

# CONCEPTION ET CONSTRUCTION DE PIEUX AVEC ECHANGEURS DE CHALEUR

VALIDATION PAR ESSAIS IN-  
SITU ET EN LABORATOIRE,  
VALIDATION D'OUTILS DE  
DIMENSIONNEMENT



# Enjeux de l'activation géothermique

- ▶ Source d'énergie renouvelable disponible lors de la réalisation de certains ouvrages géotechniques
- ▶ Exploitation énergétiques de zones à fortes contraintes géotechniques
- ▶ Principal obstacle au développement : absence d'une réglementation nationale

# REGLEMENTATION EN EUROPE

- Pays disposant d'une norme: Suisse et Royaume-Uni
- Points réglementaires traités:
  - L'usage des géostructures énergétiques
  - Comportement thermique et mécanique des géostructures énergétiques
  - Planification d'un système avec géostructures énergétiques
  - Exécution des géostructures énergétiques
  - Effets sur l'environnement
  - Aspects juridiques et procédures d'autorisation



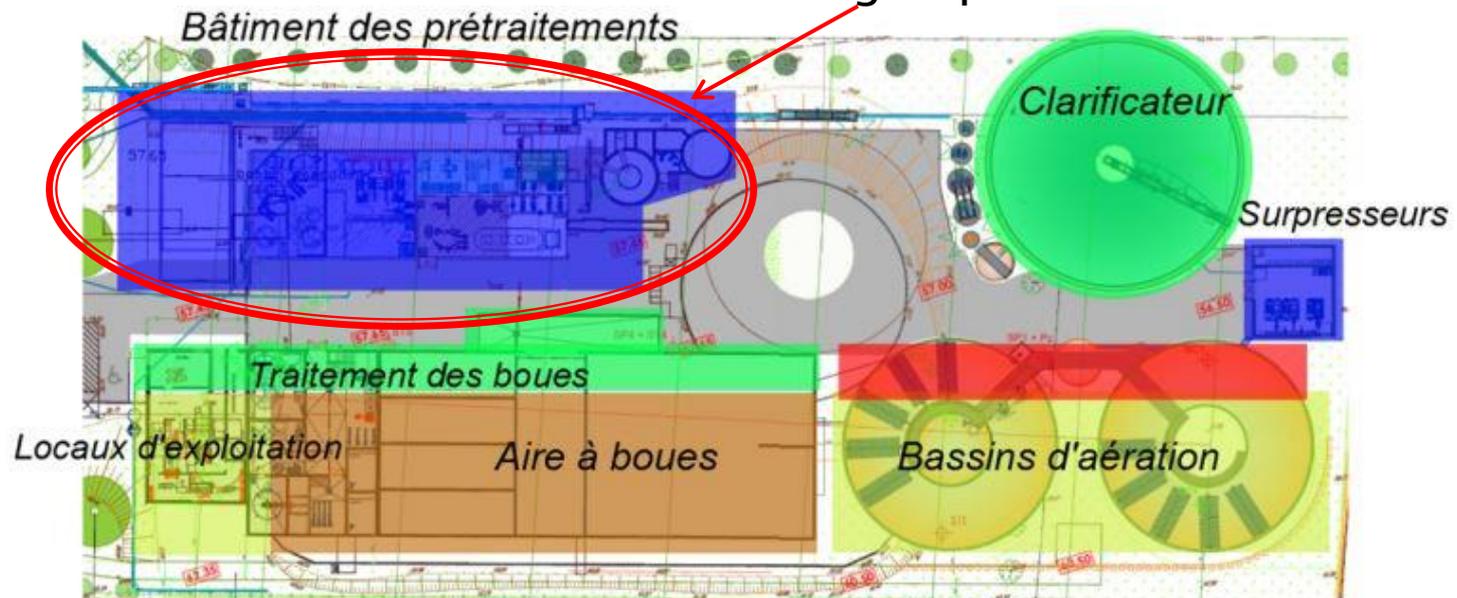
# Réponse à l'absence de réglementations

- ▶ Projet ANR/GECKO
- ▶ Groupe de travail Syntec/CFMS
  
- ▶ La thèse menée en partenariat avec l'Ecole Centrale de Nantes, le laboratoire GeM et grâce à l'appui de la FNTP, permettra d'apporter des compléments:
  - Tests in-situ
  - Tests en laboratoire
  - Validation des dimensionnements

# Tests in-situ

## ► Sept-Sorts

Pieux activés  
énergétiquement



-  Pieux
-  Inclusions rigides
-  Radier sur bassin oblong existant
-  Radier sur couche de forme
-  Purge et remblaiement (radier général)

# Tests in-situ

## ► Sept-Sorts



# Tests in-situ

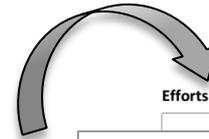
## ▶ Sept-Sorts – Benchmark

pleinT+-plein	34,75	-66,27	47,06	-58,19	53,79	-52,14	59,41	-46,8	-38,3	-40,33	-38,62	69,79	-40,07	67,93	-43,01	62,12
pleinT+-plein	36,9	-34,33	37,1	-37,62	37,27	-37,51	37,88	-37,28	38,13	-25,14	-30,95	-33,14	-29,62	-16,38	-14,08	-46,55
pleinT+-plein	39,89	-37,26	35,01	-35,87	39,26	-37,76	36,45	-36,74	36,5	-26,07	-30,49	65,52	-34,35	44,29	-23,37	58,96
pleinT+-plein	27,42	18,83	18,35	-32,06	31,64	-33,64	28,71	-32,59	27,79	-24,16	-31,85	51,36	-36,11	26,35	-25,78	40,4
pleinT+-plein	-58,07	-37,11	27,16	-33,32	30,9	-32,47	31,65	-31,97	32,18	-22,47	-32,82	48,34	-36,44	30,66	-26,41	42,71
pleinT+-plein	-53,86	35	32,18	33,13	35,95	-53,32	43,25	-46,9	49,54	-40,37	-39,2	54,44	-40,51	51,77	-42,87	45,68
pleinT+-plein	7,73%	-14,22%	9,98%	-12,27%	11,37%	-11,17%	12,94%	-10,38%	14,65%	-9,28%	-8,97%	16,52%	-9,55%	16,52%	-10,57%	15,67%
pleinT+-plein	8,19%	-10,17%	12,27%	-12,64%	12,62%	-12,76%	13,19%	-13,16%	13,72%	-8,41%	-7,72%	-7,97%	-7,70%	-5,06%	-4,15%	-11,31%
pleinT+-plein	8,89%	-9,42%	9,41%	-10,01%	10,96%	-10,15%	11,46%	-10,98%	12,44%	-7,97%	-7,58%	17,11%	-9,04%	14,77%	-7,38%	14,38%
pleinT+-plein	6,00%	4,76%	4,95%	-8,99%	8,84%	-9,02%	9,03%	-9,67%	9,73%	-7,37%	-7,83%	13,21%	-9,46%	8,79%	-8,20%	10,05%
pleinT+-plein	-12,64%	-11,06%	9,12%	-11,31%	10,49%	-11,04%	11,00%	-11,29%	11,63%	-7,58%	-8,24%	12,56%	-9,68%	9,71%	-8,10%	11,26%
pleinT+-plein	-11,66%	7,27%	6,56%	6,64%	7,22%	-10,90%	9,11%	-10,19%	11,08%	-9,30%	-9,23%	13,30%	-10,24%	13,75%	-11,76%	13,09%

Variation d'efforts due à la charge thermique + 10°C – kN/%

pleinT+-plein	0,38	0,32	0,31	0,28	0,28	0,25	0,25	0,22	0,23	0,19	0,19	0,21	0,19	0,21	0,2	0,24
pleinT+-plein	0,36	0,16	0,37	0,18	0,36	0,18	0,35	0,18	0,36	0,12	0,14	0,16	0,14	0,08	0,06	0,23
pleinT+-plein	0,35	0,18	0,37	0,17	0,35	0,18	0,36	0,17	0,37	0,12	0,14	0,23	0,17	0,32	0,11	0,26
pleinT+-plein	0,35	0,4	0,39	0,16	0,33	0,16	0,34	0,17	0,35	0,12	0,15	0,23	0,18	0,36	0,13	0,29
pleinT+-plein	0,28	0,18	0,35	0,17	0,34	0,16	0,33	0,16	0,33	0,11	0,16	0,25	0,18	0,34	0,13	0,28
pleinT+-plein	0,27	0,31	0,33	0,32	0,32	0,26	0,27	0,23	0,24	0,2	0,19	0,22	0,2	0,23	0,21	0,27

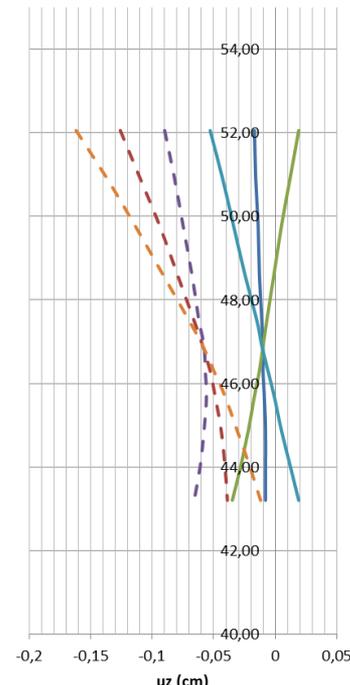
Déplacements dus à la charge thermique + 10°C – cm



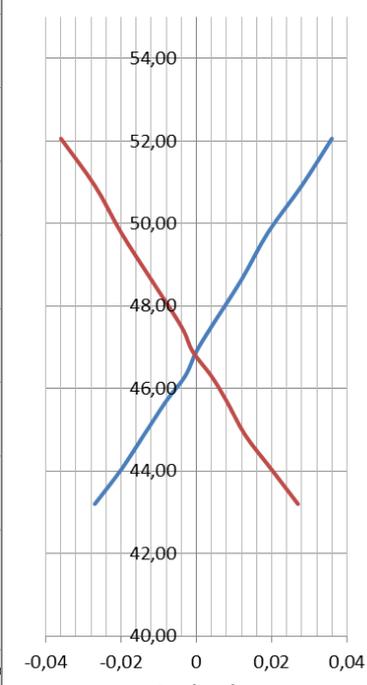
Efforts sur la hauteur du pieu :

Différence d'efforts sur la hauteur du pieu :

Pieu 29 - activé



Pieu 29 - activé



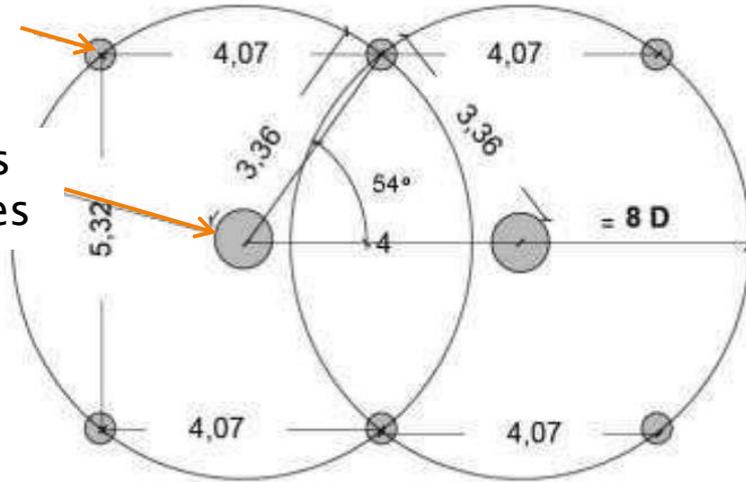
— ELS — plein — COMB+  
- - - pleinT+ — COMB- - - - pleinT-

— COMB+ - ELS — COMB- - ELS

# Tests in-situ - Paris Tech

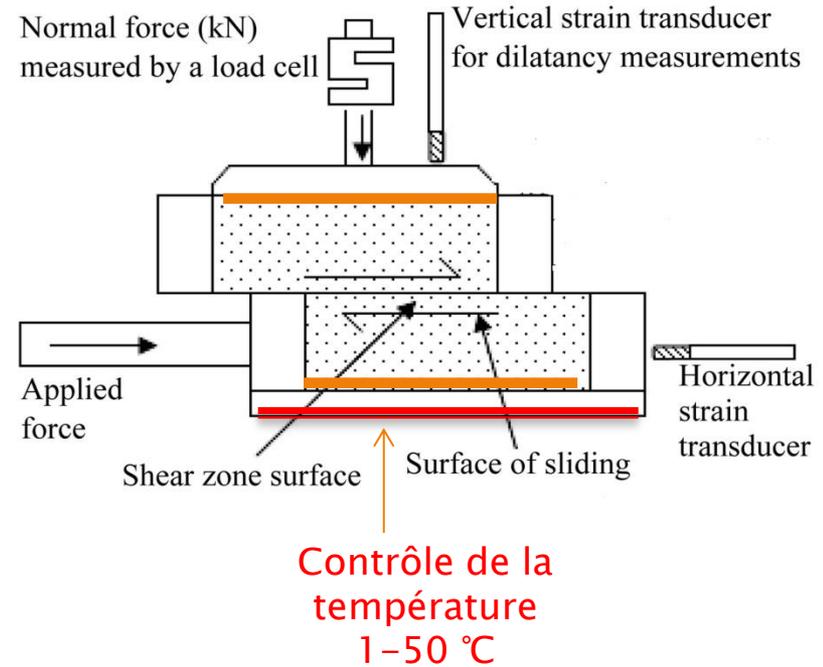
Pieux d'ancrage pour chargement mécanique

Pieux d'essais géothermiques



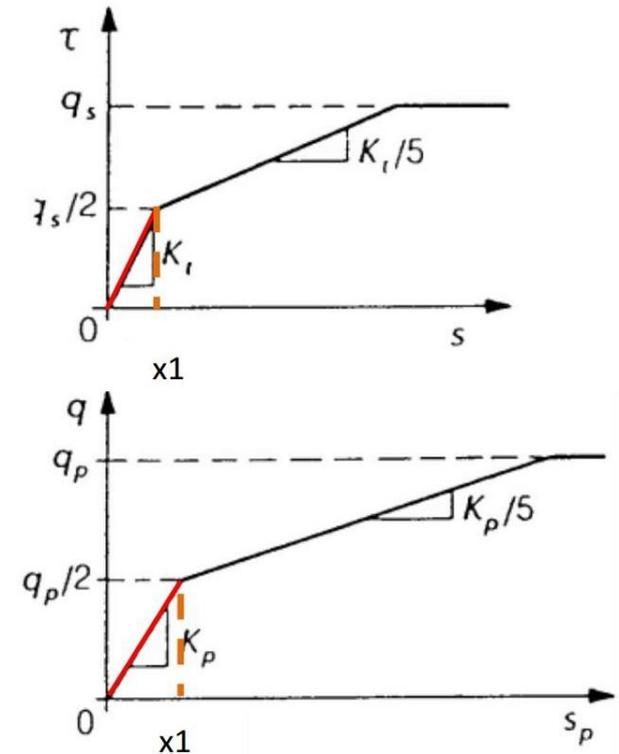
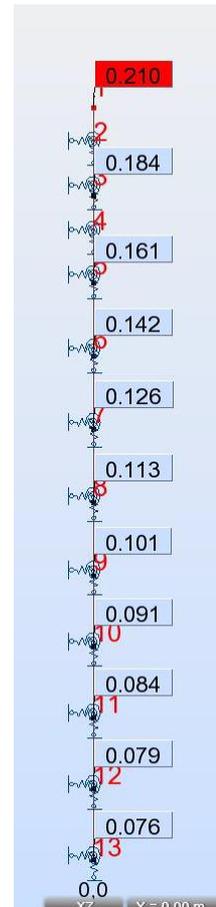
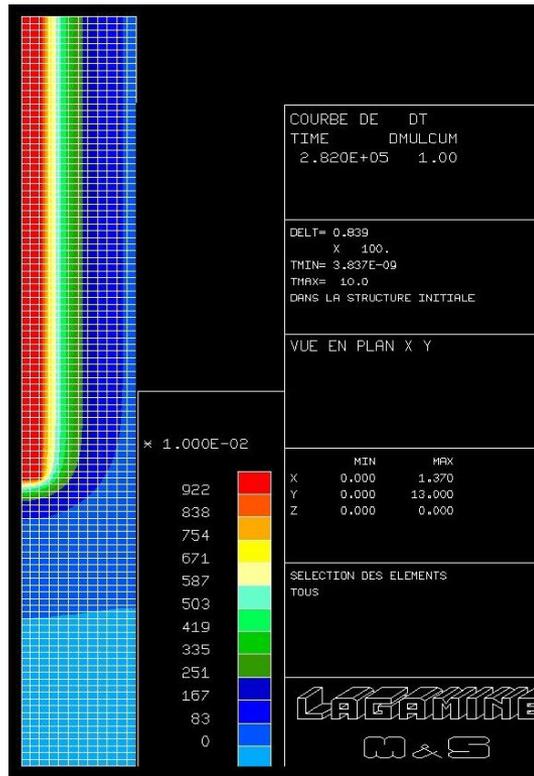
# Tests en laboratoire

## ► Tests à l'Ecole Centrale de Nantes



# MODÉLISATION NUMÉRIQUE

- Validation d'outils de dimensionnement



# CONNEXIONS

## PINTO/FNTP

Modèles de calcul de pieux échangeurs géothermiques

Validation des outils de dimensionnement



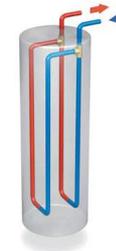
Conception des fondations sur pieux énergétiques  
Construction de pieux énergétiques  
Validation des modèles de transfert thermique existant  
Validation des outils de dimensionnement

## ECN

Analyse thermo-hydro-mécanique

Effets a grande échelle

Essais en laboratoire et in-situ



# Merci pour votre attention

