



Journée Technique du CFMS du 21 mai 2014

Les structures géothermiques
Propositions de justification des pieux énergétiques

S.Burlon (IFSTTAR), J.Habert (CEREMA)



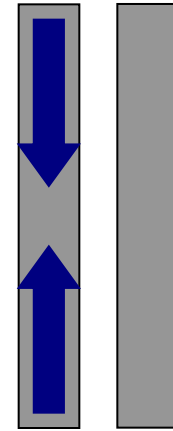
Problématique des pieux géothermiques

Coefficient de dilatation thermique du béton : $\alpha_T = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$

Pour un pieu de longueur $L = 20 \text{ m}$ et une variation de température $\Delta T = 15^\circ$

→ 1.8 mm à chaque extrémité du pieu

$\Delta T = -25^\circ\text{C}$



$\Delta T = +25^\circ\text{C}$

1/ Déplacements des structures portées – soulèvements-tassements → OUI

2/ Efforts parasites dans le pieu par dilatation et contraction empêchées – vérification structurelle → OUI

3/ Dégradation mécanique des sols sous l'effet du chargement cyclique – vérification de la portance du pieu → OUI

4/ Variation des propriétés mécaniques du sol et du béton avec la température → NON dans le béton, éventuellement dans les sols sensibles à l'eau

Comment justifier un pieu géothermique ?

1/

- En Autriche, les structures géothermiques ne semblent pas être l'objet de vérifications particulières.

- Les différents essais réalisés (EPFL, Lambeth College, IFSTTAR en cours) ne montrent pas d'effets significatifs des cycles de chauffage-refroidissement. Néanmoins, la capacité portante du pieu n'est jamais mesurée exactement (voir expérimentations GECKO).

- En France, une position analogue à celle de l'Autriche pourrait être choisie.

Néanmoins, dans un premier temps, il paraît raisonnable de développer des principes de justifications compatibles avec les normes de calcul en application (Eurocode 7 et norme NF P 94-262).

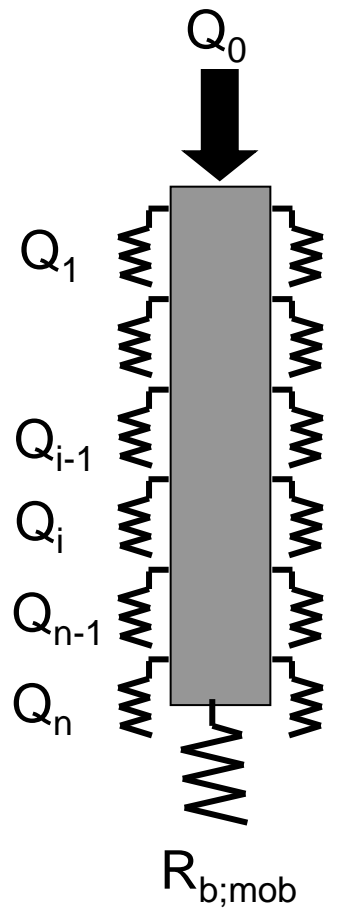
2/

Un pieu géothermique n'est pas un pieu présentant une technologie différente des autres pieux. Tous les pieux peuvent être géothermiques : pieu foré, pieu tarière creuse, pieu battu, etc. Il n'existe pas de « courbes de frottement » et de « facteur de pointe » spécifiques.

3/

Un pieu géothermique diffère des autres pieux par le fait qu'il est soumis à un chargement thermique spécifique. Ce chargement ne s'applique pas à la tête du pieu, il est interne aux pieux et est induit par des variations de température (déformations). Le calcul d'un pieu géothermique impose un calcul d'interaction sol-structure.

Utilisation des courbes de transfert t-z

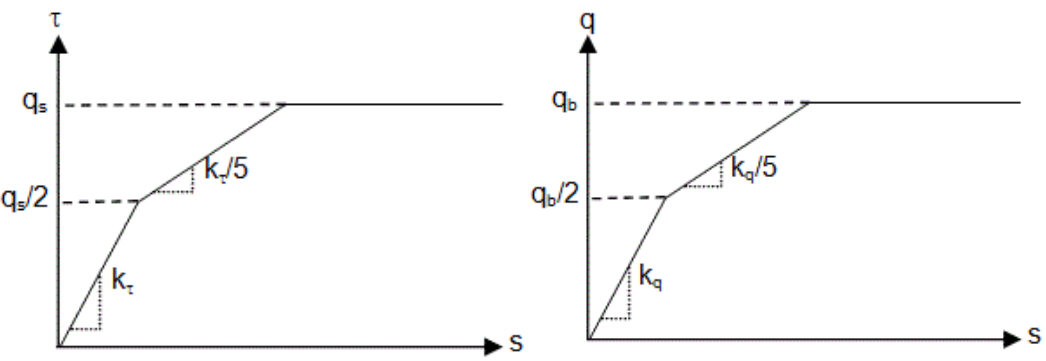


Tassement en tête de pieu

Effort normal dans le pieu

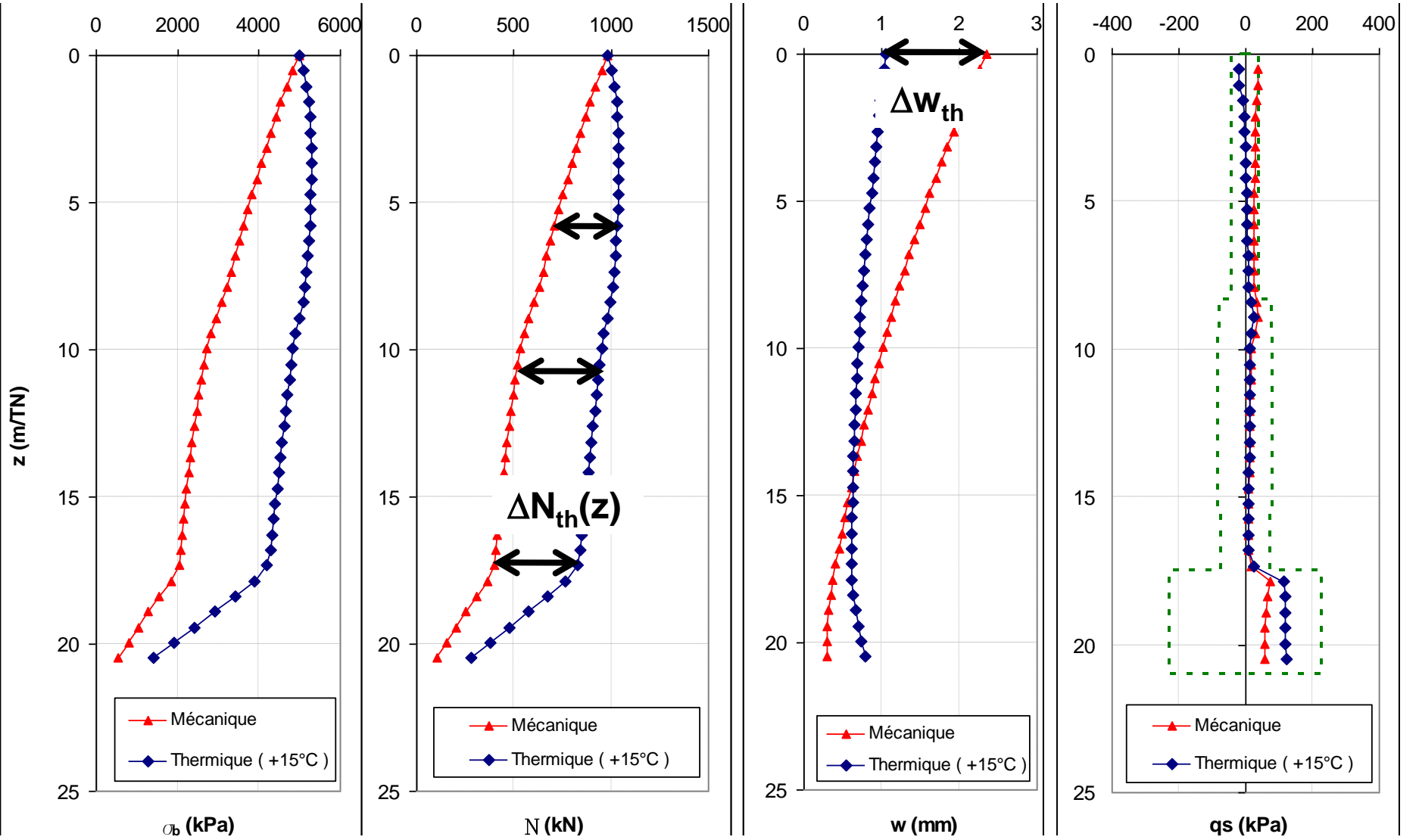
Résistance mobilisée

Frank et Zhao (1982)



→ Méthode de calcul validée sur quelques instrumentations de pieux géothermiques (EPFL, Lambeth College)

Exemple : injection d'un fluide chaud – libre en tête



$$\Delta R_{mob} = R_{mob;th} - R_{mob;mec}$$

Quelles justifications produire ? (1/3)

1/ Δw_{th} → Tassements, Soulèvements

→ ELS quasi-permanent

2/ $\Delta N_{th}(z)$ → Justifications structurelles avec les coefficients ψ_0 , ψ_1 et ψ_2

→ ELS et ELU

3/ $R_{mob,th}$ et $R_{mob;mec}$ → $R_{mob;mec}$ équilibre la charge appliquée en tête de pieu et doit être comparée à R_c ou $R_{c;cr}$ suivant le cas de charge. $R_{mob;th}$ doit aussi être comparée à R_c ou $R_{c;cr}$.

Par analogie avec le calcul du frottement négatif, la vérification du pieu est effectuée en ajoutant :

- $\Delta N_{th}(z)$ à la variation d'effort normal dans le pieu chargé mécaniquement (pas de variations thermiques) avec des coefficients ψ_0 , ψ_1 et ψ_2 égaux à 0.6, 0.5 et 0.2 ;

- ΔR_{mob} dans le calcul de la capacité portante du pieu.

Quelles justifications produire ? (2/3)

Selon les formalisme des Eurocodes, les effets géothermiques doivent être combinés aux actions permanentes et variables :

-ELU : $1.35G + 1.5Q + \Delta T$

-ELS caractéristique : $G + Q + \Delta T$

-ELS quasi-permanent : $G + Q_{perm} + \Delta T$

Afin de ne pas démultiplier le nombre de calcul, le plus simple est de réaliser un calcul d'interaction sol-pieu uniquement à **l'ELS quasi-permanent** et d'obtenir pour la phase de chauffage et de refroidissement :

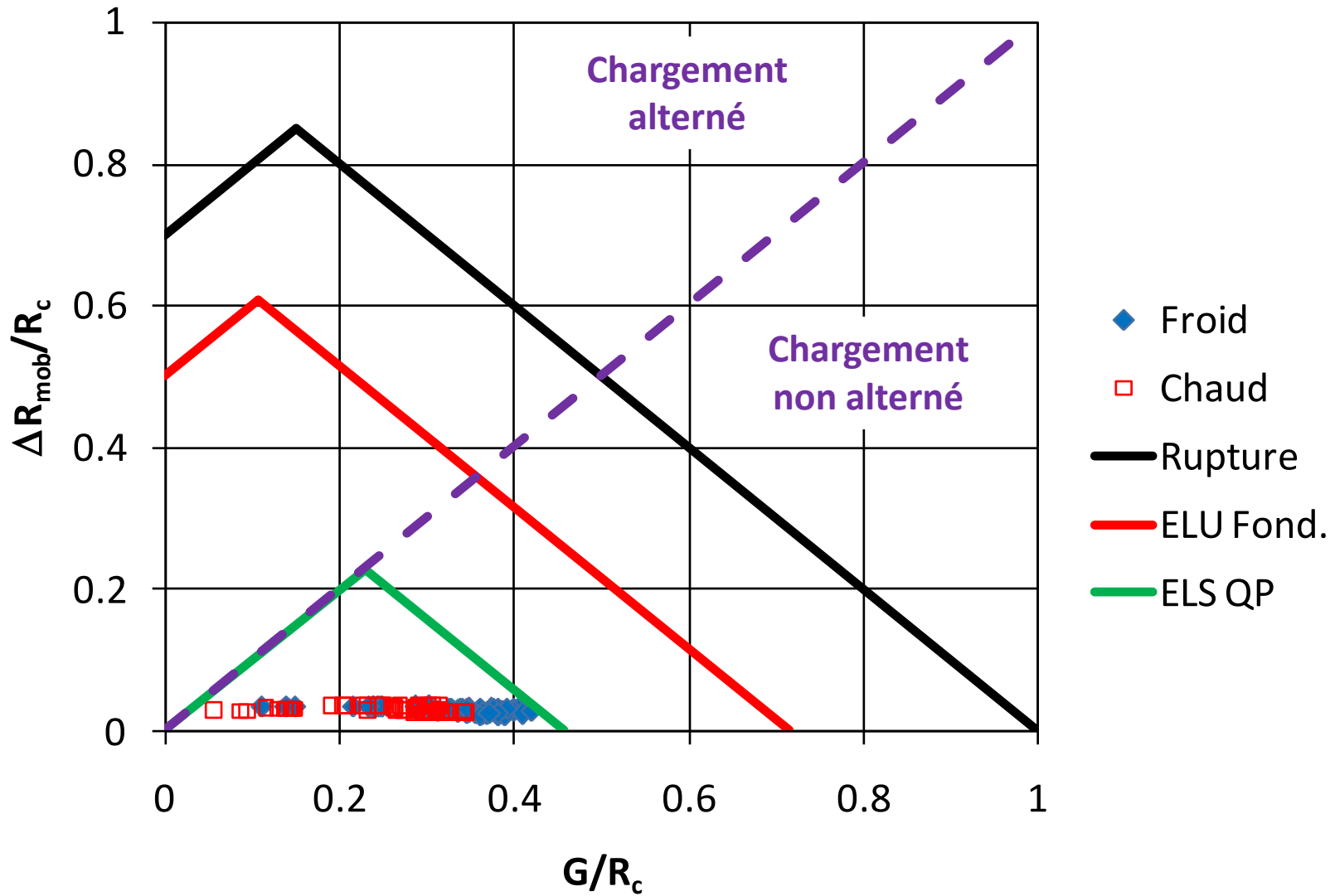
- ΔW_{th} : les critères habituels du 1/500 sont vérifiés entre les différents pieux (l'outil développé dans GECKO procède à cette vérification pour tous les pieux de la structure) ;

- $\Delta N_{th}(z)$: pour chaque pieu, cette valeur est transmise aux BE « structure » pour justifier le ferrailage des pieux avec les coefficients partiels ψ appropriés pour toutes les combinaisons ;

- ΔR_{mob} pour chaque pieu, cette valeur est transmise aux BE « géotechnique » portance du pieu avec les coefficients partiels ψ appropriés pour toutes les combinaisons ;

-le rapport $\Delta R_{mob} / R_c$ est calculé et reporté dans un diagramme de stabilité cyclique ($G/R_c ; \Delta R_{mob} / R_c$).

Quelles justifications produire ? (3/3)



Synthèse des justifications proposées

Données d'entrées :

Géométrie des pieux fournie par l'entreprise de pieux
Descente de charge ELS QP
Variations de température fournie par le poseur de sondes ou le BE thermique en études



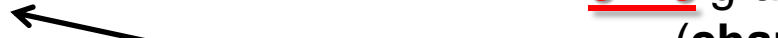
Pour chaque pieu du bâtiment, un calcul de tassement de pieu avec des courbes t-z à l'ELS quasi-permanent



3 + 3 grandeurs obtenues (chaud et froid) :

$$\begin{aligned} &\Delta w_{th} \\ &\Delta N_{th}(z) \\ &\Delta R_{mob} \end{aligned}$$

Vérification du ferrailage des pieux



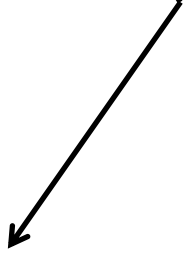
Vérification de la portance des pieux



Contrôle de la variation de charge thermique dans un digramme de stabilité cyclique



Vérification de la règle du 1/500



Synthèse des justifications proposées

Une méthode de dimensionnement simple, compatible avec des outils de calculs usuels et le formalisme des Eurocodes a été développée pour des pieux isolés.

Le modèle de calcul utilisé (courbe de transfert t-z + déformation thermique) a été validé sur différentes expérimentations.

Les calculs numériques montrent que les effets de groupes tendent à diminuer les effets des variations de température.

Les variations d'efforts dans le pieu peuvent nécessiter des modifications du ferrailage. Les variations de résistance dans le sol sont faibles et peu significatives (le cas des sols sensibles à l'eau demeure – sols A3 et A4). Les effets cycliques restent marginaux.

Le choix des propriétés des terrains et la manière dont ils sont mesurés restent l'acte le plus important dans cette méthode. Une variation de 10 à 15 % sur le choix des pressions limites est largement plus significative que toutes les autres variations constatées par ailleurs dans la méthode.

L'exécution doit être conforme aux hypothèses de calcul faites pour cette méthode.

Merci pour votre attention

IFSTTAR

Cité Descartes

Boulevard Newton

77420 Champs-sur-Marne

Tél. +33 (0)1 40 43 50 00

Fax. +33 (0)1 40 43 54 98

www.ifsttar.fr

communication@ifsttar.fr



IFSTTAR