

Laurent Aubert - Michel Glandy (SBP) - Pierre Riegel (Equaterre)

Présentation du chantier SBP d'ANNECY - Sernam  
Renforcement de sols par inclusions rigides profondes

04 octobre 2011 : journée technique du CFMS

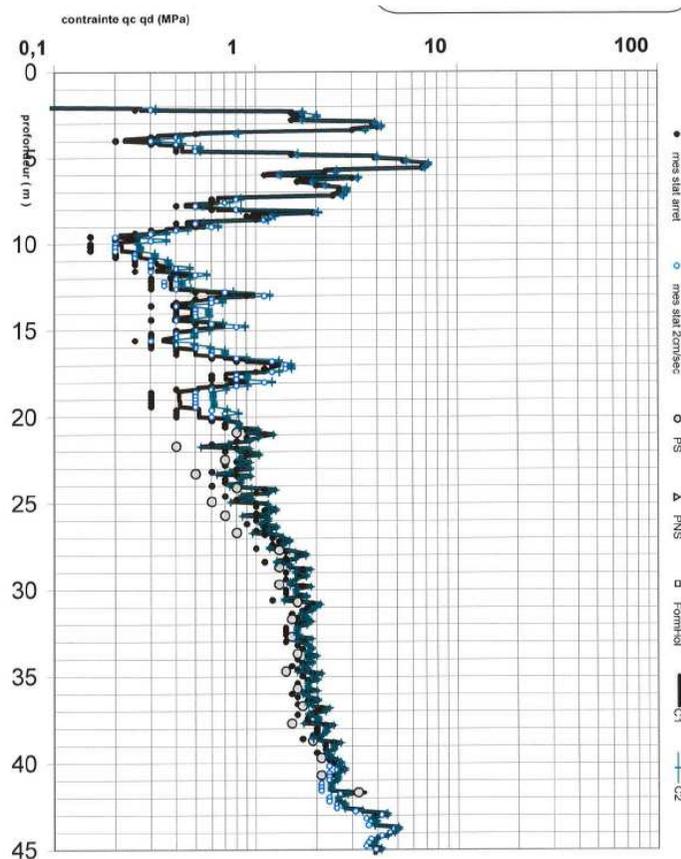
# Anncy - Sernam : Le projet

- Au centre ville et à proximité immédiate des voies SNCF
- 208 logements sociaux Halpades et Primalp
- Architecture en créneaux : bâtiments R+8 et R+2



# Annecy - Sernam : Les sols

- Une argile silteuse compressible sur plus de 45 m



→ des tassements de 25 cm sous structure et 10 cm sous les voies

# Annecy - Sernam : Modèle géotechnique d'Equaterre

Page 12 sur 29

## HYPOTHESES DE SOL

	Cote toit couche	Cote base couche	Profondeur/sous face radier (en m)	Epaisseur (en m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	qc (MPa)	$E_m$ <sup>(1)</sup> (MPa)	$\alpha$	$E_s$ <sup>(2)</sup> (MPa)	$\phi'$ (°)	C' (kPa)	$Q_{sl}$ (kPa)	
Matelas de répartition	448.3	447.5	-0.8	0.8	18	-	15.0	-	50	35	1	-	
Couche 1	Argile limoneuse	447.5	444.2	-4.1	3.3	18	0.6	2.4	0.5	12	25	10	35
Couche 2		Graves sableuses	444.2	442.2	-6.1	2.0	18	2.5	10.0	0.33	75	35°	1
Couche 3	Argile silteuse	442.2	429.2	-19.1	13.0	18	0.5	2.1	0.5	10.5	30°	1	35
Couche 4		429.2	424.2	-24.1	5.0	18	0.8	3.2	0.5	16.0	30°	1	35
Couche 5		424.2	417.2	-31.1	7.0	18	1.5	6.0	0.5	30.0	30°	1	35
Couche 6		417.2	404.2	-44.0	13.0	18	1.8	7.2	0.5	36	30°	1	35

Nota :

<sup>(1)</sup> le module pressiométrique  $E_m$  est tiré de la relation  $E_m = 4 qc$  dans les argiles

<sup>(2)</sup> le module d'Young  $E_s = 2,5 (E_m/\alpha)$ , le facteur 2.5 est tiré du recalage des modules réalisés à partir d'ouvrage construit (radier brosse) dans le même contexte géologique (cf. § 3.3).

# Annecy - Sernam : Les solutions

Pieux ?

Absence de substratum

Déjaugeage par excavation ?

Nappe et environnants

Préchargement ?

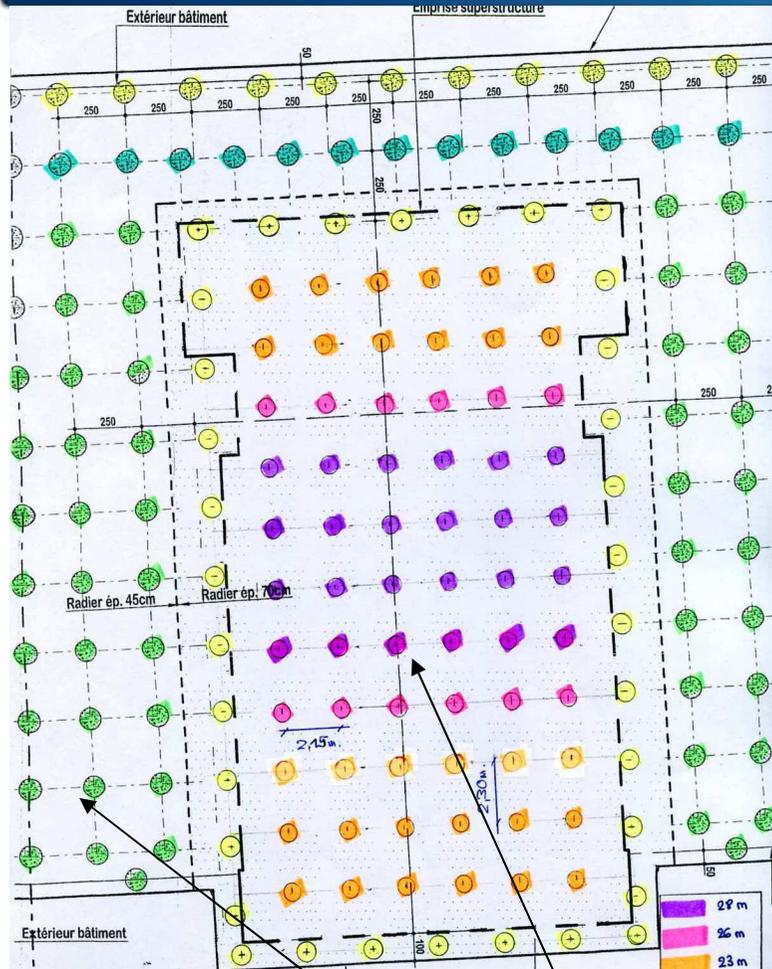
Tassements sous voies et  
voiries

Délais non maîtrisables

→ Traitement de sols à grande profondeur



# Annecy - Sernam : Descente de charge



$q$  variable de 50 kPa à 130 kPa

zone 1,  $L = 30,21$  m,  $H = 3,65$  m,  $q = 59$  kPa,  $K = 152$  t/m<sup>3</sup>,  $E_y = 5200$  t/m<sup>2</sup>

zone 2,  $L = 6,67$  m,  $H = 27,1$  m,  $q = 50$  kPa,  $K = 110$  t/m<sup>3</sup>,  $E_y = 3800$  t/m<sup>2</sup>

zone 4,  $L = 18,79$  m,  $H = 6,3$  m,  $q = 75$  kPa,  $K = 132$  t/m<sup>3</sup>,  $E_y = 4500$  t/m<sup>2</sup>

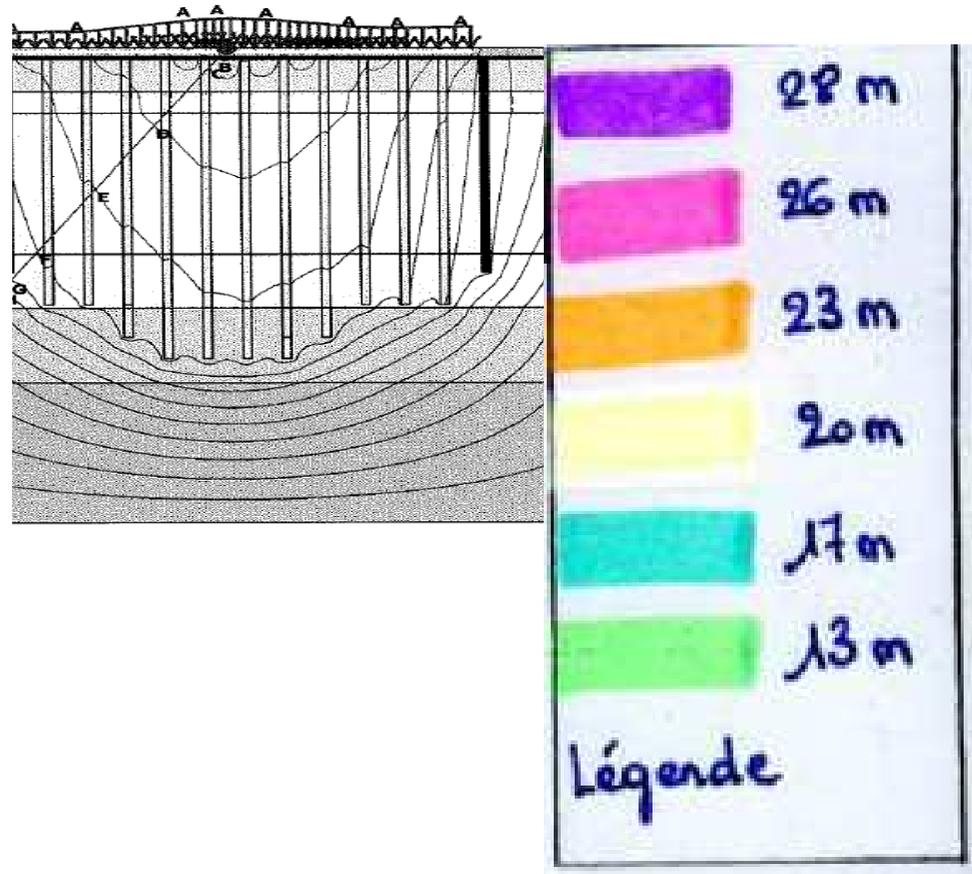
zone 5,  $L = 18,79$  m,  $H = 4,2$  m,  $q = 96$  kPa,  $K = 173$  t/m<sup>3</sup>,  $E_y = 5900$  t/m<sup>2</sup>

zone 6,  $L = 18,79$  m,  $H = 8,4$  m,  $q = 119$  kPa,  $K = 233$  t/m<sup>3</sup>,  $E_y = 8000$  t/m<sup>2</sup>

zone 7,  $L = 18,79$  m,  $H = 9,2$  m,  $q = 85$  kPa,  $K = 176$  t/m<sup>3</sup>,  $E_y = 6100$  t/m<sup>2</sup>

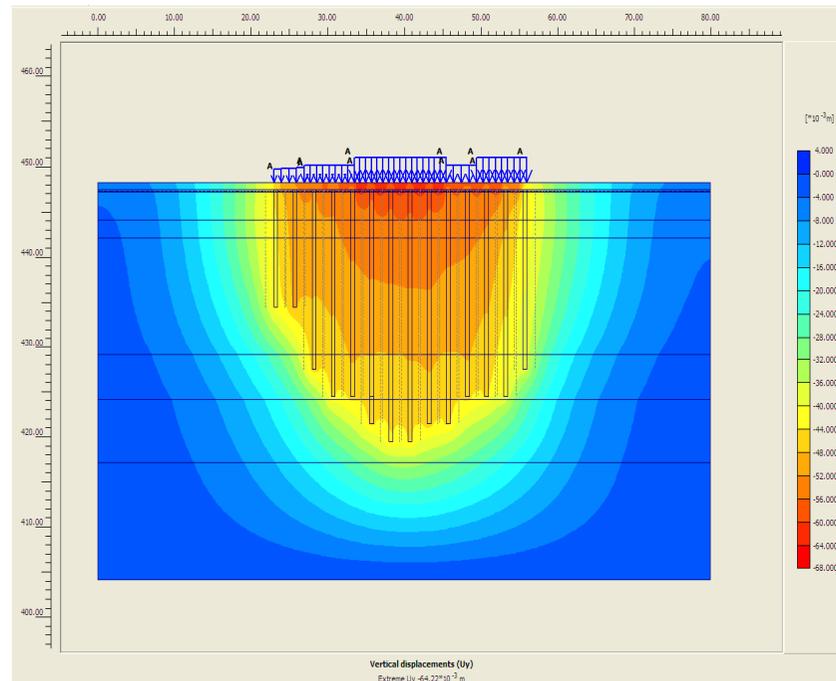
zone 3,  $L = 4,75$  m,  $H = 27,1$  m,  $q = 45$  kPa,  $K = 106$  t/m<sup>3</sup>,  $E_y = 3700$  t/m<sup>2</sup>

# Anney - Sernam : Plan d'implantation par bâtiment



## Annecy - Sernam : Inclusions à 30 m

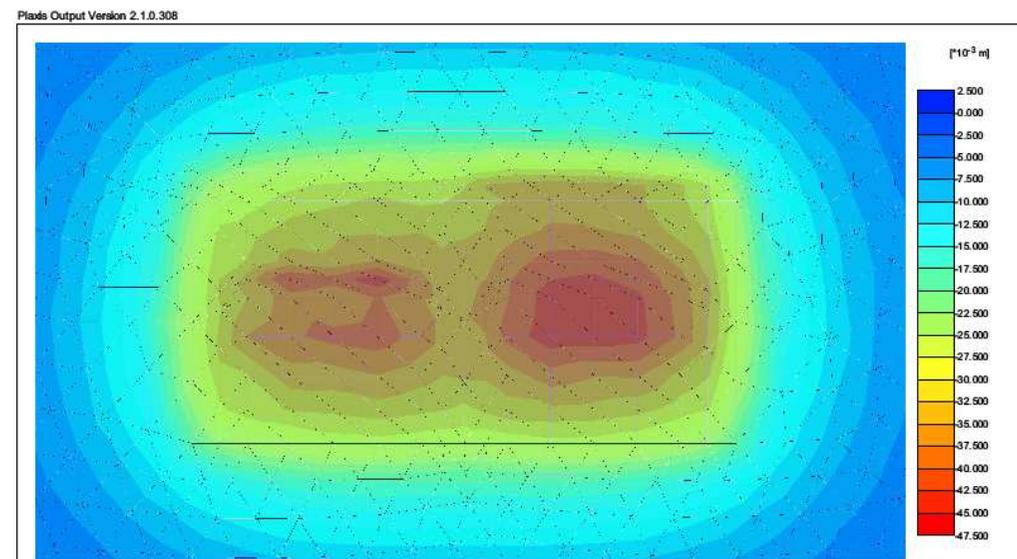
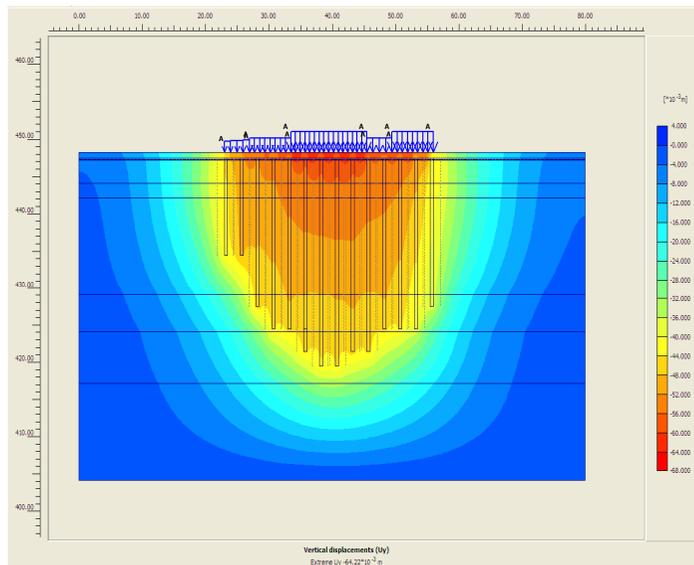
- **Prédimensionnement Equaterre : influence de la profondeur du renforcement en fonction du chargement**



- → **Critères dans le CCTP :** jusqu'à 30m de profondeur  
diamètre minimum de 60 cm  
maille supérieure à 2,00m

# Annecy - Sernam : Le pré-dimensionnement

- Modélisation avec Plaxis 2D et 3D
- Paramètres géotechniques basés sur les chantiers voisins
- Adaptation de la maille et de la profondeur à la charge variable



## Annecy - Sernam : Principe de dimensionnement

Maillage et longueur fonction du chargement

Diamètre : 600 mm

Objectif :  $w < 5 \text{ cm}$

Objectif :  $w_{(VF)} < 2 \text{ cm}$

Terrain entre 28 et 41 m non traité

## Annecy - Sernam : Principe de dimensionnement

6 calculs d'une maille élémentaire,  
fonction de  $q$ , du maillage et de la  
longueur avec logiciel interne SBP

Calcul d'un module équivalent / maille

Calcul 2D dans l'axe

Calcul 3D

# Annecy - Sernam : Maille élémentaire

**Modèle Frank/Zhao**

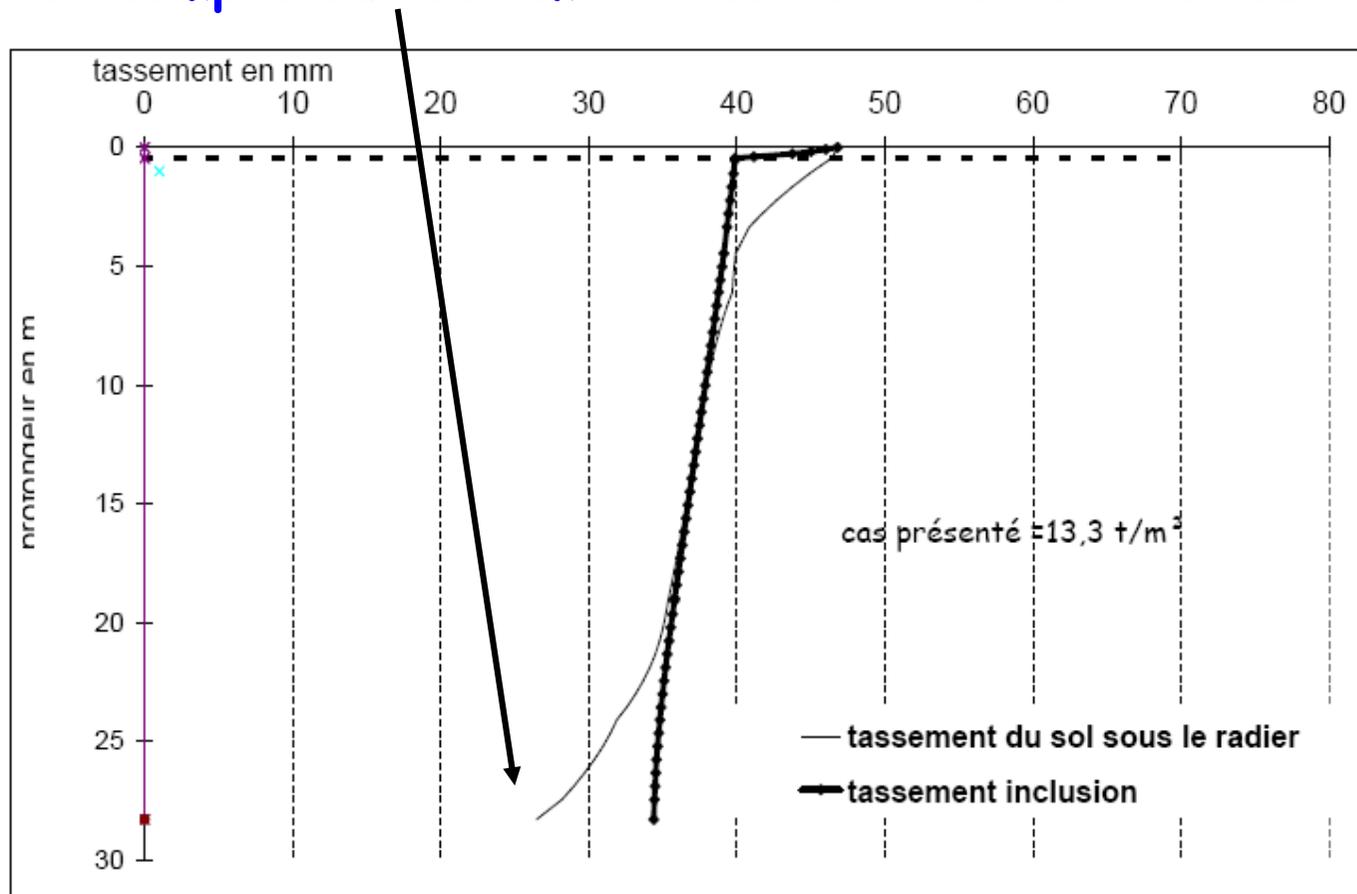
**Tassement généralisé sous la base de l'IR : modèle pressiométrique**

**Tassement < 7 cm**

**Logiciel interne sous Excel**

# Annecy - Sernam : Calage maille élémentaire

- Cas extrême :  $q = 133 \text{ kPa}$ ,  $l_g = 28 \text{ m}$ , maillage  $220 \times 220$
- Prise en compte du tassement des terrains non traités



Calcule le tassement généralisé, la charge dans l'inclusion, le module équivalent

## Annecy - Sernam : Calcul des raideurs équivalentes par zones

contrainte appliquée maxi	133	125	105	95	85	75	65	kPa
tassement initial	182	170	140	125	111	96	81	mm

---

On a étudié plusieurs cas de charge

---

Journée technique du CFMS du 04/09/2011

## Annecy - Sernam : Calcul des raideurs équivalentes par zones

contrainte appliquée maxi	133	125	105	95	85	75	65	kPa
tassement initial	182	170	140	125	111	96	81	mm

maillage maxi	L	220	220	240	240	240	250	250	cm
longueur min inclusions sous 448 NGF		28,00	24,50	21,00	20,00	18,00	16,00	13,00	m
effort max dans inclusion	Qi	559	521	493	440	382	361	287	kN

Par cas de charge, on adapté le maillage et la longueur

## Annecy - Sernam : Calcul des raideurs équivalentes par zones

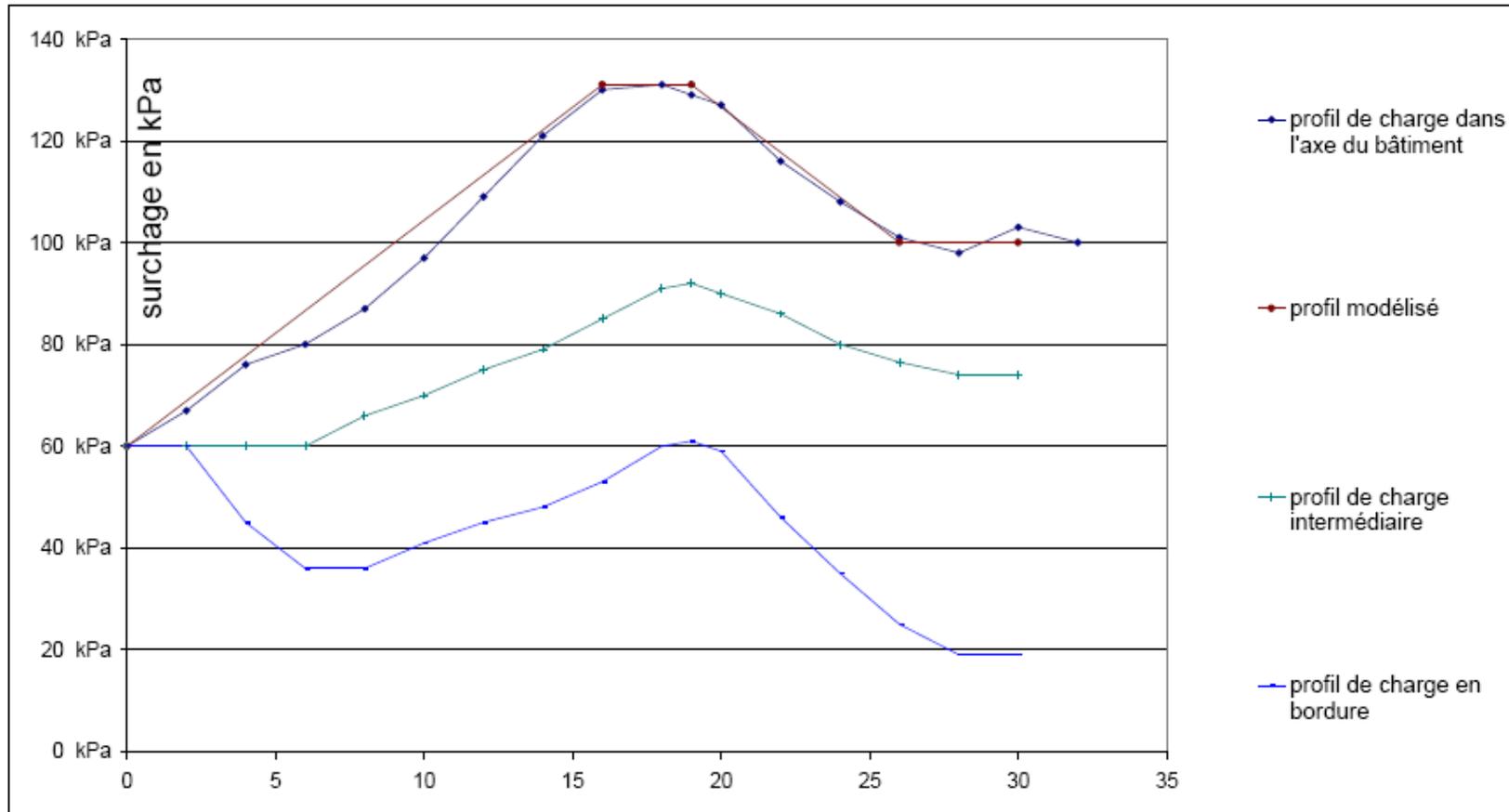
contrainte appliquée maxi	133	125	105	95	85	75	65	kPa
tassement initial	182	170	140	125	111	96	81	mm

maillage maxi	L	220	220	240	240	240	250	250	cm
longueur min inclusions sous 448 NGF		28,00	24,50	21,00	20,00	18,00	16,00	13,00	m
effort max dans inclusion	Qi	559	521	493	440	382	361	287	kN

w total		47	54	63	59	60	63	63	mm
dont tassement généralisé du sol		26	33	38	37	40	43	47	mm
dont tassement sous inclusion		34	43	54	51	53	56	57	mm
<b>raideur en t/m<sup>2</sup>/m</b>		<b>284</b>	<b>234</b>	<b>169</b>	<b>163</b>	<b>143</b>	<b>121</b>	<b>105</b>	

Par zone, on a déterminé la raideur équivalente

# Annecy - Sernam : Vérification Plaxis 2D dans l'axe le plus chargé



## Annecy - Sernam : Vérification Plaxis 2D dans l'axe le plus chargé

On a modélisé des bandes de sols verticales de raideurs différentes, en fonction des cas de charge

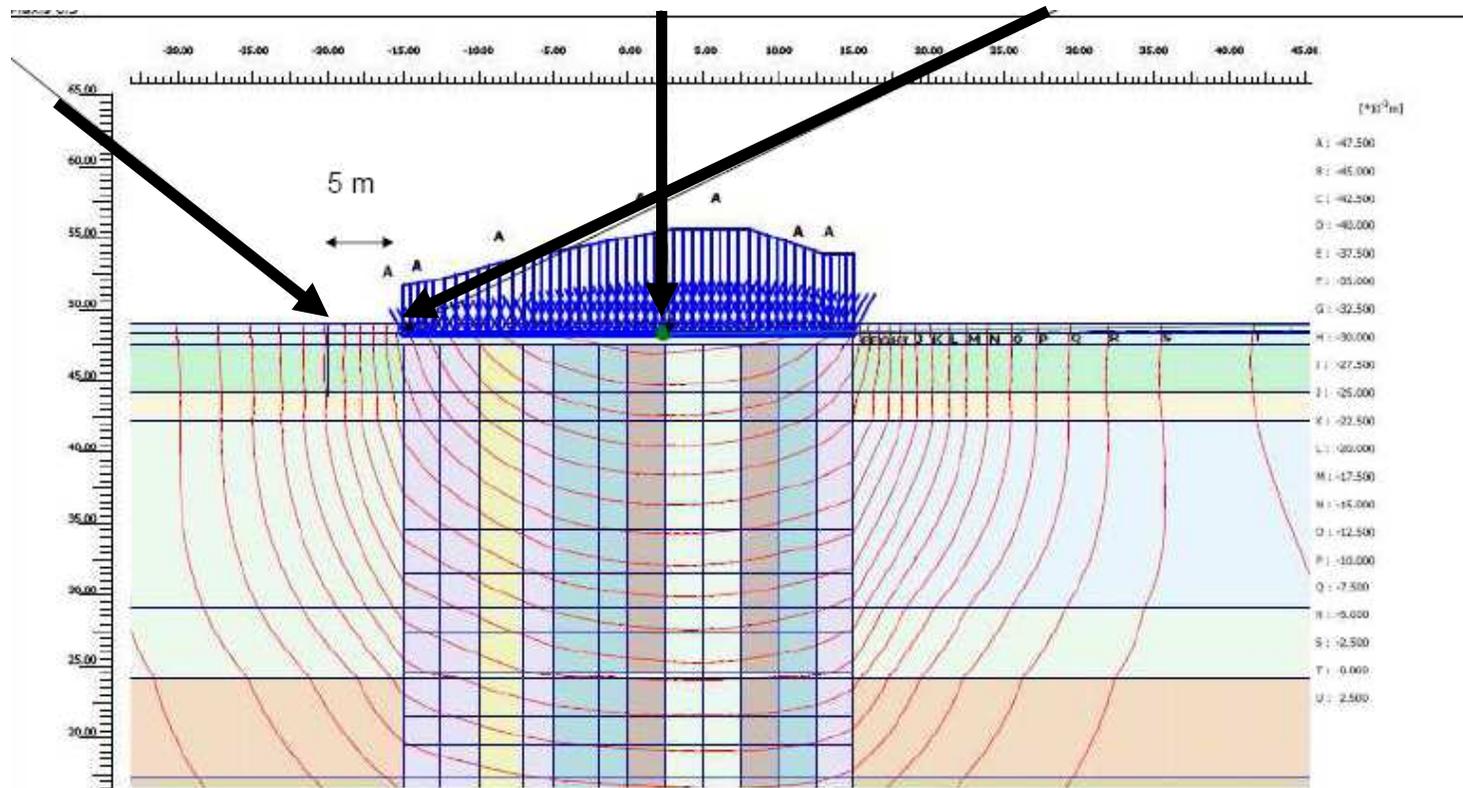
de	à	qc			lg	K	Eo	Es	v
		min	max	moy					
m	m	kPa			m	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	
	2,5	60	70	65	20,00	169	7 423	5 790	0,3
2,5	5,0	70	79	75	18,00	169	7 423	5 790	0,3
5,0	7,5	79	89	84	18,00	143	6 298	4 913	0,3
7,5	10,0	89	98	93	20,00	156	6 861	5 351	0,3
10,0	12,5	98	107	103	21,00	169	7 423	5 790	0,3
12,5	15,0	107	117	112	24,50	201	8 851	6 903	0,3
15,0	17,5	117	126	121	28,00	234	10 278	8 017	0,3
17,5	20,0	126	135	131	28,00	284	12 501	9 751	0,3
20,0	22,5	135	127	131	28,00	284	12 501	9 751	0,3
22,5	25,0	127	118	122	24,50	234	10 278	8 017	0,3
25,0	27,5	118	109	114	24,50	201	8 851	6 903	0,3
27,5	30,0	109	100	105	21,00	169	7 423	5 790	0,3

# Annecy - Sernam : Vérification Plaxis 2D dans l'axe le plus chargé

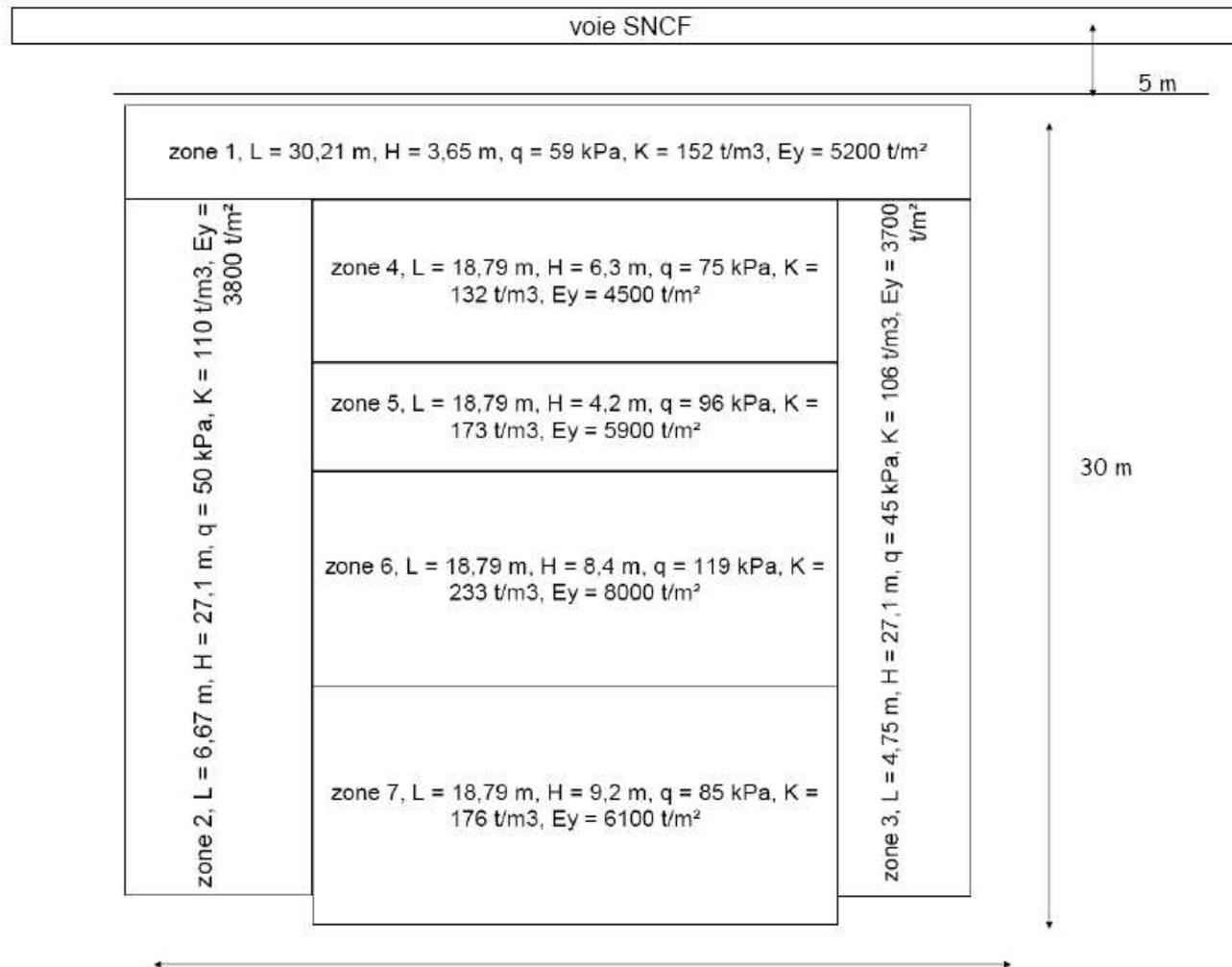
Tassement  
voie SNCF  
17 mm

Tassement au centre :  
47 mm

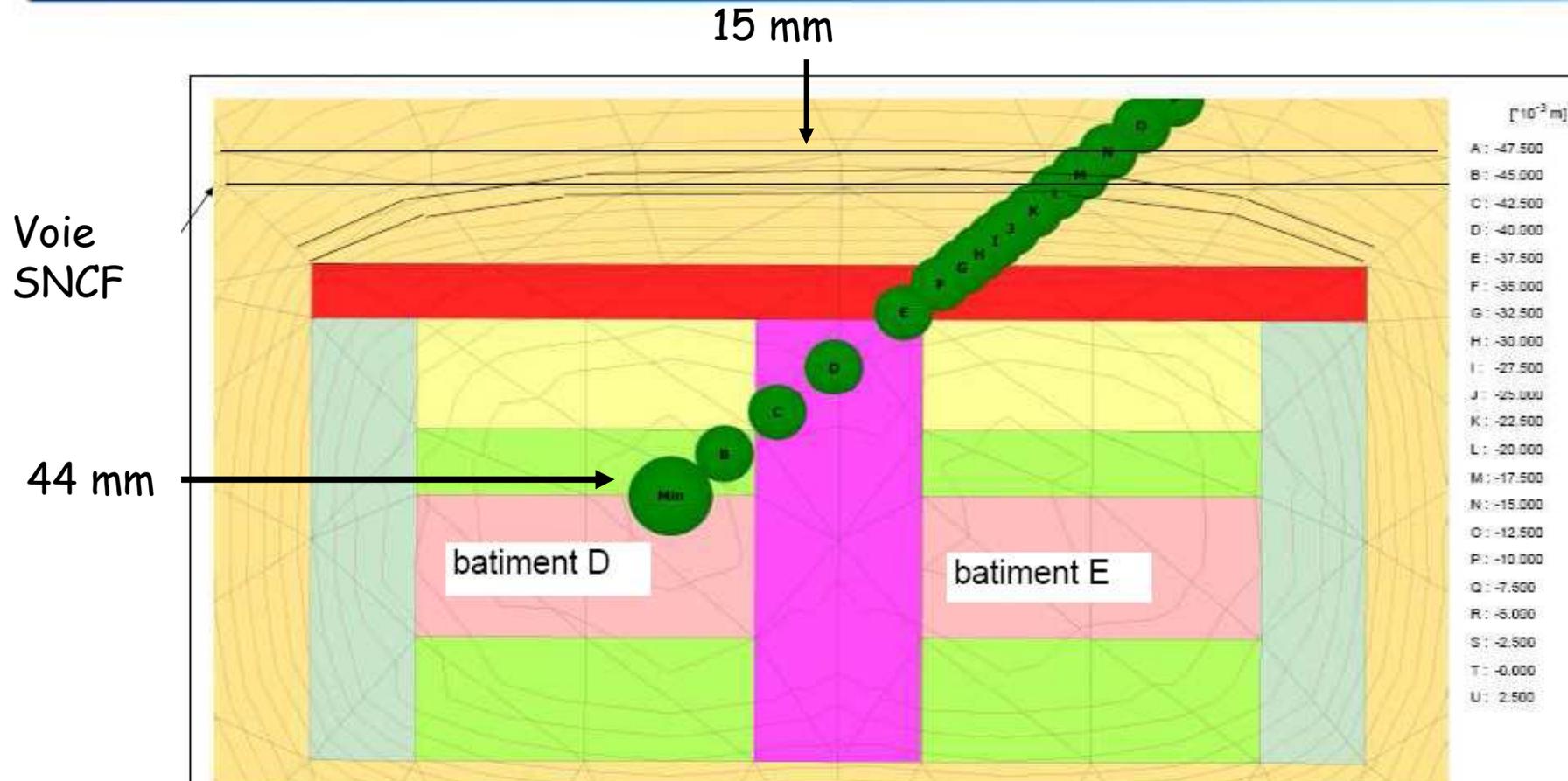
Tassement au bord :  
31 mm



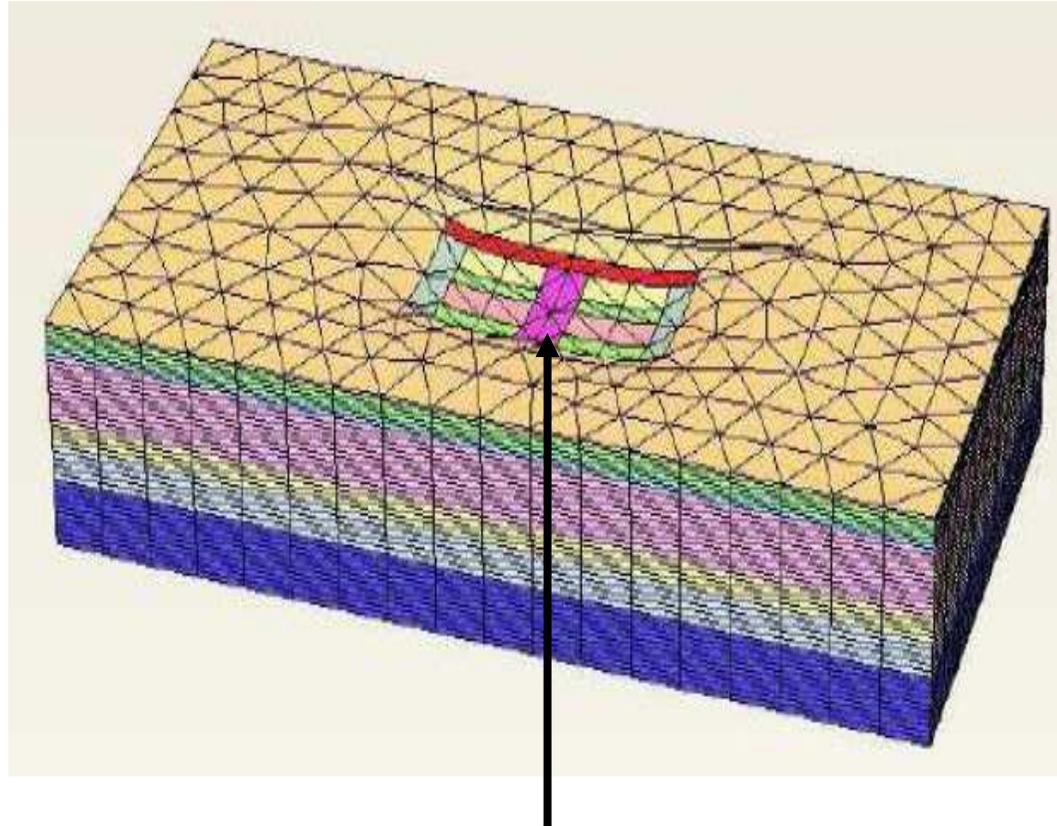
# Annecy - Sernam : Calcul Plaxis 3D / zonage par bâtiment



# Anncy - Sernam : Calcul Plaxis 3D / zonage pour 2 bâtiments



# Annecy - Sernam : Calcul Plaxis 3D



Tassement au centre 44 mm

# Annecy - Sernam : Les moyens mis en œuvre

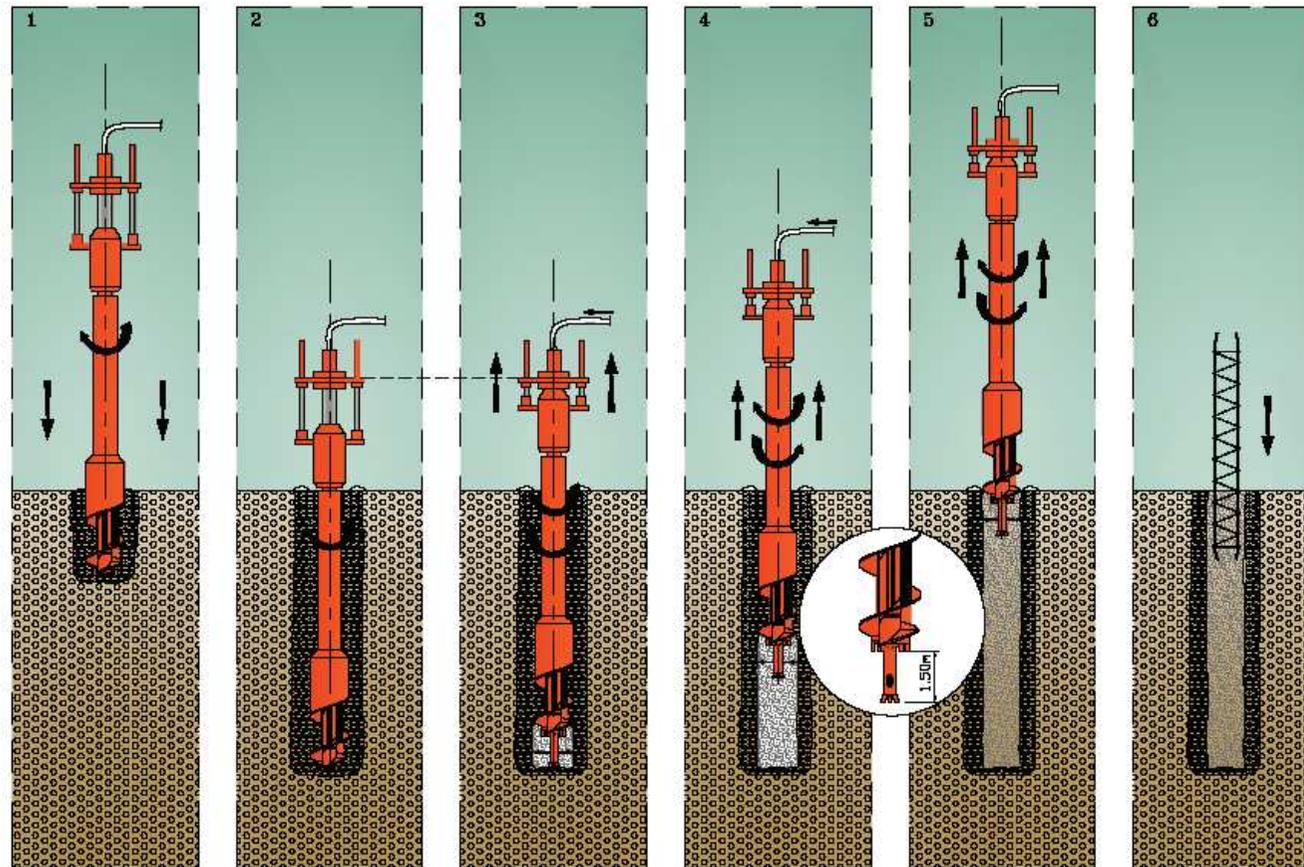
- Les deux plus grosses foreuses de SB Pieux : Fundex 3500 (lg max = 34 m)



- Ref-Sol ® : forage par refoulement et bétonnage au tube plongeur
- 1 100 inclusions de 60 cm, 20.000 ml, lg de 13 à 28 m
- Une plateforme stable et propre

# Annecy - Sernam : Le procédé Ref.sol ®

- Avec tube plongeur et enregistrement de paramètres en temps réel



# Annecy - Sernam : Le procédé Ref.sol ®



Pieu refoulé en fin de bétonnage



$V_R \sim 0,3 \text{ m}^3$

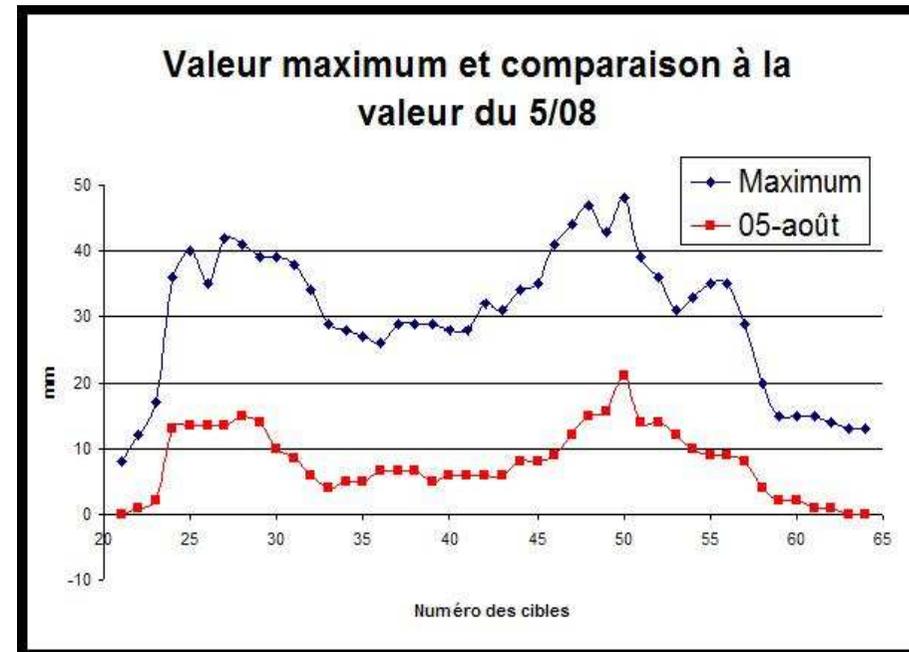
## Annecy - Sernam : Le planning

- Travaux d'inclusions réalisés en 2 mois, au lieu des 3 mois prévus



## Annecy - Sernam : Le suivi topo

- Suivi topographique des voies SNCF par CYCLOPS (Sol Data)
- Soulèvement pluricentimétrique des voies SNCF les plus proches



- -> Adaptation de la méthode de forage et du phasage

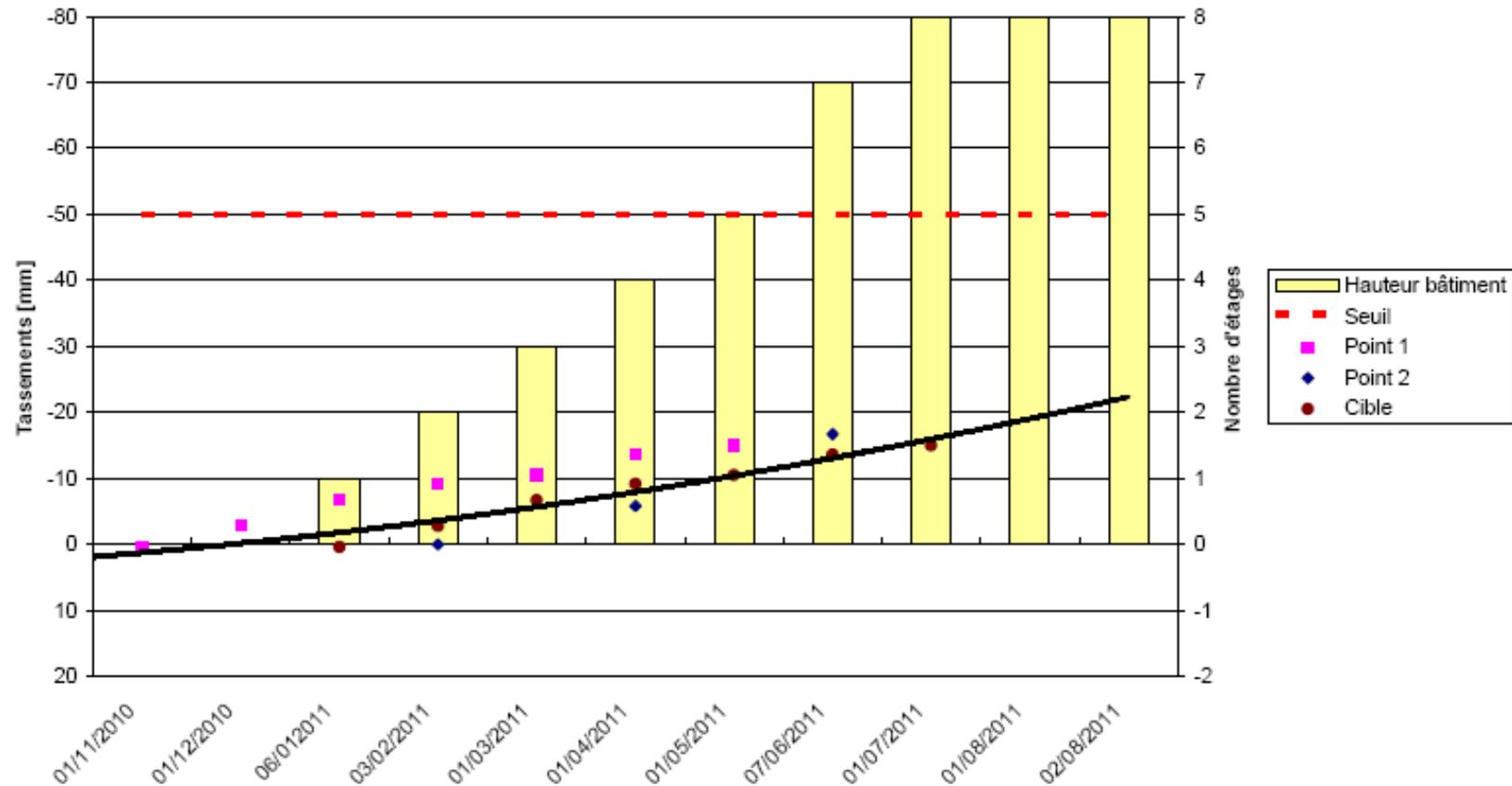
# Annecy - Sernam : Les essais de portance

- Quatre essais sur inclusions isolées avec le poids de la foreuse
- IR à 13 m, 20 m et 28 m
- Frottement limite non atteint  
→ validation des hypothèses  $q_s$
- Comparaison Ref-Sol (refoulé) versus Starsol (foré) :  $q_s +20\%$



# Anncy - Sernam : Le suivi des tassements

Evolution des tassements sur le bâtiment B



## Annecy - Sernam

Merci à tous de votre attention,

Merci à l'équipe de travaux,

Merci à Laurent AUBERT pour avoir préparé cette présentation,

Et merci à Pierre RIEGEL pour la conception de ce chantier.