



**Prise en compte de la mise en place dans la
modélisation numérique
en 3D des colonnes ballastées
Calculs 2D ou 3D ?**

NGUYEN Ngoc Thanh – Pierre FORAY – Etienne FLAVIGNY
(*Laboratoire 3S-R - Universités de Grenoble*)



PLAN

Introduction

- Méthode – pourquoi?

Modélisation d'une cellule élémentaire

- En 2D axisymétrique
- En 3D-prise en compte de l'expansion radiale

Modélisation d'un groupe de colonnes ballastées

- Modélisation 3D de groupe de 9, 13 et 25 colonnes
- Prise en compte d'une expansion radiale ou sans expansion

Application à deux ouvrages

- Modélisation d'un cas de 42 colonnes ballastées
- Modélisation d'une station d'épuration à Sainte-Menehould

Conclusions



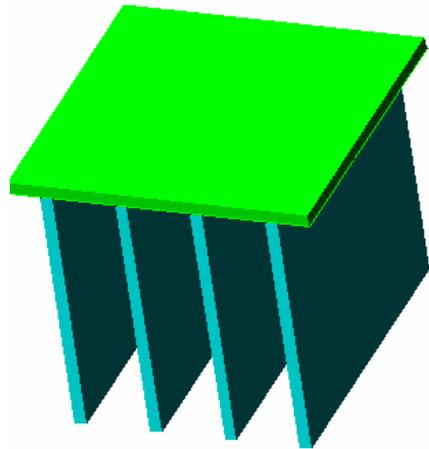
Introduction

- Méthodes de dimensionnement classiques (Priebe,...)
- Mieux appréhender le fonctionnement des colonnes
- Cerner le rôle des différents paramètres
- Calculs paramétriques
- Evaluer des variantes (inclusions rigides/pieux/mixtes, etc.)
- Rôle majeur de la mise en place

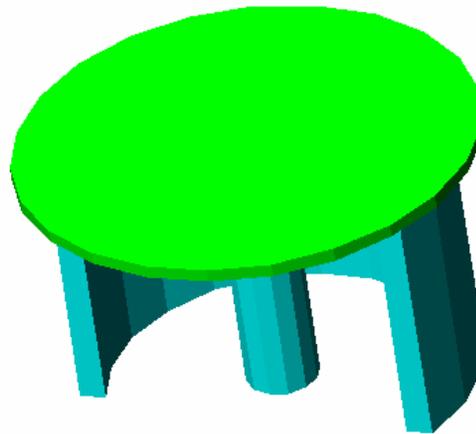


Modélisation de colonnes ballastées

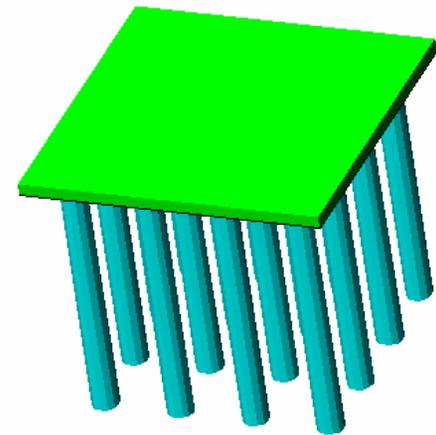
Différente des modélisations en 2D ou en 3D



(a) déformation plane



(b) axisymétrie



(c) tridimensionnelle

Homogénéisation : définition d'un sol « équivalent » ?

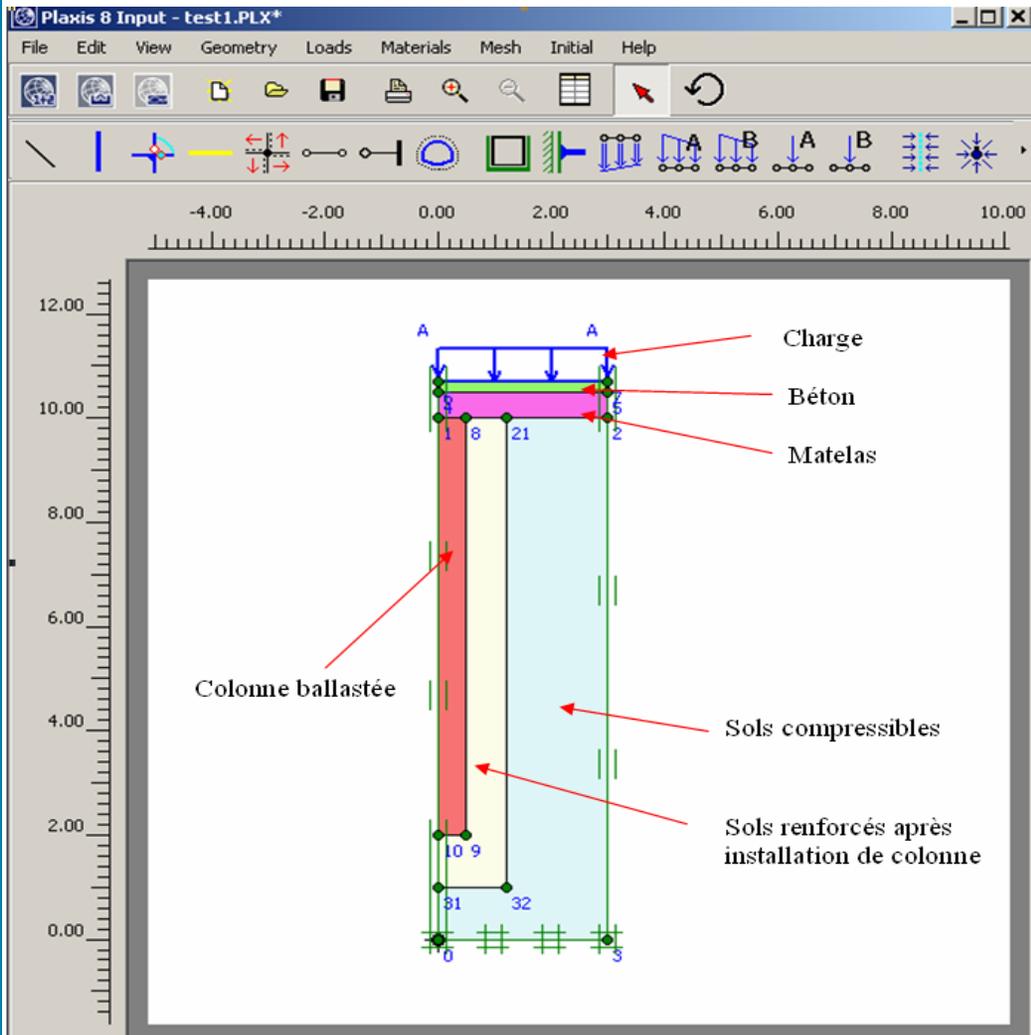
Prise en compte de la mise en place

- sans expansion radiale?
- avec expansion latérale ?
- ou augmentation de K rapport de contrainte ?



Modélisation d'une cellule...

En 2D axisymétrique



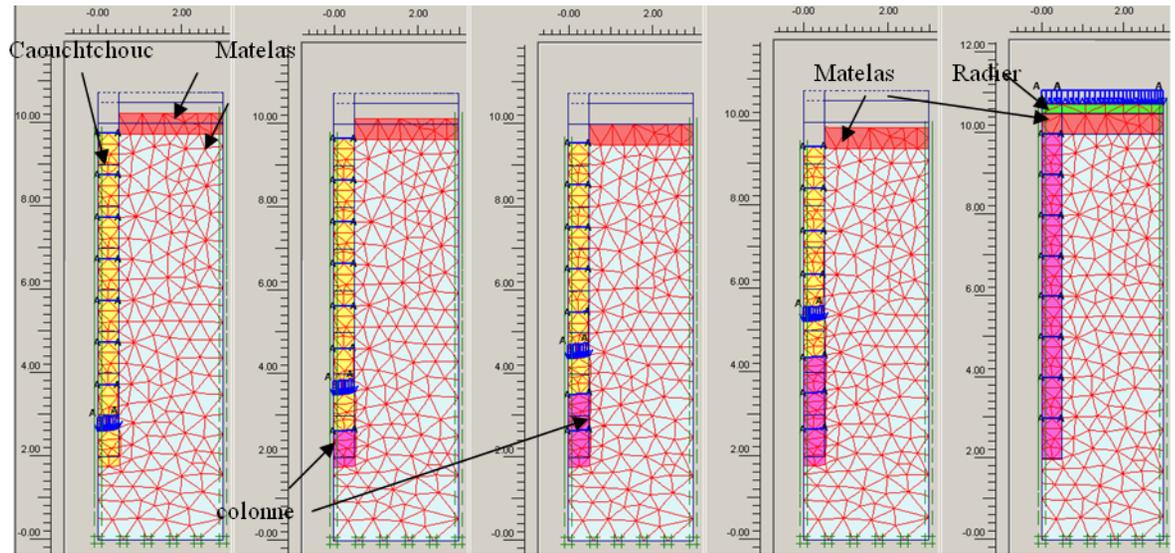
Compte mise en place
➤ Changement des paramètres d'une couronne de sol?

➤ Imposer un déplacement radial?

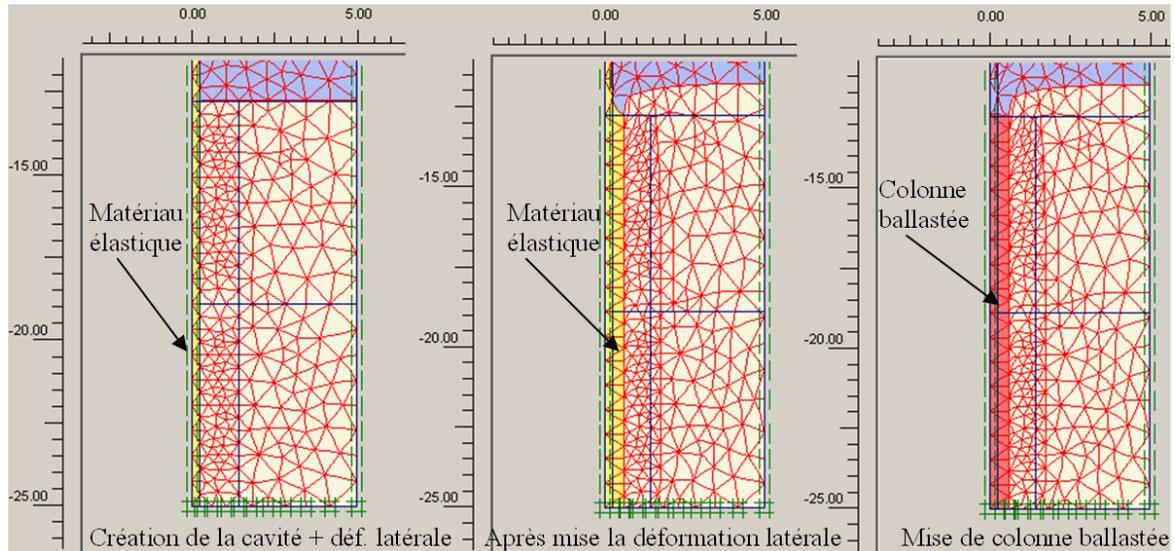
➤ Augmentation K ?

Modélisation d'une cellule...

Précharge
de la colonne
Cf Debats et al.



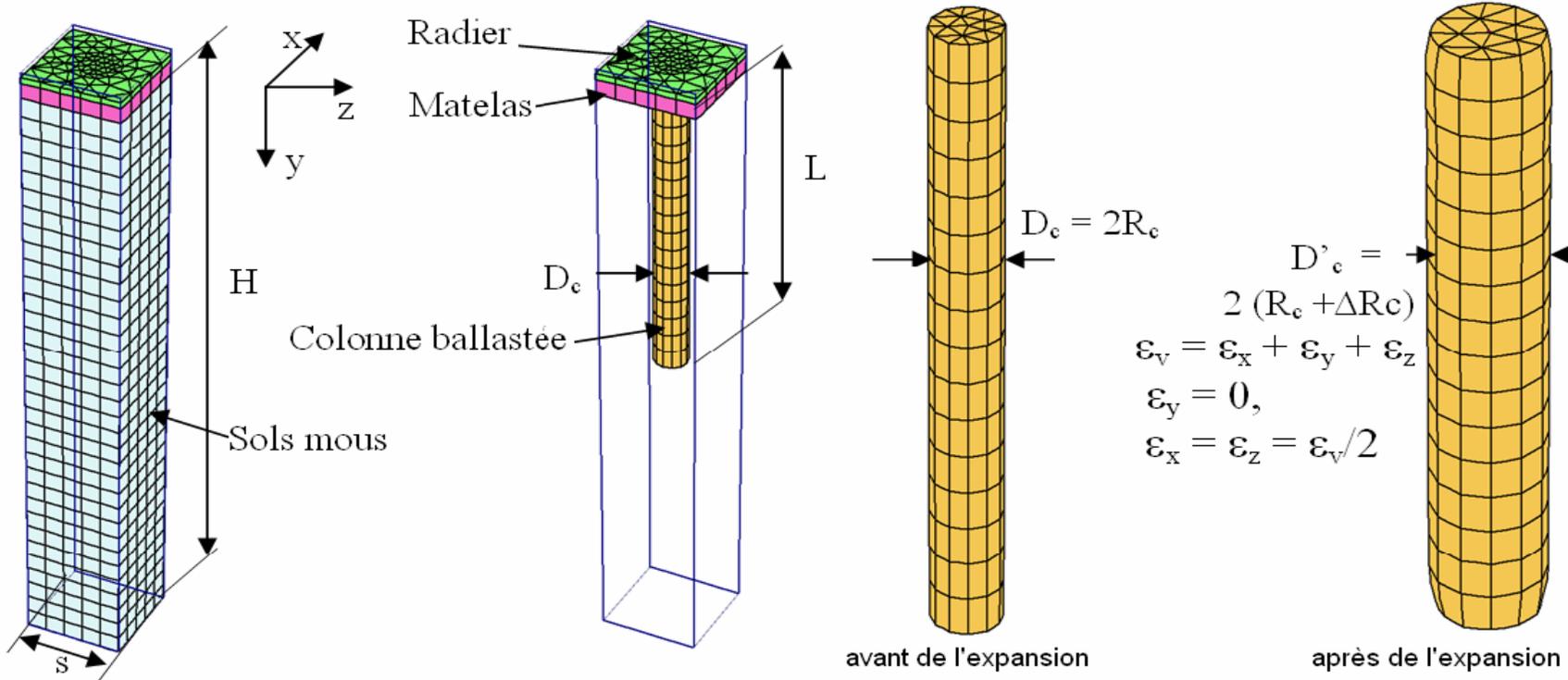
Imposer un
déplacement





Modélisation d'une cellule...

En 3D-prise en compte d'expansion radiale: on impose un déplacement radial, à déplacement vertical nul

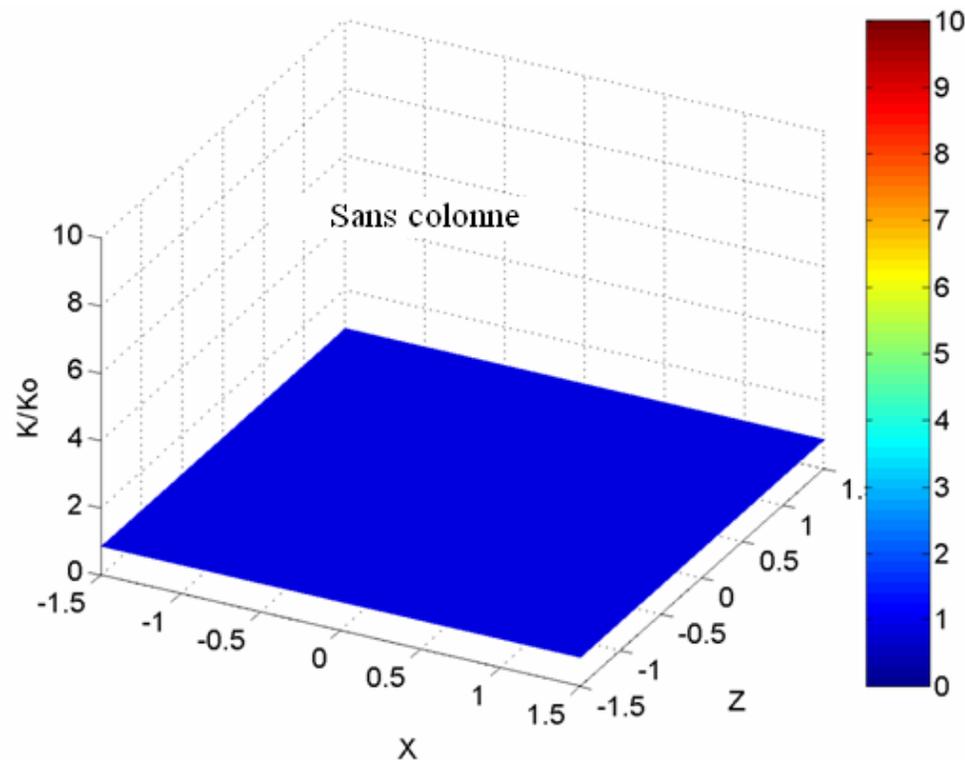


Couches	Modèle	γ (kN/m ³)	c (kPa)	φ' (degré)	E (MPa)	ν	ψ (degré)
Colonnes	MC	20	1	38	100	0,25	8
Sol	MC	17	1	33	5	0,25	-
Béton	LE	25	-	-	30 000	0,20	-



Modélisation d'une cellule...

L'effet de l'expansion radiale : augmentation des contraintes horizontales à mi-hauteur de la colonne:
Sans colonnes ; sol initial $K = K_0$

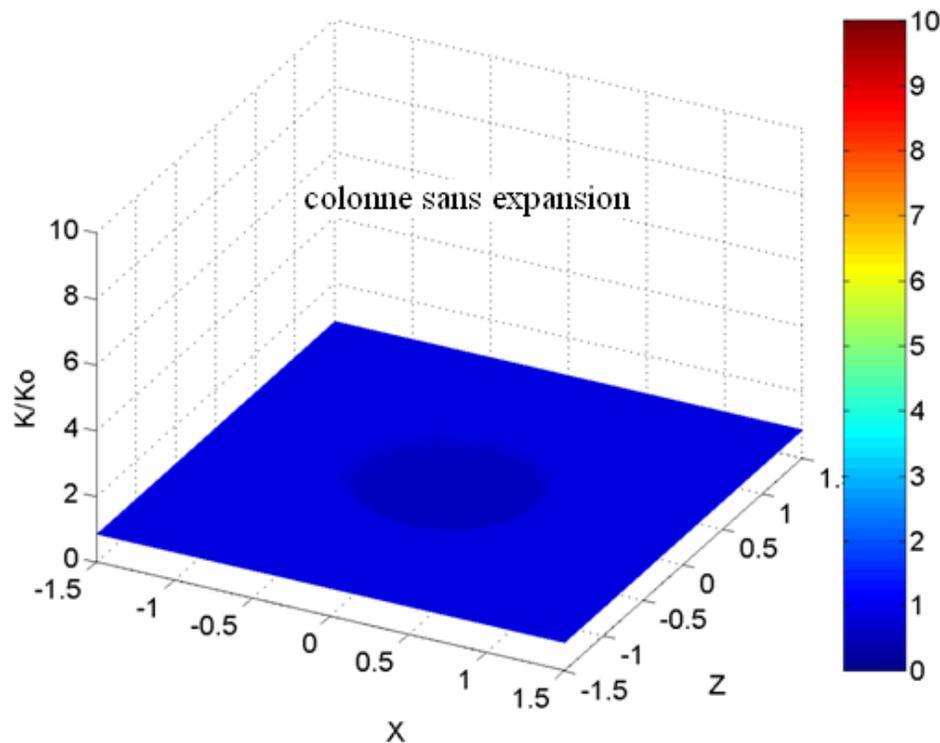




Modélisation d'une cellule...

L'effet de l'expansion radiale : augmentation des contraintes horizontales

Colonne : légère augmentation de K

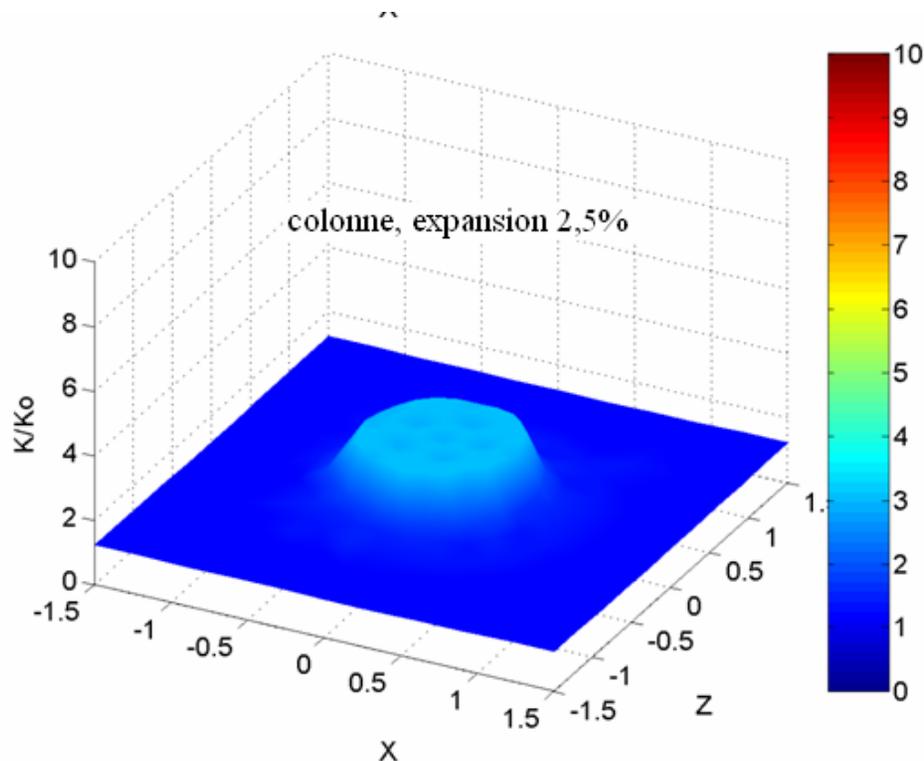




Modélisation d'une cellule...

L'effet de l'expansion radiale : augmentation des contraintes horizontales

Colonne avec une expansion de 2.5%



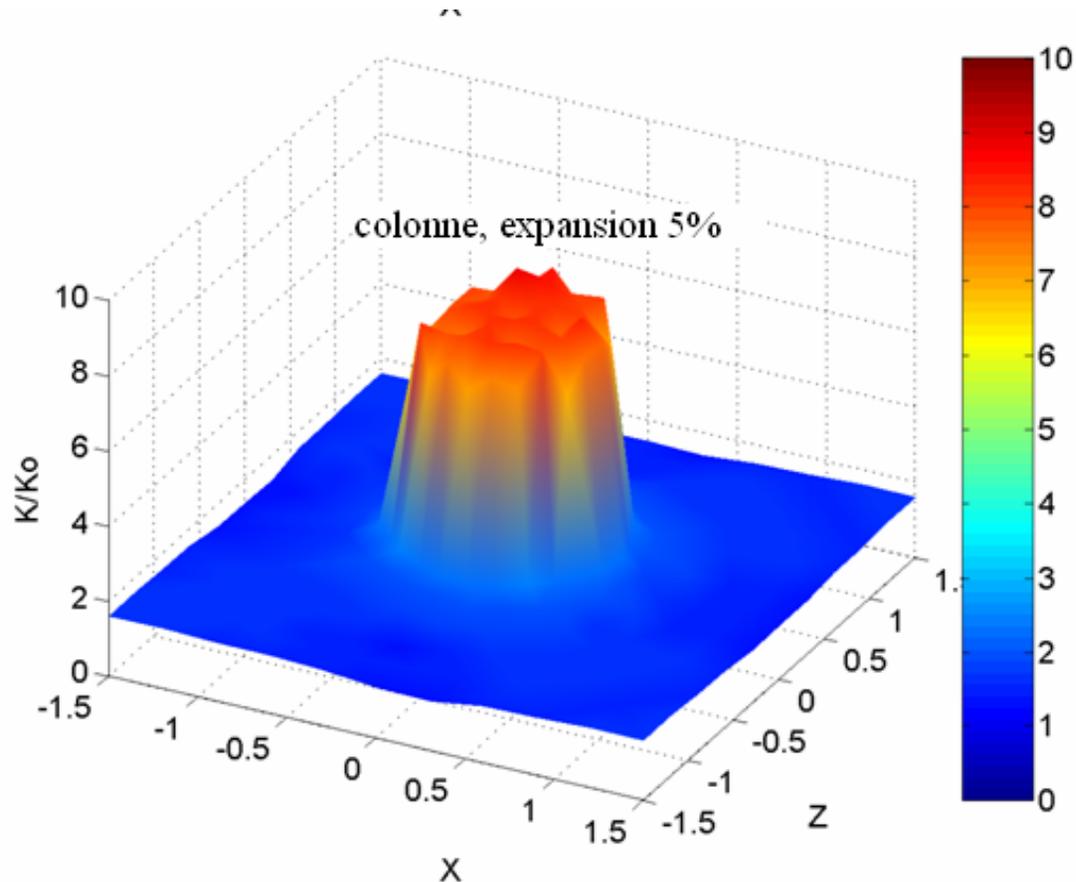
K passe de 0.5 à 4



Modélisation d'une cellule...

L'effet de l'expansion radiale : augmentation des contraintes horizontales

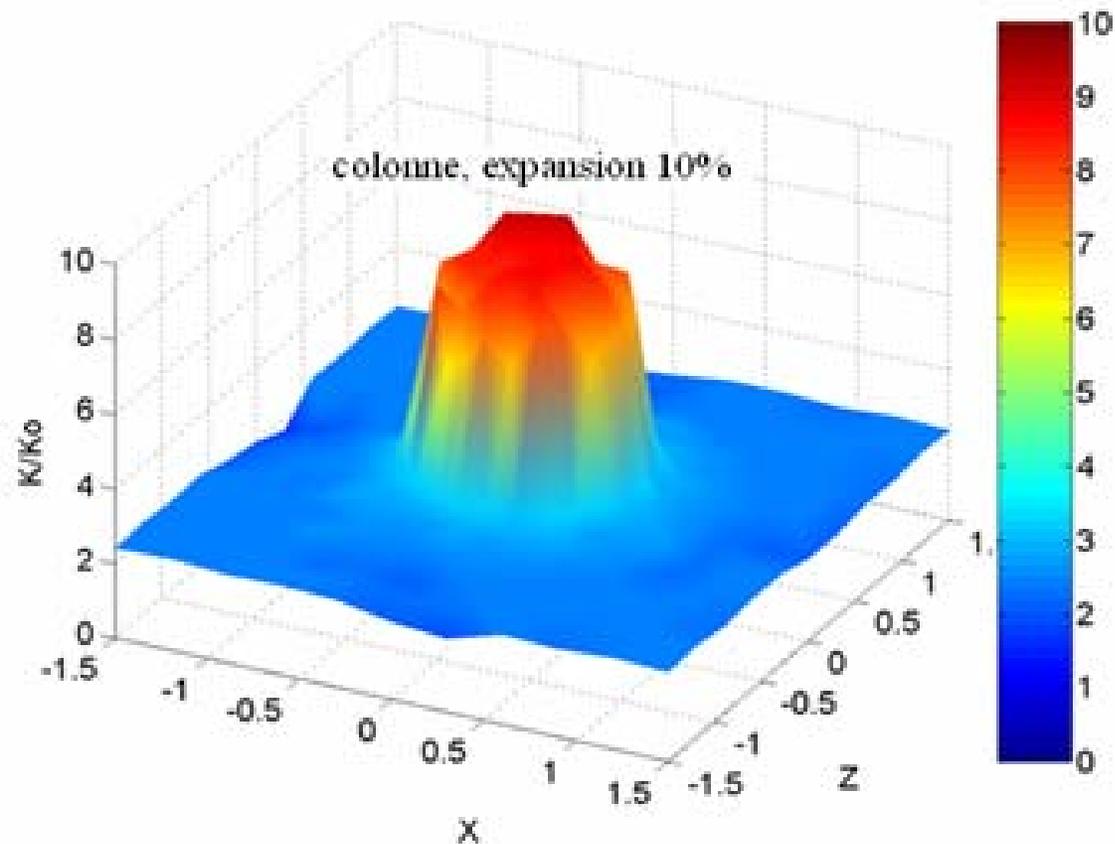
Expansion de 5% : Augmentation dans toute la cellule



Modélisation d'une cellule...

L'effet de l'expansion radiale : augmentation des contraintes horizontales

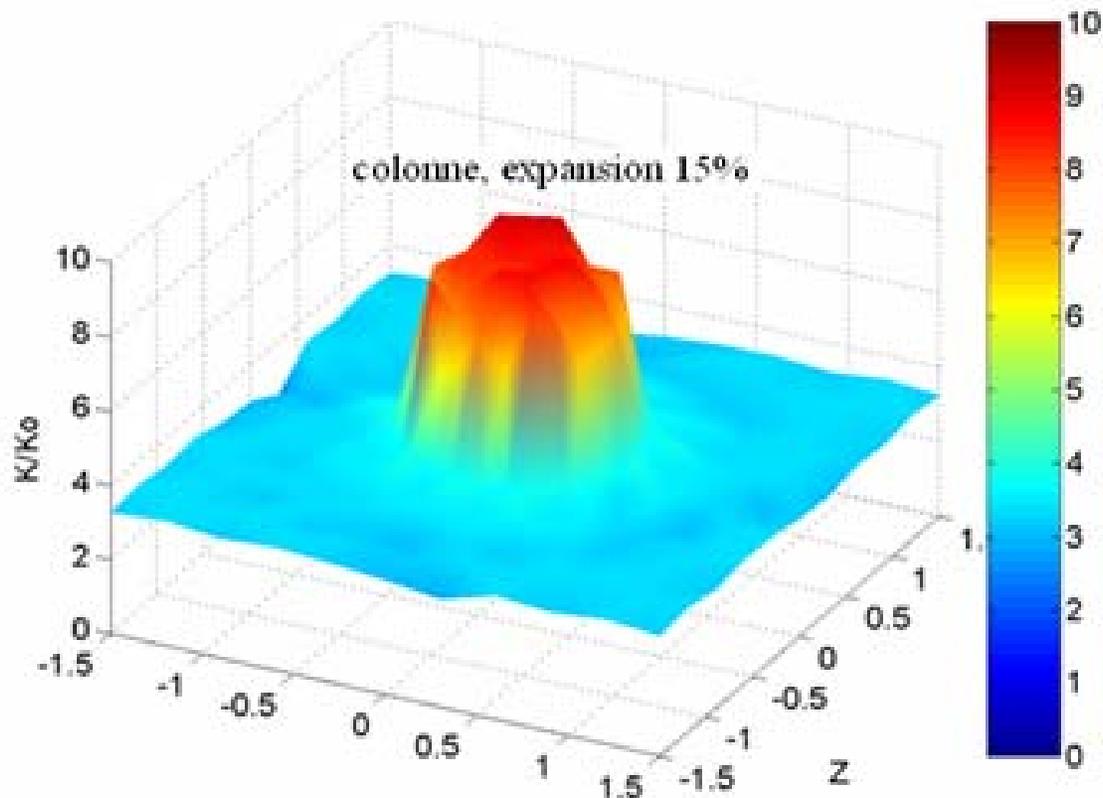
Expansion de 10% : Augmentation dans toute la cellule



Modélisation d'une cellule...

L'effet de l'expansion radiale : augmentation des contraintes horizontales

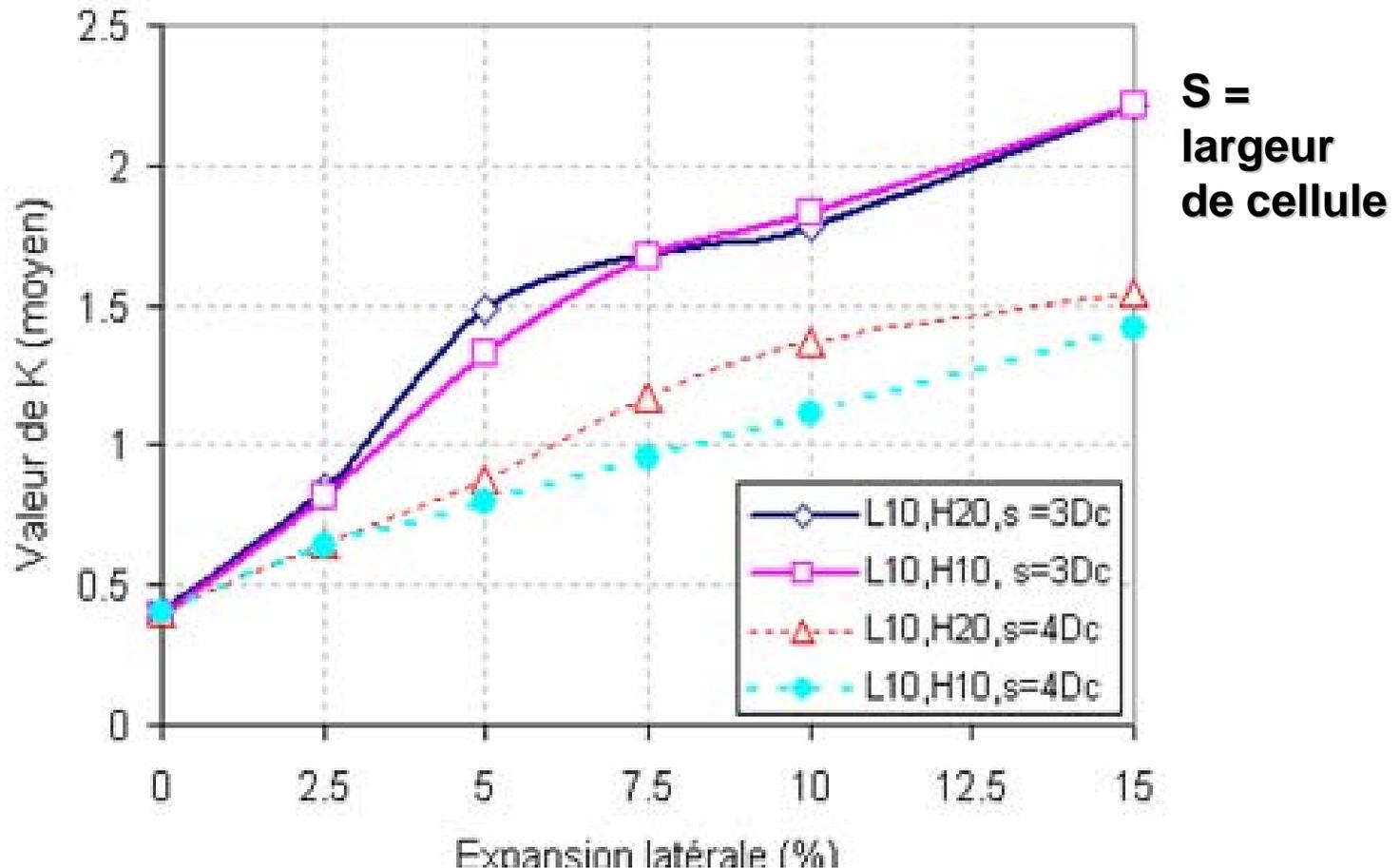
Expansion de 15% : Augmentation dans toute la cellule





Modélisation d'une cellule...

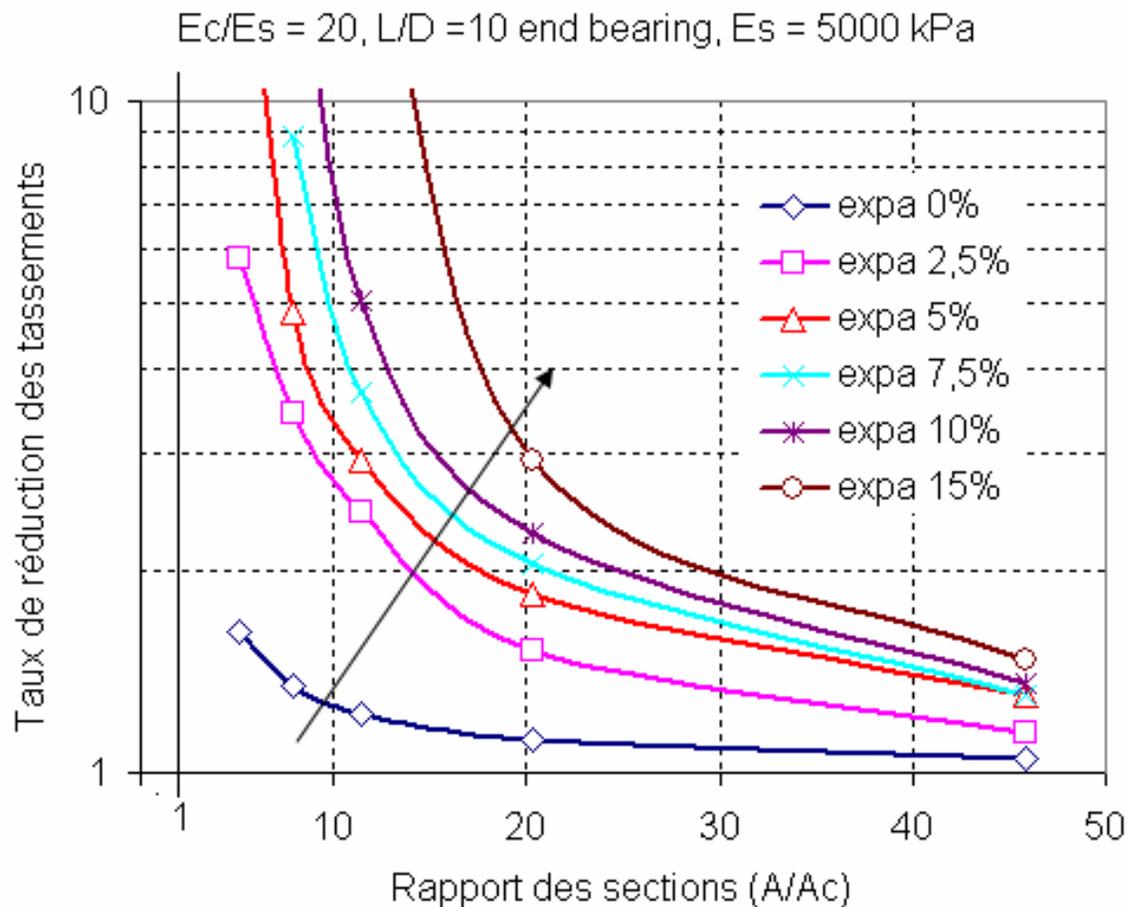
L'effet de l'expansion radiale : augmentation des contraintes horizontales : synthèse





Modélisation d'une cellule...

Taux de réduction des tassements = f (A/A_c , expansion, L/D , H/L , E_s ...)

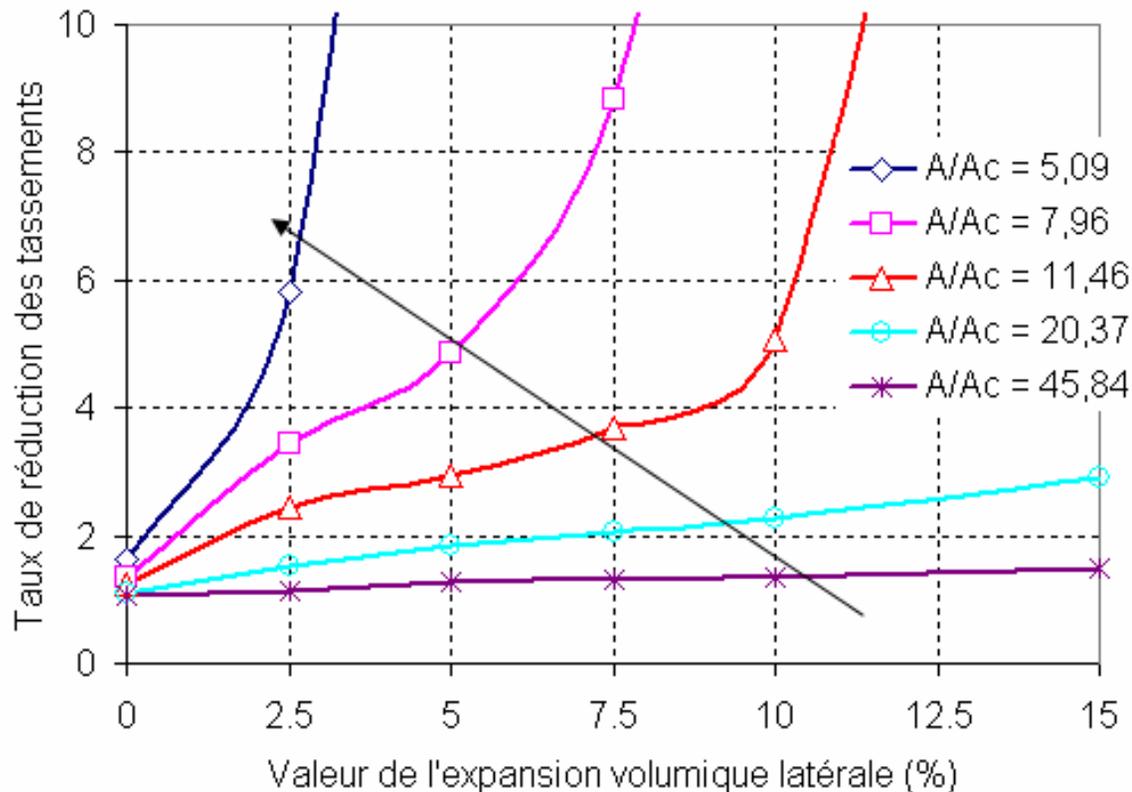




Modélisation d'une cellule...

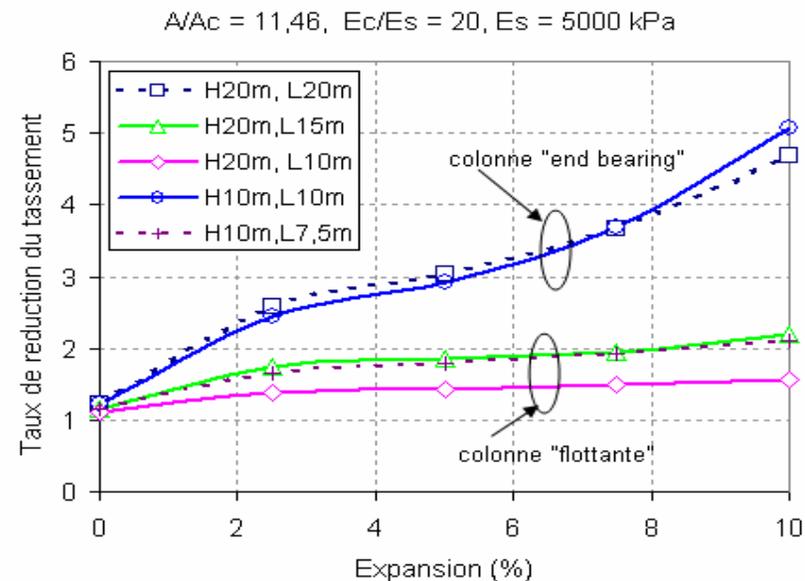
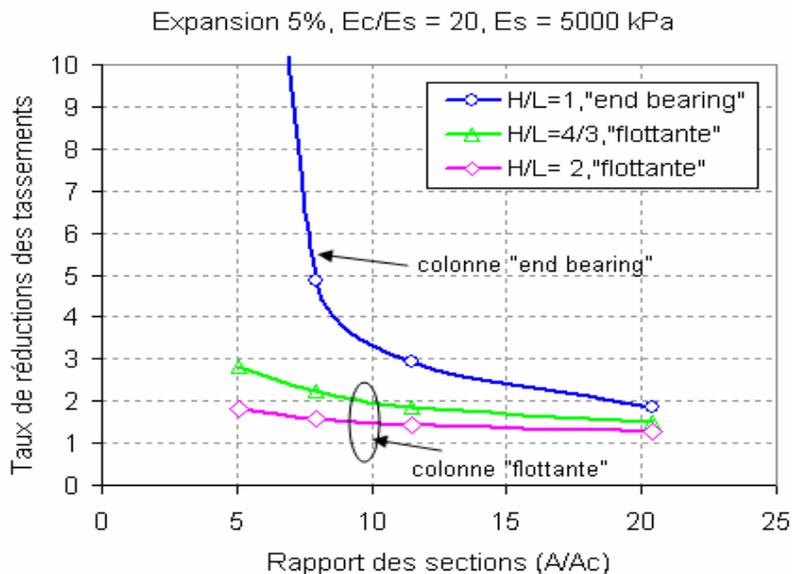
Taux de réduction des tassements = f (A/A_c ,
expansion, L/D , H/L , E_s ...)

$E_c/E_s = 20$, $L/D = 10$ end bearing, $E_s = 5000$ kPa



Modélisation d'une cellule...

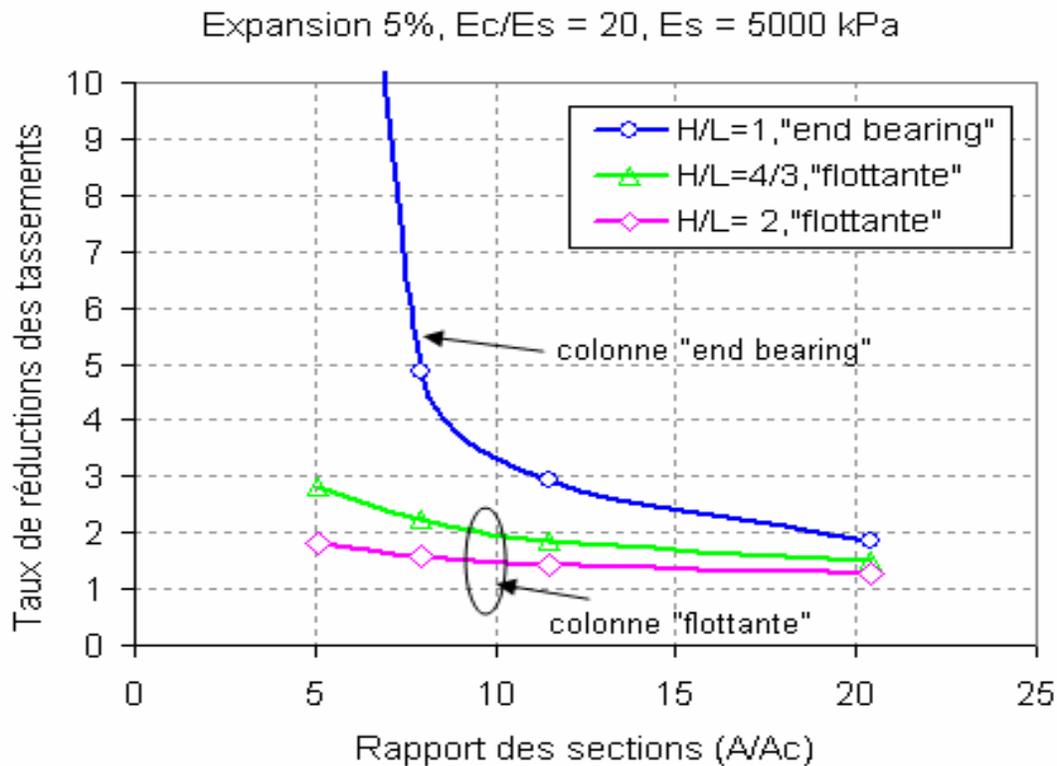
Influence de longueur, colonnes «flottantes» et colonnes «chargées en pointes»





Modélisation d'une cellule...

Influence de longueur, colonnes «flottantes» et colonnes «chargées en pointes»





Modélisation d'une cellule...

Conclusions :

- L'expansion reproduit le mode de mise en place de la colonne
- Rôle majeur du rapport de contrainte
- Effet sur le facteur de réduction de tassement
- Colonne flottante ou chargée en pointe

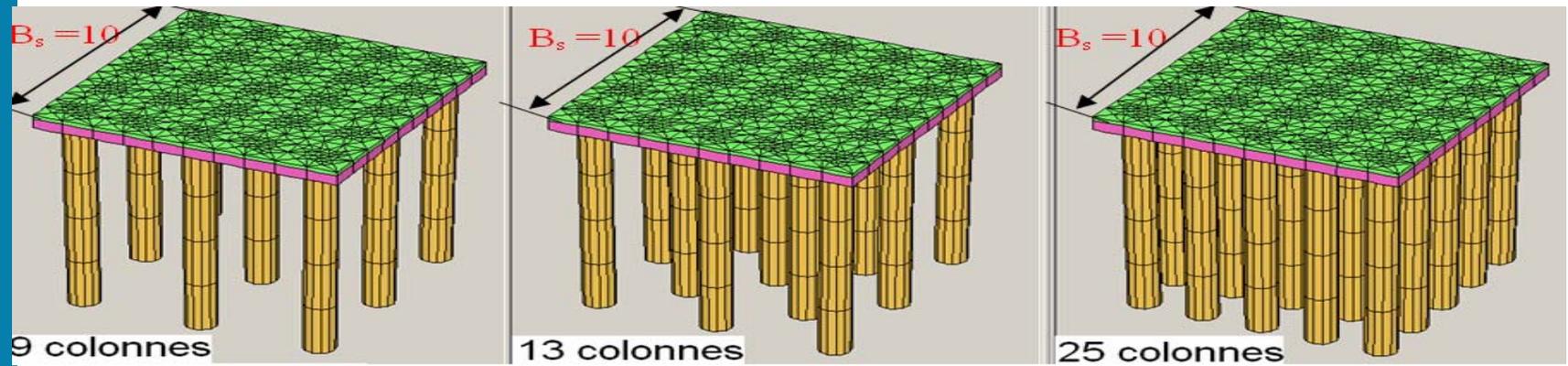


Modélisation d'un groupe de colonnes



Modélisation d'un groupe

Groupe de 9, 13 et 25 colonnes ballastées.
 Largeur de semelle $B_s = \text{constante} = 10 \text{ m}$
 Expansion de 5%
 Matelas 50 cm et radier 20 cm
 Diamètre colonne 1m, longueur 10m
 Colonne flottante $H/L = 2$

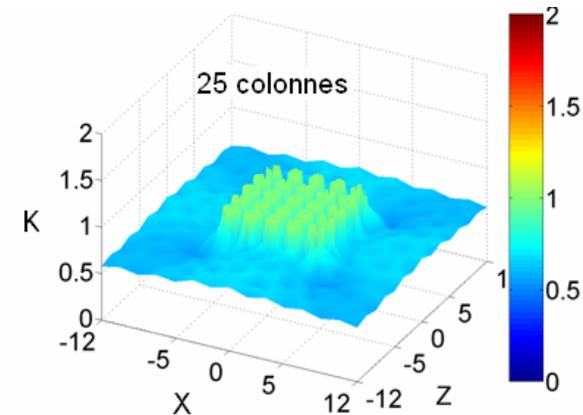
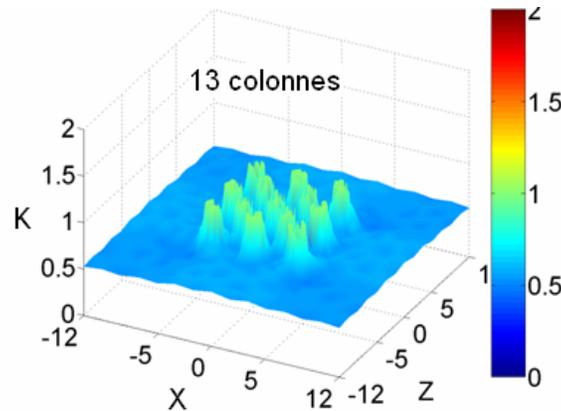
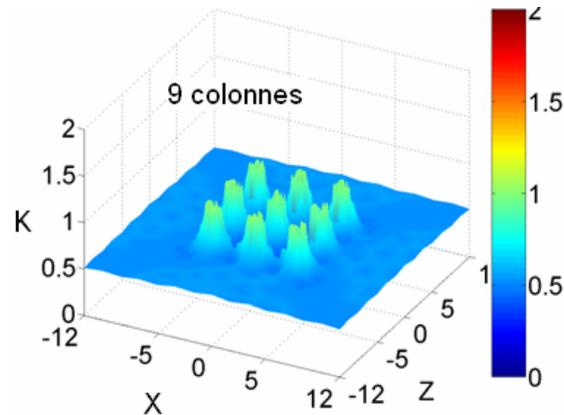


Couches	Modèle	γ (kN/m^3)	c (kPa)	φ' (degré)	E (MPa)	ν	ψ (degré)
Colonnes	MC	20	1	38	100	0,25	8
Sol	MC	17	1	33	5	0,25	-
Béton	LE	25	-	-	30 000	0,20	-



Modélisation des groupes

Groupe de 9, 13 et 25 colonnes ballastées. Bs = constante
Expansion 5%

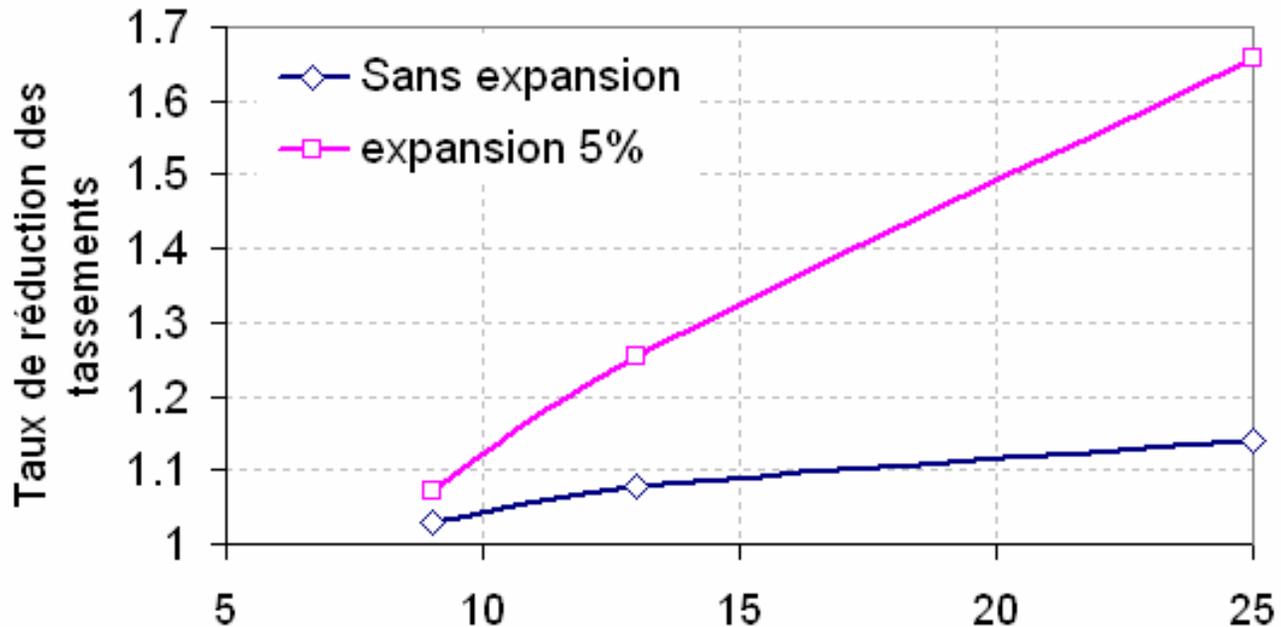




Modélisation des groupes

Taux de réduction des tassements

Bs = 10m constante
Surface = 10 x10 m²
Groupe de 9,13 et 25 colonnes
Expansion 5%
Calcul : Drainé



(a) Nombre de colonnes ballastées (Bs=10m, H/L=2)



Modélisation des groupes

Conclusions

On retrouve les points mis en évidence sur une cellule

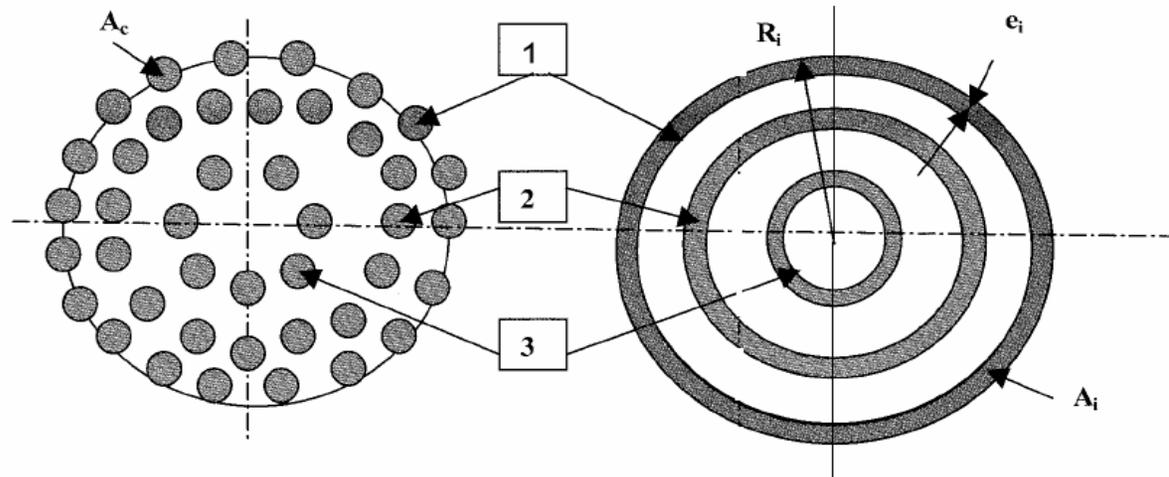
Rôle de K et/ou de l'expansion



Application de la méthode à deux
Ouvrages circulaires

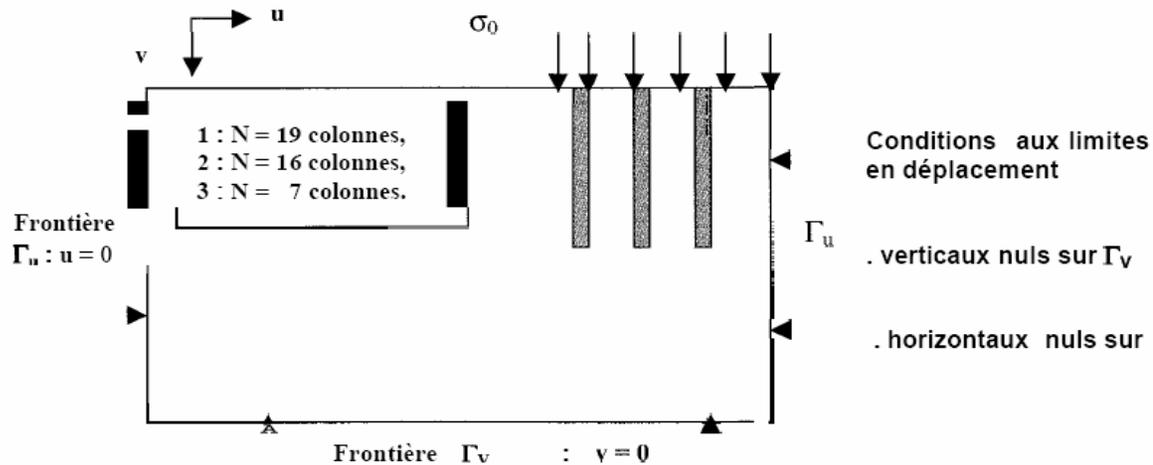
Application 1

Origine : Dhouib et Blondeau 42 colonnes



a- Disposition des colonnes ballastées

b- Anneaux équivalents





Application 1 :

Les données de sol

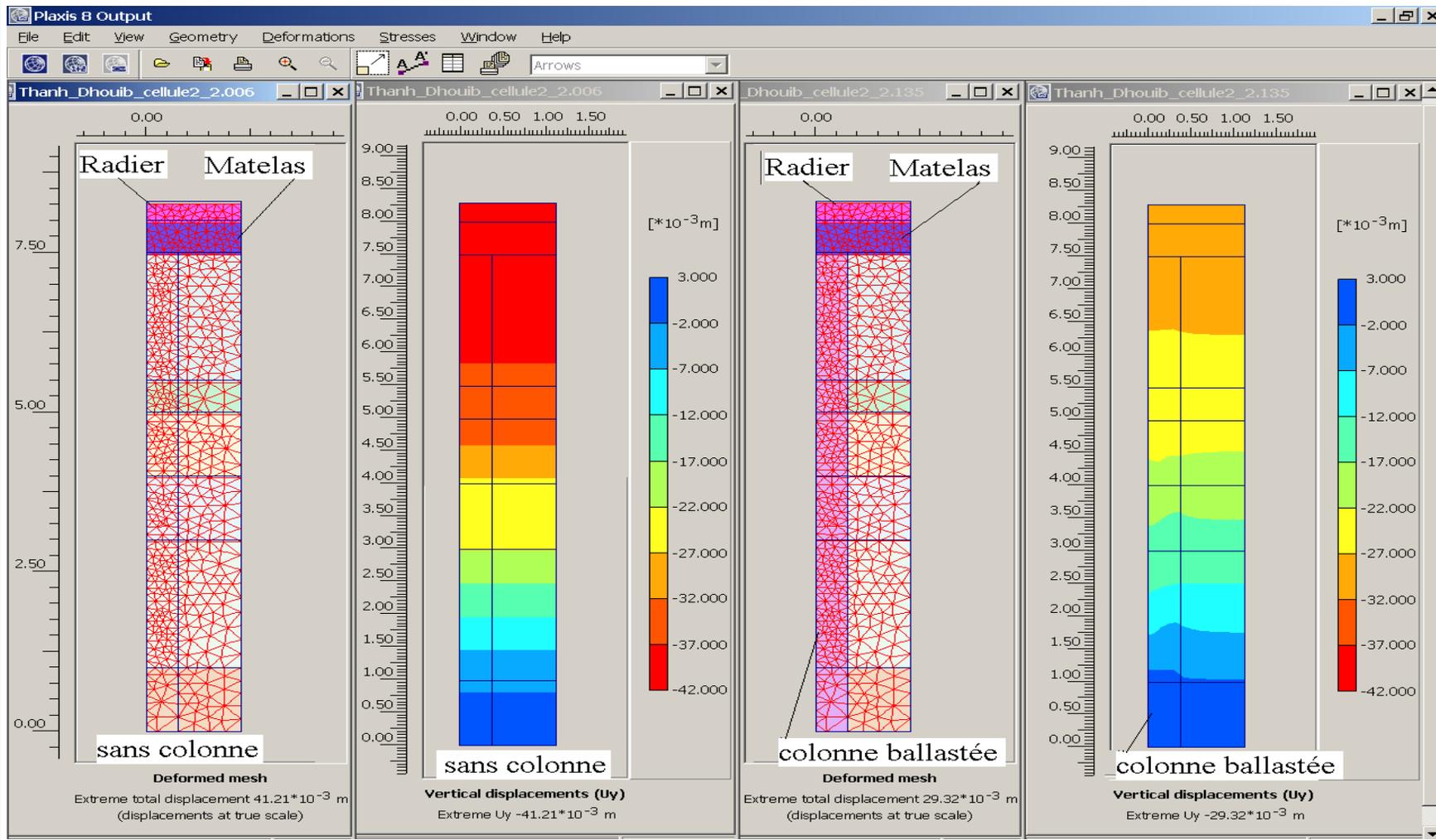
Profondeur (m)	Contraintes (kPa)	Module des sols E_s (MPa)	Coefficient de Poisson (ν)	Autres paramètres
0,0 – 2,0 2,0 – 2,5 2,5 – 3,5 3,5 – 4,5 4,5 – 6,5 6,5 – 7,5	p_1^* moyen retenu : 225 (kPa) donc $c_u \approx 45$ kPa	8 180 2 5 2 8	0,33	$\varphi_s = 0$ (degré)
Colonnes ballastées	$\sigma_c = 470$ (kPa)	$E_c = 100$ (MPa)	0,25	$\varphi'_c = 38$ (degré) $\psi_c = 38$ (degré)



Modélisation d'une cellule

Modélisation en 2D axisymétrique : cellule élémentaire

Laboratoire 3S-R



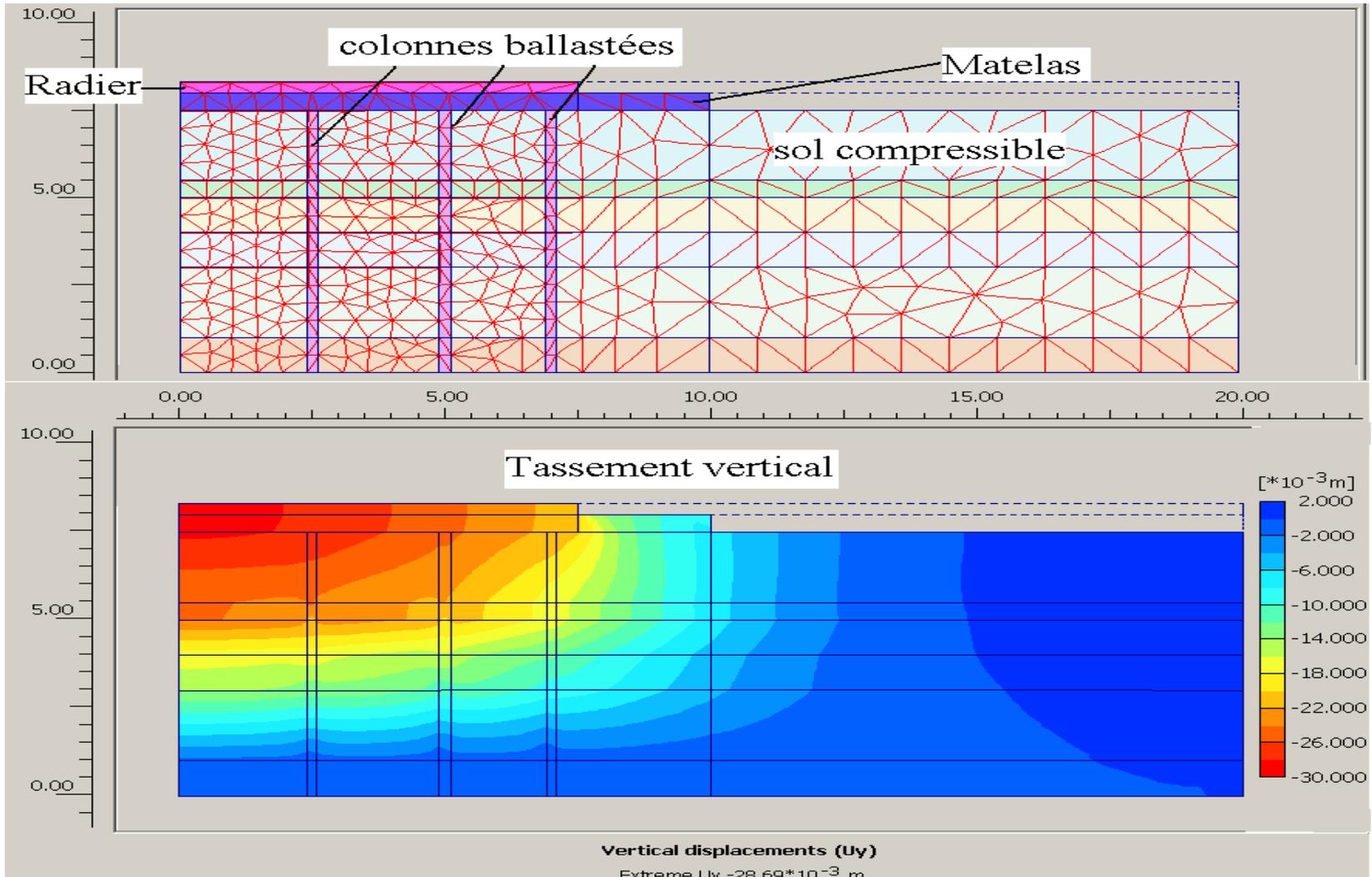
40 mm

30 mm



Modélisation axisymétrique

Modélisation en 2D axisymétrique : anneaux de colonnes

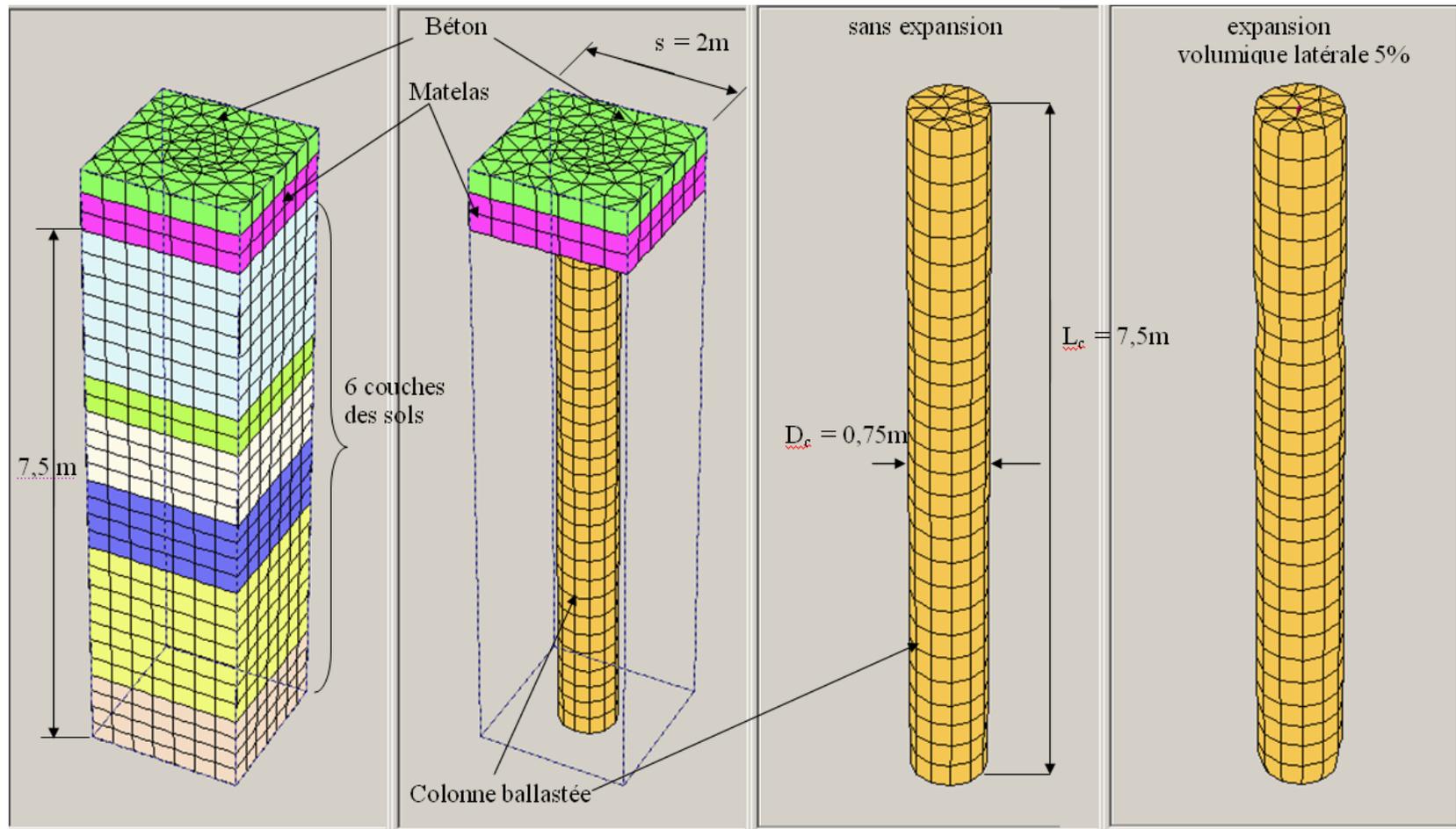


30 mm



Modélisation d'une cellule

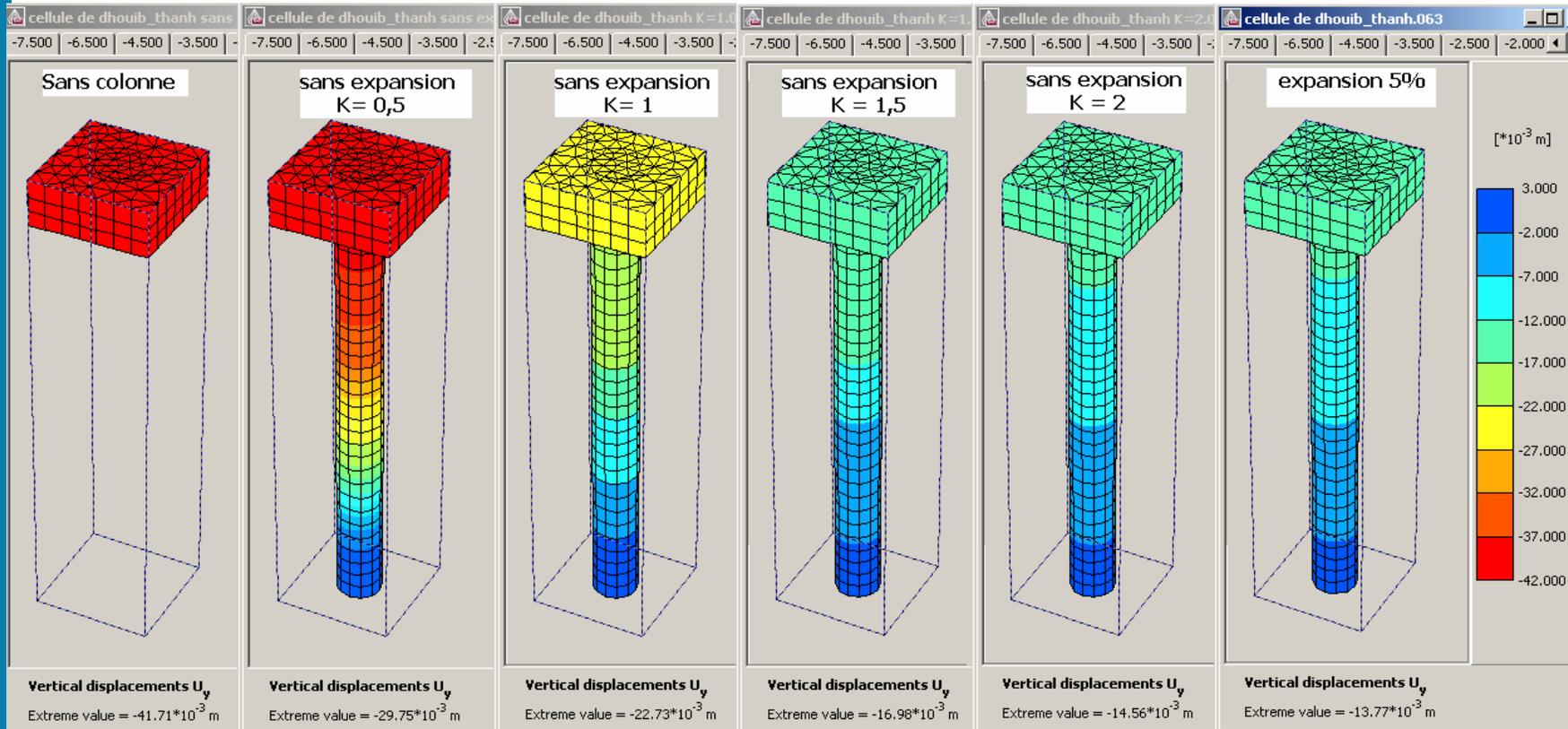
Modélisation en 3D





Modélisation avec des sols terrains

Modélisation 3D d'une cellule- l'effet de K



41.7 mm

30 mm

22.7mm

17mm

14.6mm

13.7mm



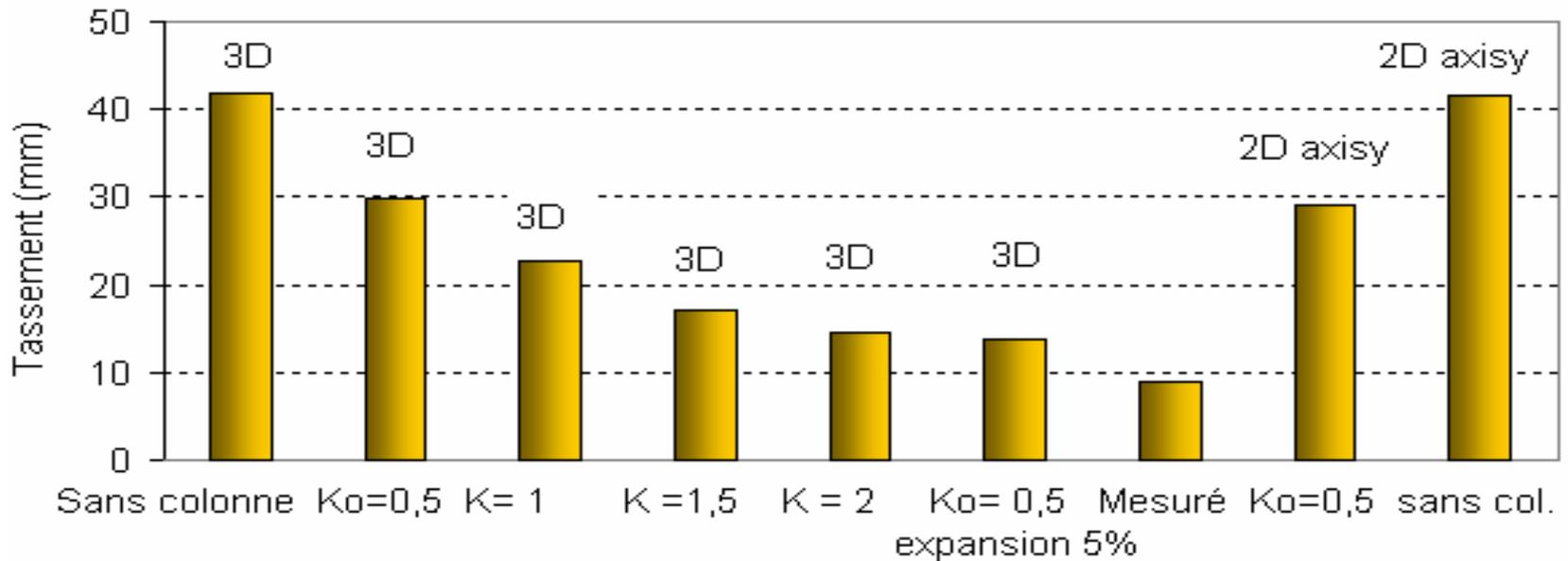
Modélisation avec des sols terrains

Modélisation 3D d'une cellule

Effet de K

Effet de l'expansion

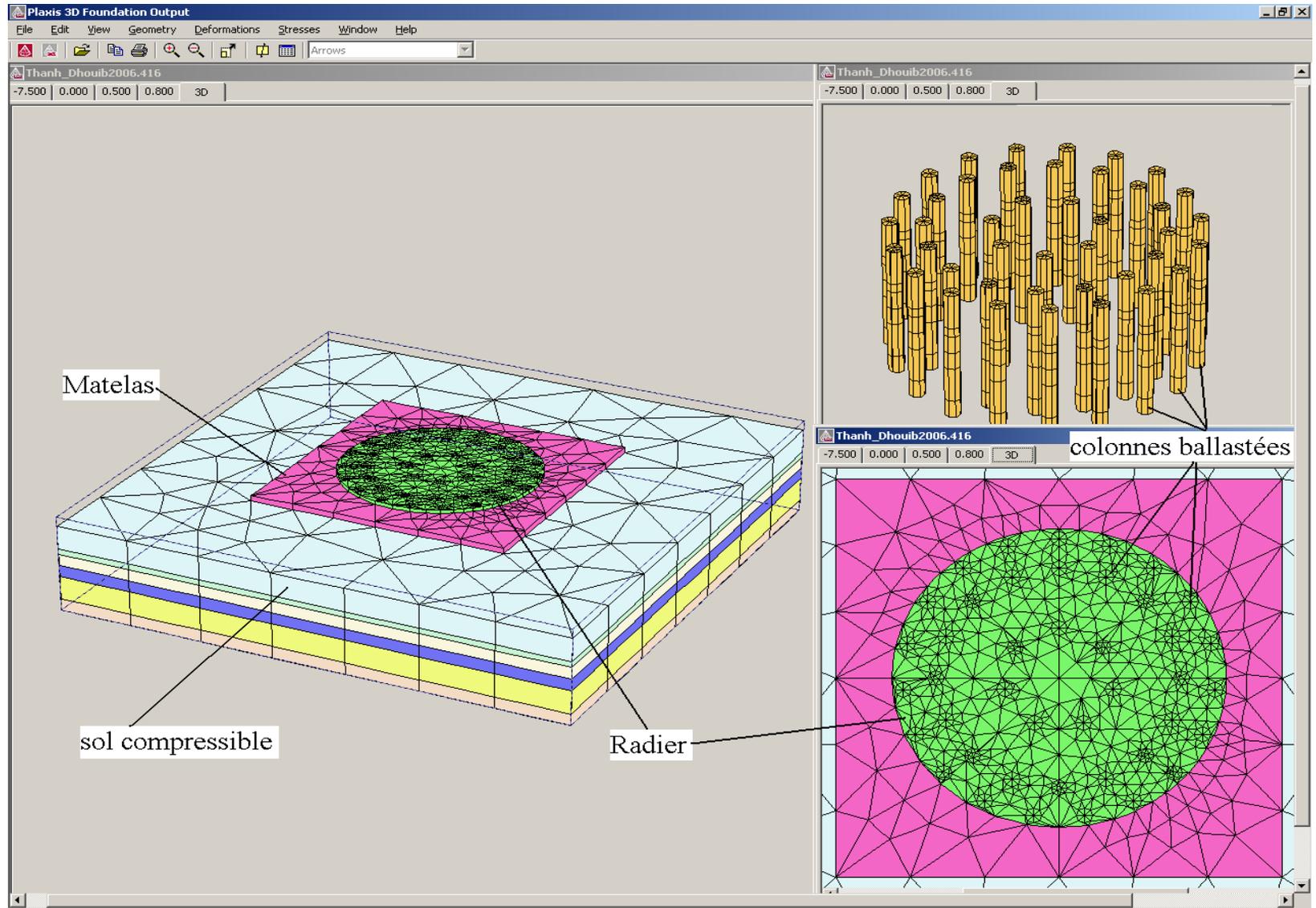
Comparaison 2D/3D



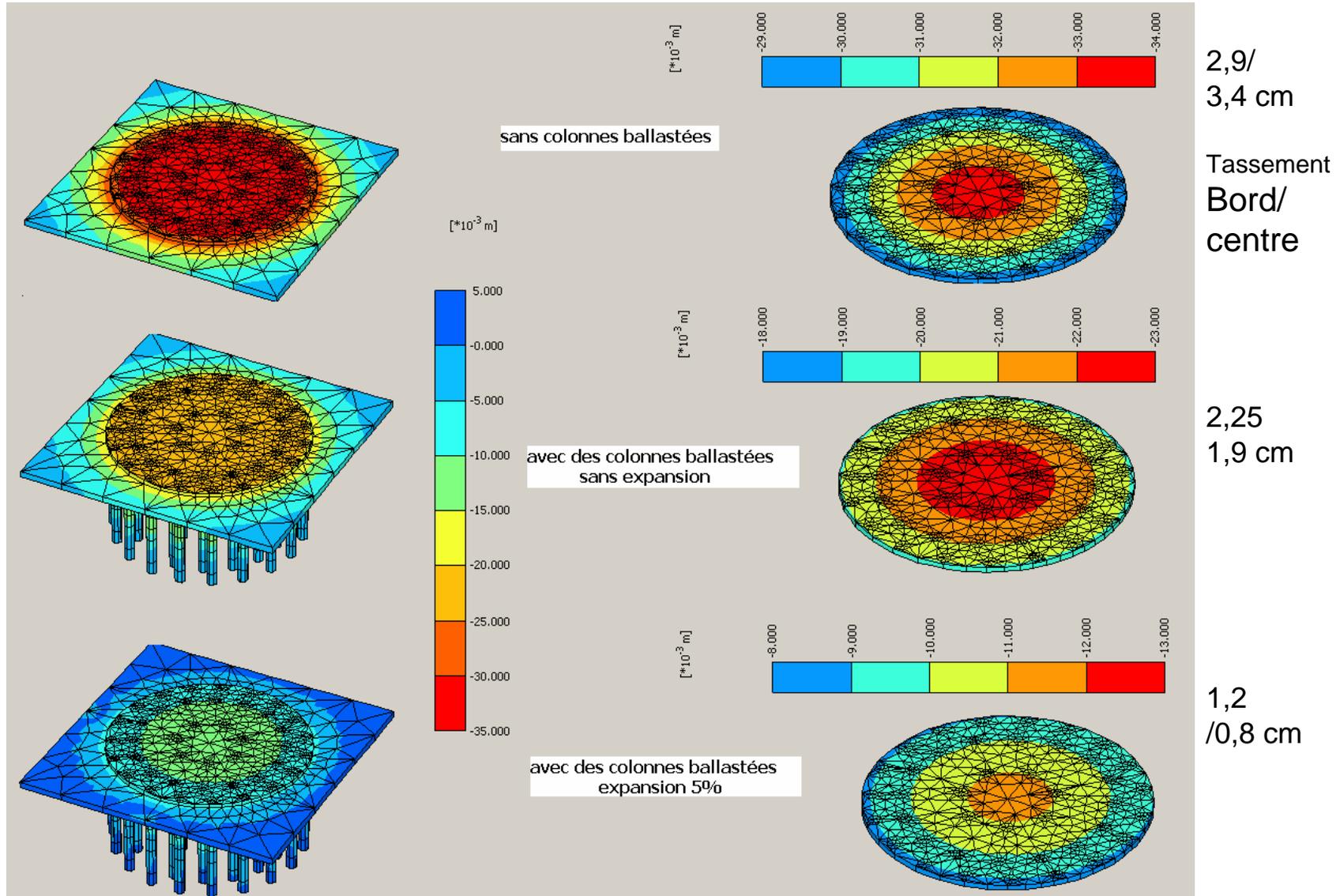


Application 1

Modélisation en 3D



Modélisation 3D





Les résultats des différents calculs

Méthode	Tassement (cm)		
sans traitement	8,5	<i>Modélisation EF en Plaxis 2D axisymétrie</i>	2,23
		Cellule élémentaire d'une colonne	2,90
Mesuré (Keller)	0,9 (centre) et 0,5 (bord)	Cellule élémentaire sans colonne	4,15
		3 cellules d'anneaux concentriques des colonnes	2,80
Méthode de Priebe (1995)	1,95	3 cellules d'anneaux concentriques sans colonnes	4,10
Homogénéisation	2,10	<i>Modélisation EF en Plaxis 2D déformation plane</i>	3,00
		<i>Modélisation EF en Plaxis 3DF d'une cellule d'élémentaire</i>	
Mattes et Poulos (1969)	1,40	Sans colonne	4,12
		Colonne sans l'expansion latérale, $K = K_0 = 0,5$	2,97
Règle Ménard	1,40	Colonne sans exp (K var) ou avec l'expansion latérale, $K = 1,0/1.5/2$ ou expansion 5%	2,27 / 1.70 / 1.46 / 1.38
Modélisation EF MC	2,35		
Baumann et Bauer (1974)	4,50	<i>Modélisation EF en Plaxis 3DF le cas complète</i>	
		Sans colonne	3,40 (centre)
		Avec des colonnes, sans compte mise en œuvre	2,27 (centre)
		Modélisation EF en Plaxis 3DF et de prise en compte mise en œuvre	1,20(centre) 0,80 (bord)

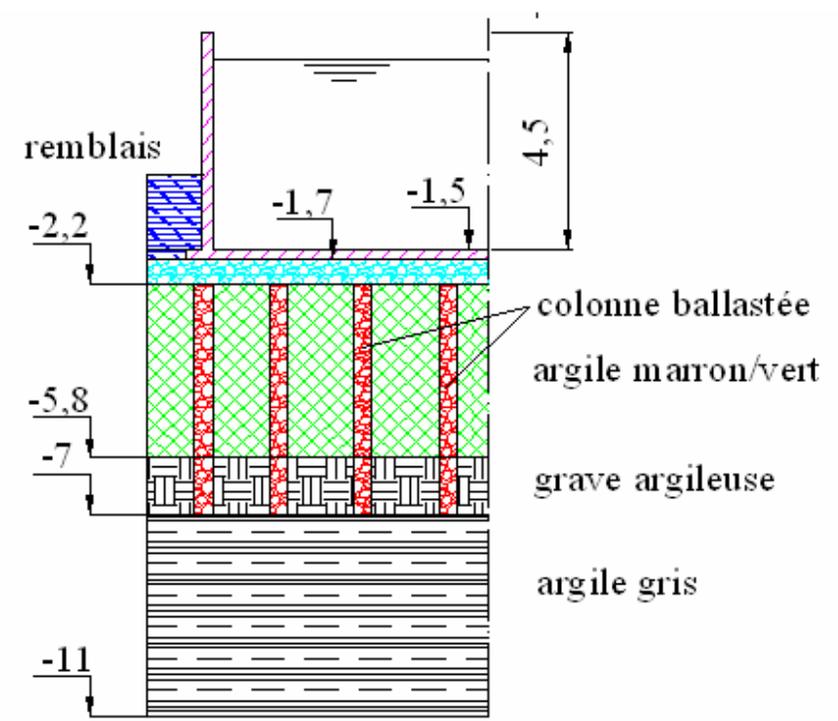
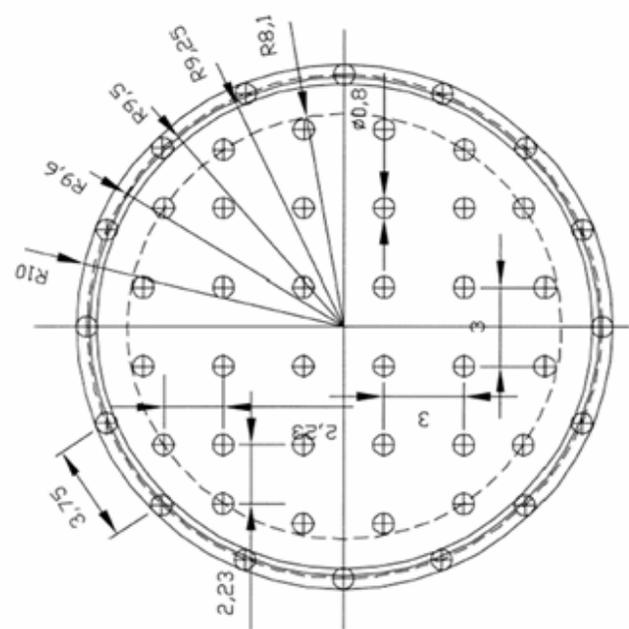
Réf. Dhouib 2004
ASEP-GI



Application 2 : station d'épuration de Sainte-Menehould

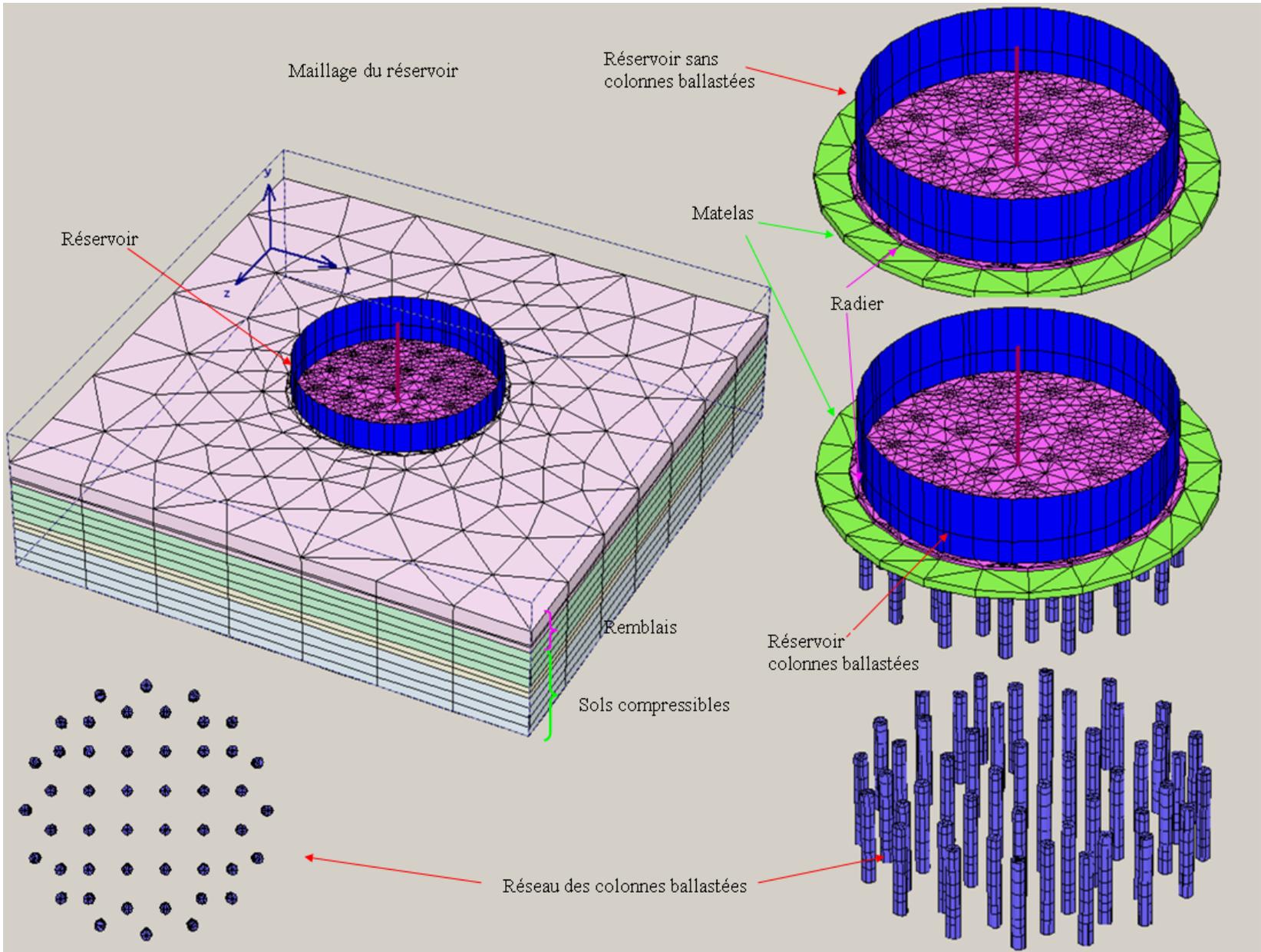
Modélisation d'une station d'épuration de Sainte-Menehould - 48 colonnes

Prof. (m)	E_p (MPa)	p_i (MPa)	E_{oed} (MPa)	E' (MPa)	E_u (MPa)	γ (kN/m ³)	γ (kN/m ³)	k (m/jour)	c_u (kPa)	c' (kPa)	ϕ degré
0-2,2	1,75	0,175	3,5	2,33	2,63	18	19	8,64e-5	30	1	25
2,2-5,8	3,25	0,325	6,5	4,33	4,89	18	19	8,64e-5	53	5	25
5,8-7	4,50	0,450	9,0	6	6,76	18	19	8,64e-5	66	5	25
7-11	15	1,500	30	20	22,56	18	19	8,64e-5	256	7	25

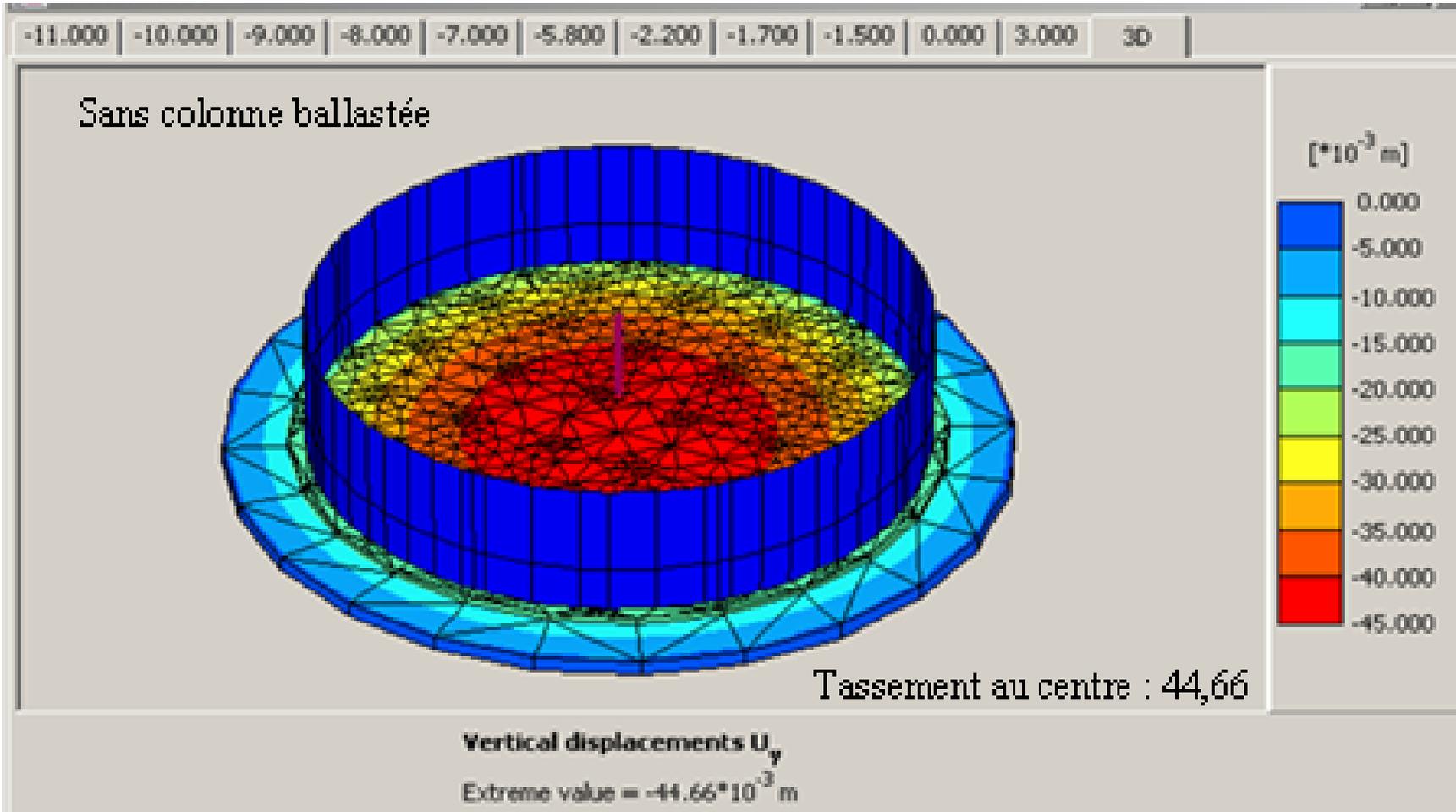


Origine : Keller

Application 2

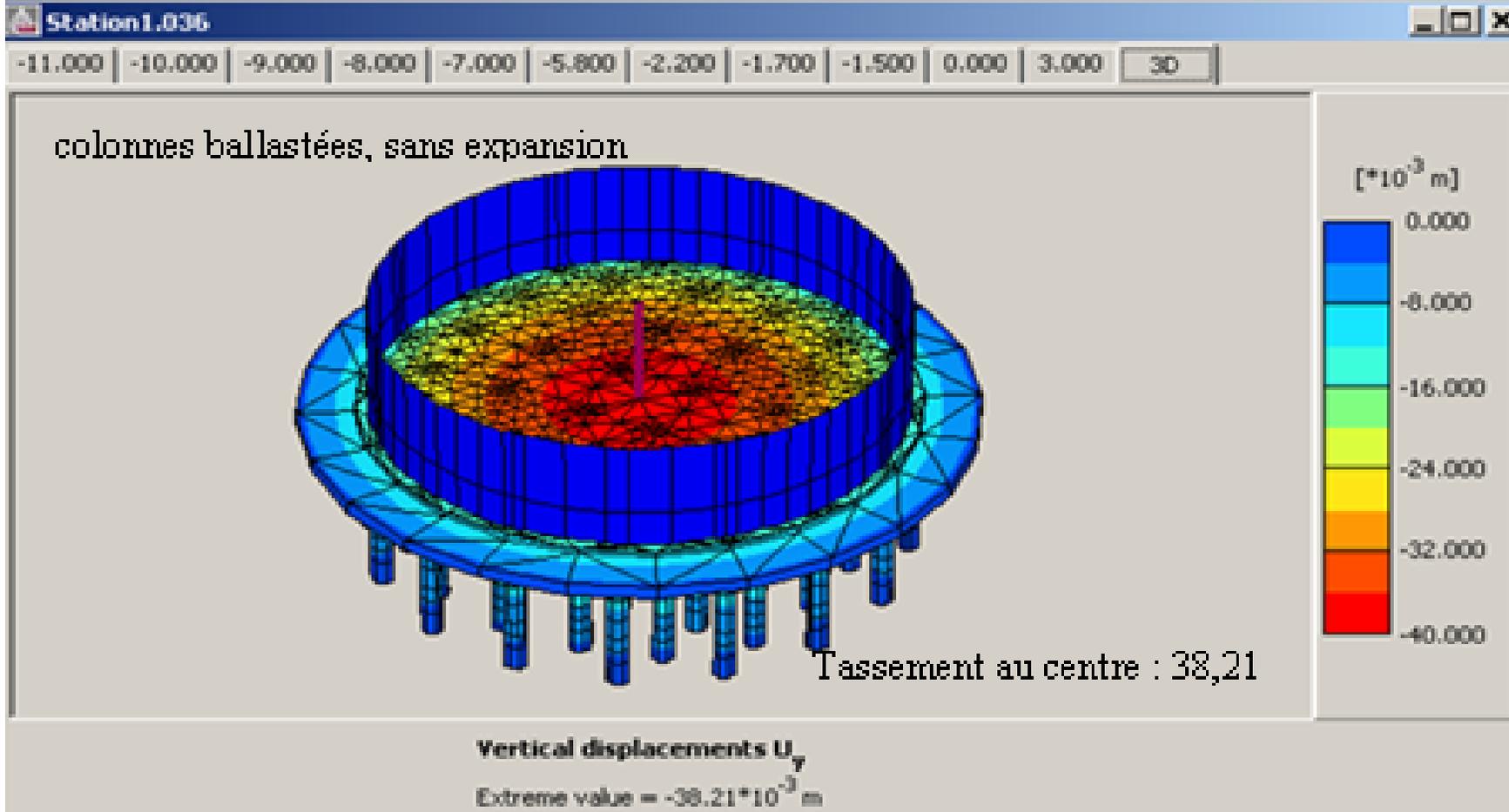


Application 2



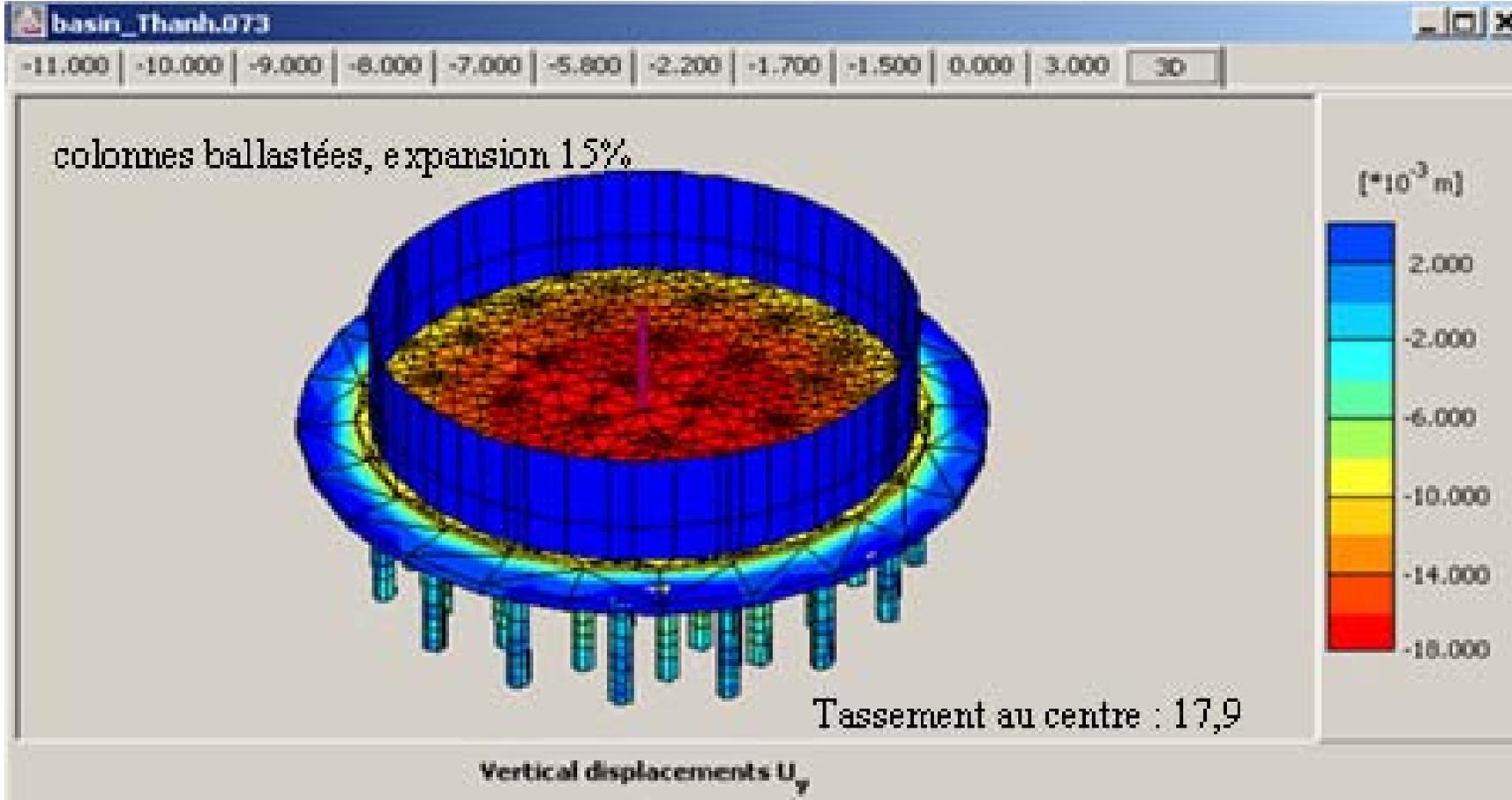


Application2





Application 2



Tassement réel mesuré < 10 mm



Conclusions 1

- Le rôle de la mise en place
- Nécessité de modéliser la mise en place
- Une expansion de 5 à 15 %
- Simulation jusqu'à 50 colonnes



Conclusions 2 : à suivre

- Drainé vs non drainé
- La consolidation du sol autour des colonnes
- Le modèle de comportement du sol et des colonnes
- Choix de l'expansion en fonction des sols?
- Phasage des travaux



Merci de votre attention