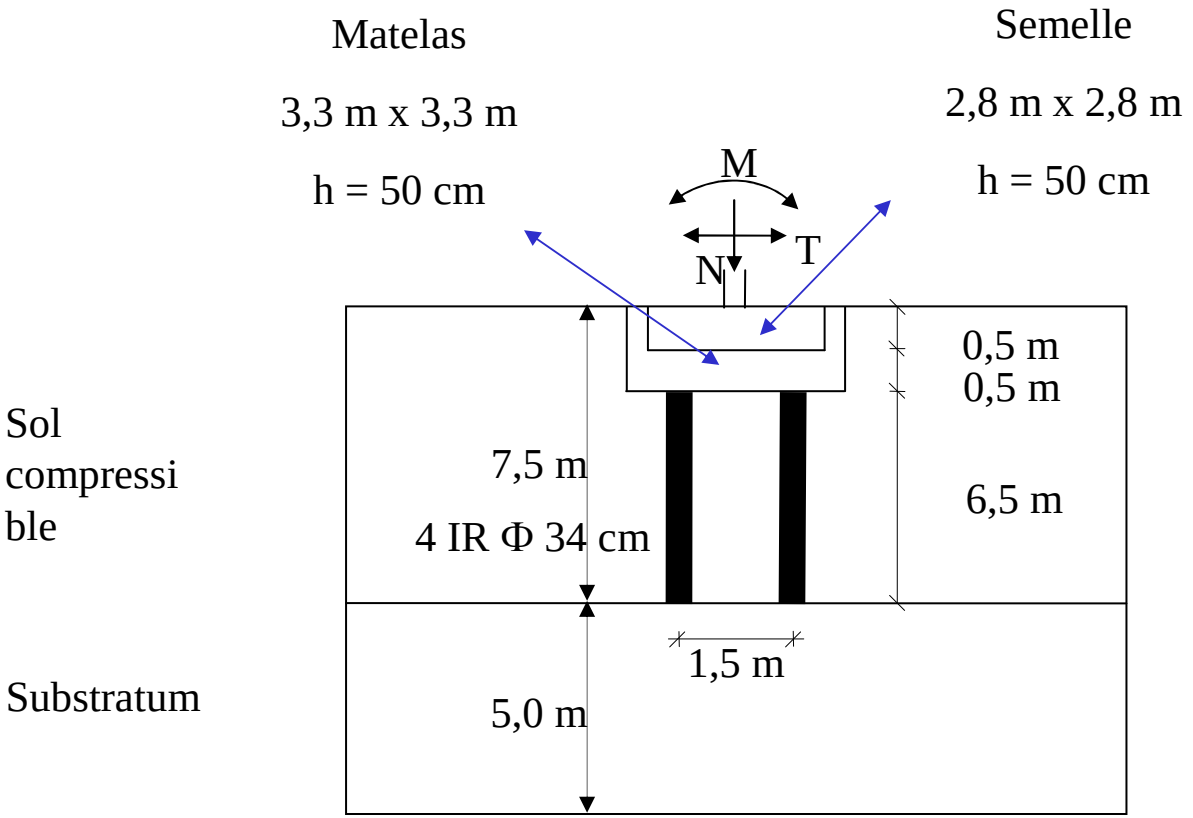
Calcul des semelles sur inclusions

Daniel Dias

04 Octobre 2011

Cas type : Semelle sur 4 inclusions rigides



➡ Interaction sol - structure

Introduction

- **Problème tridimensionnel**
- **Peu de données expérimentales**
- **Définition de modèles numériques 3D intégrant toute la complexité de l'ouvrage**

  => Modèle de référence
- **Définition de modèles simplifiés**

Définition du cas de référence

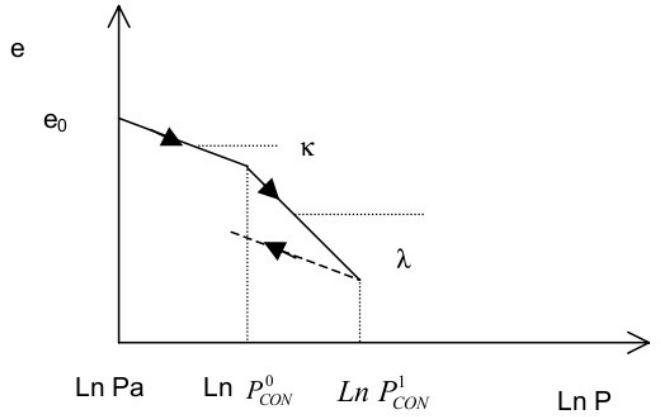
Propriétés géotechniques

Couche de sol	Epaisseur (m)	Masse volumique (kg/m^3)	Module de Young (MPa)	Coefficient de Poisson	Angle de frottement (°)	Angle de dilatance (°)	Cohésion (kPa)	K_0
Substratum	**5,0**	**2200**	**120**	**0,3**	**30**	**0**	**50**	**1**
Sol compressible	**6,5**	**1800**	**5**	**0,3**	**30**	**0**	**0**	**0,5**
Matelas de transfert de charge	**0,5**	**2000**	**50**	**0,3**	**35**	**0**	**0**	**0,8**
Semelle	**0,5**	**2500**	**20 000**	**0,2**				
Inclusion		**2500**	**20 000**	**0,2**				

Sol compressible (Cam Clay)

Pente de la droite d'état critique

M = 1.2 $M = 6 \sin \varphi/(3 - \sin \varphi)$



Coefficient de compressibilité (pente plastique dans un essai de compression hydrostatique)

$\lambda = 0.13$ $\lambda = C_c / \ln(10)$

e_0 = 3.48 à 3.8 (moyenne 3.65)
$c_c/(1+e0)$ = 0.065

Coefficient de gonflement (pente élastique dans un essai de compression hydrostatique)

$\kappa = 0.048$ $\kappa \approx 2C_s / \ln(10)$

$c_s/(1+e0)$ = 0.012

Pression de surconsolidation, *pc* = 10 kPa sur toute la hauteur

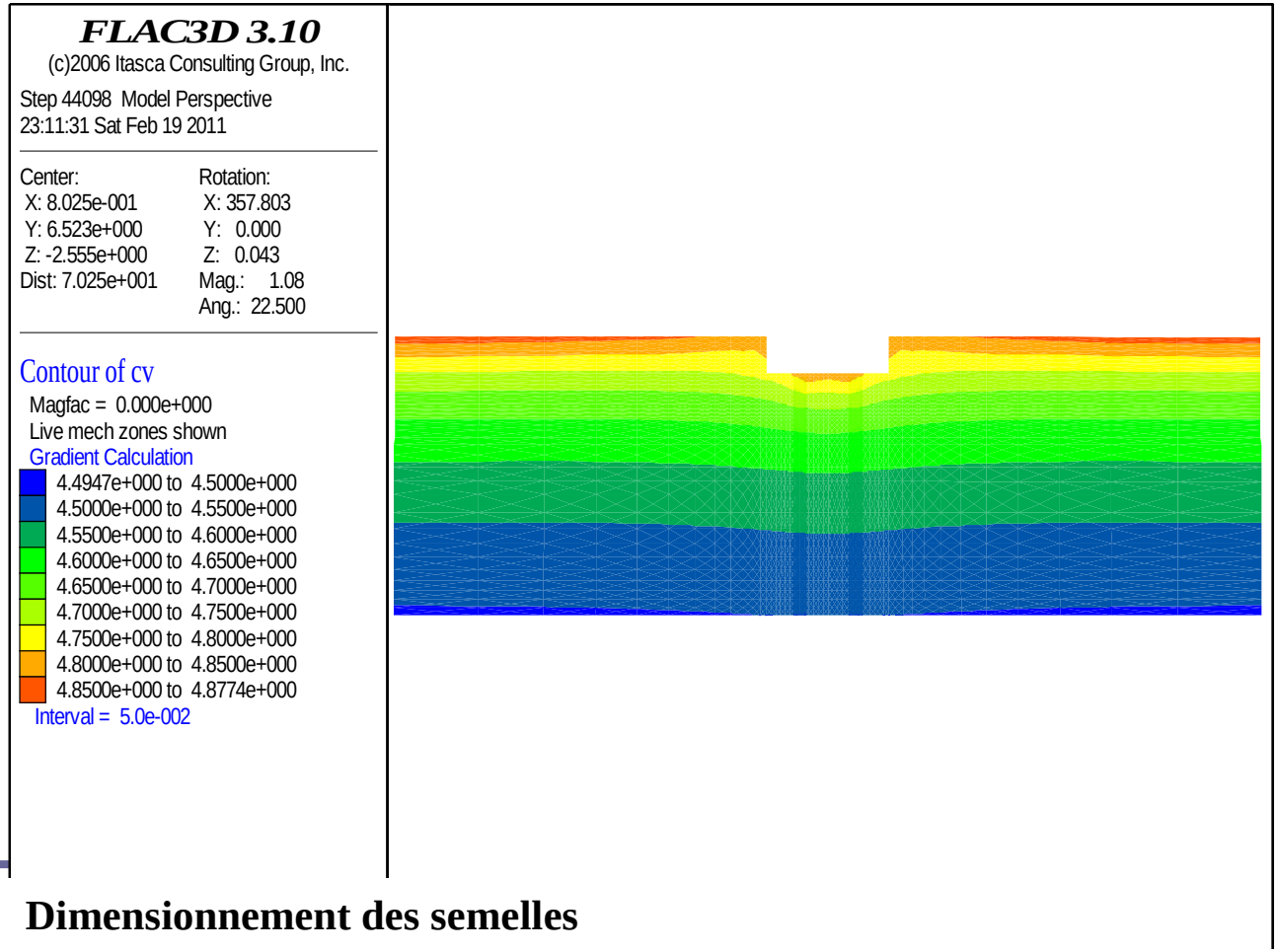
Sol compressible (Cam Clay)

Indice des vides avant chargement de la semelle

Variable selon la profondeur de la couche de sol compressible entre 3,49 et 3,8

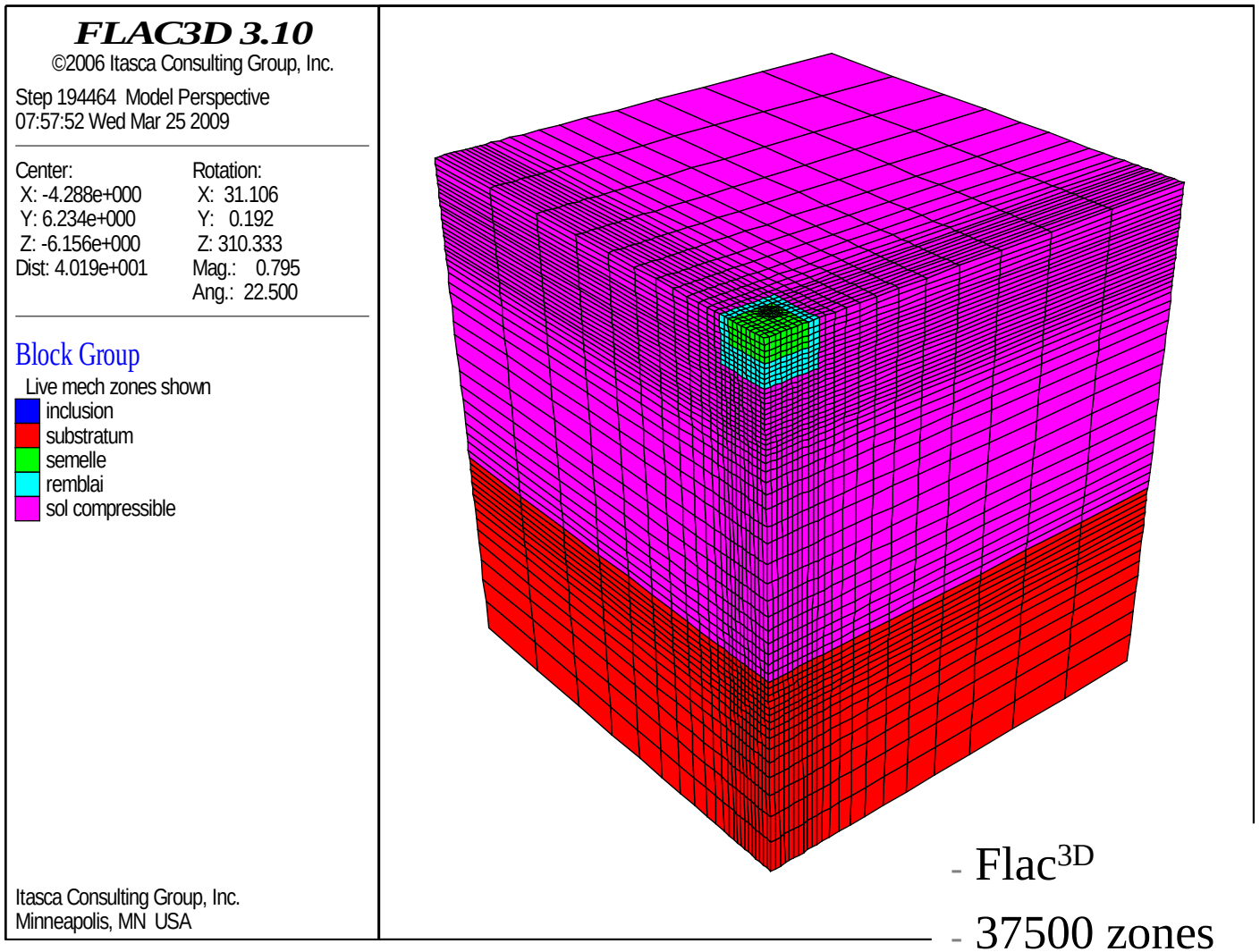
Le graphique présente le volume spécifique v

$e = v - 1$



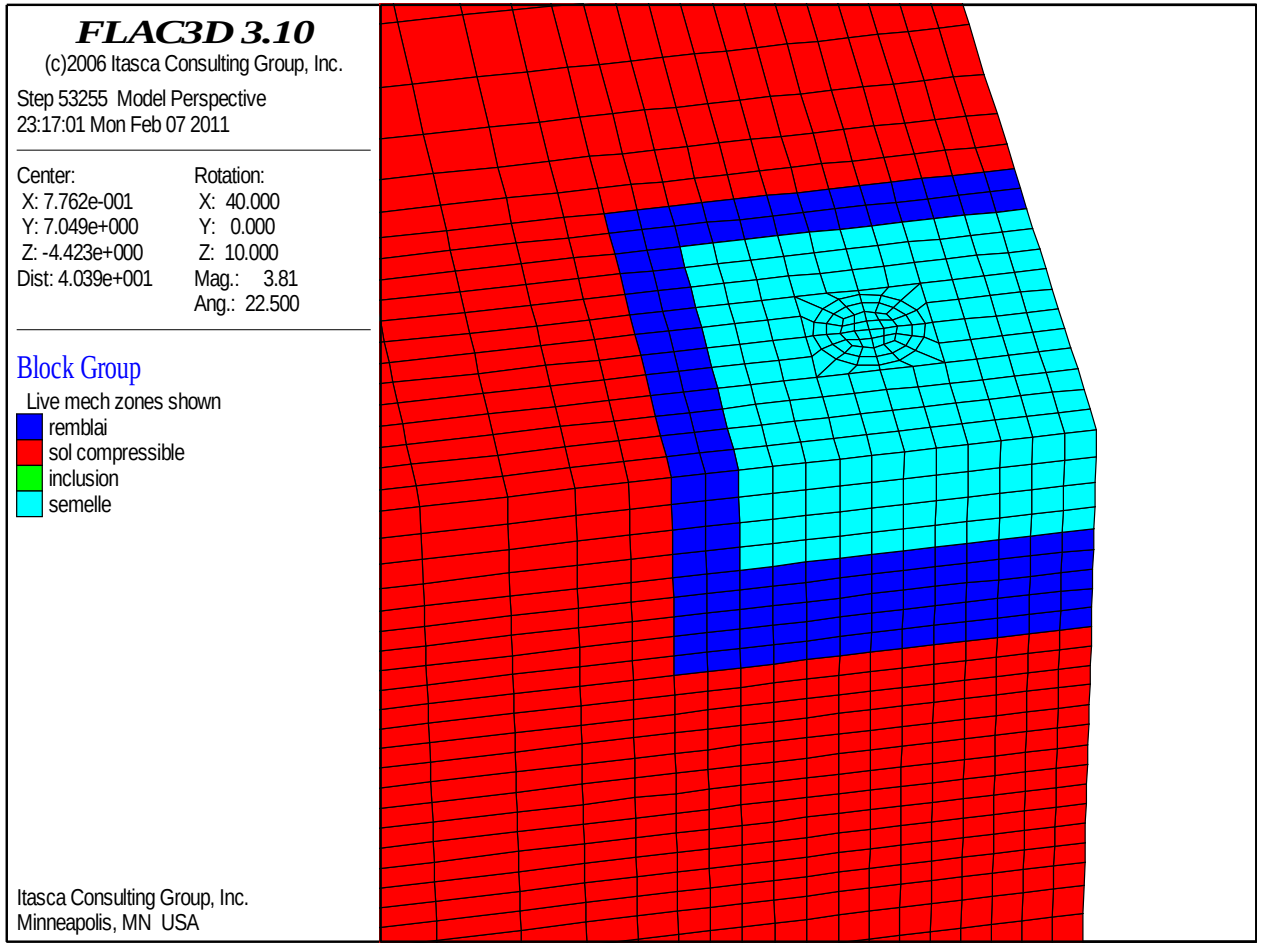
Modèles numériques 3D

Modèle numérique (Chargement vertical)

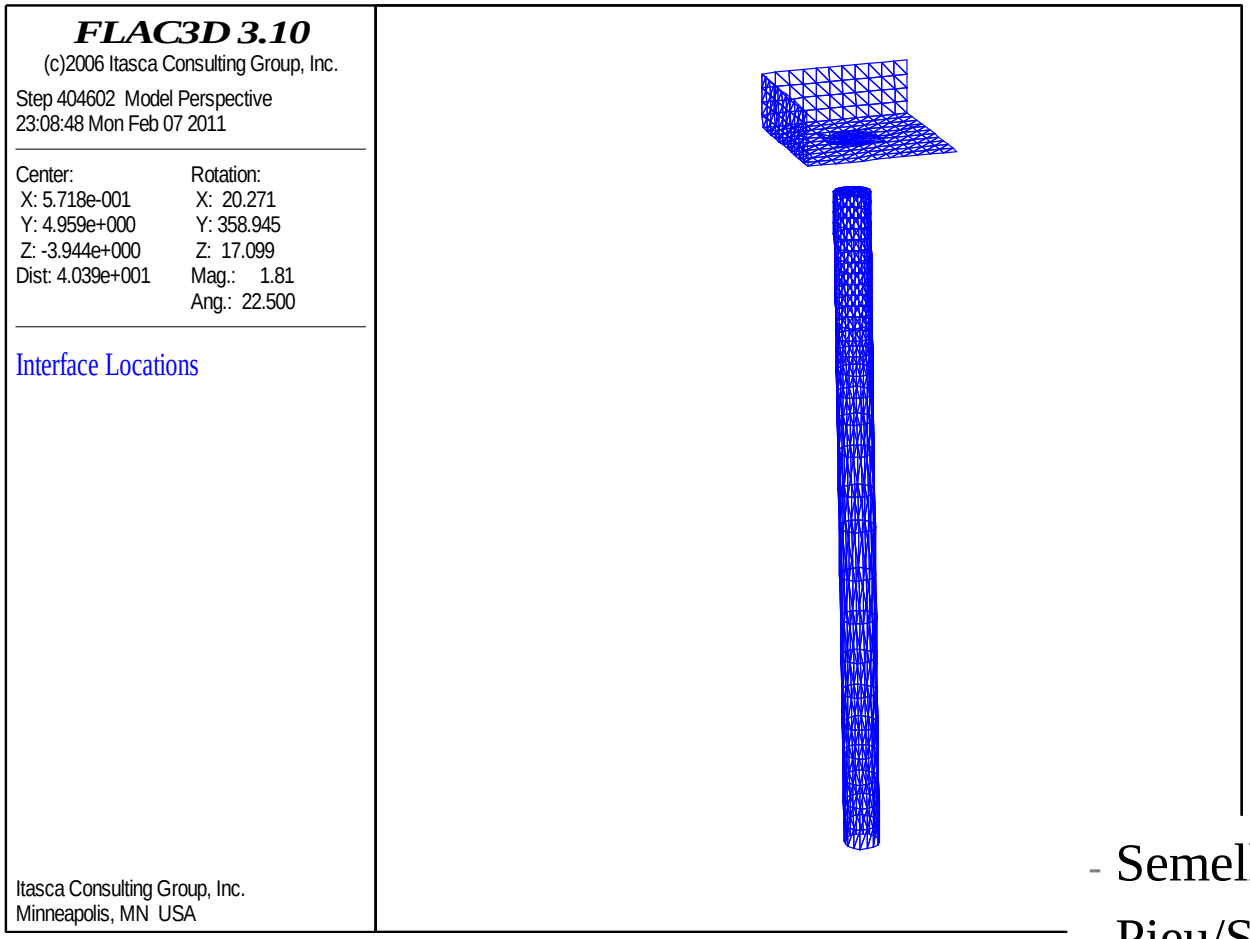


- Flac^{3D}
- 37500 zones

Zoom du modèle numérique

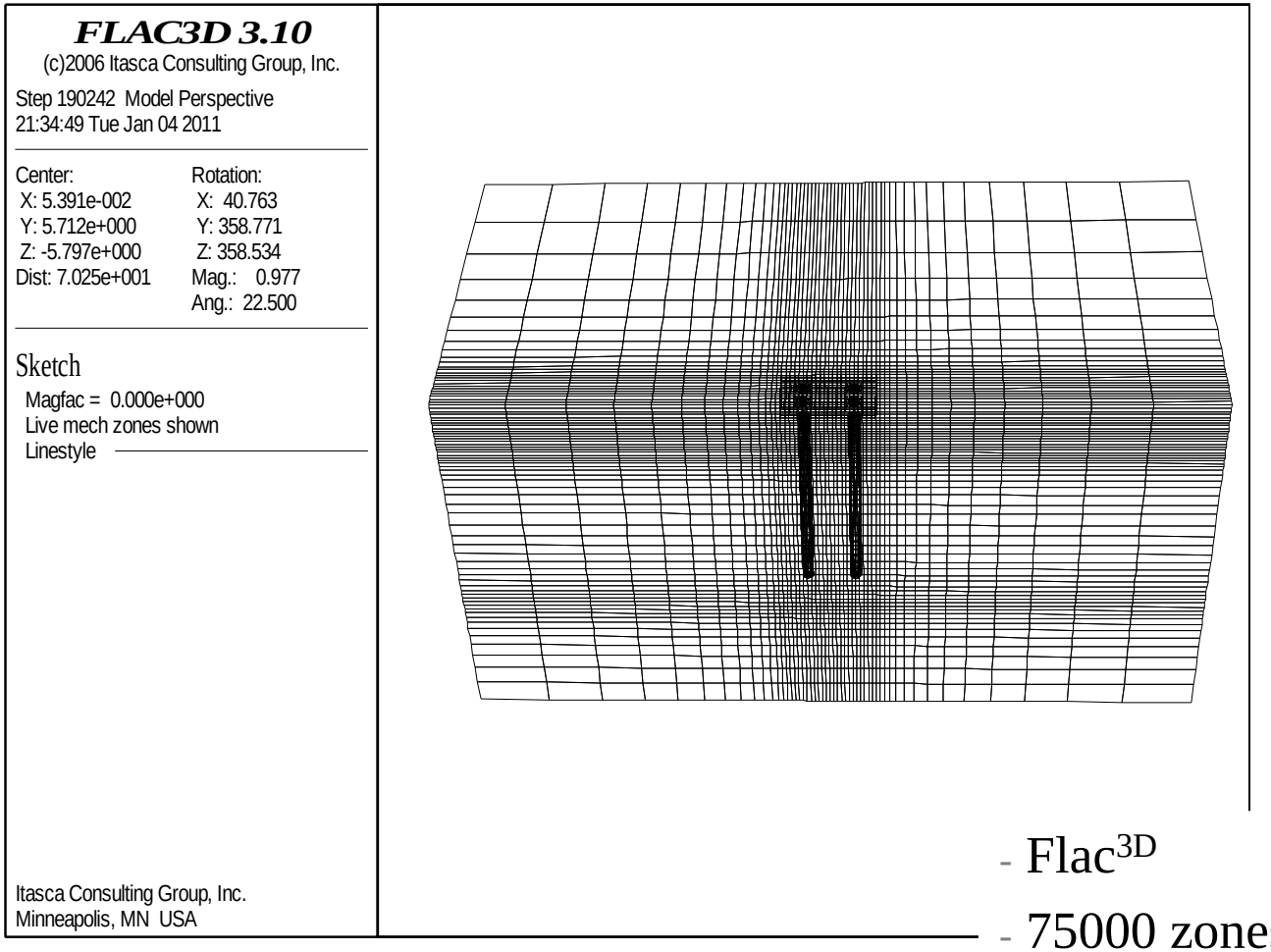


Interfaces



- Semelle/Sol : 2/3 ϕ_{sol}= 23,3°
- Pieu/Sol : q_s=30 kPa

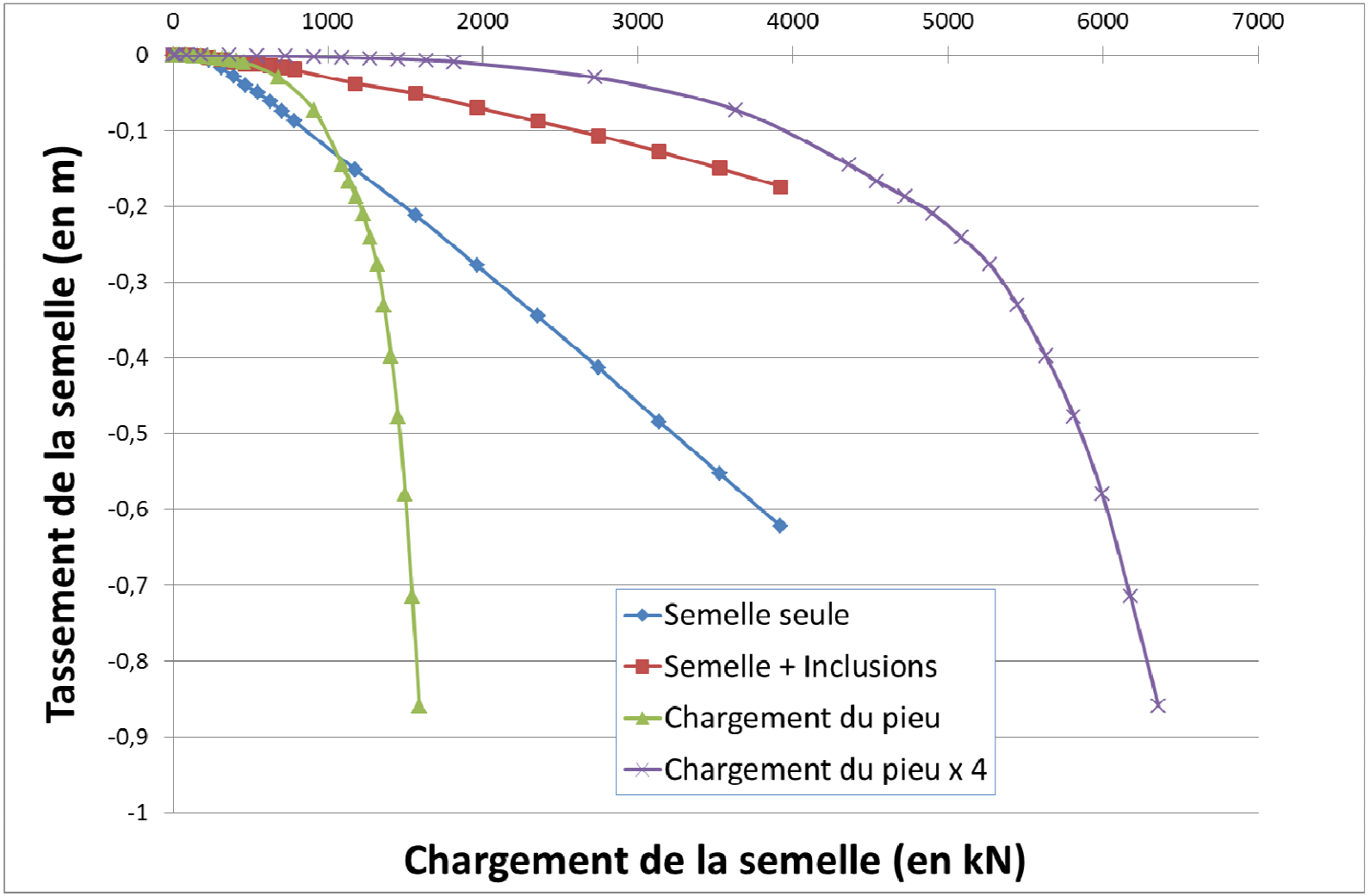
Modèle numérique (Chargement incliné)



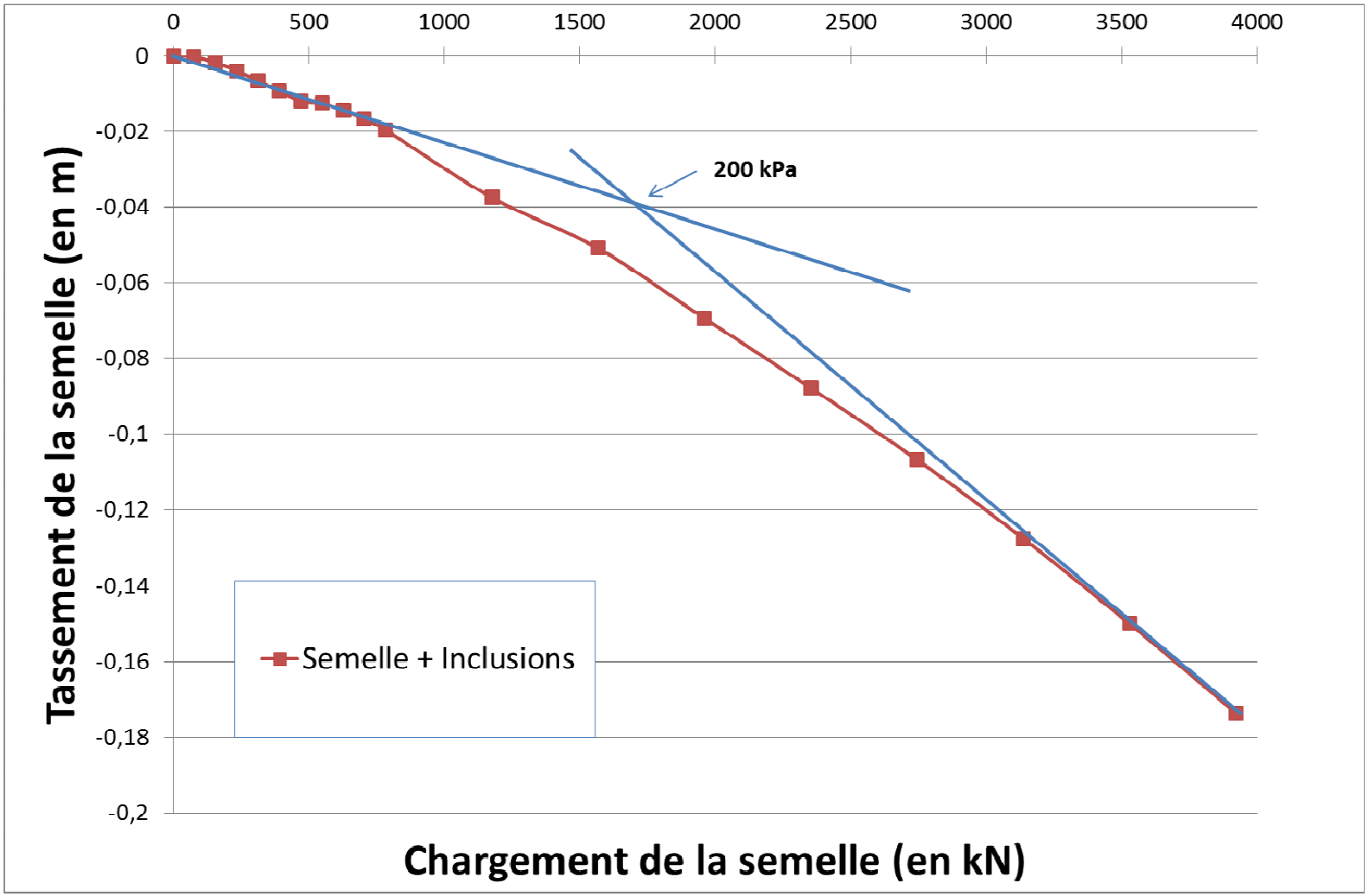
- Flac^{3D}
- 75000 zones

Résultats des modèles numériques 3D

Chargement vertical



Chargement de la semelle sur inclusions



A.S.I.RI
Projet National
Amélioration des Sols par Inclusions Rigides
Opération du Réseau Génie Civil et Urbain

Contraintes principales

FLAC3D 3.10

(c)2006 Itasca Consulting Group, Inc.

Step 713997 Model Projection
20:59:04 Thu Feb 17 2011

Center:	Rotation:
X: -3.197e+000	X: 30.014
Y: 1.127e+000	Y: 0.000
Z: -1.122e+000	Z: 260.000
Dist: 4.039e+001	Size: 1.968e+000

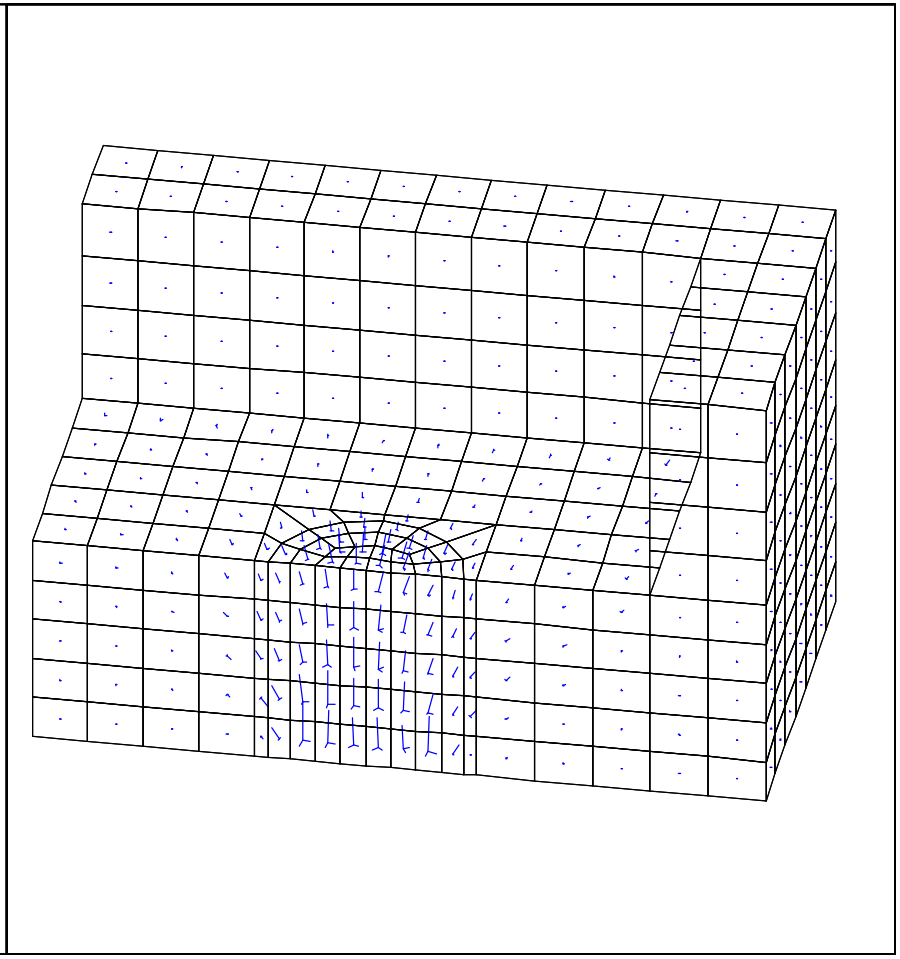
Sketch

Magfac = 0.000e+000
Live mech zones shown
Linestyle

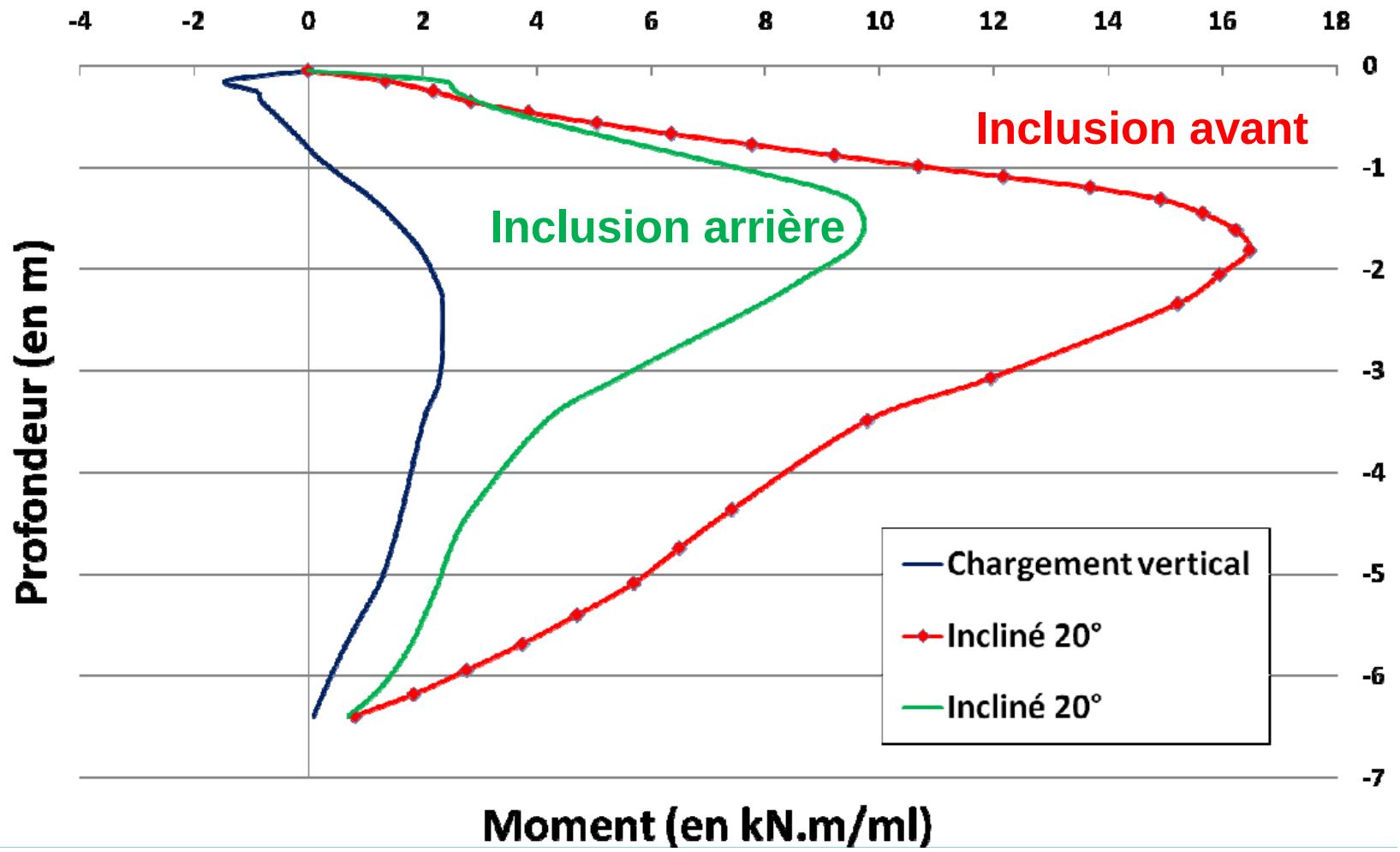
Principal Stresses

Magfac = 0.000e+000
Live mech zones shown
Compression
Max Compression = -3.170e+006
Max Tension = 0.000e+000

Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA



Chargement N & NTM (150kPa)



Modèles simplifiés

- Chargement vertical
- Chargement latéral

Chargement vertical :

Modèle monolithe MV3 – Simon (2010)

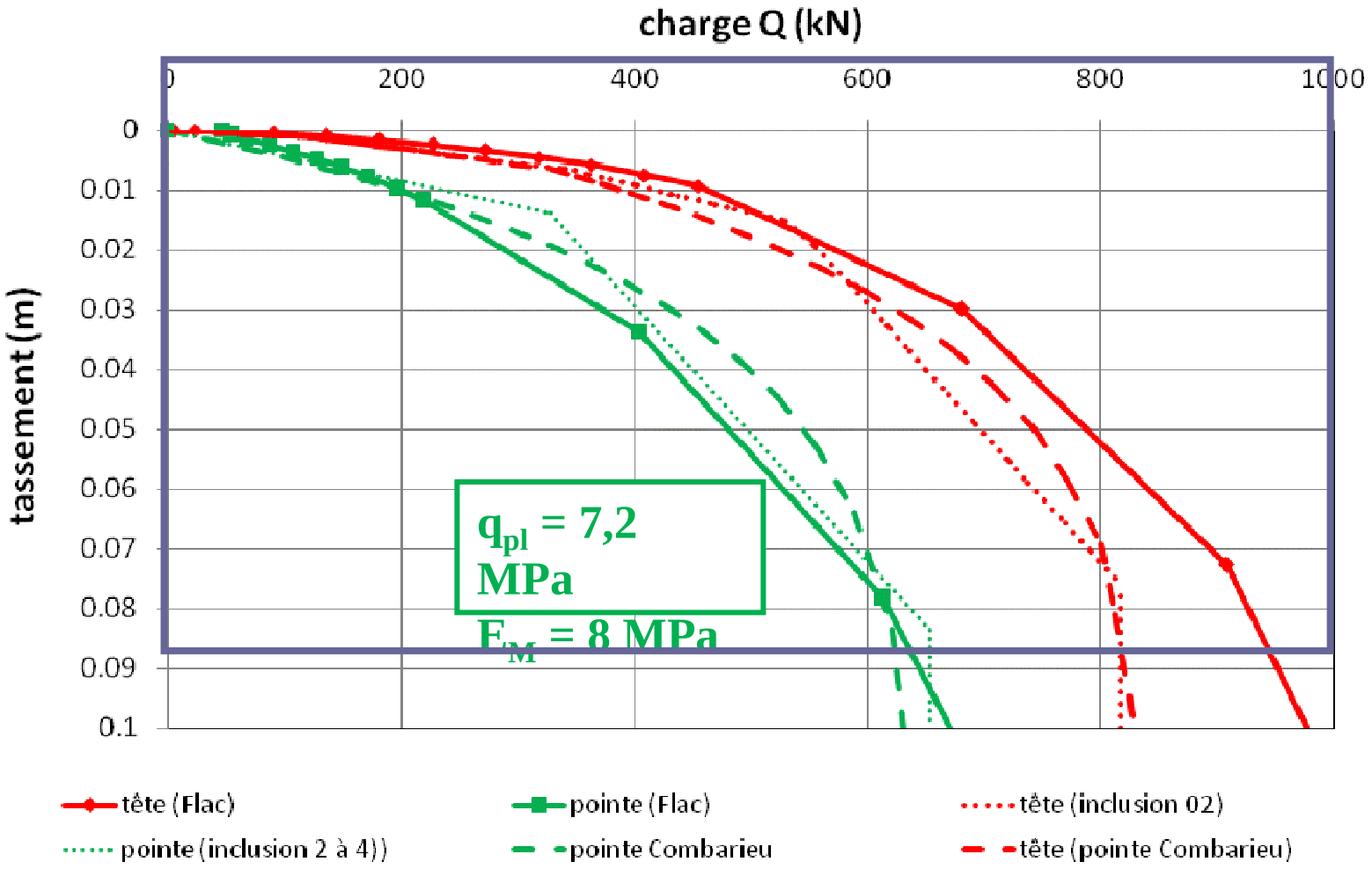
- Volume de sol renforcé par les inclusions à l'aplomb de la semelle = monolithe homogène équivalent.
- Analyse successive de :
  - l'interaction entre les inclusions au sein du volume renforcé pour établir les propriétés du monolithe homogène équivalent,
  - l'interaction de ce monolithe avec le massif extérieur.

Chargement vertical :

Modèle monolithe MV3 – Simon (2010)

- Calages nécessaires
  - Inclusion isolée chargée en tête
    - Terme de pointe
    - Loi de frottement latérale
  - Semelle non renforcée

Inclusion isolée chargée en tête

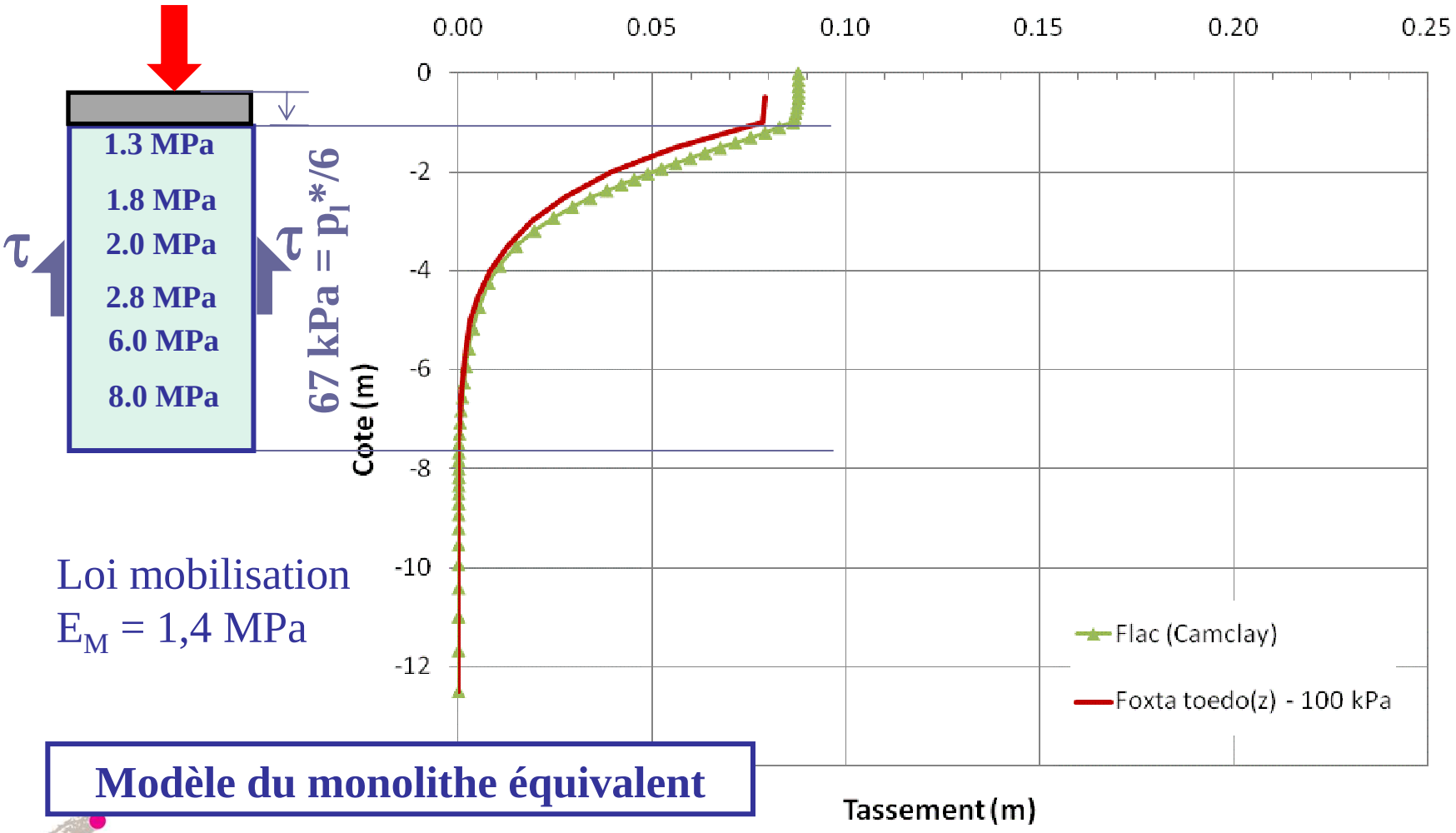


A.S.I.RI
Projet National
Amélioration des Sols par Inclusions
Opération du Réseau Génie Civil et Urbain

Semelle non renforcée

100 kPa

784 kN



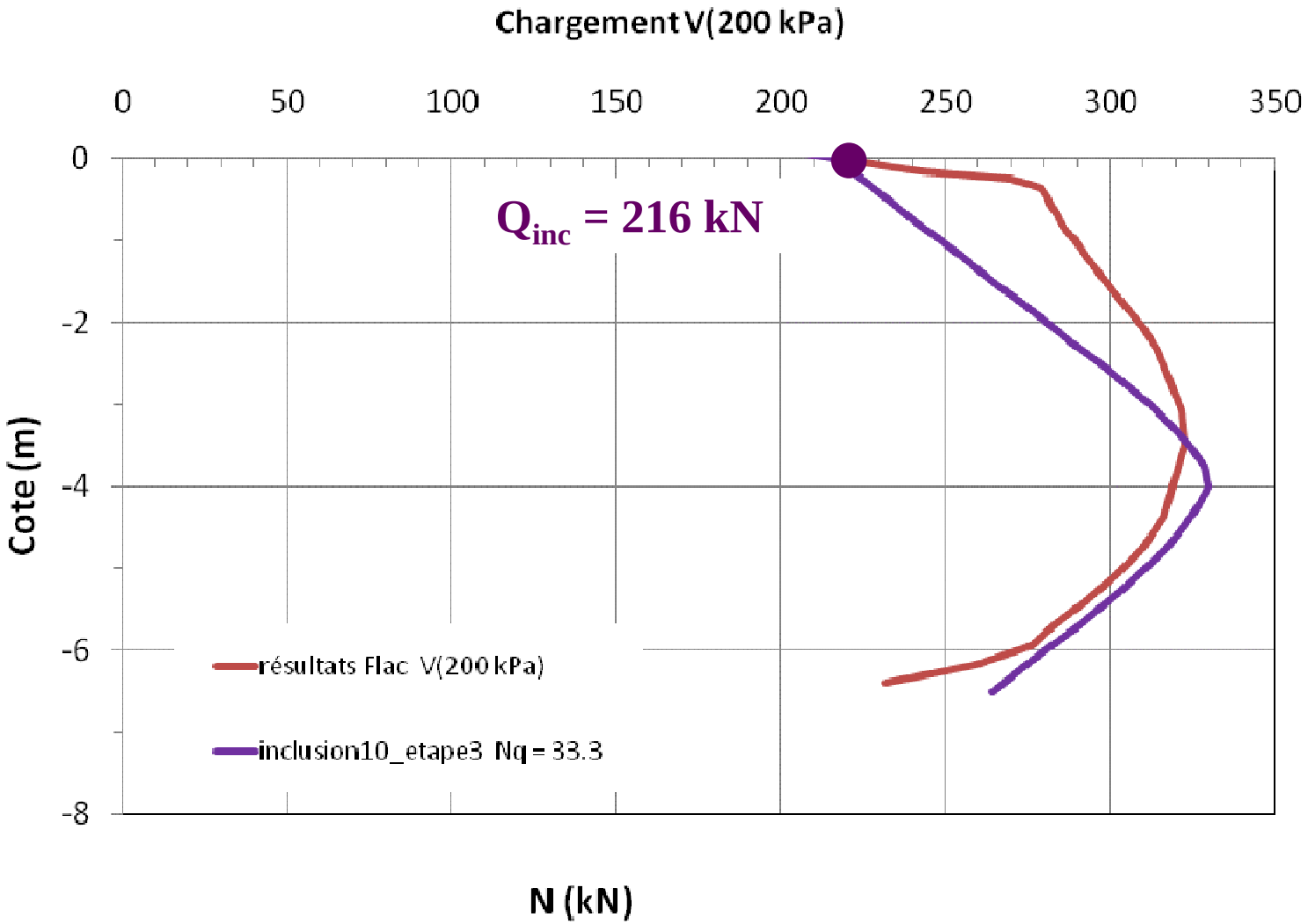
Loi mobilisation

E_M = 1,4 MPa

Modèle du monolithe équivalent

A.S.I.RI
Projet National
Amélioration des Sols par Inclusions Rigides
Opération du Réseau Génie Civil et Urbain

Etape 3

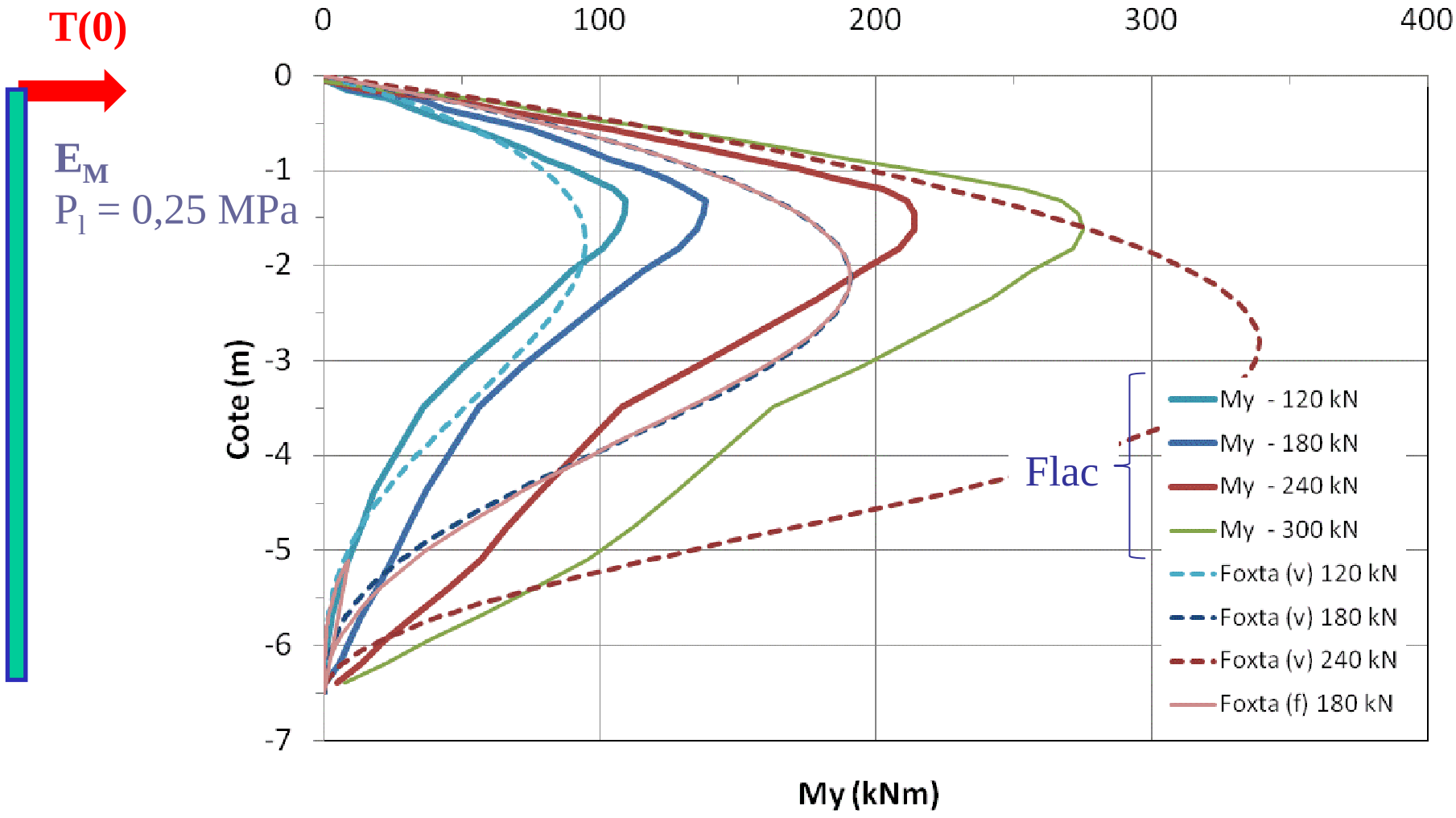

Chargement V(200 kPa)
0
50
100
150
200
250
300
350
0
-2
-4
-6
-8
Cote (m)
Q_{inc} = 216 kN
résultats Flac V(200 kPa)
inclusion10_etape3 Nq = 33.3
N (kN)

Chargement latéral :

Modèle monolithe MH3 – Simon (2010)

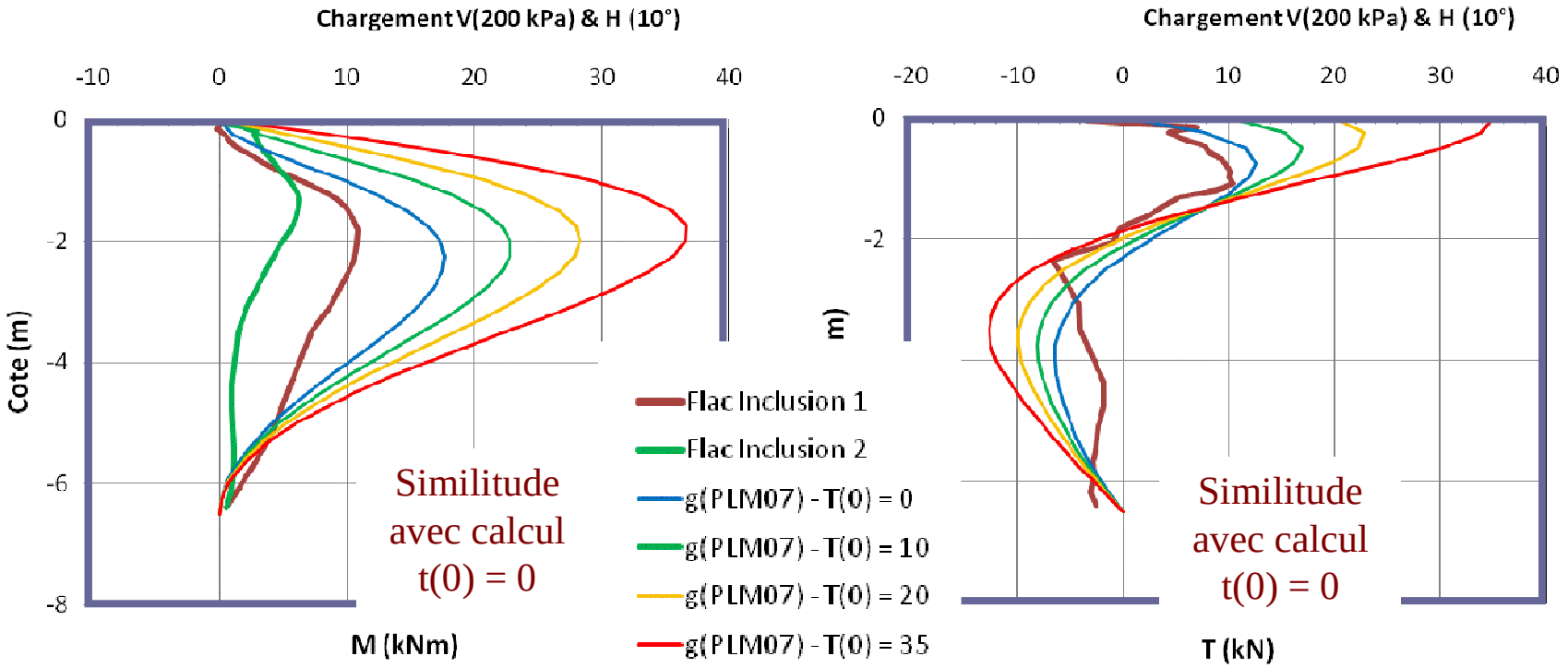
- Calages supplémentaires/MV3
  - Inclusion isolée chargée en tête
  - Semelle non renforcée

Inclusion isolée chargée en tête



Modèle monolithe MH3

- **Etape 5 :** q = 200 kPa (θ = 10°)



A.S.I.RI
Projet National
Amélioration des Sols par Inclusions Rigides
Opération du Réseau Génie Civil et Urbain

Evaluation du Modèle monolithe MH3

- Bon ordre de grandeur déplacement
  - Si E*I et E_{sol}A sont pris en compte
  - Si réaction latérale évaluée avec E_M adapté

- Profils M(z) et T(z) suggèrent T(0) = 0
  - Pas de cisaillement sur tête inclusion

- Moment fléchissant M(z) évalué par excès

Conclusion

- Calculs numériques 3D complexes :
  - Difficilement envisageables pendant les études
  - Base de données

- Méthodes simplifiées développées

- Essais en centrifugeuse en cours

Merci de votre attention