

Cycle de formation Energie-Environnement
Université de Genève
25 octobre 2007



UNIVERSITÉ DE GENÈVE
CENTRE UNIVERSITAIRE D'ÉTUDE
DES PROBLÈMES DE L'ÉNERGIE

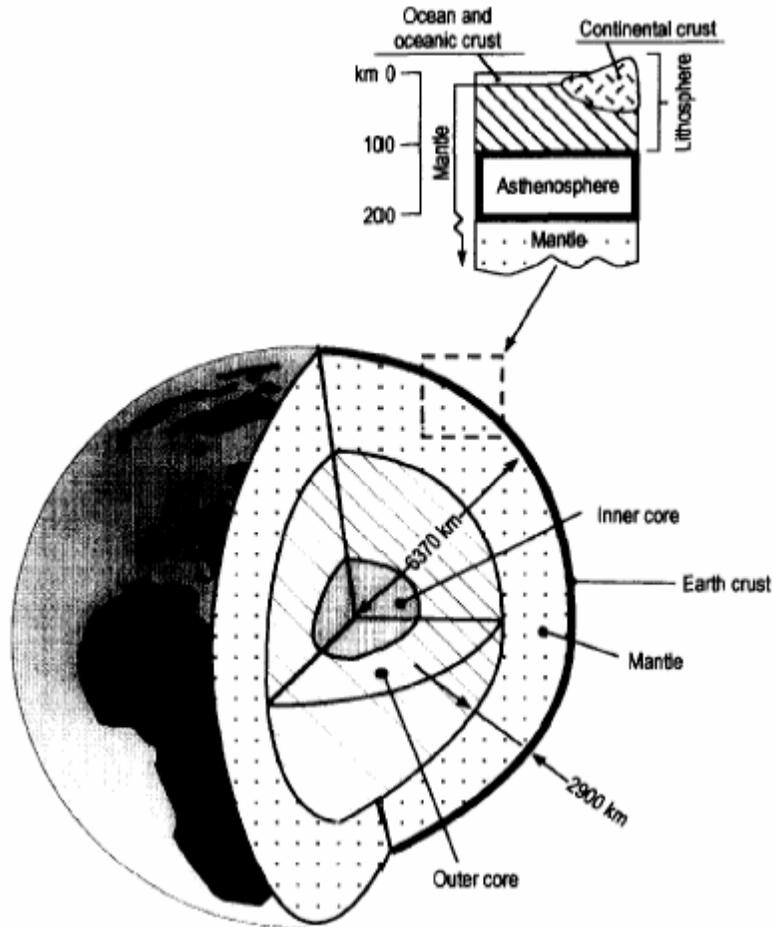
La géothermie de surface : principes, usages et contraintes

Pierre Hollmuller

Sommaire

- Gradient géothermique et géothermie profonde
- Température et géothermie de surface
- Sondes géothermiques
- Puits canadiens
 - Principe de fonctionnement
 - Rafraîchissement versus préchauffage
 - Etudes de cas
 - Outils de dimensionnement
- Conclusions

Gradient géothermique et géothermie profonde

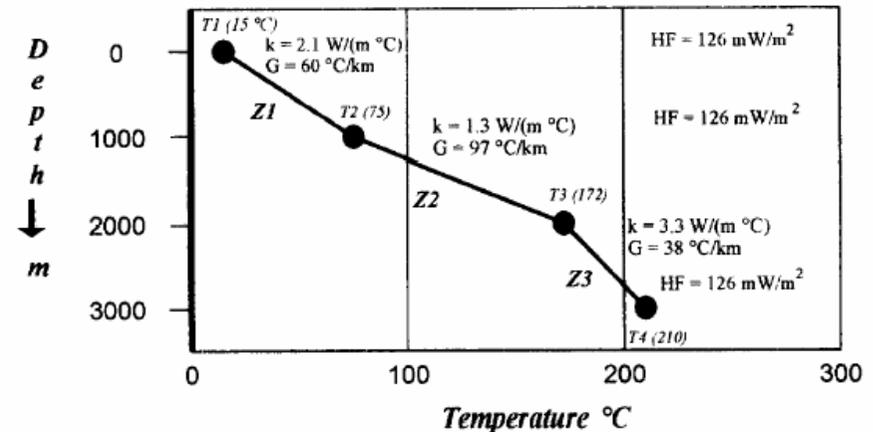


Flux géothermique (moyenne):

- 82 mW/m²

Gradient géothermique (moyenne):

- 0.03 K/m = 30 K/km
- 165°C à 5 km de profondeur



Rayonnement solaire hors atmosphère :

- 1367 W/m² perpendiculaire à la section du globe
- 340 W/m² perpendiculaire à la surface du globe (moyenne spatio/temporelle)

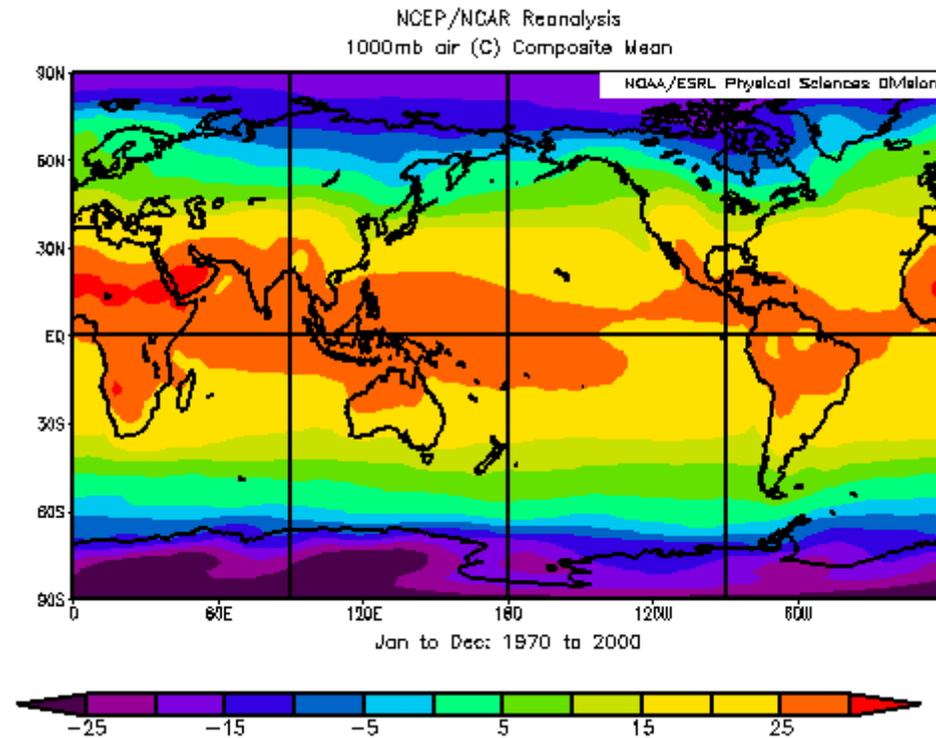
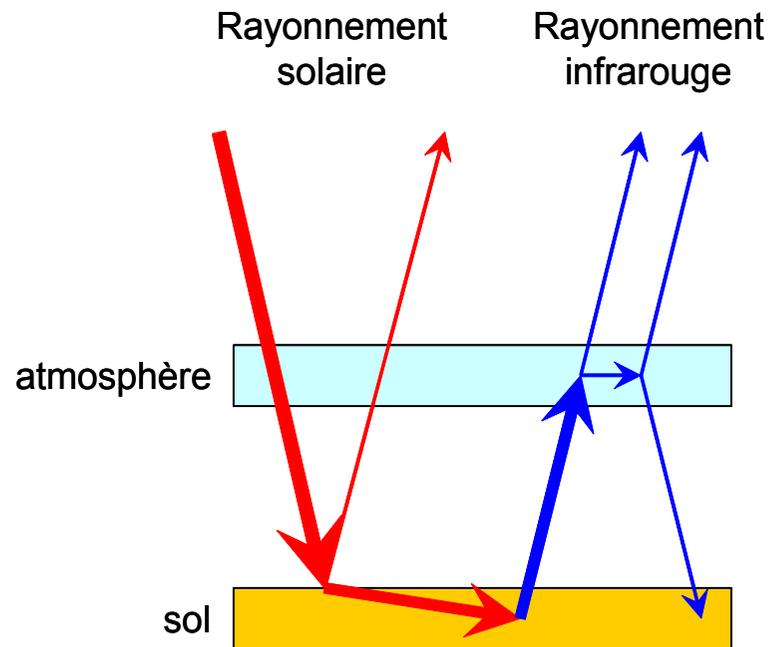
Barbier E. (1997). Nature and technology of geothermal energy: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews

Température et géothermie de surface

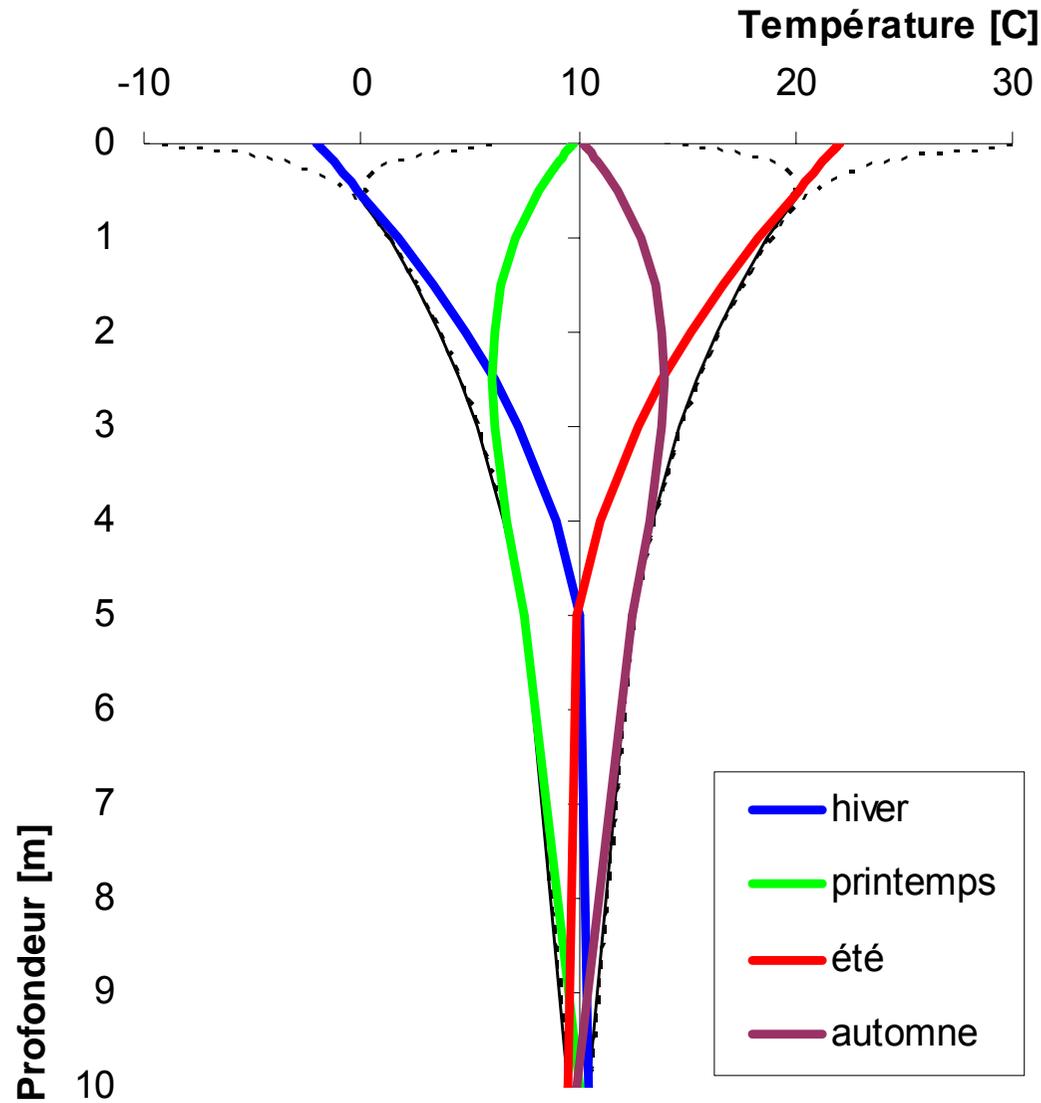
Bilan radiatif et température de surface

Modèle simplifié

- Absorption terrestre (visible) : 70%
- Absorption atmosphère (infrarouge) : 75%
- Température sol : 15°C
- Température atmosphère : -25°C



Température et géothermie de surface



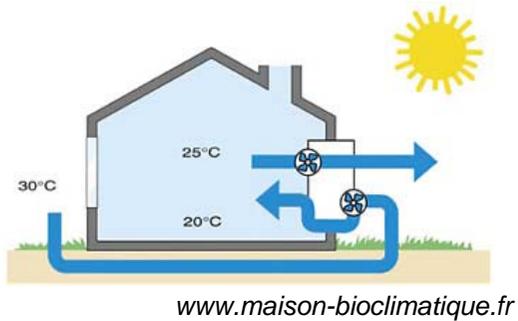
Profondeur de pénétration

$$\delta = \sqrt{\frac{a\tau}{\pi}} \quad a = \frac{\lambda}{c\rho}$$

Période	Pénétration
1 heure	3 cm
1 jour	17 cm
1 mois	90 cm
1 an	3 m
100 ans	32 m
10'000 ans	320 m

Température et géothermie de surface

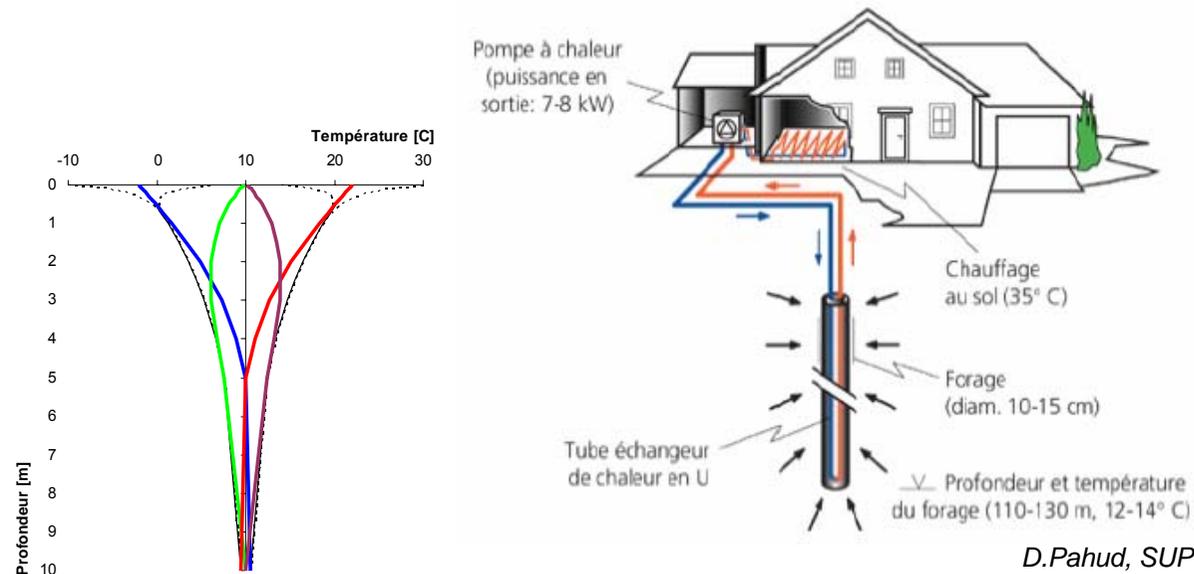
Puits canadien



- Disposition horizontale
- Profondeur : 50 cm à 3 m
- Effets saisonniers et journaliers
- Pérennité assurée par le climat en surface

- Cycle ouvert (air)
- Prestations été/hiver +/- indépendantes (cf. dimensionnement)

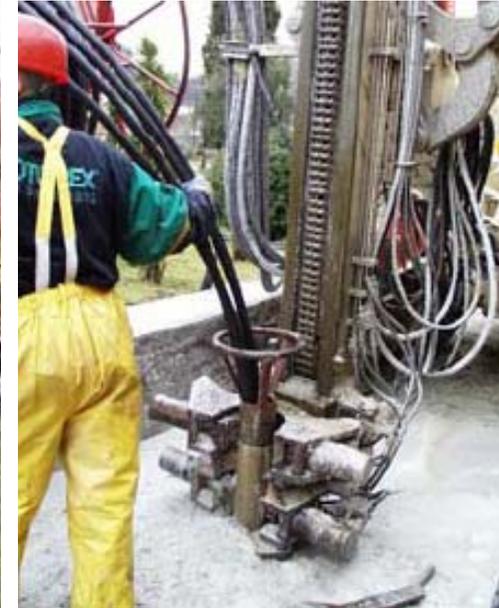
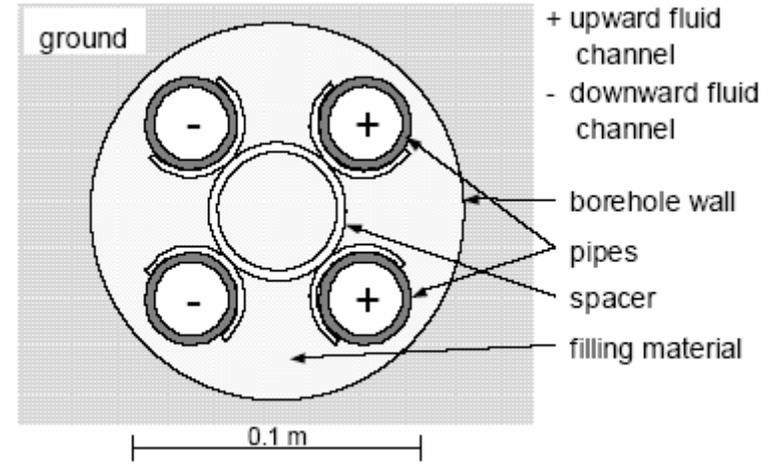
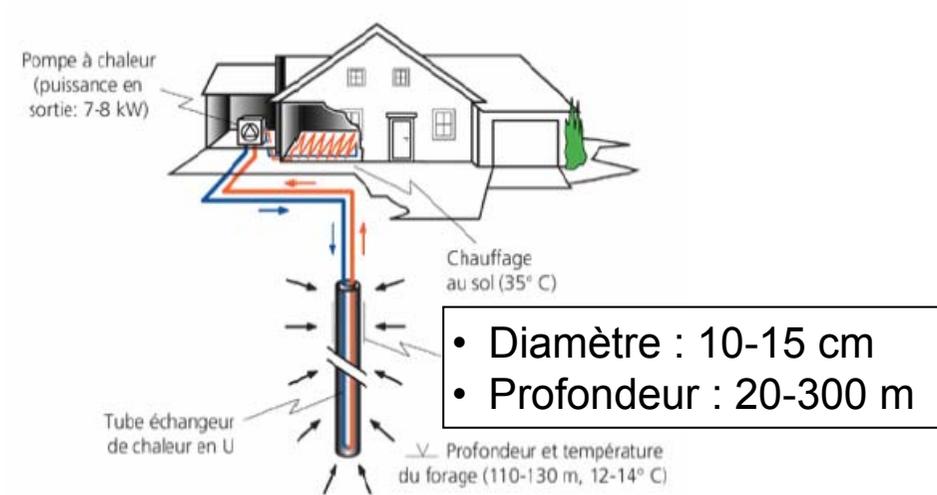
Sondes géothermiques



- Disposition verticale
- Profondeur : 5 à 200 m
- Température stable (moy. météo annuelle)
- Risque d'épuisement ou de saturation

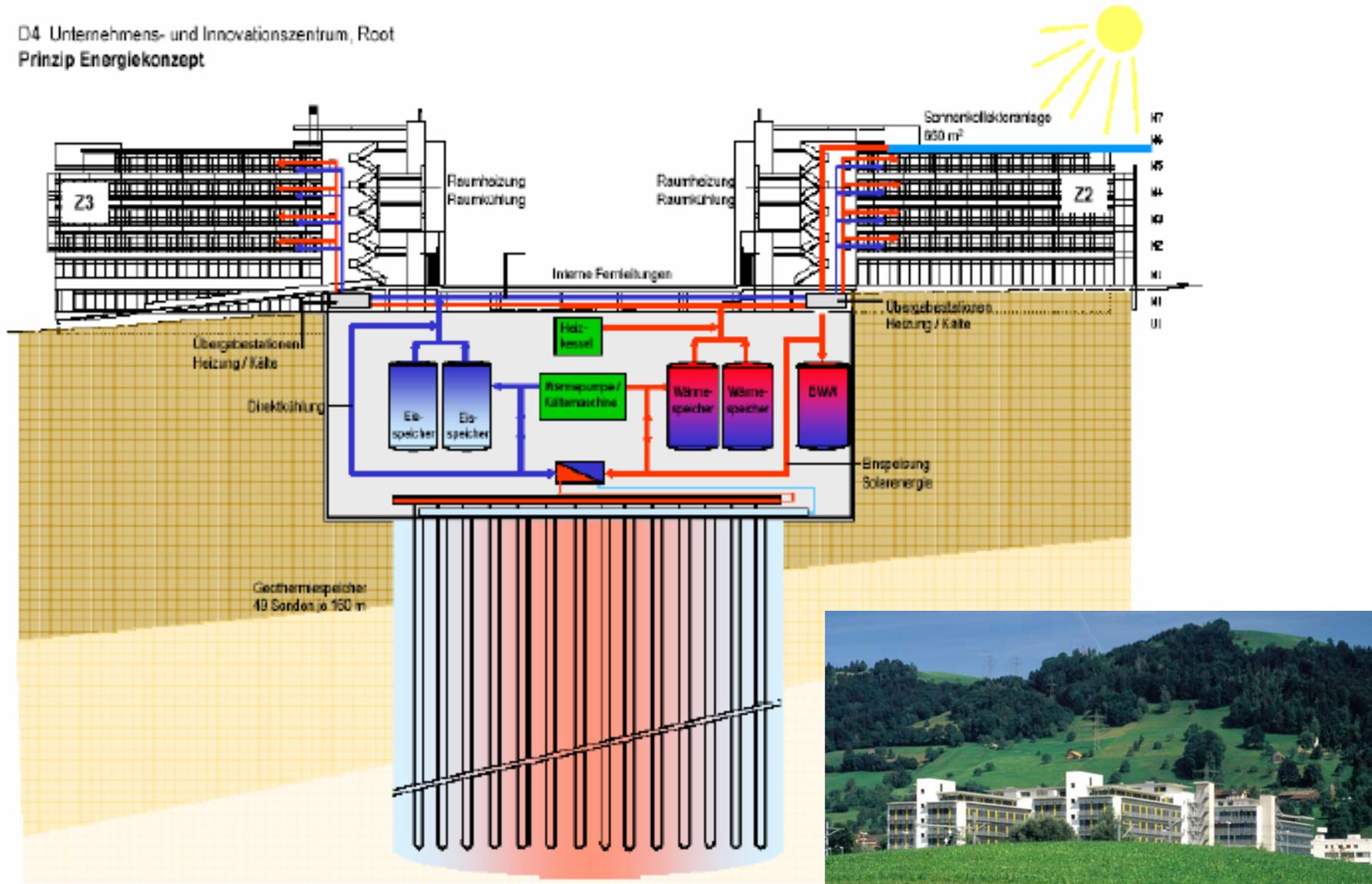
- Cycle fermé (eau) + pompe à chaleur
- Prestations été/hiver fortement liées

Sondes géothermiques



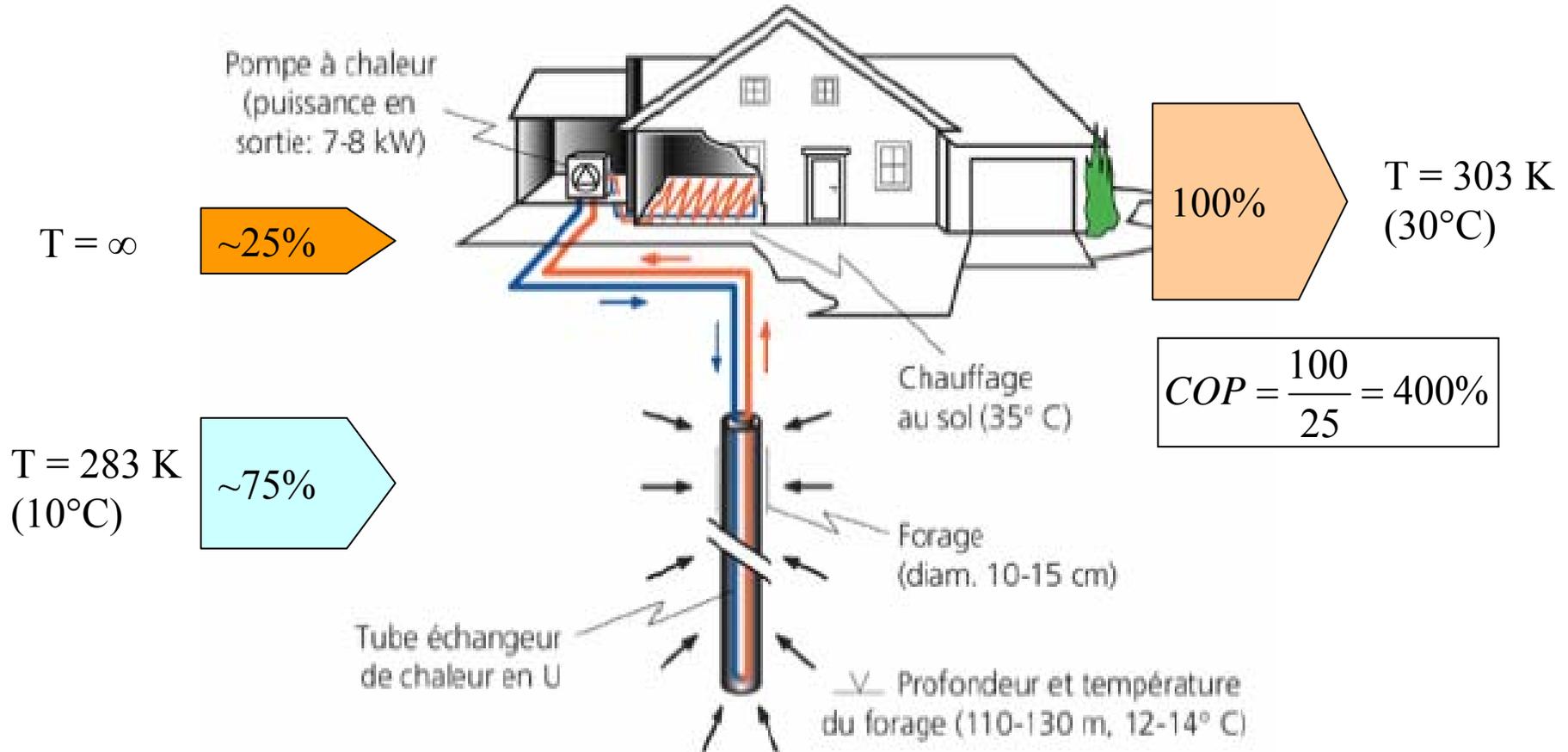
Sondes géothermiques

D4 Unternehmens- und Innovationszentrum, Root
Prinzip Energiekonzept



Sondes géothermiques

Mode chauffage (pompe à chaleur)

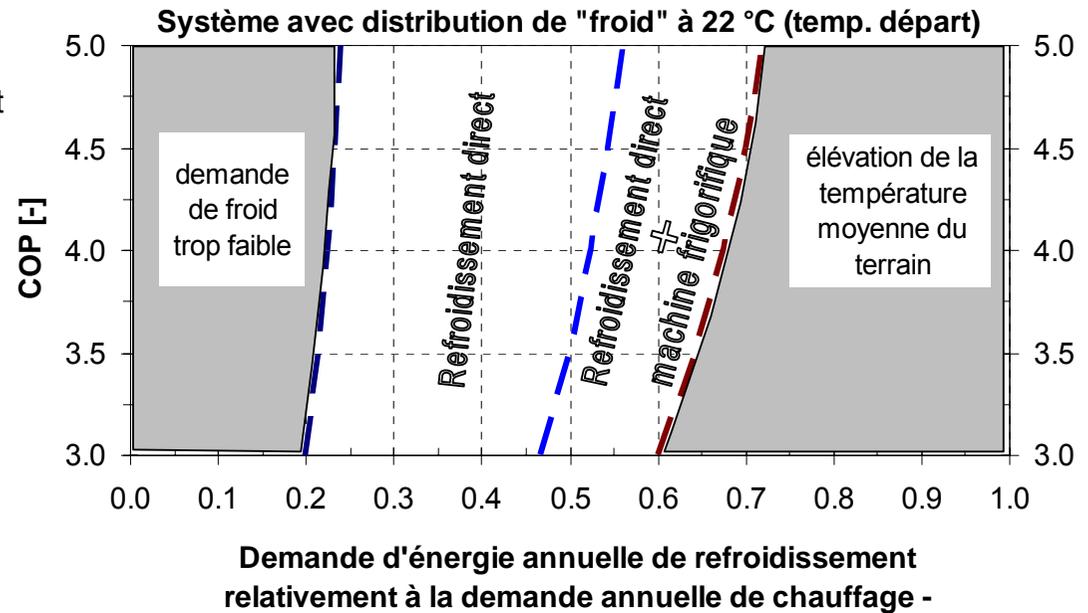
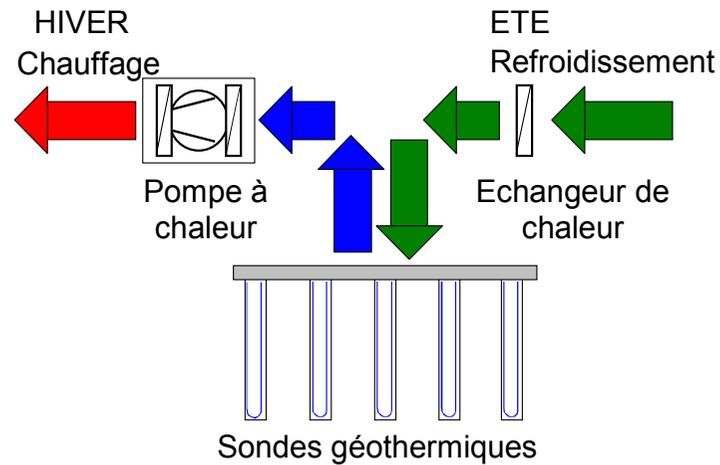


Bilan énergie primaire (centrale thermique) :

- Gaz : 100%
- Electricité : 33%
- Chaleur pompe à chaleur : $400\% \times 33\% = 130\%$

Sondes géothermiques

Mode chauffage/rafraîchissement



Fonctionnement été/hiver

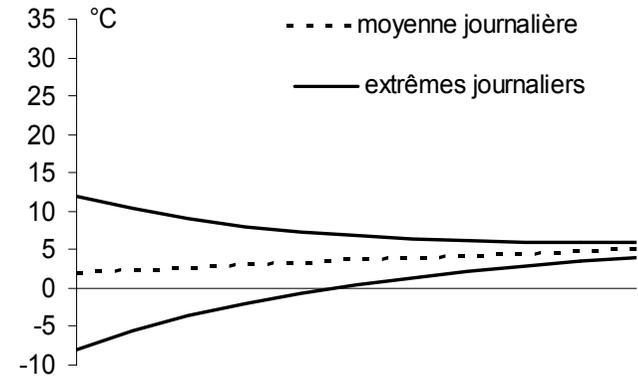
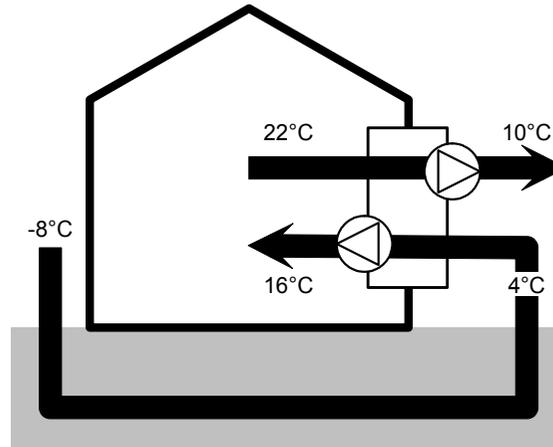
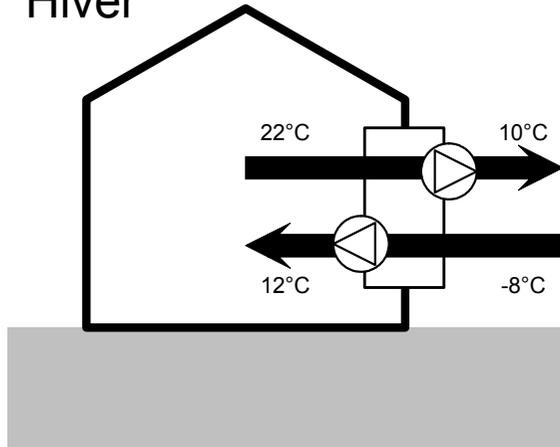
Exemple du bâtiment Wollerau :

- Chauffage : 40 W/m et 60 kWh/m
- Refroidissement : 10-13 W/m et 20-35 kWh/m

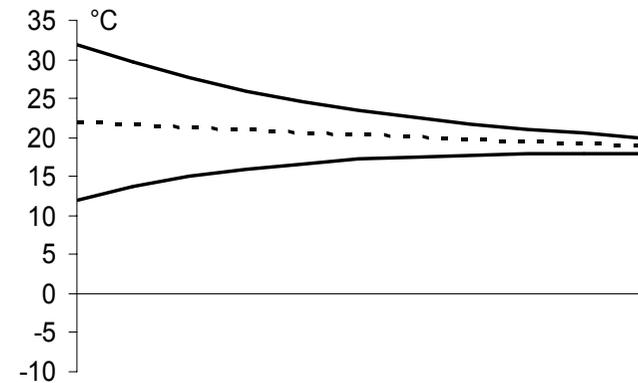
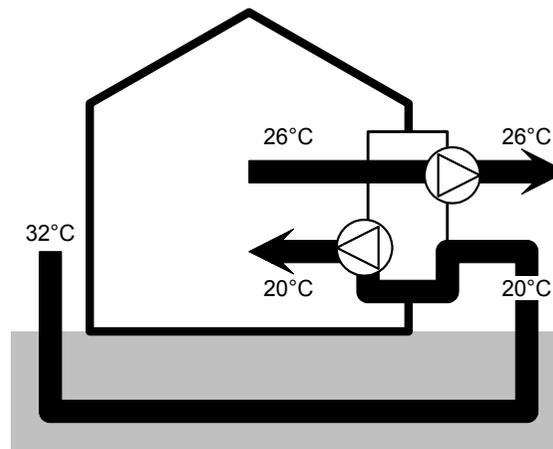
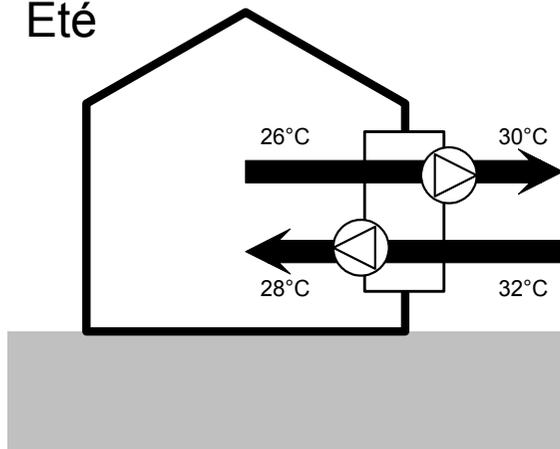
Puits canadiens

Puits canadien et ventilation contrôlée

Hiver

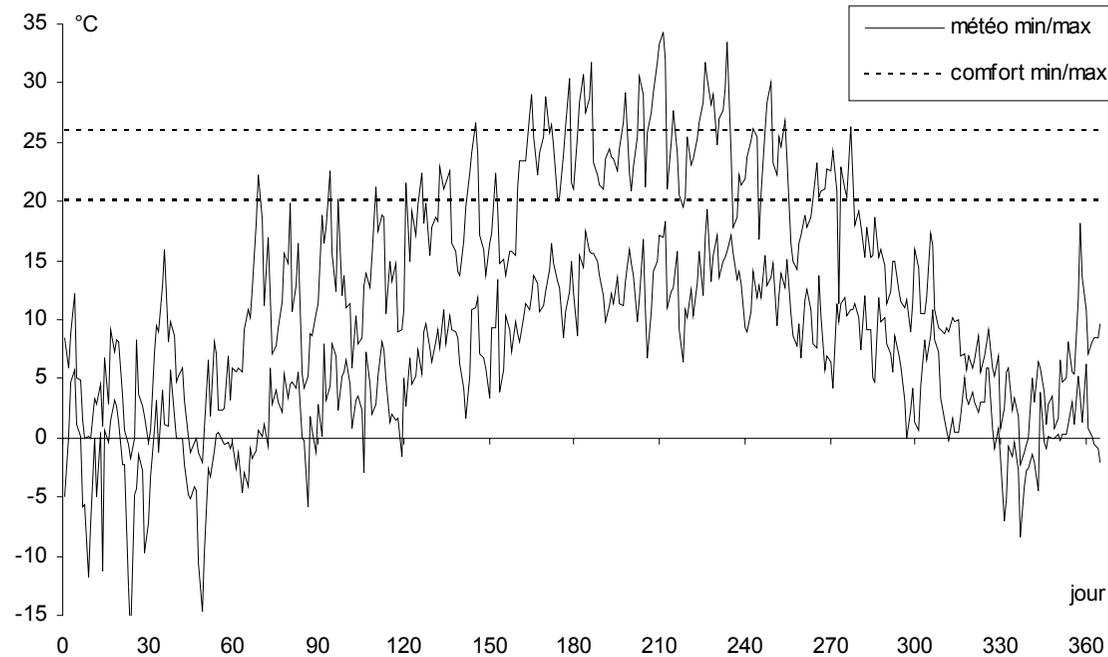


Eté



Rafrâichissement vs préchauffage

Contraintes annuelle et journalière



Hiver

- Amortissement annuel nécessaire
- Préchauffage
- Débit minimum (aération)
- Concurrent : pétrole

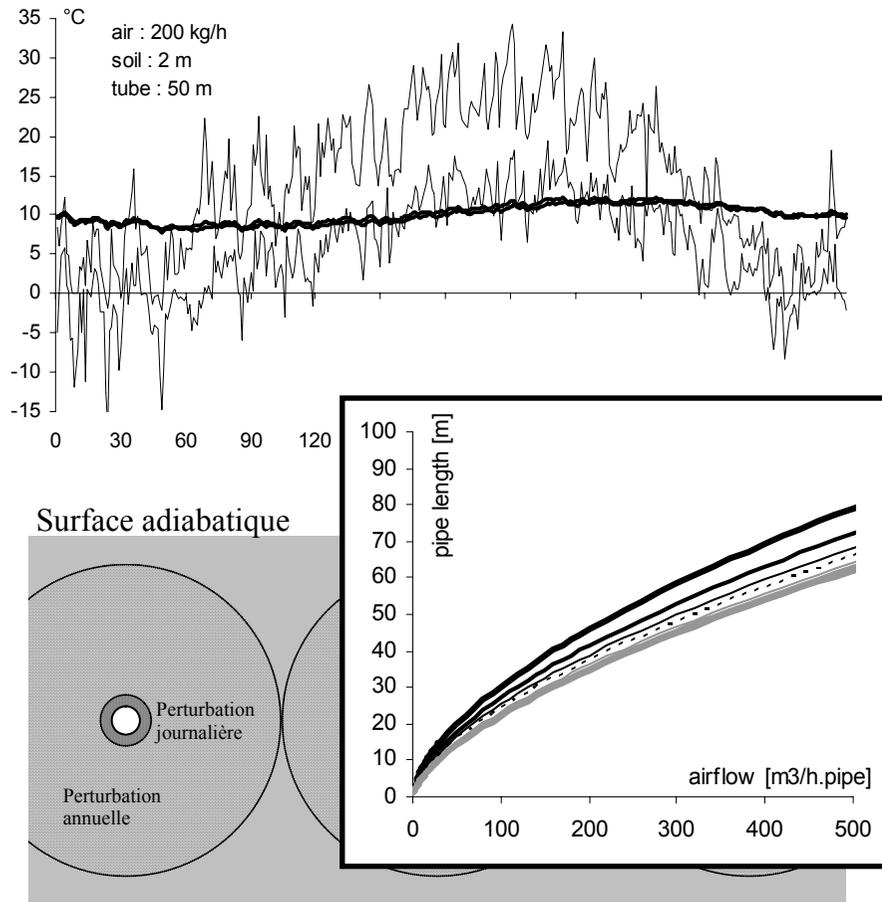
Eté

- Amortissement journalier suffisant
- Rafrâichissement "complet"
- Croissement du débit (ventilation)
- Concurrent : électricité

Rafrâichissement vs préchauffage

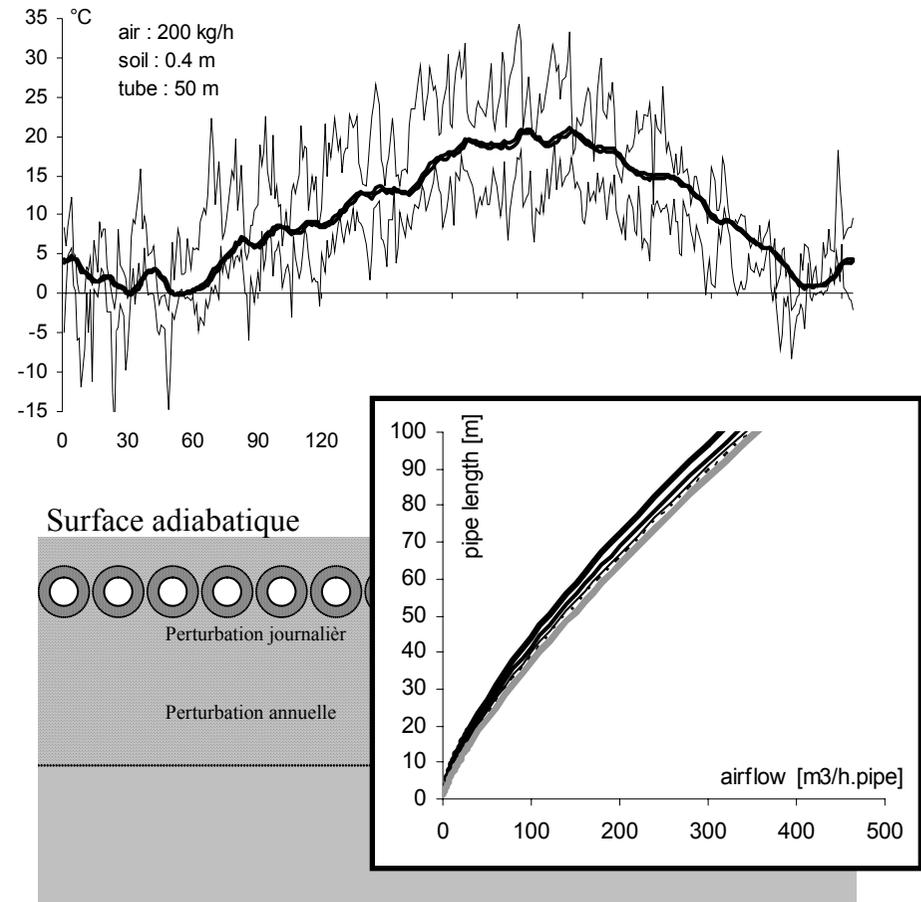
Amortissement annuel

Tubes profond / écartés



Amortissement journalier

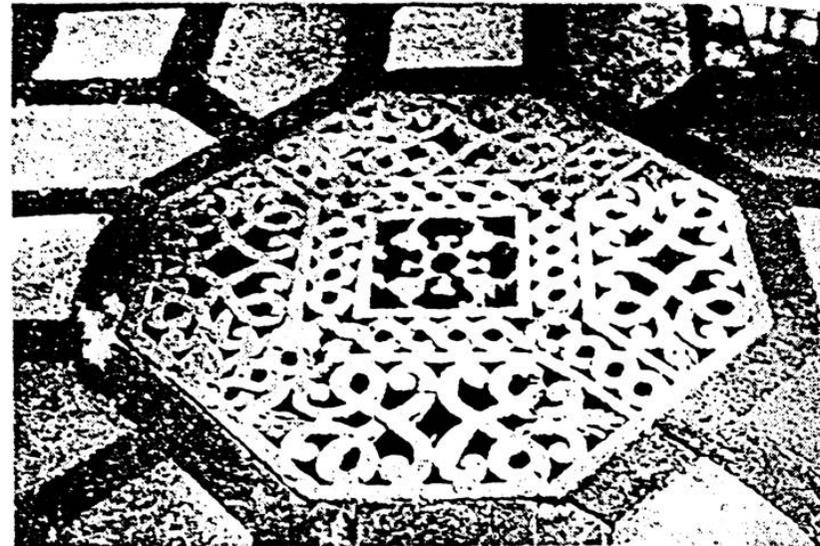
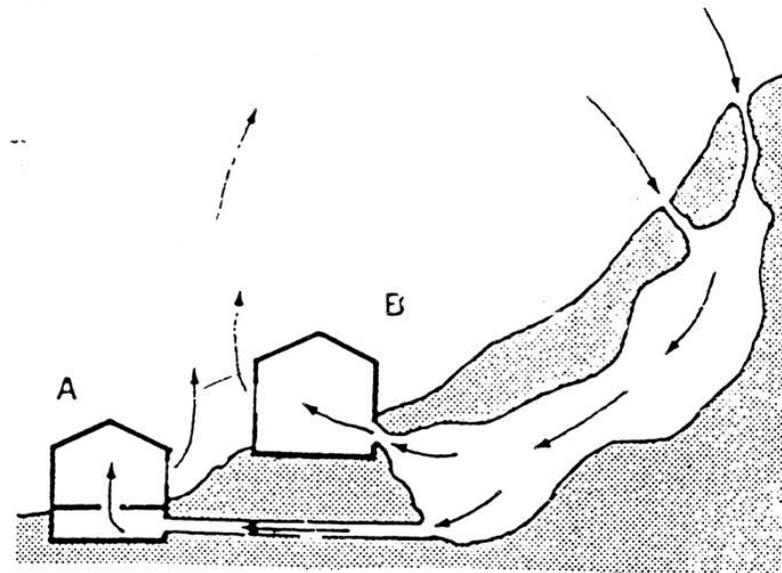
Tubes superficiels / serrés



Etudes de cas

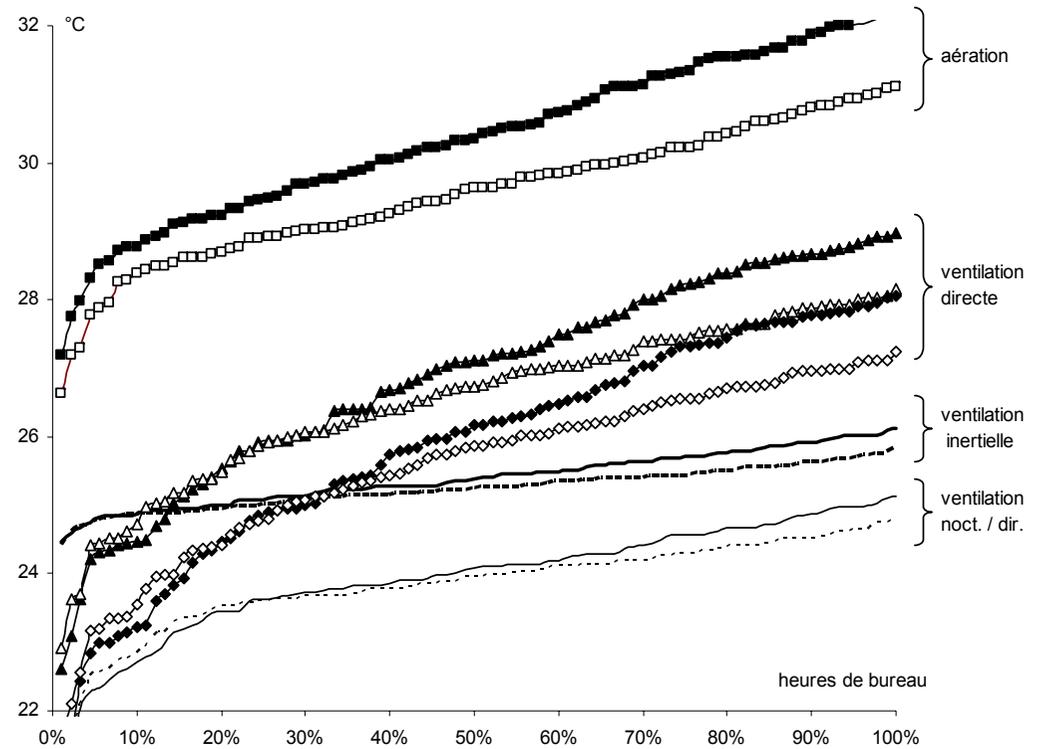
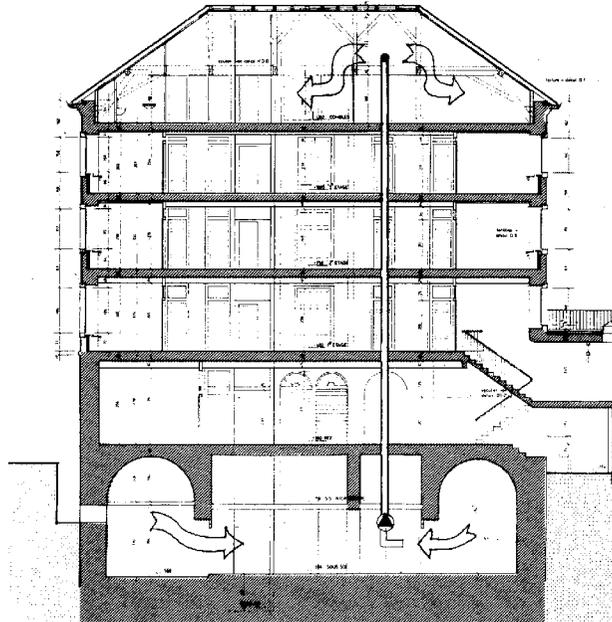
« Covolo a venti » Vicenza XVIème

- T ext : 18 à 32 °C
- T caves : 14 °C
- T bâtiment : 20 à 22 °C



Etudes de cas

Bâtiment Aymon (Sion, VS)

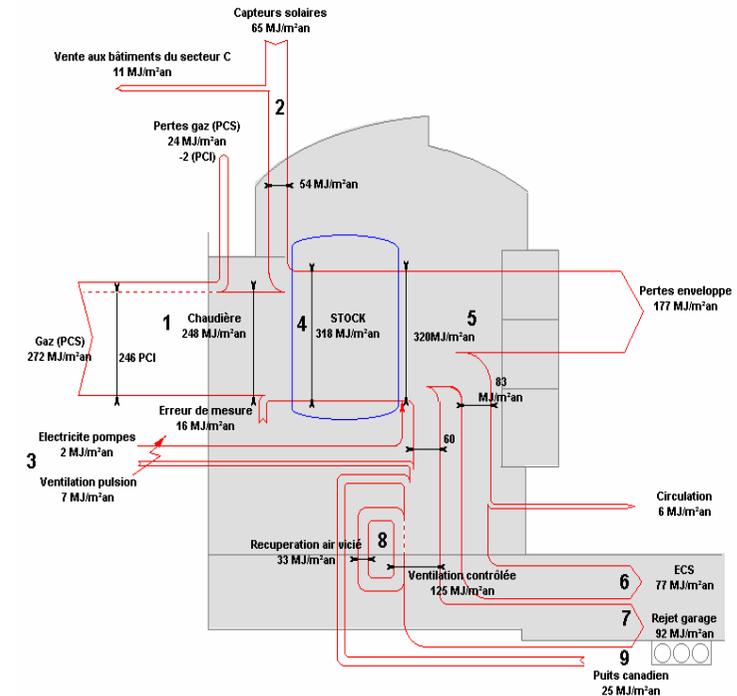
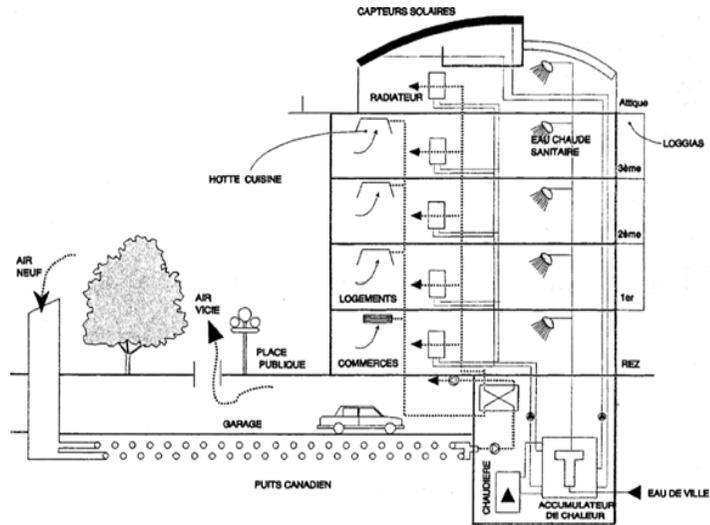


Mises en évidence

- Fort effet de rafraîchissement
- Robustesse des solutions simples
- Notion de ventilation inertielle (délocalisation de la masse thermique)
- Reproductibilité / optimisation

Etudes de cas

Cité solaire (Plan-les-Ouates, GE)



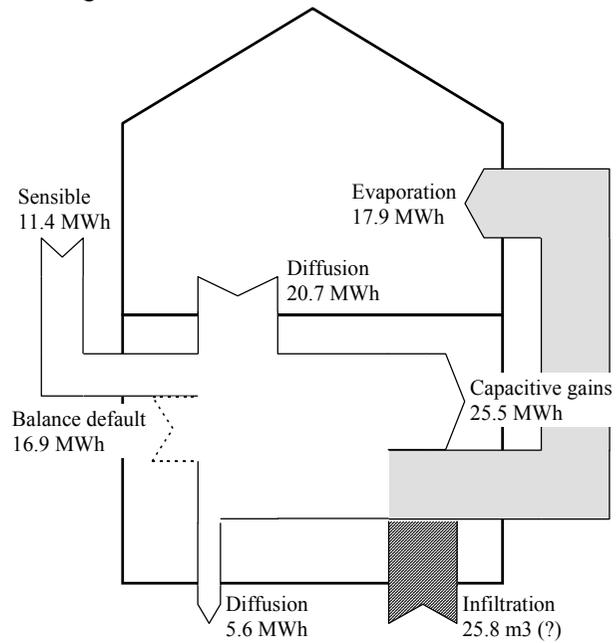
Mises en évidence

- Préchauffage faible pour surcoût important
- Couplage entre échangeur air/sol et récupérateur sur air vicié

Etudes de cas

Schwerzenbacherhof (ZH)

Monitoring : summer

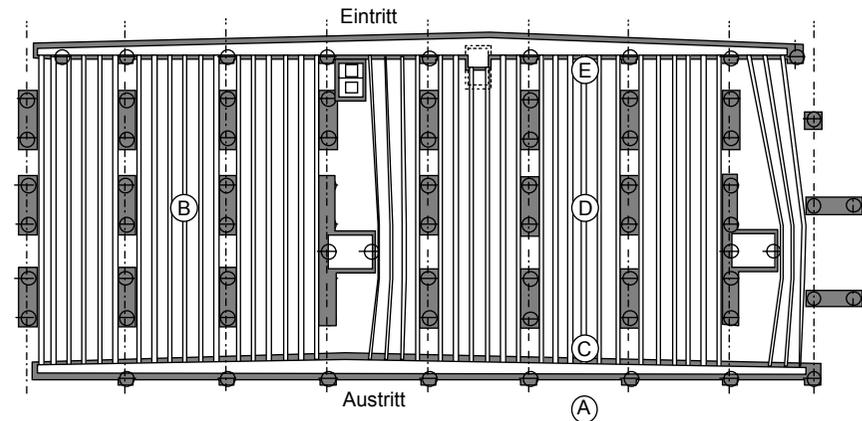


Mises en évidence

- Rafrâchissement par surventilation
- Possibles infiltrations d'eau
- Couplage entre bâtiment et échangeur air/sol

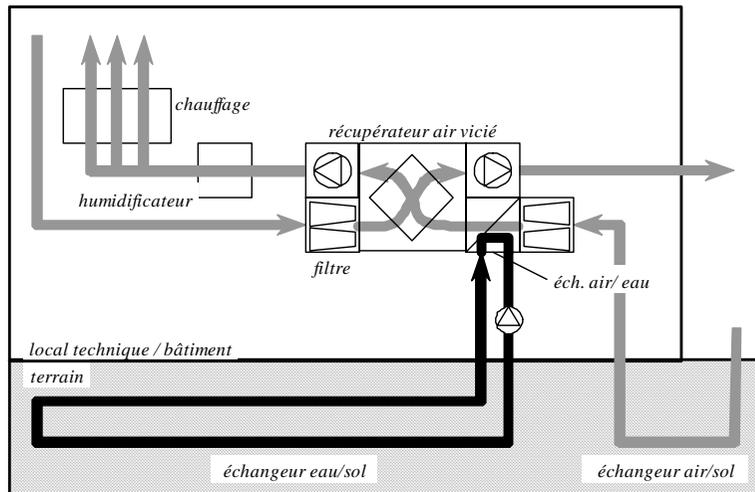
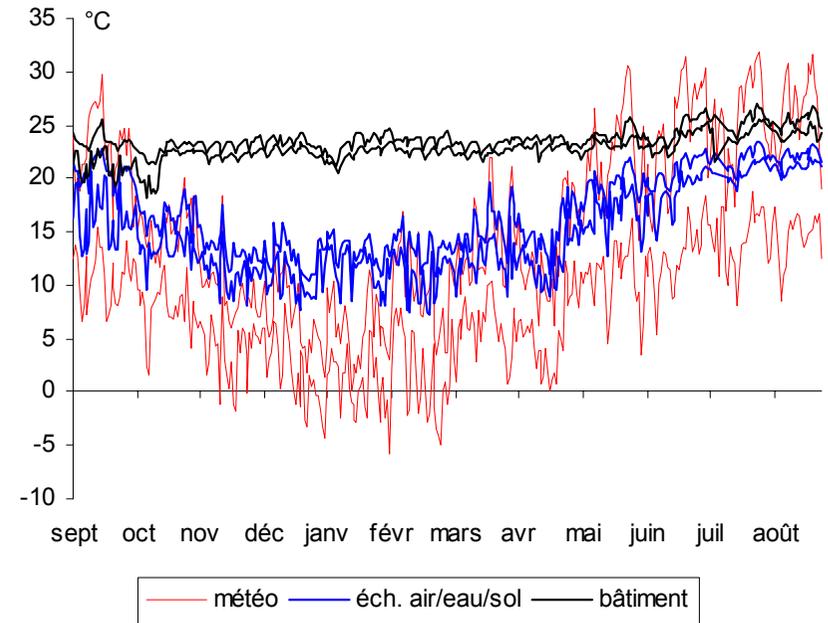


0 5 10 15 20 25 30m



Etudes de cas

Immeuble Perret SA (Satigny, GE)



Mises en évidence

- Préchauffage : perte énergétique due au couplage entre bâtiment et échangeur air/sol
- Différentiation des effets journaliers et saisonniers

Etudes de cas

Couplage avec récupérateur et bâtiment

Exemple " Perret "

Récupérateur 3.1 MWh

Ech. terrestre + Récup. - Δ Diffusion

$$2.1 + 2.1 - 1.6 = 2.6 \text{ MWh}$$

"Gain" net : -0.5 MWh

De façon générale :

Sous un bâtiment mal isolé, risque de perte au lieu de gain énergétique !

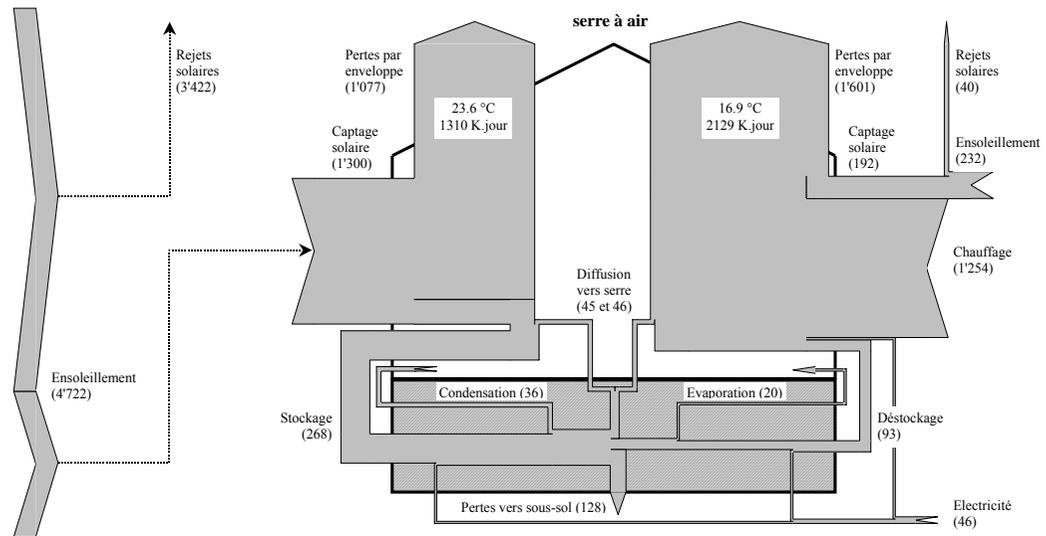
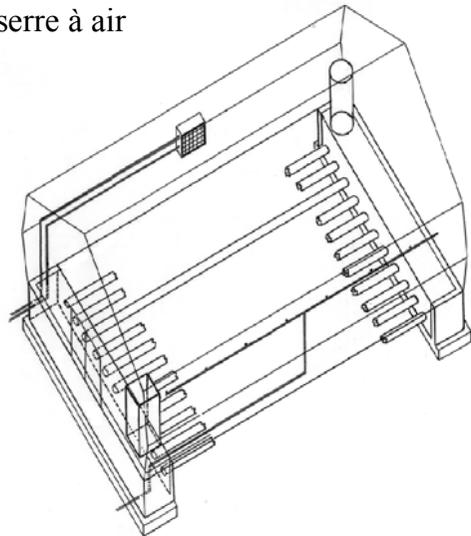
Etudes de cas

Geoser (Conthey, VS)



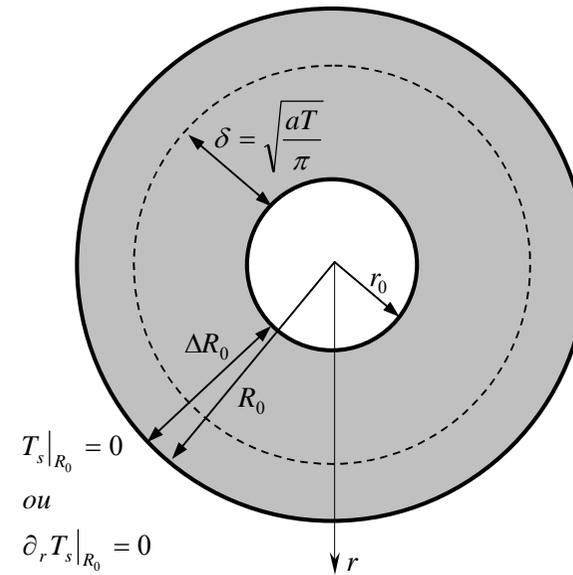
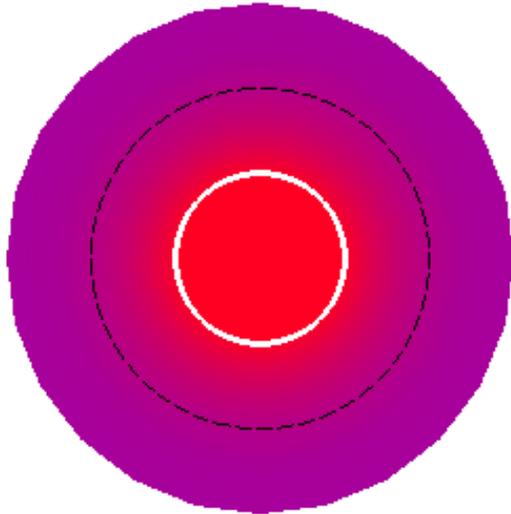
- Mises en évidence
- Importance de la sur-consommation électrique
 - Couplage entre serre et échangeur air/sol
 - Stockage diffusif vs convectif

serre à air



Dimensionnement

Modélisation analytique



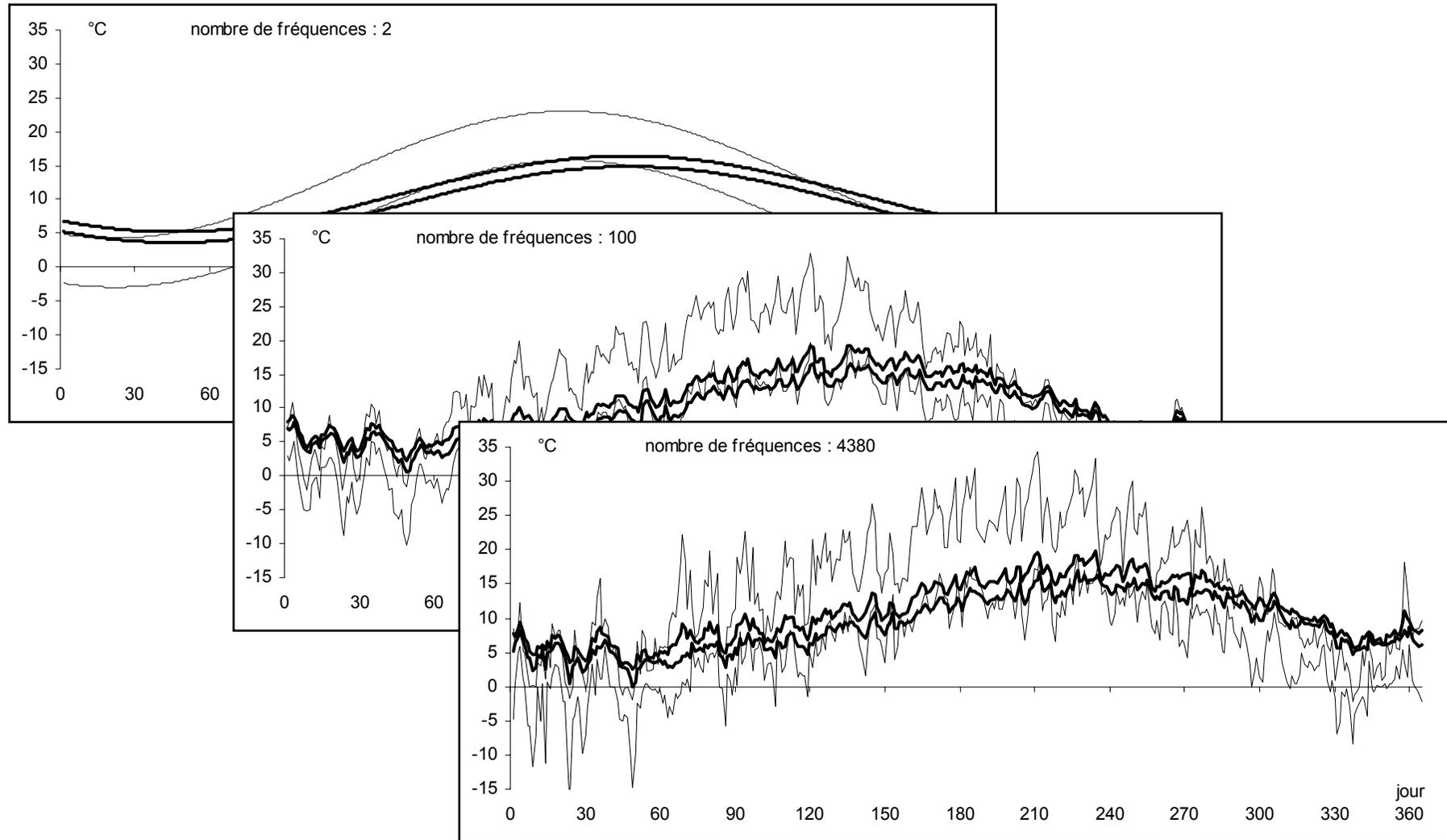
$$a_s \left(\partial_r^2 T_s + \frac{1}{r} \partial_r T_s \right) = \partial_t T_s$$

$$c_a \dot{m}_a \left(\partial_x T_a + \frac{1}{v_a} \partial_t T_a \right) = 2\pi r_0 h_a (T_s|_{r=r_0} - T_a)$$

$$\lambda_s \partial_r T_s|_{r=r_0} = h_a (T_s|_{r=r_0} - T_a)$$

Dimensionnement

Outil de prédimensionnement

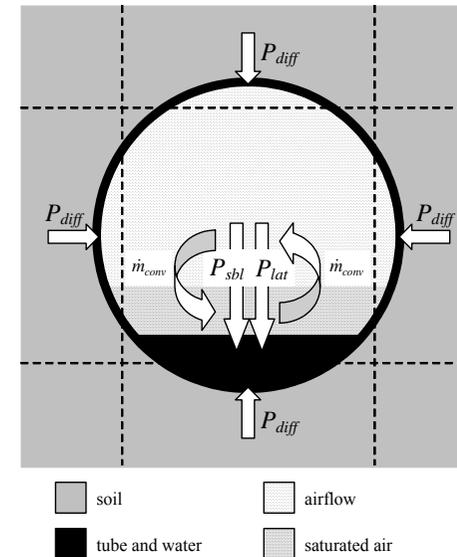
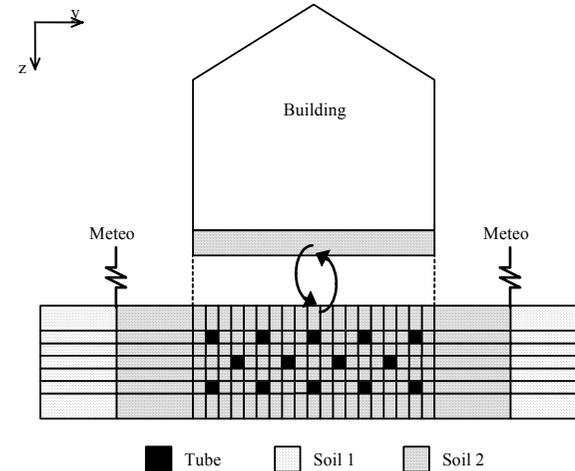


Dimensionnement

Simulation numérique

Modèle

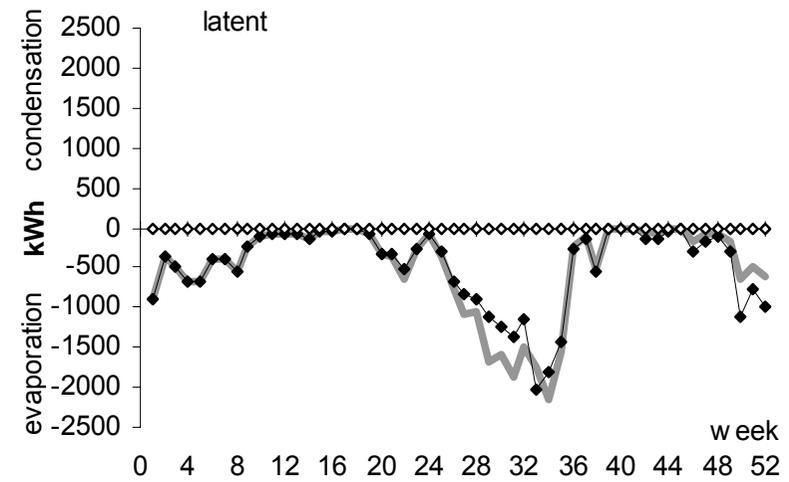
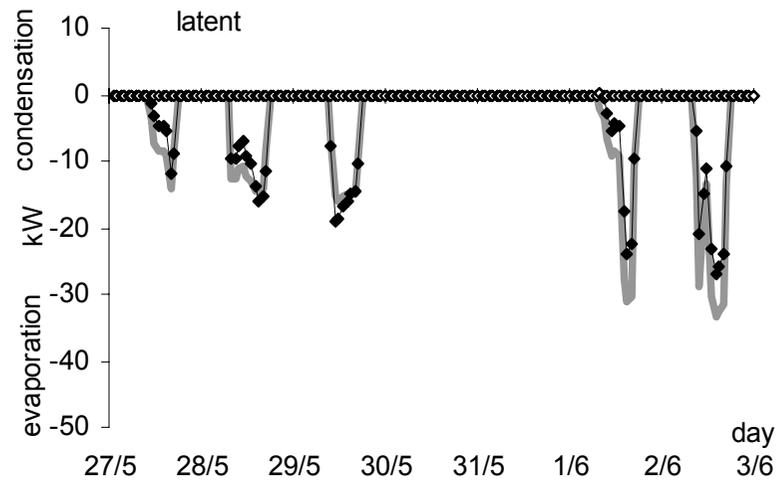
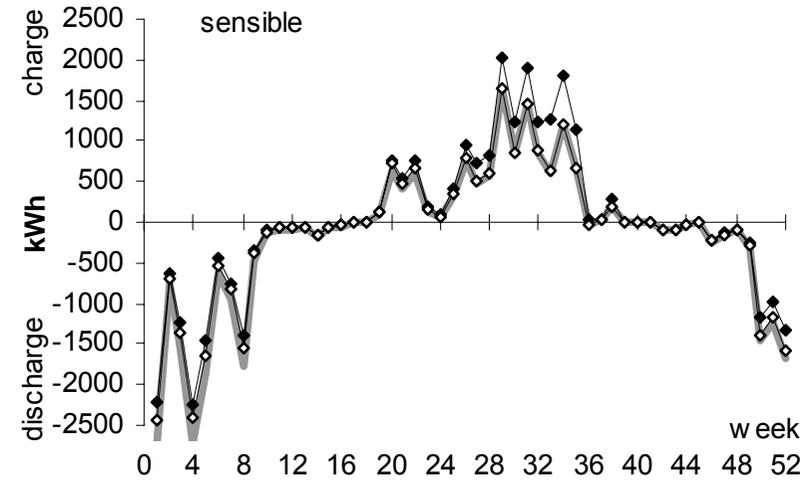
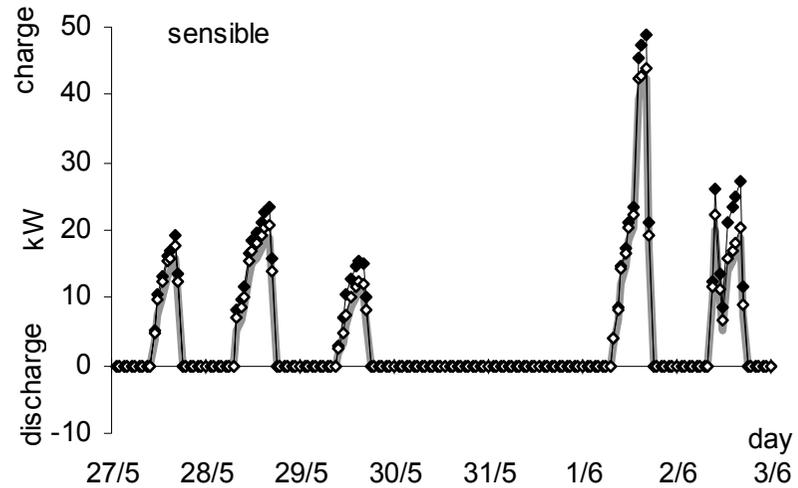
- Géométrie flexible (sols inhomogènes, divers types de conditions aux bords)
- Diffusion de chaleur en 3 dimensions
- Echanges sensibles et latents (condensation/evaporation)
- Possibilité de traiter l'infiltration d'eau
- Pertes de charges
- Sens et débit variable
- TRNSYS - compatible



Dimensionnement

Simulation numérique

Validation vs. mesures



Conclusions

Géothermie de surface

- Basse température (température moyenne journalière / annuelle)
- Grand potentiel, fortes contraintes
- Fort couplage thermique avec le bâtiment
- Importance de bilans globaux (concept énergétique)
- Soins des détails
- Développement diffus / décentralisé (=> information / formation)
- Potentiel des ouvrages publics / concepts énergétiques de quartier