



Cerema

Centre d'études et d'expertise sur les risques,
l'environnement, la mobilité et l'aménagement



AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE
ANR

Journée CFMS du 21 mai 2014

Structures géothermiques

Définition et types de systèmes - État de l'art



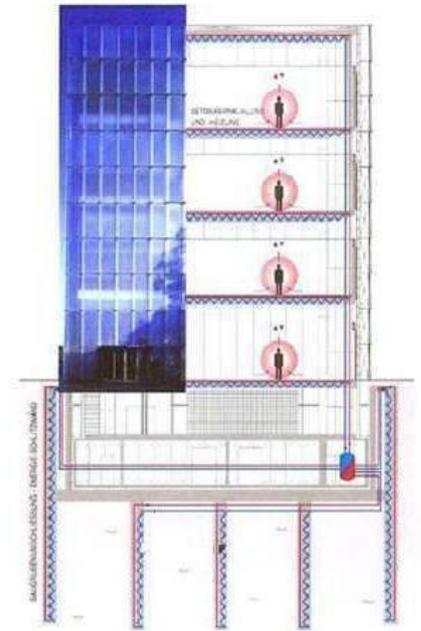
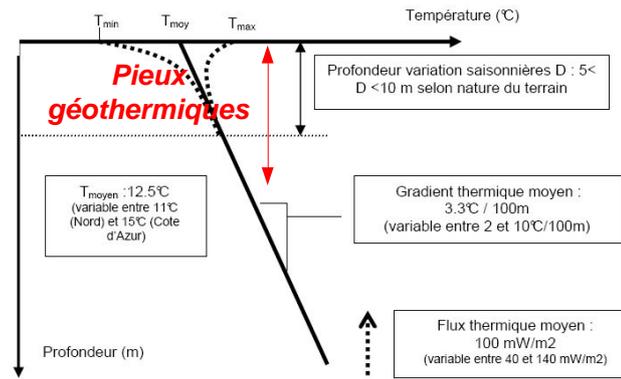
Julien HABERT / CEREMA \ Dter Nord-Picardie

Sommaire de la présentation

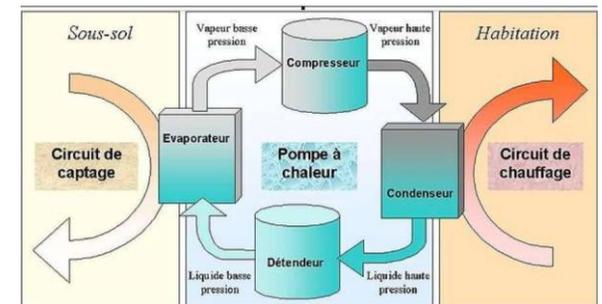
- Le principe des structures géothermiques
- Quelques réalisations
- Mise en œuvre des pieux énergétiques
- Problématiques spécifiques aux pieux énergétiques
- Projet ANR GECKO

Principe des structures géothermiques

- Le principe : réutiliser les fondations des ouvrages (« déjà payées » par le génie-civil), comme échangeurs géothermiques

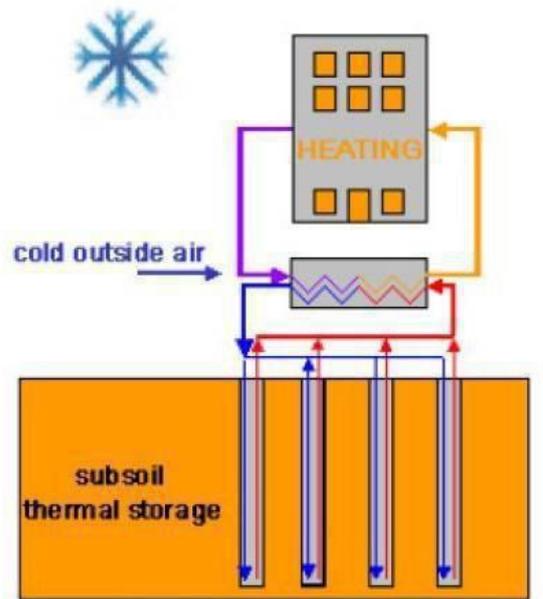


- Ouvrages concernés : **pieux, parois moulées et radiers**
- Une pompe à chaleur (PAC) permet de réinjecter l'eau dans le circuit de chauffage (ou de climatisation)
- Domaine de la géothermie très basse énergie



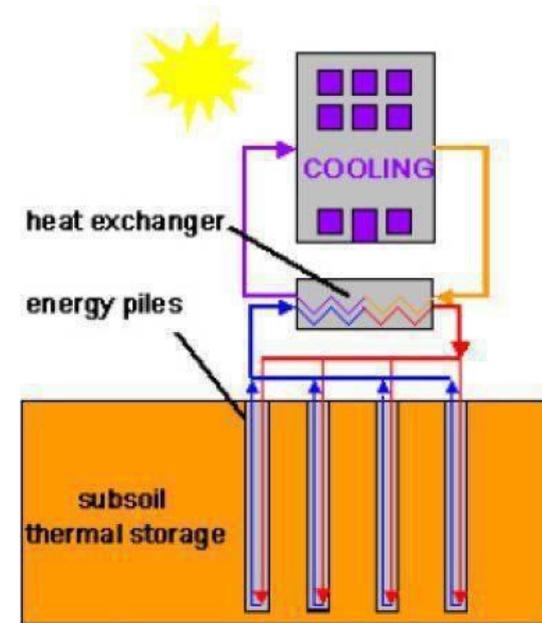
Principe des structures géothermiques

- Chauffage du bâtiment : circulation d'un fluide froid à l'intérieur des fondations => température minimale : 1 à 5 °C



Winter: heating of the structure

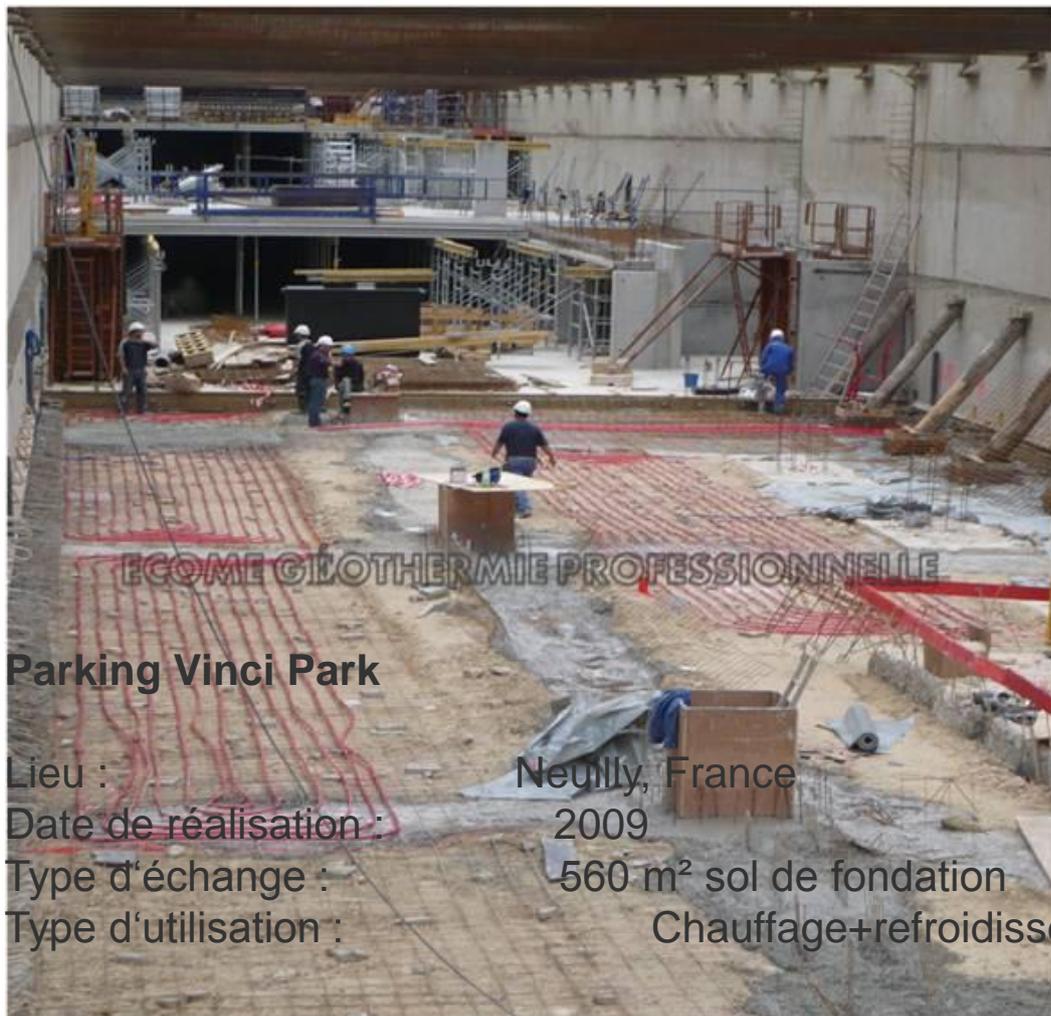
- Refroidissement du bâtiment : circulation d'un fluide froid à l'intérieur des fondations => température maximale : 30 à 40 °C



Summer: cooling of the structure

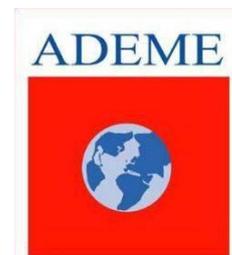
Quelques réalisations

- Radiers



Parking Vinci Park

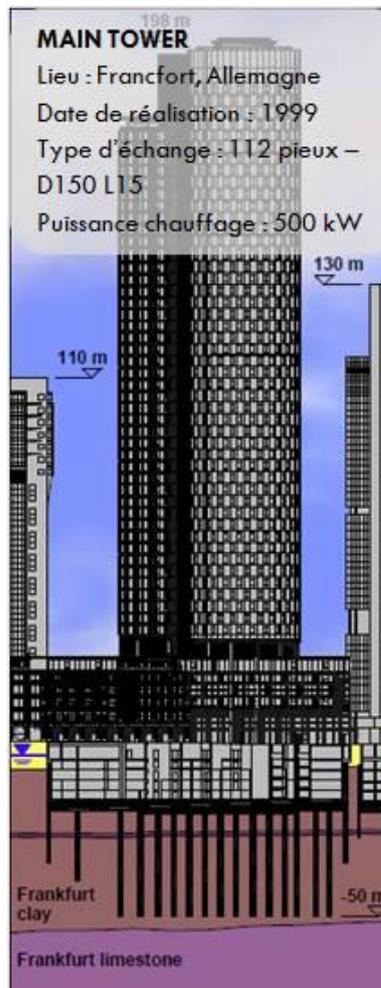
Lieu :	Neully, France
Date de réalisation :	2009
Type d'échange :	560 m ² sol de fondation
Type d'utilisation :	Chauffage+refroidissement



Détail de mise en œuvre

Quelques réalisations

● Pieux énergétiques



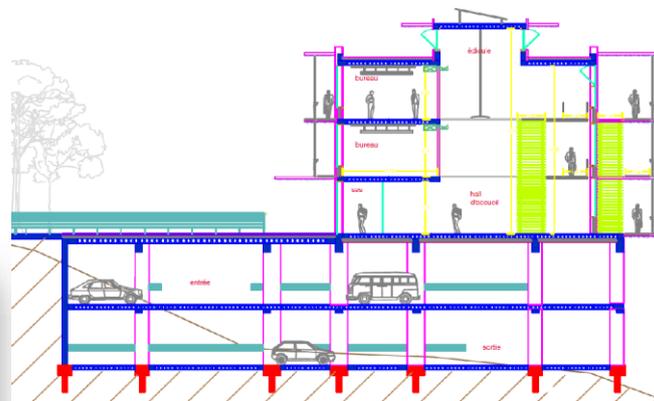
Quelques réalisations

- Pieux énergétiques

**EPINIERE D'ENTREPRISE A BAYONNE
(64) : 76 pieux, 2012 -2013**



BATIMENT PASSIF A GONESSE (95) - 2012



**Salle de spectacle à Auxerre (89)– 24
pieux - 2009**



Source : www.lesilex.fr

Quelques réalisations

- Divers



Enercret partenaire de Ecome

Hôpital de Wuhan

Lieu : Wuhan, Chine

Date réalisation : 2011

Type d'échange : Paroi + 400 pieux

Station de métro Sintirolerplatz, Vienne : 4 450 kW

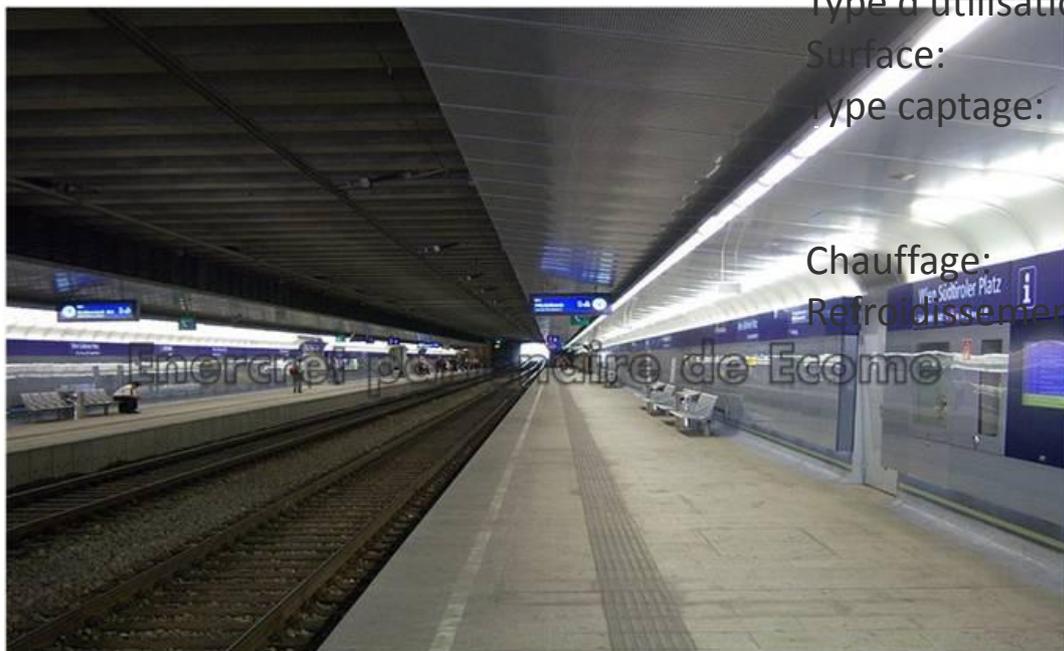
Type d'utilisation : locaux techniques et commerces

Surface : 10.000 m²

Type captage : 46 pieux (paroi berlinoise), D=90 cm, 10 m
22 forages de géothermie sur sonde à 120 m
radier 600 m² (épaisseur 150 cm)

Chauffage : 304 kW

Refroidissement : 220 kW



Enercret partenaire de Ecome

Mise en œuvre des pieux énergétiques

- Technique adaptée aux fondations profondes avec cages d'armatures

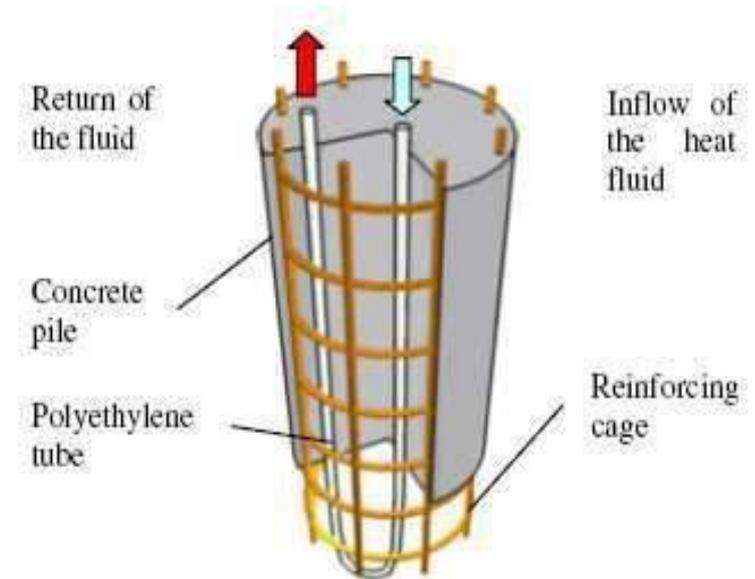
- ◆ Pieux forés, barrettes, pieux à la tarière creuse
- ◆ Pieux vissés
- ◆ Pieux préfabriqués

- Tubes en PEHD fixées sur la cage d'armatures :

- ◆ 16 mm à 25 mm de diamètre
- ◆ Boucles « En U » : Nombre de boucles adapté au diamètre du pieu

- Fluide caloporteur : eau

- ◆ Exemple de températures en phase de réchauffement (hiver) : Entrée du fluide = 1°C / sortie = 4°C

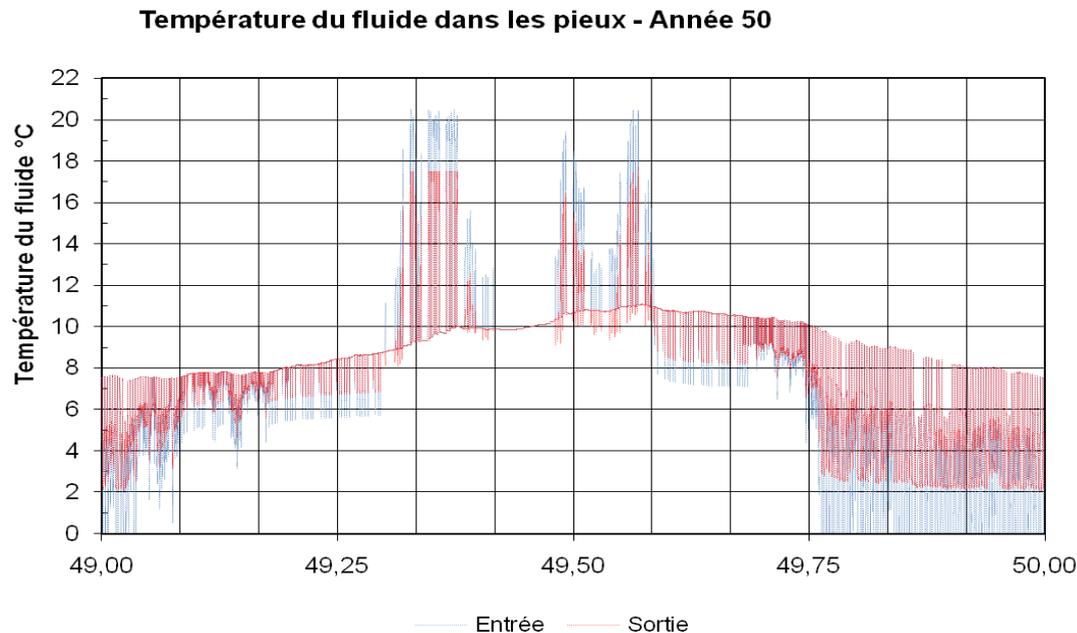


Mise en œuvre des pieux énergétiques



Détails du fonctionnement

- Evolution de la température avec le temps
 - ◆ Les températures moyennes énoncées sont les températures moyennes extrémales



Collège à Achères (78) : 84 pieux géothermiques



Problématiques spécifiques aux pieux énergétiques

2 problématiques apparaissent...

Evolution des propriétés
mécaniques des sols
autour du pieu liée aux
variations thermiques

Dilatation/contraction du béton :
coefficient de dilatation thermique
 $\alpha_T = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$

Pérennité de la
portance

Déformations
en tête

Modifications de l'effort normal
dans le pieu

Quelques ordres de grandeur

- Poutre de longueur $L = 30$ m soumise à une variation de température uniforme $\Delta T = 15^\circ\text{C}$ ($\alpha_T = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$) \Rightarrow le comportement dépend des conditions aux limites
 - ◆ Dans le cas d'une poutre **libre aux extrémités** :
 $\Rightarrow \Delta L = 5,4$ mm
 - ◆ Dans le cas d'une poutre **bloquée aux extrémités** : selon le module de Young du béton E_y
 - ◆ $E_y = 10000$ MPa : $\Delta\sigma = 1,8$ MPa
 - ◆ $E_y = 20000$ MPa : $\Delta\sigma = 3,6$ MPa
- Dans le cas d'un pieu énergétique, le comportement est plus complexe du fait du frottement du sol le long du pieu et des conditions en tête (« rigidité » de la structure portée)

Etat de l'art

- Des problématiques soulevés par la technique
- Type de « chargement » non pris en compte par les règlements de calcul des fondations profondes
=> **technologie non développée en France !** (malgré quelques expérimentations en vraie grandeur : EPFL, 2003, Lambeth College, 2009...)
=> projet ANR GECKO : GEostructure et stoCKage sOlaire (2012 – en cours)



- Objectif : lever les verrous techniques ne permettant pas le développement des pieux énergétiques
- Principaux éléments du projet :
 - 1) Expérimentations
 - ◆ En vraie grandeur :
 - ◆ Essais de chargement de pieu
 - ◆ Instrumentations de bâtiment
 - ◆ En laboratoire : variation des propriétés mécaniques avec la température
 - 2) Modélisations
 - ◆ Modélisations thermiques et thermo-mécaniques et compréhension des phénomènes
 - ◆ Développement d'un outil « pratique » de calcul des pieux énergétiques
 - 3) Élaboration de recommandations pratiques pour le dimensionnement des pieux énergétiques



Cerema

Centre d'études et d'expertise sur les risques,
l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Merci de votre attention

Julien HABERT

Responsable de l'unité Mécanique des sols et Fondations

+33 (0)3 20 48 49 19

julien.habert@cerema.fr