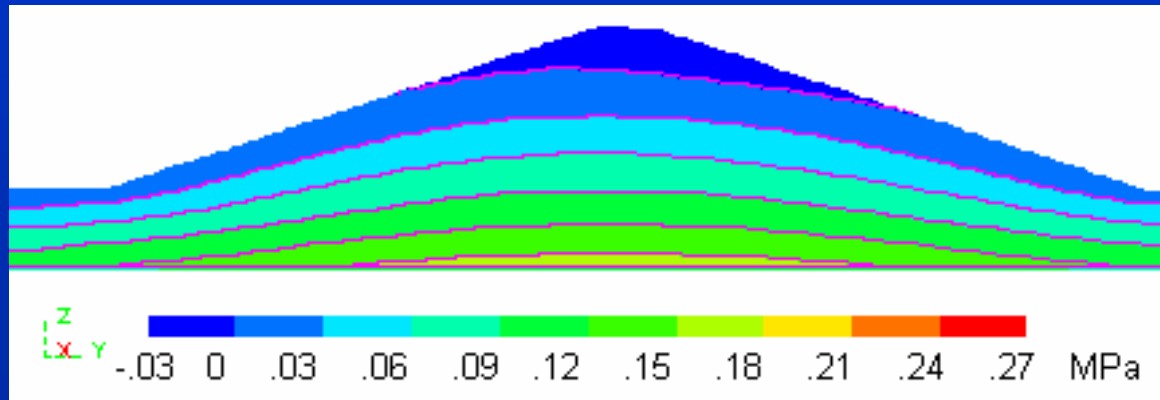


$k_y = 1\text{E-}9 \text{ m/s}$ $C_w = 4.5\text{E-}7 \text{ Pa}^{-1}$ $Sr = 0.8$

Prise en compte du piégeage d'air

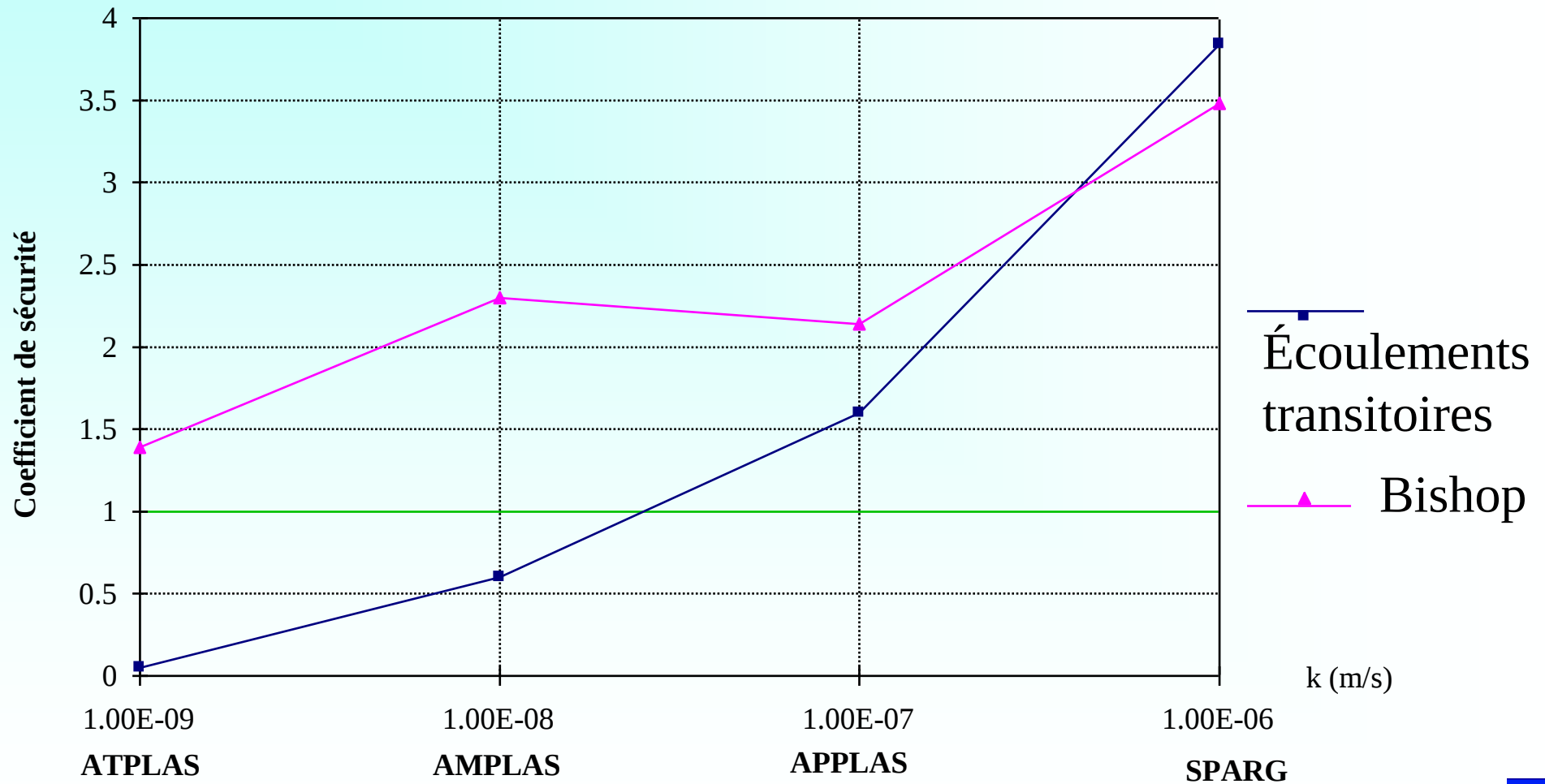


Eau + air : fortes pressions



Eau incompressible : faibles pressions

COMPARAISON ENTRE LES 2 APPROCHES

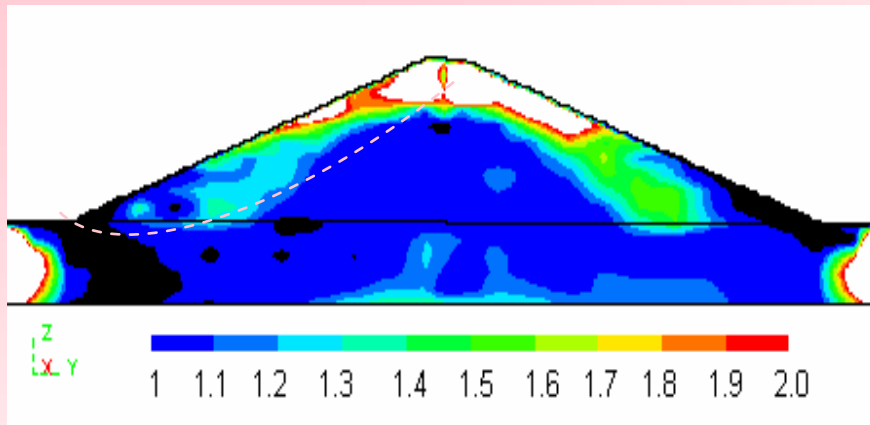


jean-jacques.fry@edf.fr

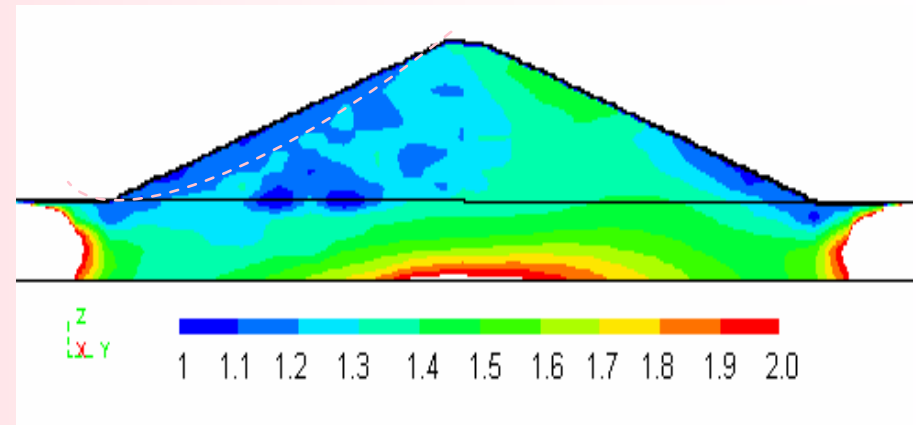
CALCULS EN DEFORMATION

Coefficient de sécurité avec couplage (Gefdyn - Chau Gnoc An)

M
o
h
r
-
C
o
u
l
o
m
b

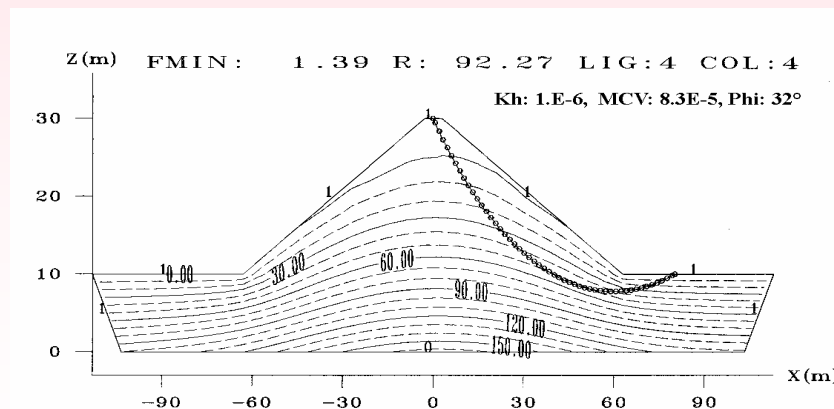


H
u
j
e
u
x

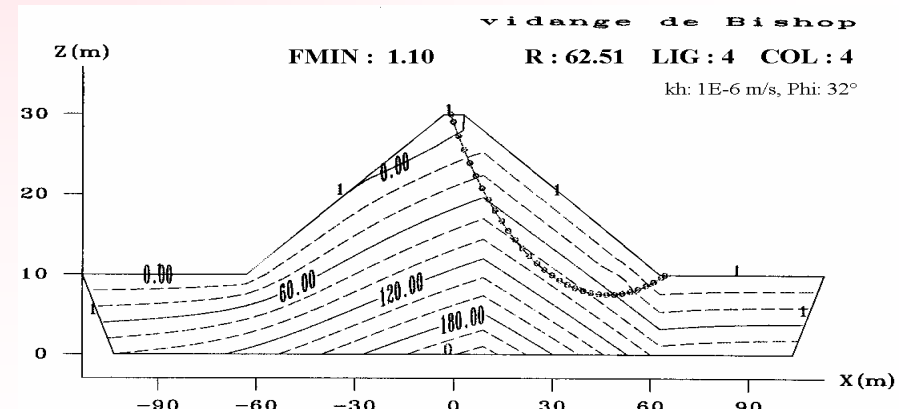


Coefficient de sécurité méthodes classiques : écoulement et Bishop

N
S
2
D
-
T
A
L
R
E
N



B
I
S
H
O
P



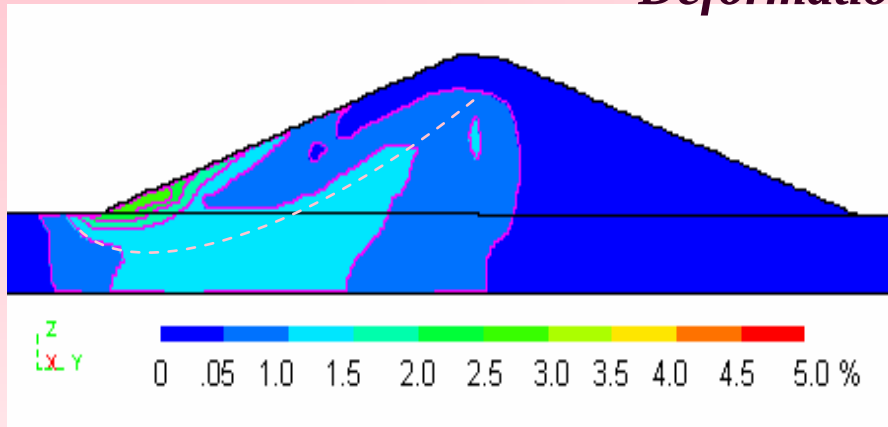
$E=20\text{MPa}$, $\phi = 32^\circ$, $C_w=5\text{E-}10\text{Pa}^{-1}$, $k_y=10k_z=1\text{E-}6\text{m/s}$, $k_{\text{uint.}}=1\text{E-}5\text{ s}^{-1}$

jean-jacques.fry@edf.fr

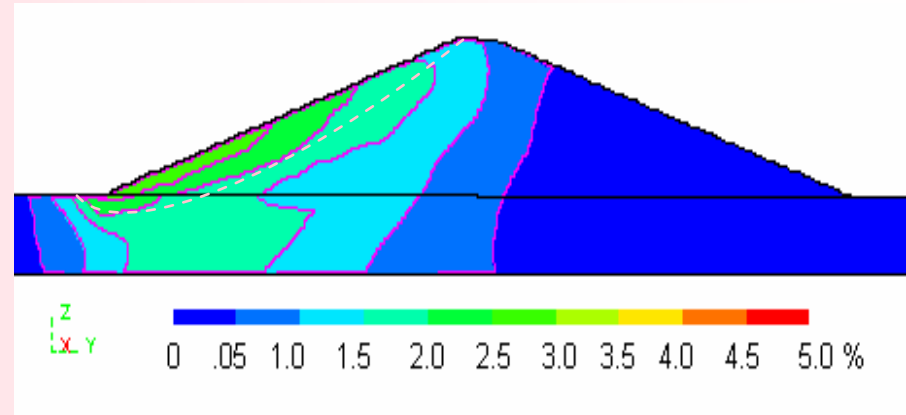
STABILITE DU BARRAGE FIN DE VIDANGE

M
o
h
r
-
C
o
u
l
o
m
b

Déformation déviatoire

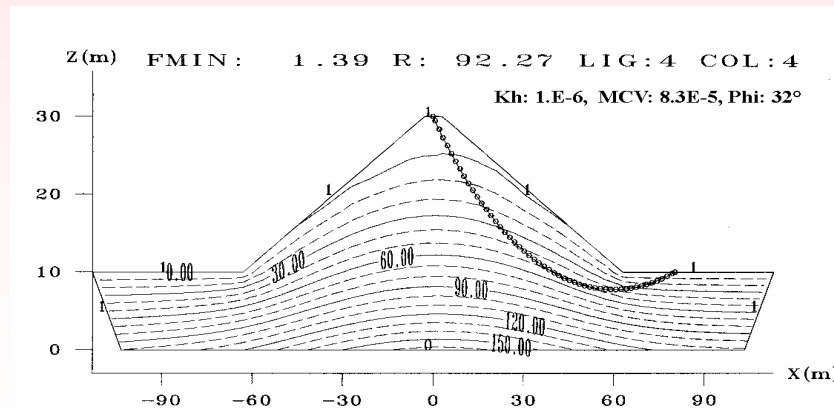


H
u
j
e
u
x

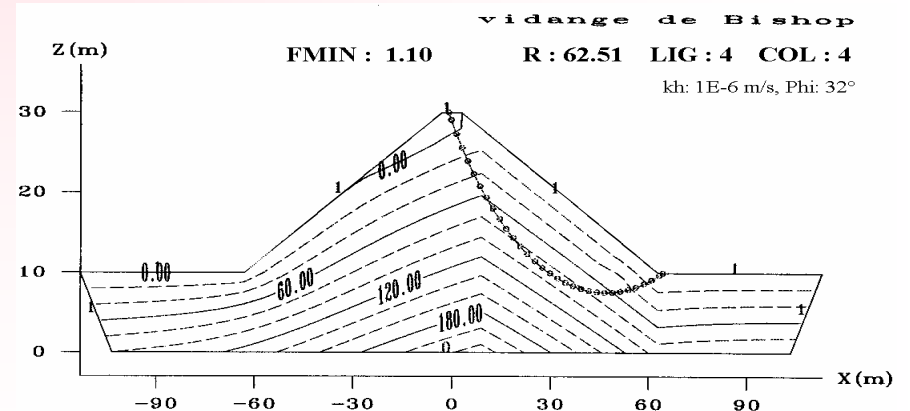


Coefficient de sécurité

N
S
2
D
-
T
A
L
R
E
N



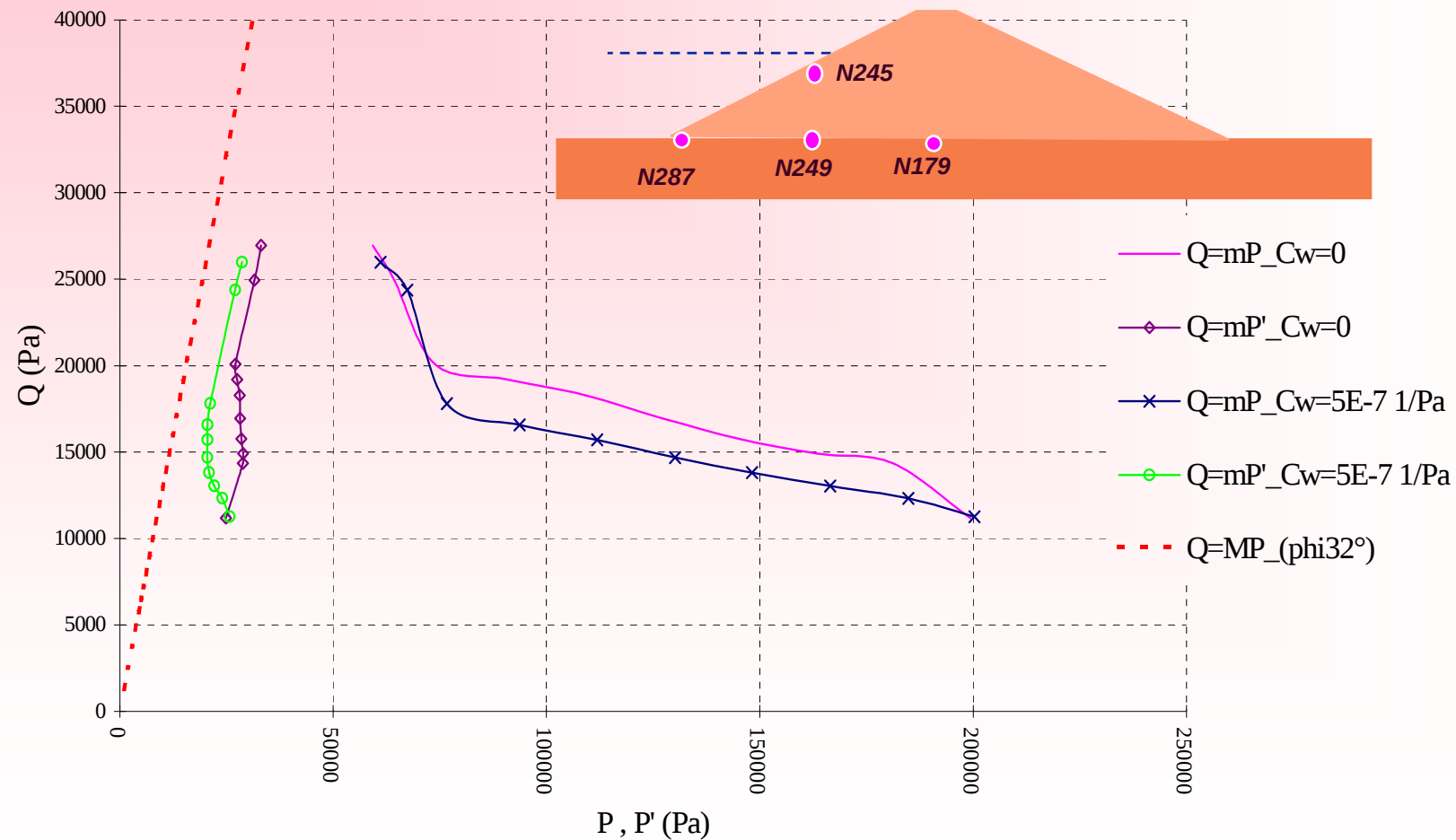
B
I
S
H
O
P



$E=20\text{MPa}$, $\phi = 32^\circ$, $C_w=5\text{E-}10\text{Pa}^{-1}$, $k_y=10k_z=1\text{E-}6\text{m/s}$, $k_{\text{uint.}}=1\text{E-}5\text{ s}^{-1}$
jean-jacques.fry@edf.fr

STABILITE DU BARRAGE FIN DE VIDANGE

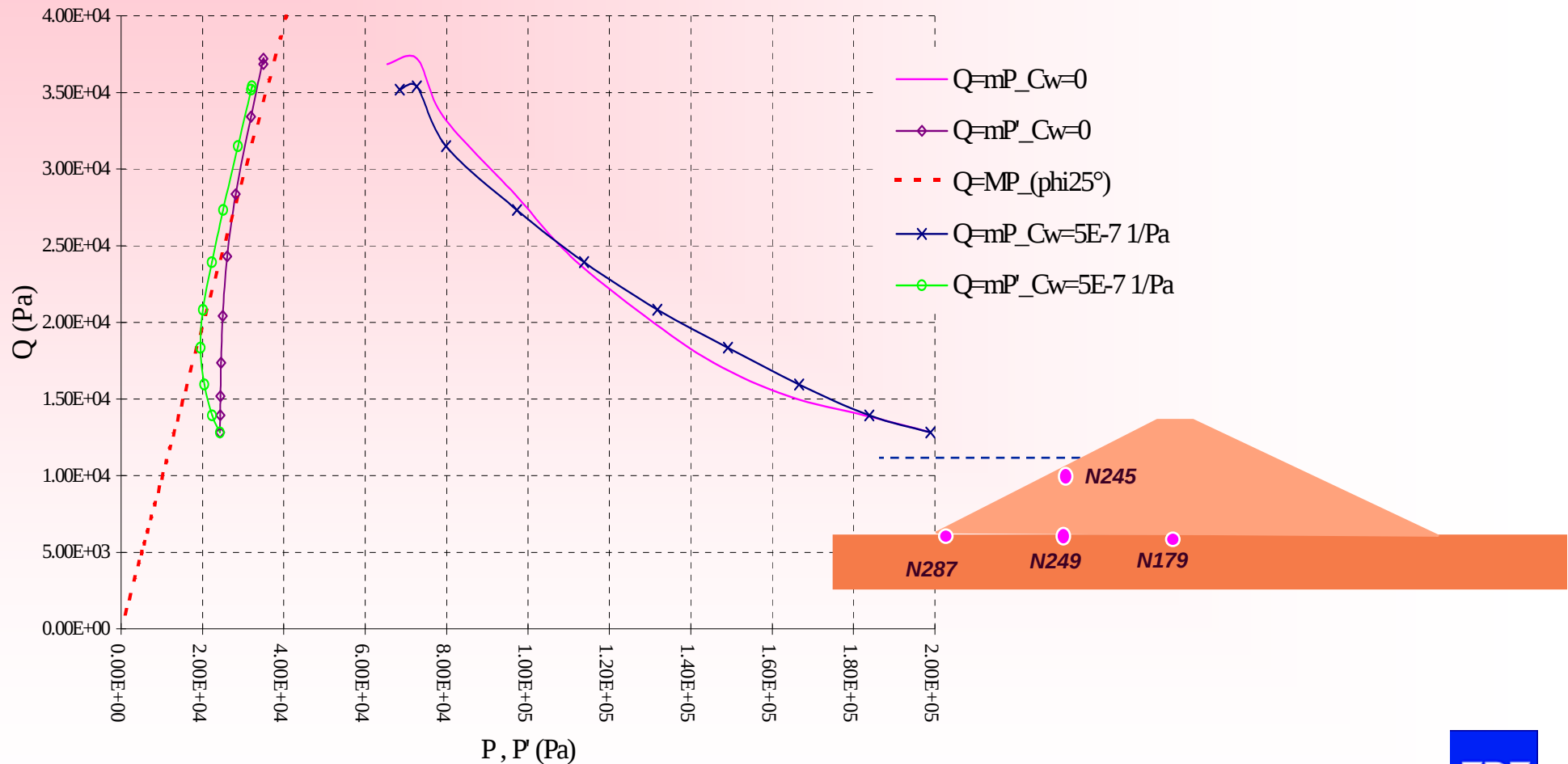
CHEMIN DES CONTRAINTES AU NOEUD 287 EN VIDANGE,
Sable peu argileux



jean-jacques.fry@edf.fr

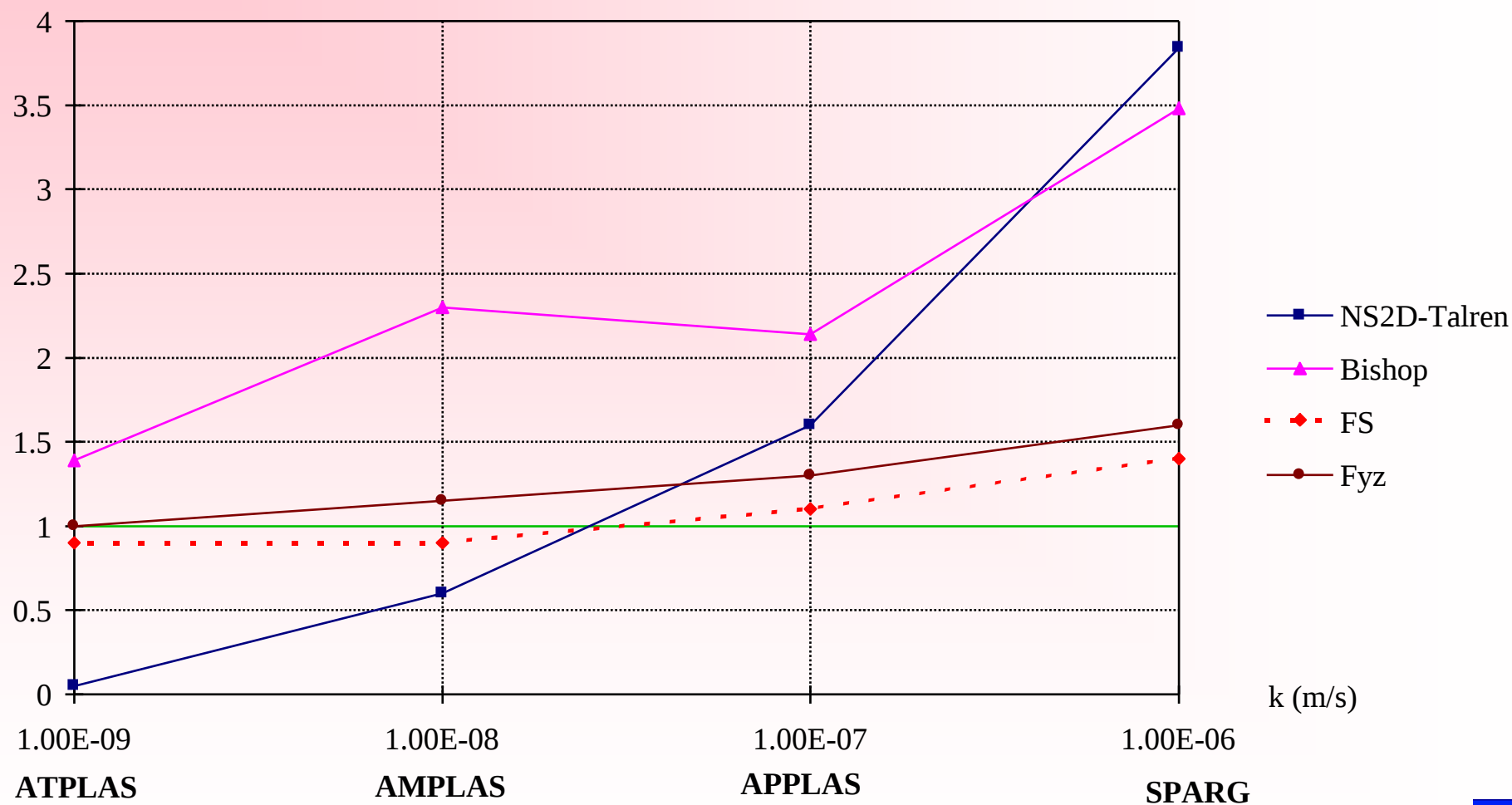
STABILITE DU BARRAGE FIN DE VIDANGE

CHEMIN DES CONTRAINTES AU NOEUD 287 EN VIDANGE,
Argile très plastique



jean-jacques.fry@edf.fr

Comparaison entre méthodes



jean-jacques.fry@edf.fr

Conclusions sur les approches

IL est recommandé de
modéliser le couplage :

Eau + sol

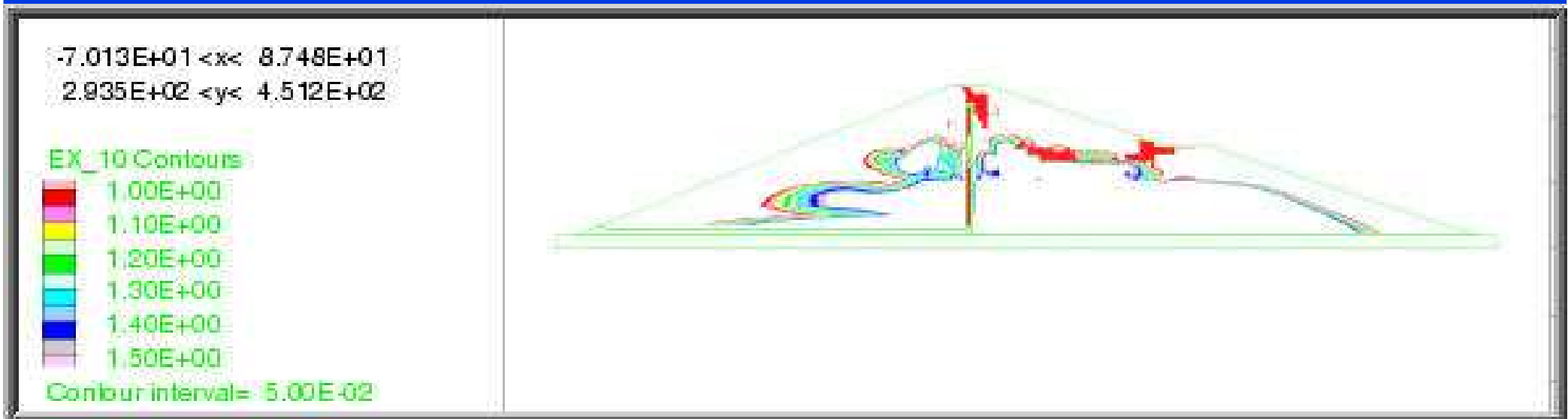
Et parfois

Eau + sol + air

Mais

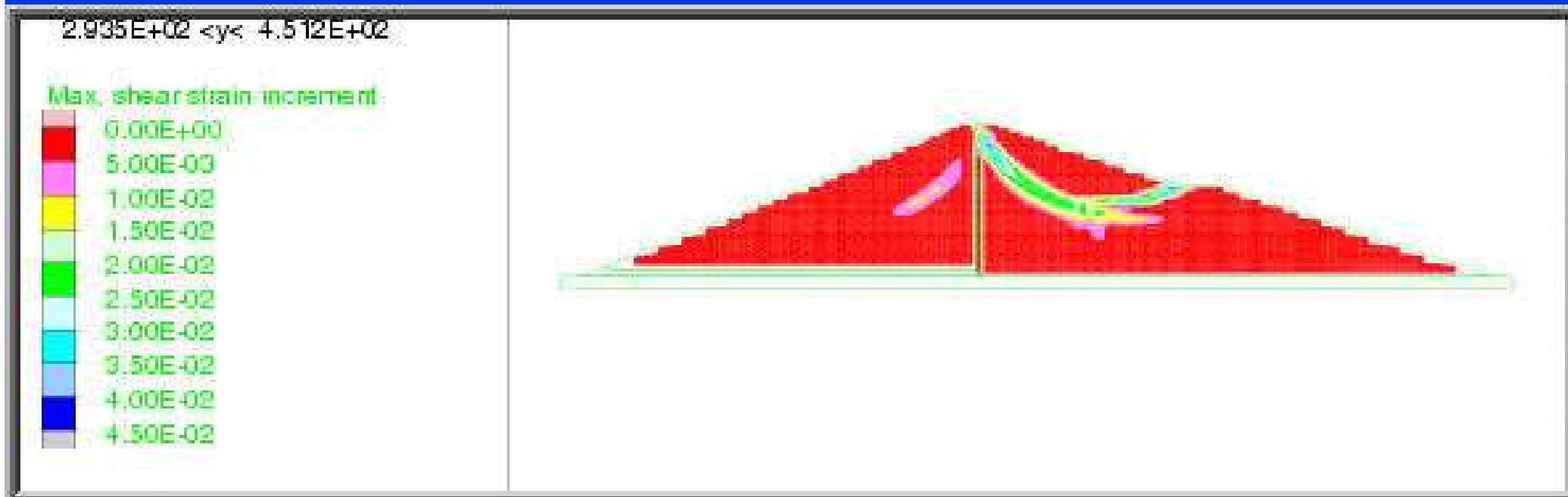
Avec quelle loi de comportement?

Modélisation de MONDEL Y avec Mohr-Coulomb avec radoucissement



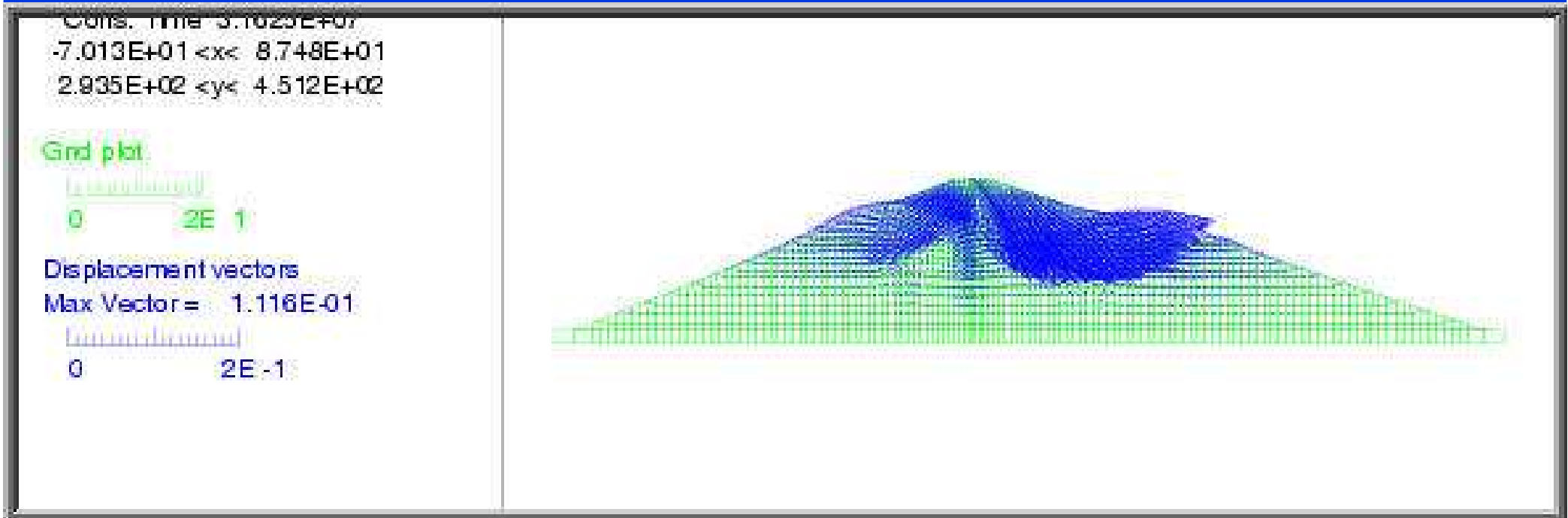
Coefficients de sécurité locaux :
 $(S1-S3)_{\max}/(S1-S3)$
En fin de construction

Modélisation de Mondely avec Radoucissement



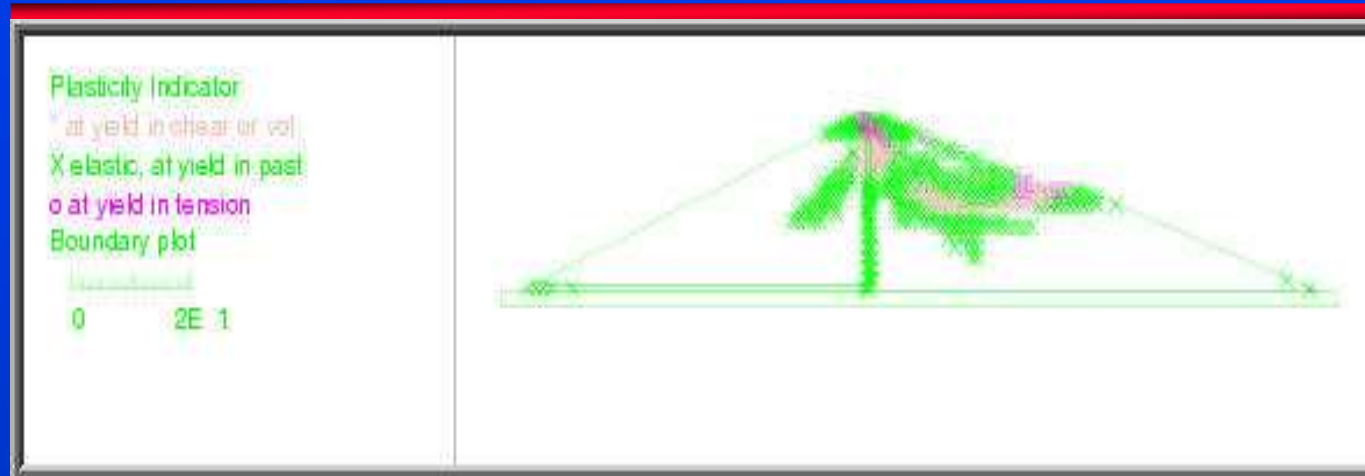
Déformations déviatoires en fin de construction

Modélisation de Mondely avec Radoucissement



Déplacements en fin de construction

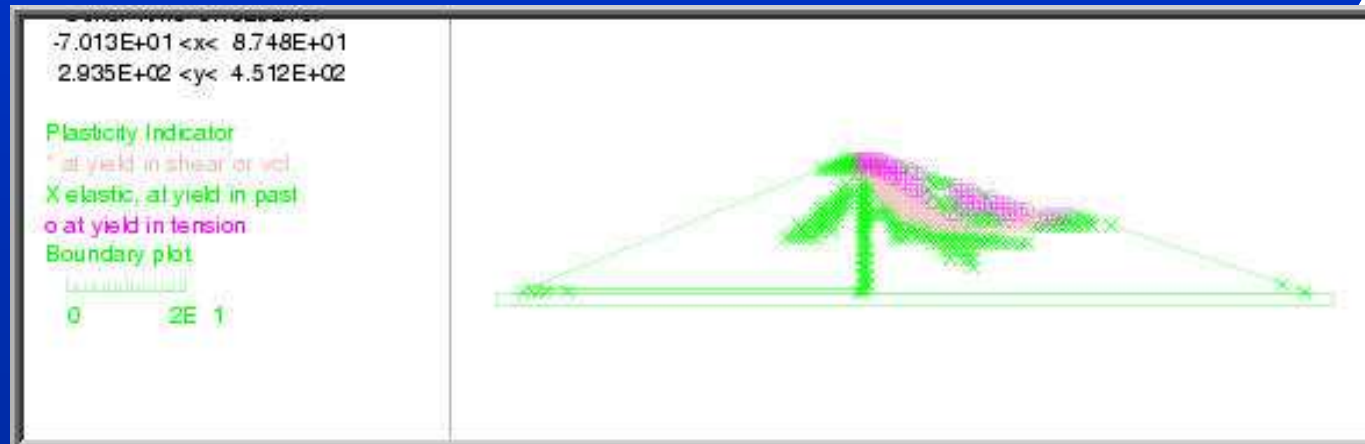
Modélisation de Mondely avec Radoucissement



ONES EN RUPTURE
AR CISAILLEMENT
ET

Fin de construction

ZONE EN TRACTION

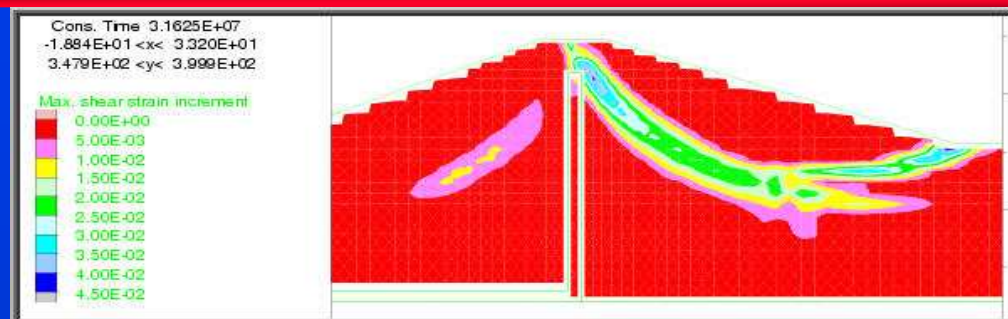


Fin de vidange

EDF-CIH jean-jacques.fry@edf.fr

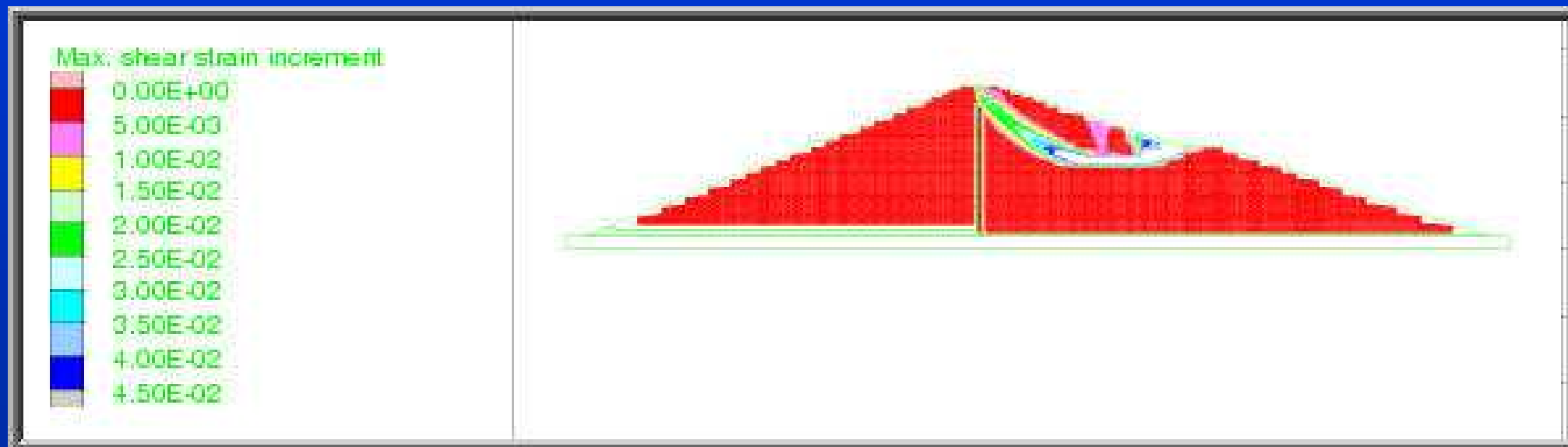
CFMS Paris le 23 janvier

Modélisation de Mondely avec Radoucissement



Fin de construction

**LOCALISATION
DES
DEFORMATIONS
DEVIATOIRES**

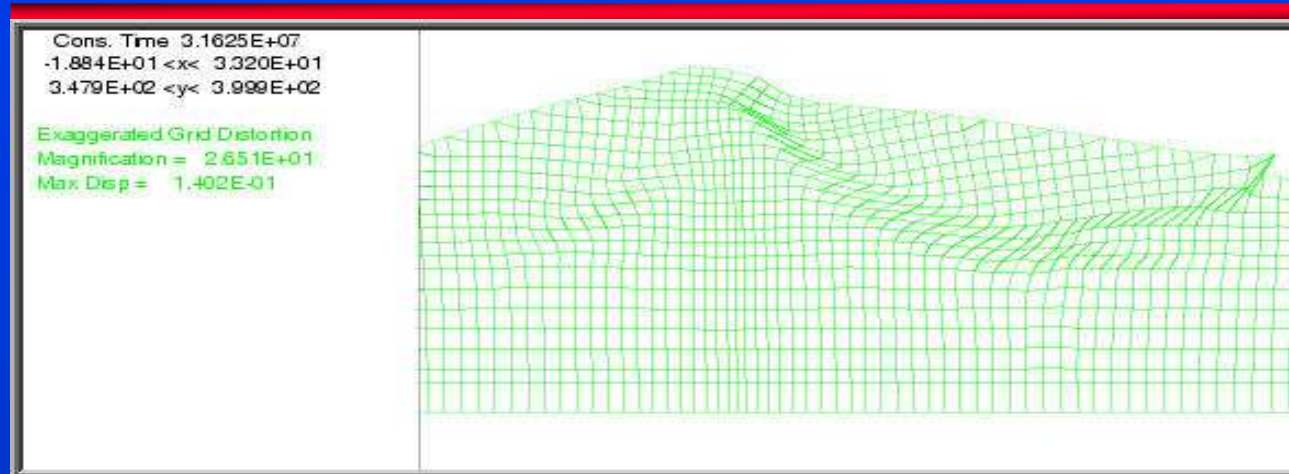


Fin de vidange

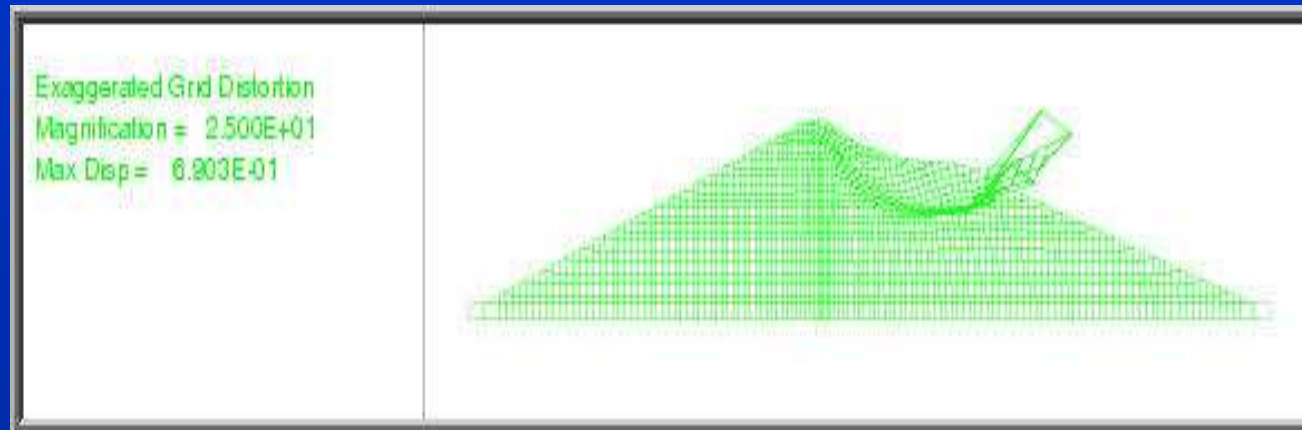
EDF-CIH jean-jacques.fry@edf.fr

CFMS Paris le 23 janvier

Modélisation de Mondely avec Radoucissement



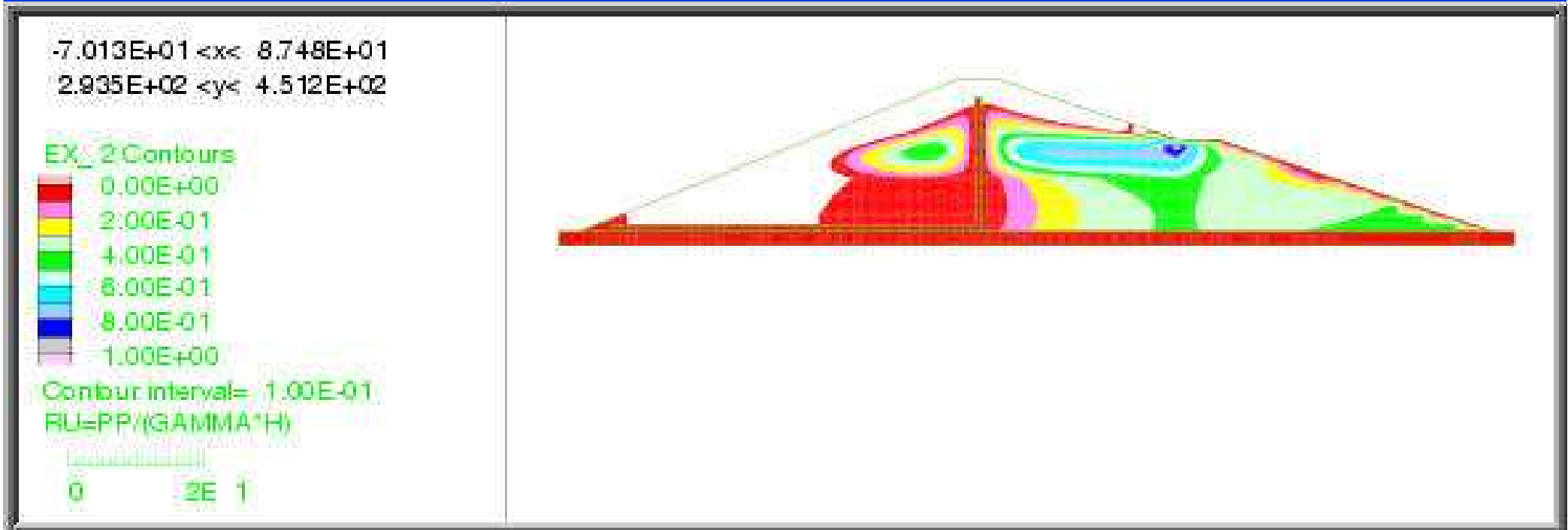
Fin de construction



Fin de vidange

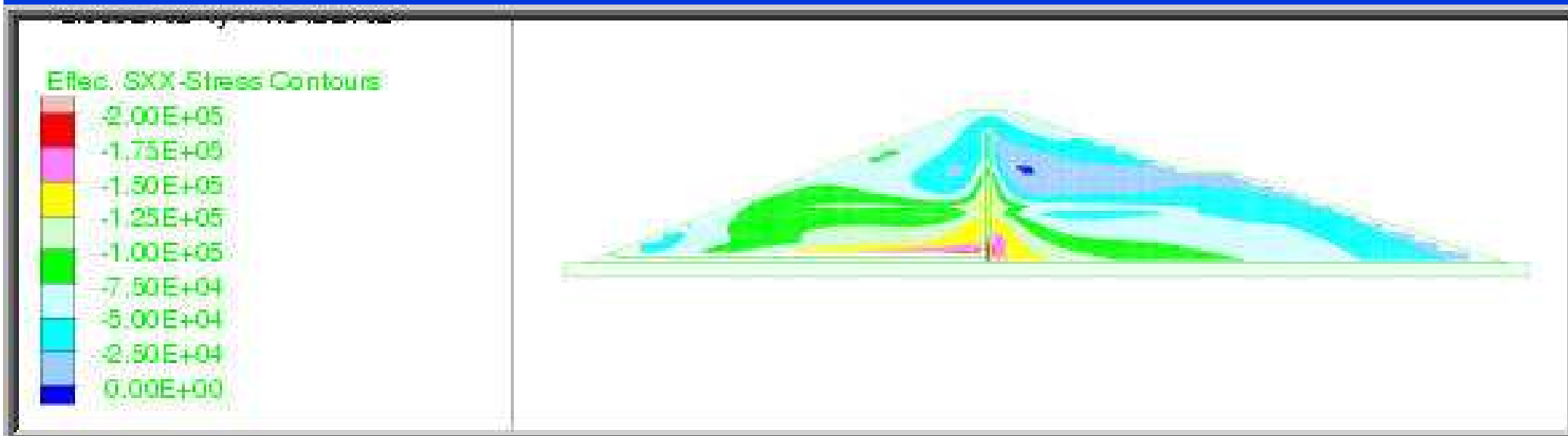
**ZONES
DEFORMEES**

MODELISATION AVEC CAMCLAY



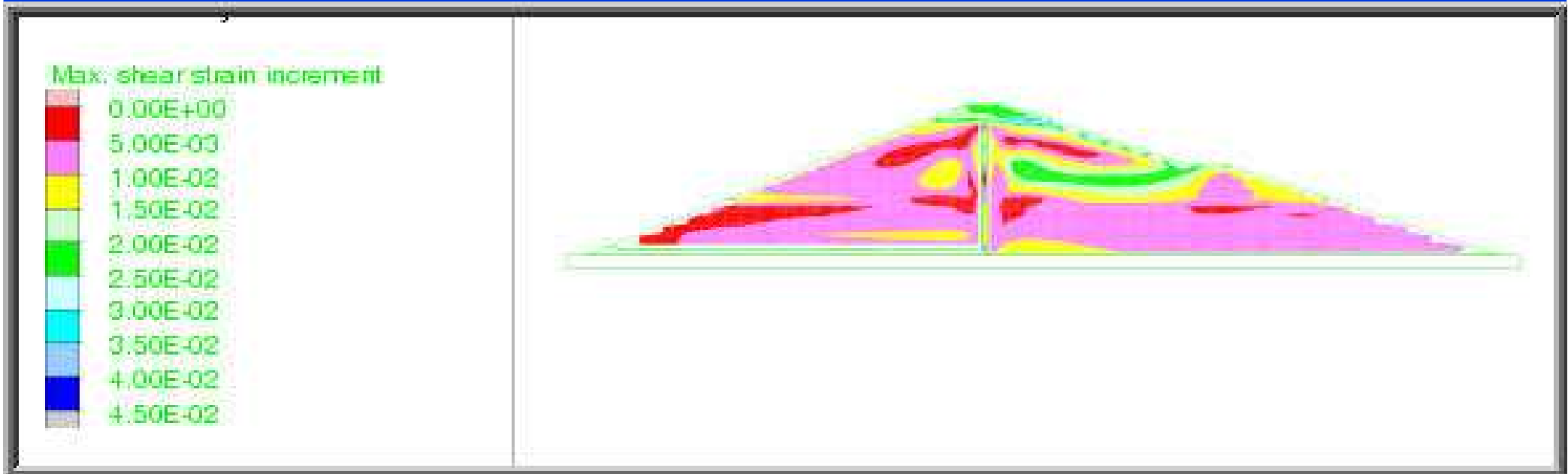
Coefficient Ru en fin de construction

Modélisation de Mondely avec CAMCLAY



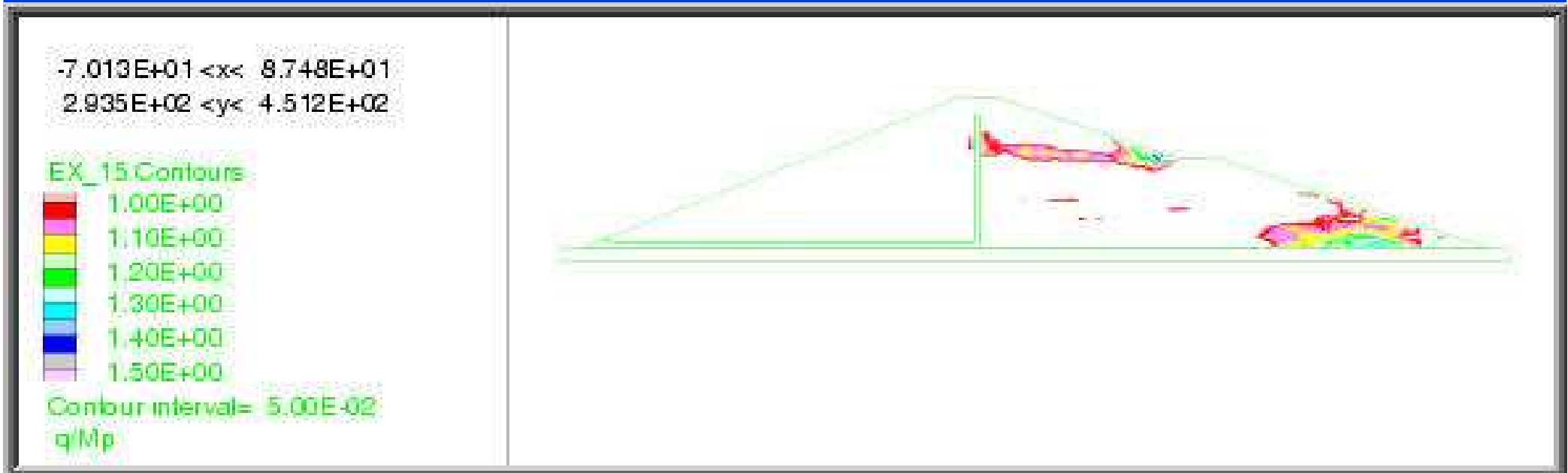
Contraintes horizontales en fin de construction

MODELISATION AVEC CAMCLAY



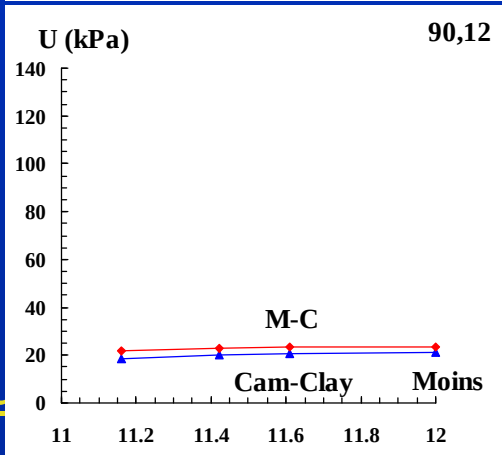
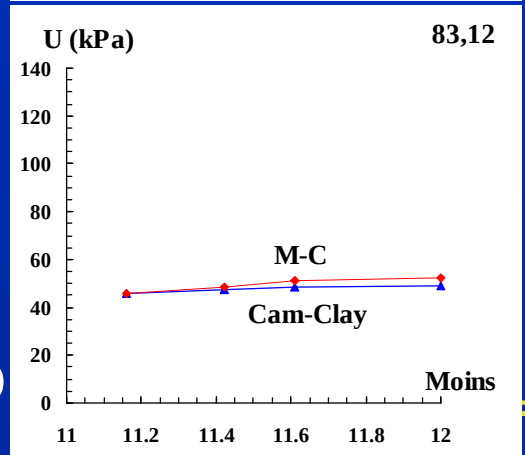
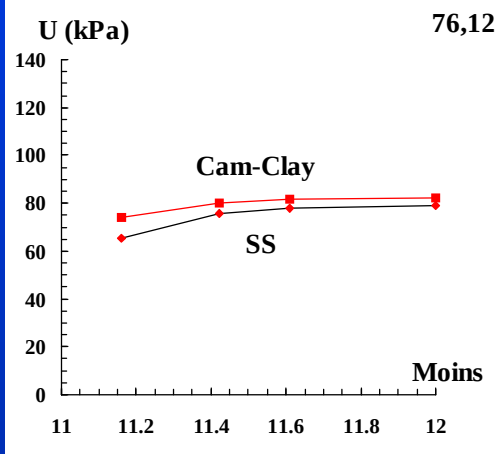
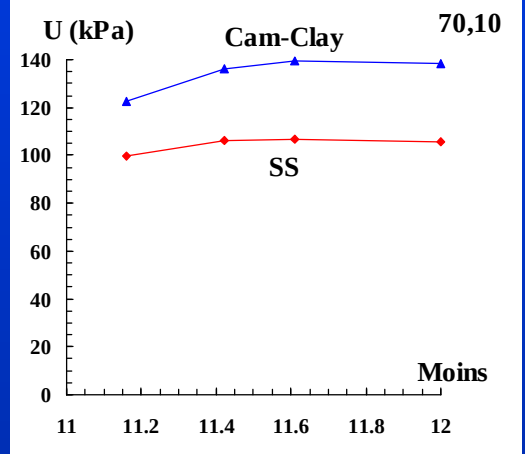
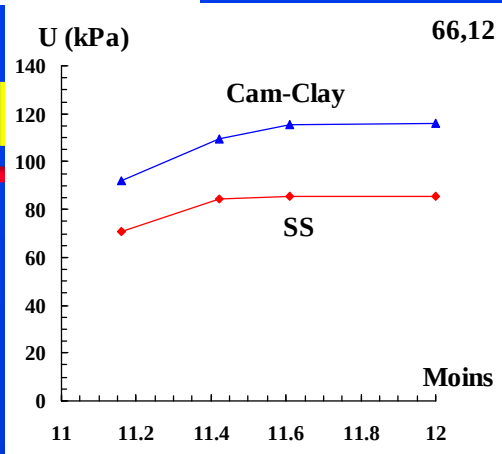
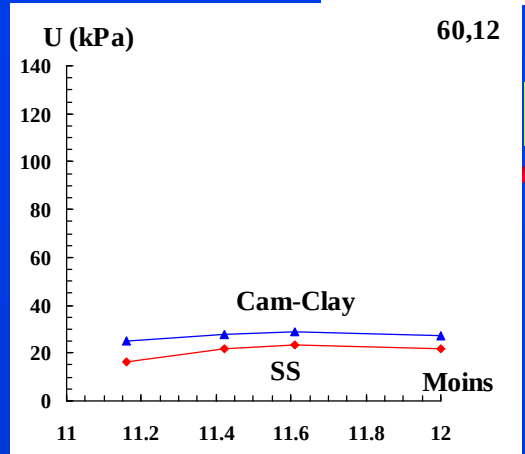
Déformation déviatoire en fin de construction

MODELISATION AVEC CAMCLAY



Zones en fluage tertiaire avec $q > M.p$
En fin de mise en eau

Pressions interstitielles



CAMCLAY

**NECESSITE DE
PRENDRE UN MODELE NON
ELASTIQUE
POUR MODELISER
LES PRESSIONS
SOUS APPLICATION
DU DEVIATEUR**

LA REPONSE AU PROBLEME

Il importe de modéliser :

- La surpression causée par la compressibilité du fluide et du sol
- La surpression générée par le déviateur
- La perte de cohésion avec les déformations différées
- Le piégeage de l'air

EN CONCLUSION

Il est conseillé d'être prudent :

- **1 . Calcul en déformations avec loi de comportement élasto-plastique et compressibilité du fluide adaptée**

Ou

- **2 . Approche simplifiée avec plusieurs conservatismes**