

Conception énergétique des géostructures thermiques : détermination des propriétés thermiques et approche numérique

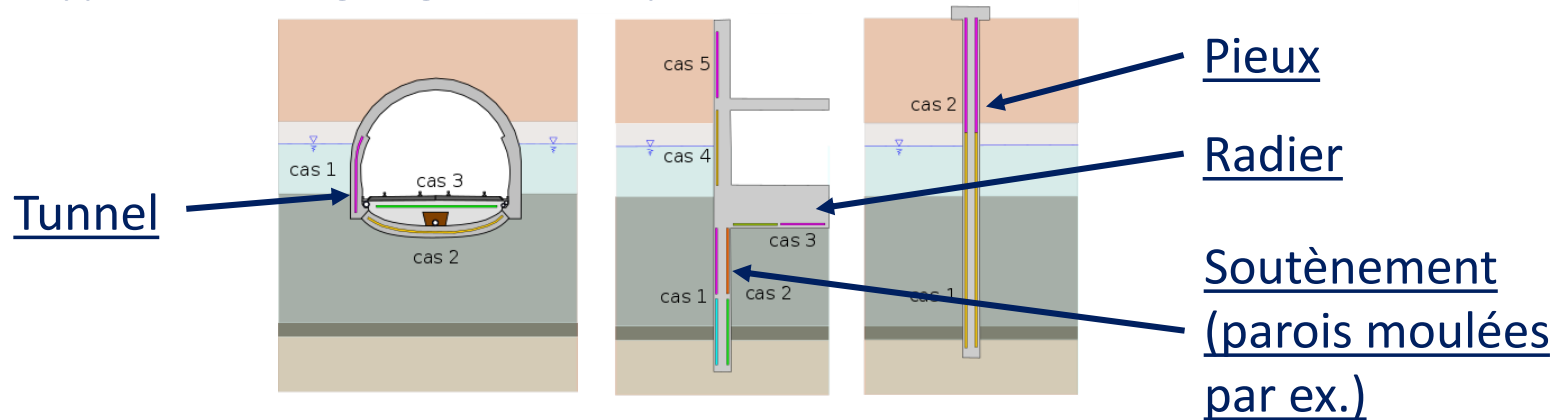


Sommaire

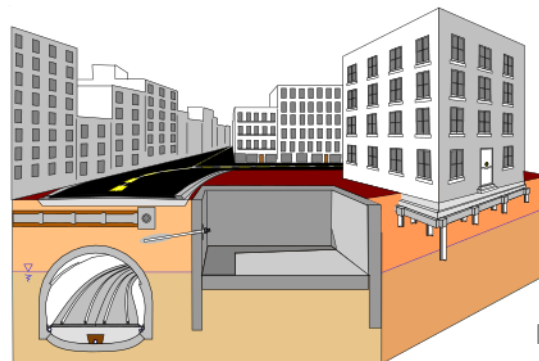
- Contexte
- Caractérisation thermo-hydraulique du système
- Potentiel géothermique
- Interactions avec les avoisinants
- Perspectives

Contexte

- Différents types d'ouvrages géotechniques



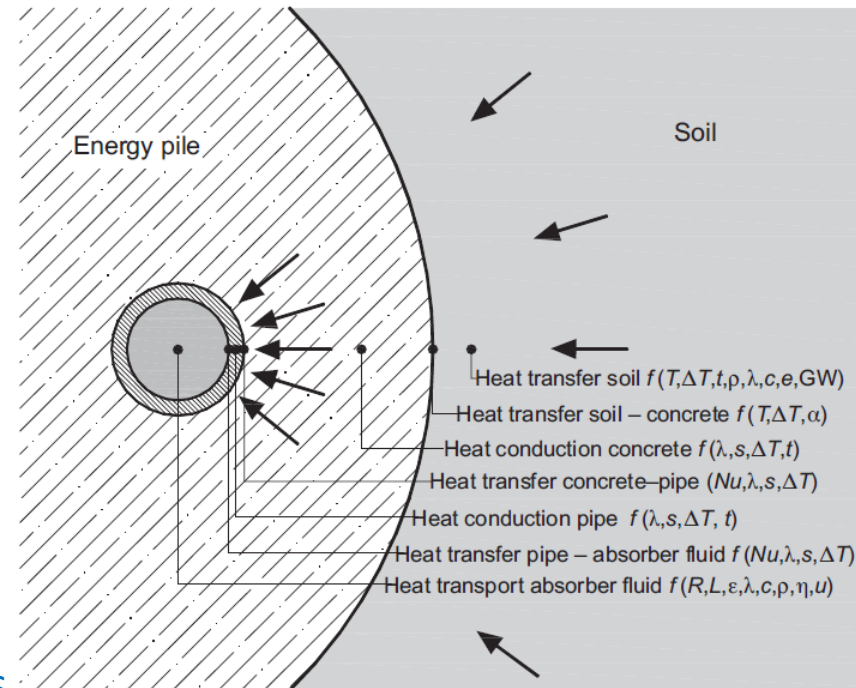
- Contexte urbain potentiellement dense



P. Reiffsteck, 2015

Contexte

- Deux échelles d'étude
 - Echelle du tube échangeur de chaleur
 - Echelle du terrain
- Etude simultanée très difficile
 - Phénomènes variés
 - Flux laminaire/turbulent dans les tubes
 - Pertes de charge hydraulique
 - Conduction/advection
 - Effet barrage
 - Etc.
 - Échelles de temps et d'espace incompatibles
 - Seconde/minute + mm/cm dans les tubes
 - Mois/année + m/dam dans le terrain



H. Brandl, 2006

Caractérisation thermo-hydraulique du système

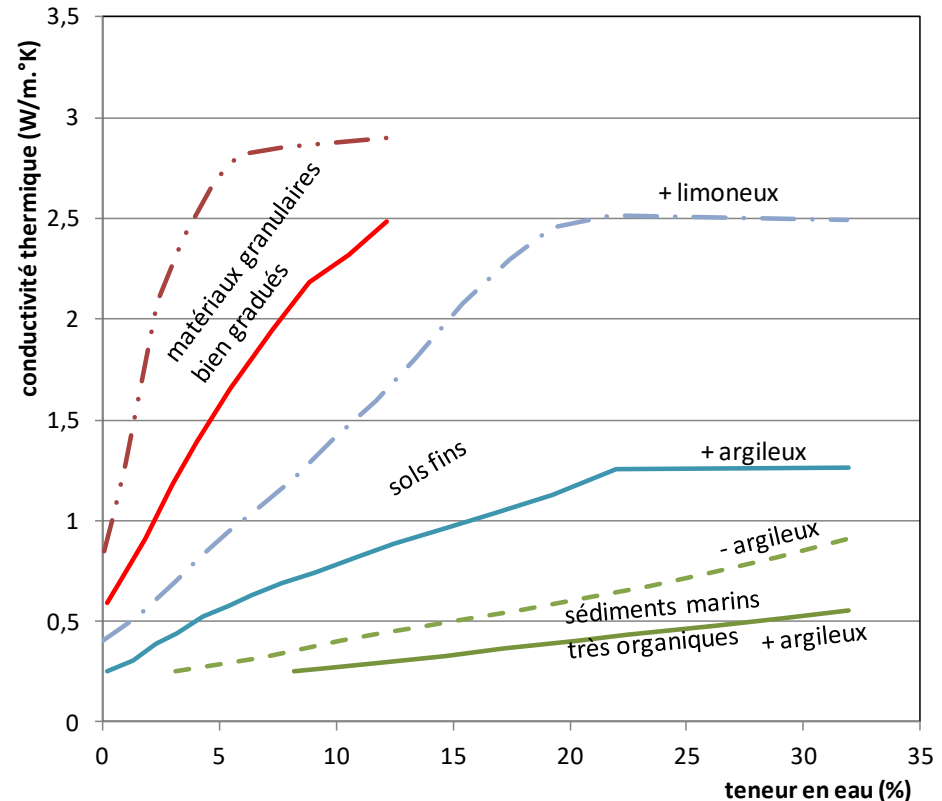
- Bilan énergétique

$$C_{eff} \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div}(\vec{J}_{cond}) + \rho_w C_w \vec{v}_D \cdot \nabla T - j_{int} = 0$$

- $C_{eff} \frac{\partial T}{\partial t}$ = terme transitoire (inertie thermique du système)
 - $\text{div}(\vec{J}_{cond})$ = terme de conduction
 - $\rho_w C_w \vec{v}_D \cdot \nabla T$ = terme d'advection
 - j_{int} = production d'énergie volumique interne (négligeable)
-
- Présence d'une nappe ? Vitesse d'écoulement ?
 - Multicouche géologique = large gamme de caractéristiques thermo-hydrauliques

Caractérisation thermo-hydraulique du système

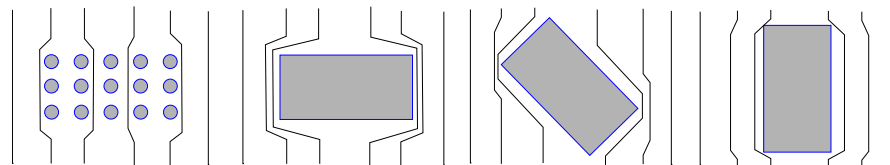
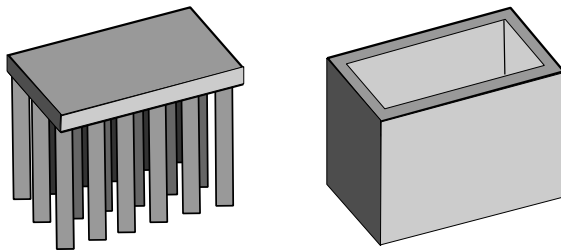
- Conductivité thermique λ (W/m.K)
 - Base de donnée bibliographique
 - Essais en laboratoire
 - Aiguille chauffante (échantillon intact ou sol reconstitué)
 - DRX (proportion minéralogique)
 - Essais in situ (Test de Réponse Thermique)
 - Valeur moyenne sur toute la hauteur
 - Influence de l'écoulement non négligeable



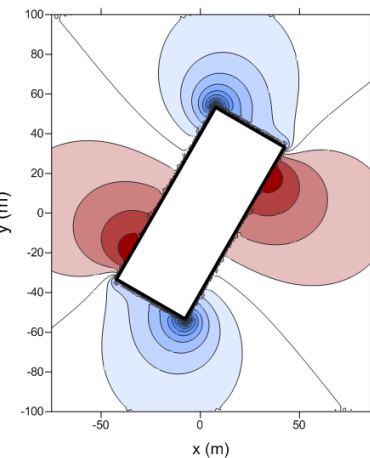
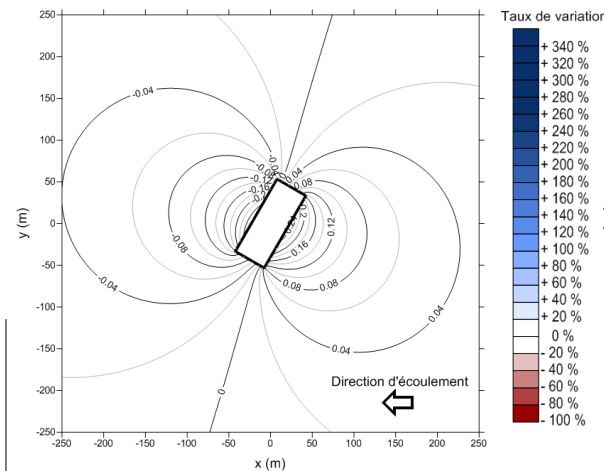
P. Reiffsteck, 2015, d'après EPRI 1989

Caractérisation thermo-hydraulique du système

- Capacité thermique volumique C_v (J/m³.K)
 - Base de donnée bibliographique
 - Essais en laboratoire
- Vitesse d'écoulement v_D (m/s) ou perméabilité k (m/s)



P. Reiffsteck, 2015



L. Demongodin, 2015

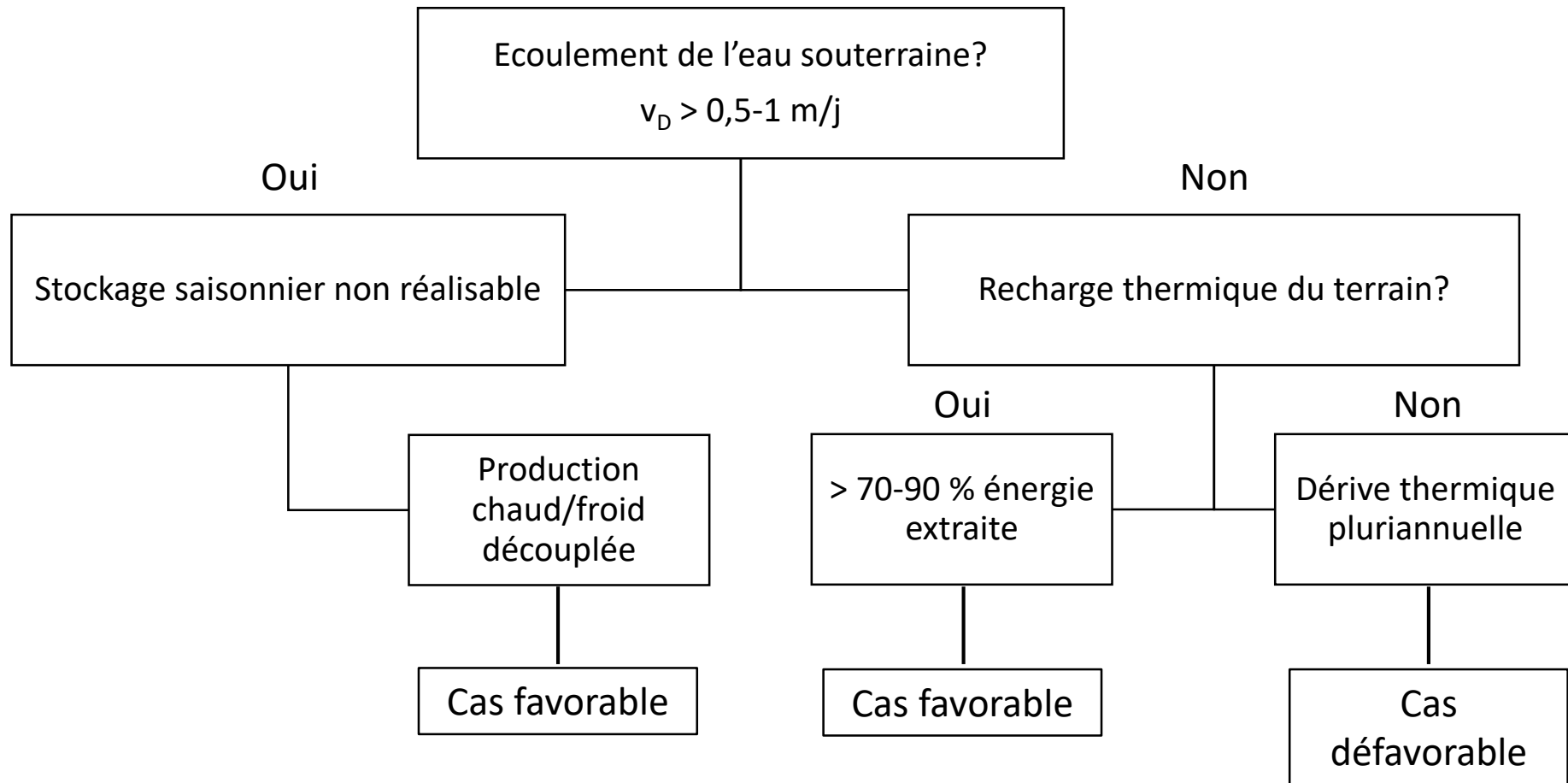
Potentiel géothermique

- Quantité d'énergie mobilisable dans le terrain sans modification durable de sa température → quantité finie → Bilan énergétique
- Paramètres dimensionnant :
 - Volume impacté
 - Recharge thermique
 - Stockage saisonnier
 - Propriétés thermiques du terrain
- Balance entre la conduction et l'advection dans toute la zone d'influence

Rôle de l'eau

$$C_{eff} \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div}(\vec{J}_{cond}) + \rho_w C_w \vec{v}_D \cdot \nabla T = 0$$

Potentiel géothermique

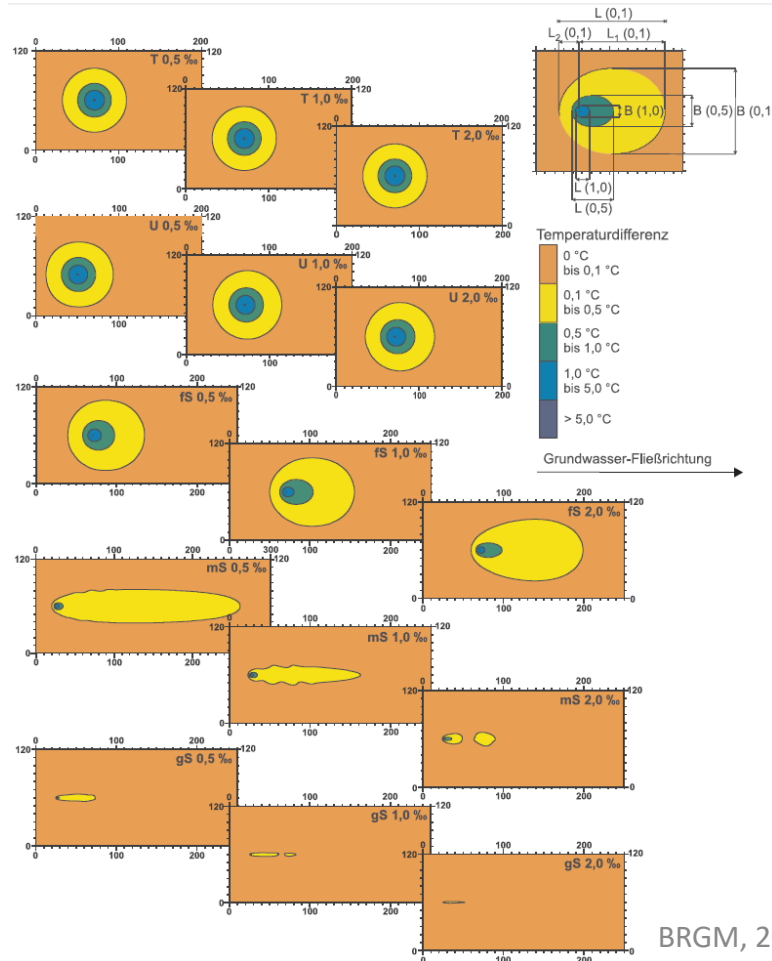


Potentiel géothermique

Perméabilité



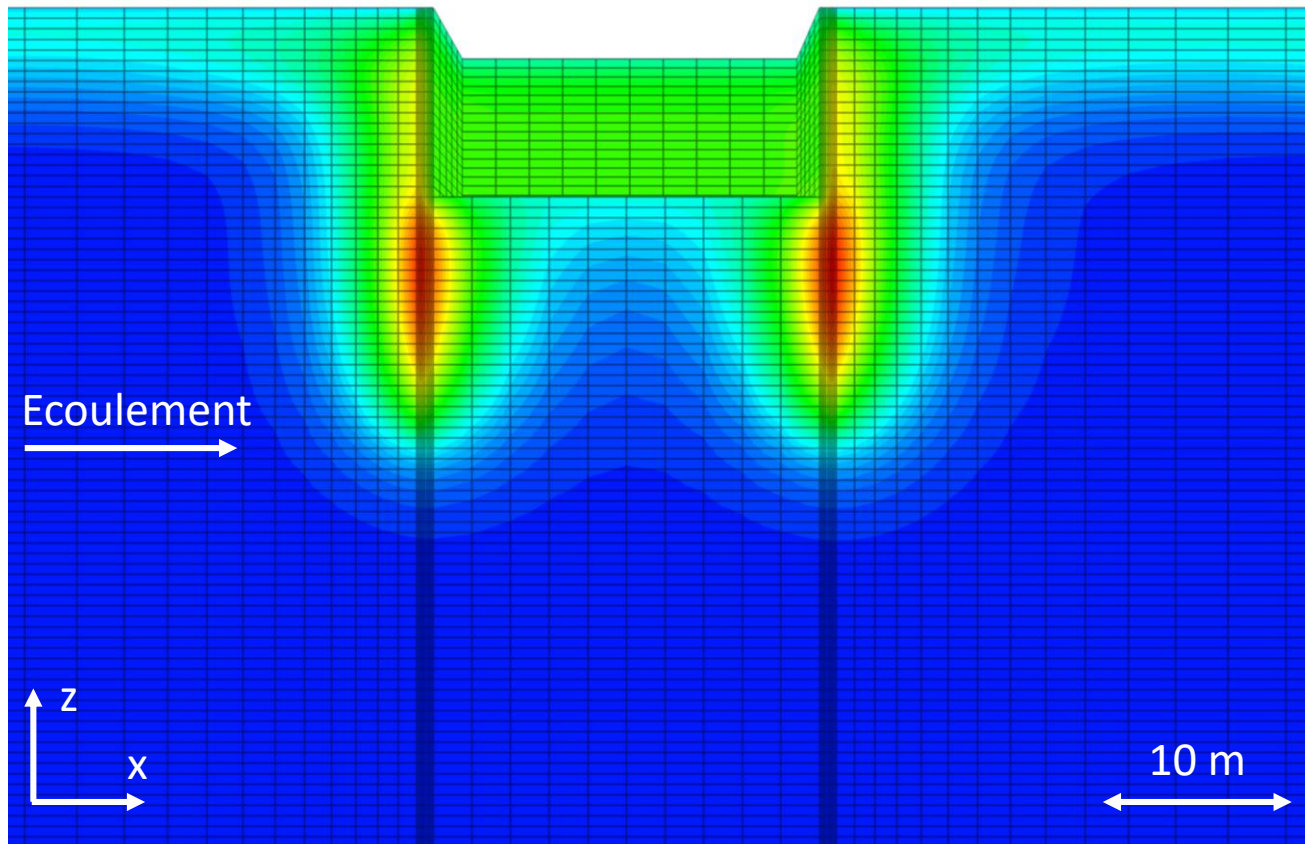
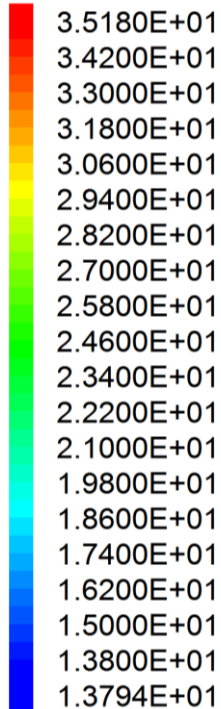
Gradient hydraulique



BRGM, 2012

Potentiel géothermique

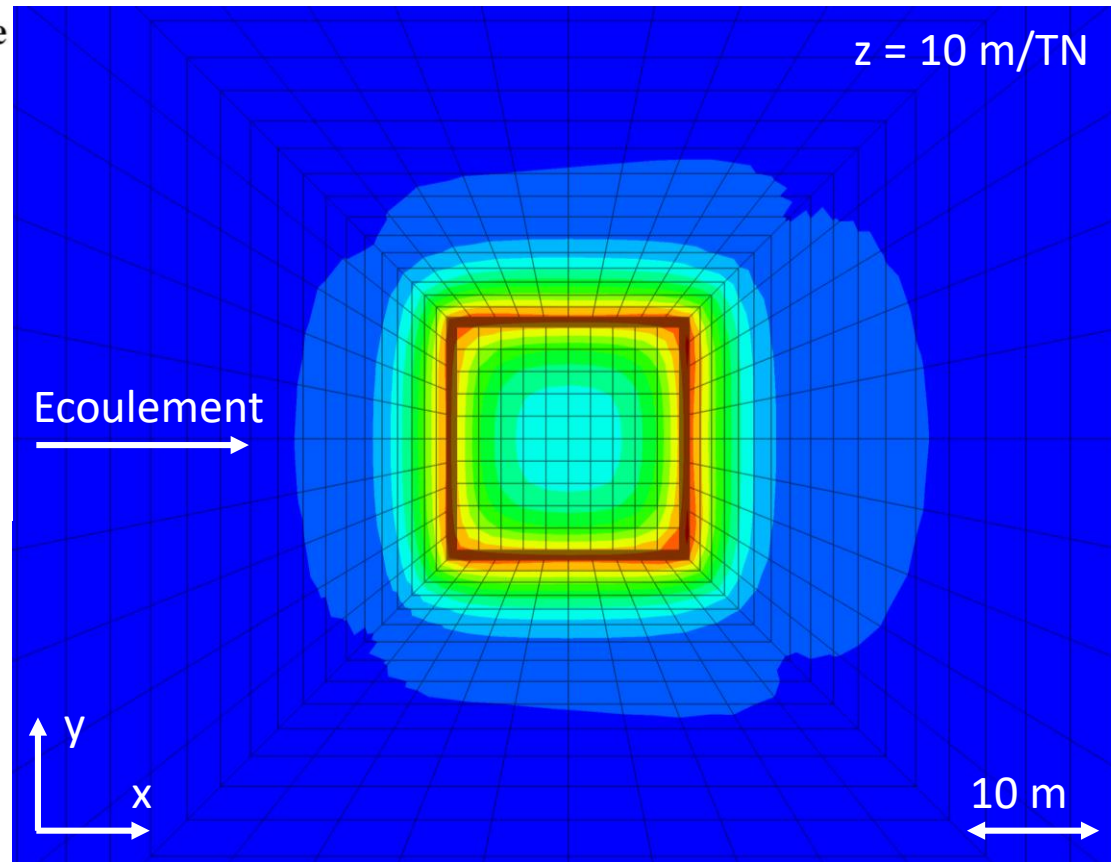
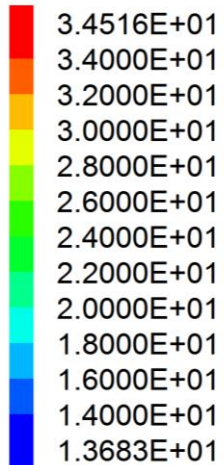
Contour Of Temperature



Y. Delerablée, 2017

Potentiel géothermique

Contour Of Temperature



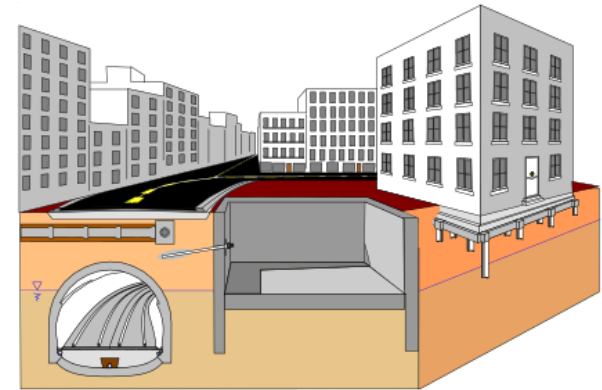
Y. Delerablée, 2017

Potentiel géothermique

- Modèle analytique
 - Première estimation du potentiel géothermique
 - Rapide
 - Difficultés pour prendre en compte tous les phénomènes (dérive thermique, etc.)
- Modèle numérique (2D/3D)
 - Meilleure approche des phénomènes physiques (effet barrage, dissymétrie du système, etc.)
 - Représentation du volume impacté (zone d'influence géothermique)
 - Détermination de champs de température
 - Possibilité d'appliquer des chroniques de besoin (pilotage en température ou en puissance)
 - Temps de calcul conséquent (couplage thermo-hydraulique)

Interaction avec les avoisinants

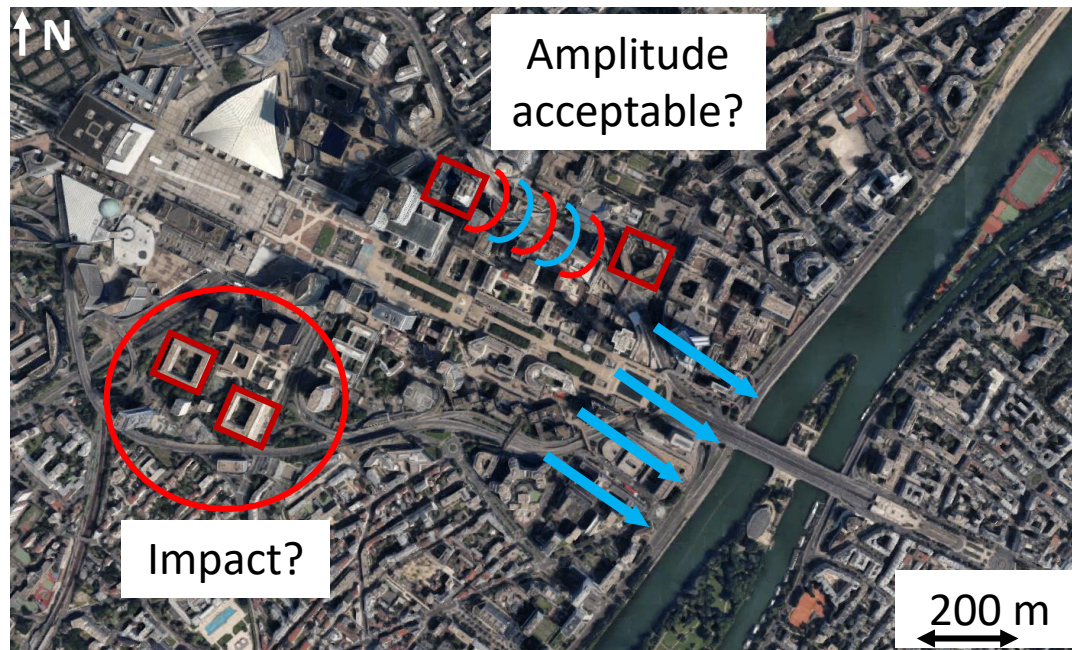
- De l'échelle du bâtiment à l'échelle de la cité
- Pas de réglementation concernant les géostructures thermiques
 - Premier arrivé = premier servi
 - Rayon d'influence acceptable?
- Différentes interactions
 - Ecran hydraulique en amont (effet barrage) → perte de la recharge thermique + diminution des échanges advectifs
 - Ouvrage géothermique en amont (panache thermique) → dégradation du potentiel géothermique + risque de dérive thermique
 - Ecran hydraulique + géothermie en amont → Quel potentiel reste-t-il?



P. Reiffsteck, 2015

Interaction avec les avoisinants

- Etude numérique 2D/3D nécessaire
 - Prise en compte de l'écoulement
 - Effet barrage potentiel
 - Ondes thermiques saisonnières



www.google.fr (consulté
le 19/09/2017)

Perspectives

- Evaluation des échanges conduction et advection
 - Études paramétriques nécessaires → abaqes
 - Analyse part advection/conduction
 - Rôle réel de l'eau à approfondir
- Modélisation numérique 3D
 - Couplage écoulement global (ouvrage) + modèle analytique à l'échelle locale (tube)
 - Benchmark

Merci de votre attention !