

Construction du centre périscolaire du Pont-de- Beauvoisin (73)

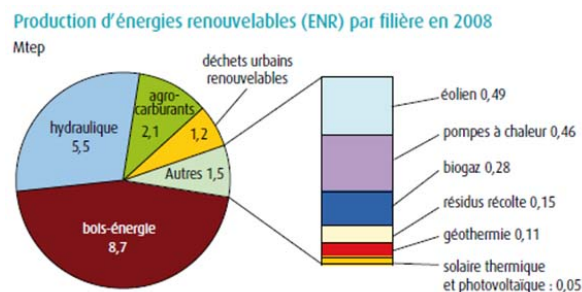


Dossier technologique et scientifique

Contexte

Objectif RT 2012: Diviser ainsi par 3 le niveau maximal de consommation fixé par la précédente RT 2005, soit une consommation maximale de 50 kWh/m².

Solution: les énergies renouvelables



Le bureau d'étude TEB a souhaité approfondir ses connaissances dans les systèmes de géothermie dite « basse énergie »

Pourquoi utiliser la géothermie basse énergie?

Energie gratuite et infinie à notre échelle de temps.

Température constante

SOMMAIRE

Partie 1: Présentation du projet

Partie 2: Simulation thermique dynamique

Partie 3: Etude des pieux géothermiques

Partie 4: Etude des sondes géothermiques verticales

Conclusion

Exploitation pédagogique

Partie 1: Présentation du projet

1. Présentation des intervenants

Bureau d'étude thermique et fluide

Techniques **E**nergétiques du **B**âtiment
Z.A La Piche Valmorge 38430 MOIRANS

Directeurs: Joel Rivail et Richard Lespinasse

Encadrant au sein de l'entreprise: **Sylvain Hernandez**, ingénieur fluide

Cabinet d'Architecture

Erick Catelan
38490 Les Abrets

Bureau d'étude géotechnique

EG SOL

CHAMBERY ANTENNE DAUPHINE SAVOIE



2. Cahier des charges

Objectifs

1. Dimensionner le réseau de pieux géothermiques permettant d'assurer uniquement les besoins en chauffage. (ECS assurée par chaudière gaz et PAC réversible pour le rafraîchissement)
2. Identifier les paramètres favorables à ce type de solution



Documents fournis par l'entreprise:

- Plans autocad du bâtiment
- Bilans des besoins
- DPGF du lot chauffage
- Rapport de sol

B.P.G.F. Estimation du "Chauffage - ECS" - Plancher - Isolation"

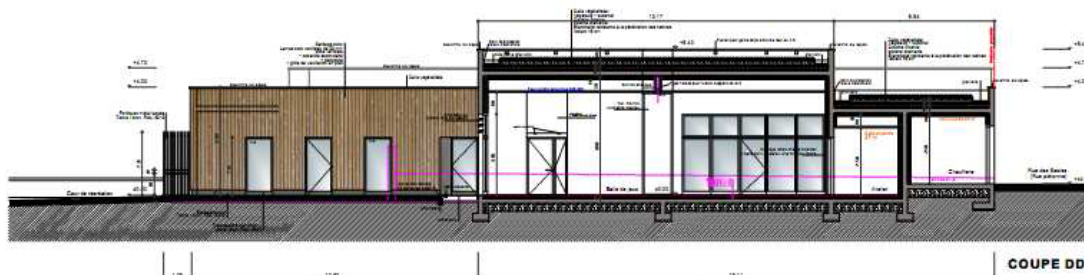
Lot	Quantité	Unité	Prix Unit.	Prix Total
AL CHAUFFAGE				
0.01 Eau				
Boiler en place du radiateur gaz G.C.P.	100	m³	100	100
Tube gaz 100/400 soudé C.C.T.P.	100	m	40	4000
Bouilloire temps gaz soudé C.C.T.P.	100	m	200	20000
Traverse gaz 100/400 soudé C.C.T.P.	100	m	40	4000
L'ensemble de la signalétique soudé C.C.T.P.	100	m	100	10000
AL.01 Chauffage				
Chaudière complète soudé C.C.T.P.	100	m	1000	100000
AL.02 Ventilation haute et basse				
Grille pour plan 30x200 soudé C.C.T.P.	100	m	100	10000
Traverse 400/100 soudé C.C.T.P.	100	m	40	4000
Conduite isolée 400/100 soudé C.C.T.P.	100	m	40	4000
Chapeau chaudière soudé C.C.T.P.	100	m	40	4000

3. Description du projet

Caractéristiques du projet actuellement en construction

Implantation en milieu urbain
SHON de 540 m² (salle de restauration, garderie, salle de jeux, cuisine, accueil, sanitaires)

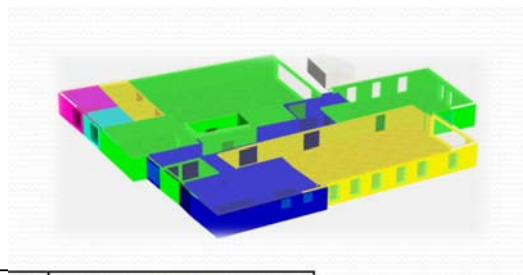
Architecture bioclimatique



Partie 2 : Simulation thermique dynamique

1. Paramètres d'entrée

Zonage



Températures

Pièces	HIVER	ETE
Principales (garderie, jeux)	21 °C	24°C
Secondaires (accueil, circulation..)	19°C	25°C
Entretien	Non chauffé	Non rafraichi

Occupation

Ouverture du lundi au vendredi de 7h à 19h, sauf au mois d'aout et les jours fériés:

7h-9h30 : 50 personnes

9h30-11h30 : 10 personnes

11h30-14h : 100 personnes

14h-16h : 10 personnes

16h-19h : 50 personnes

Partie 2 Simulation thermique dynamique

2. Bilan des besoins

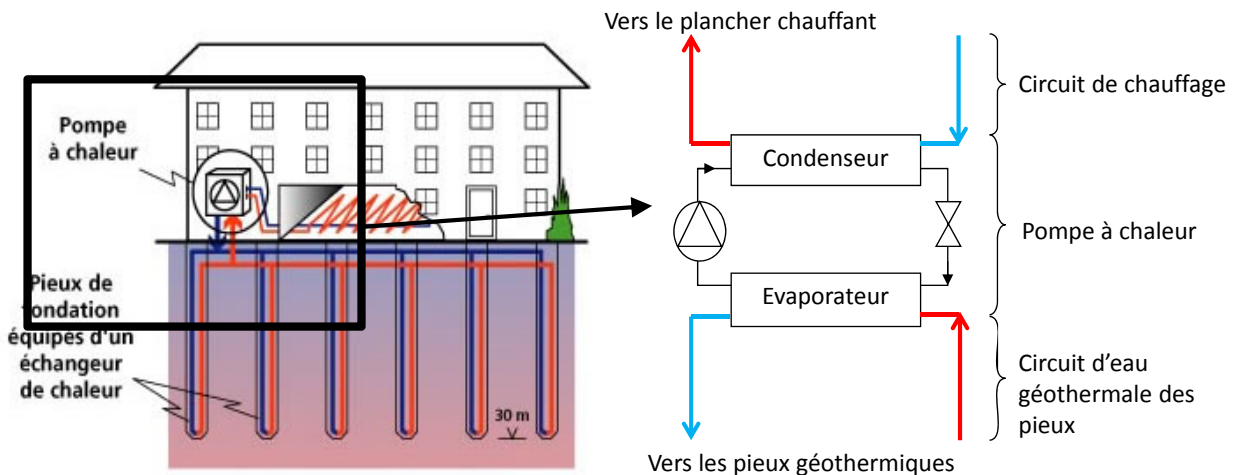
	Simulation Comfie Pleiades RT2012	Simulation entreprise Visual TTH RT2005
Chauffage	17822 kWhep	18205 kWhep
Climatisation	17154 kWhep	0 kWhep
ECS	13481 kWhep	13765 kWhep
Eclairage	-	14859 kWhep
Auxiliaires	-	20146 kWhep

$$\mathbf{Cep = 152,5 \text{ kWhep/m}^2 > \mathbf{Cmax = 93,5 \text{ kWhep/m}^2}}$$

Partie 3: Etude des pieux géothermiques

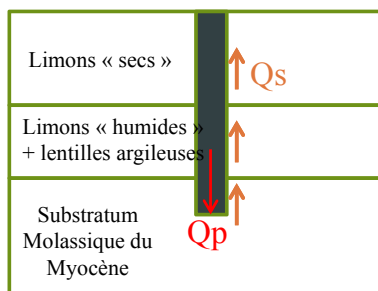
1. Présentation de la solution

Le **pieu géothermique** est un pieu de fondation dans lequel on vient insérer des capteurs géothermiques qui récupèrent le flux géothermique via un fluide caloporteur.



Partie 3 Etudes des pieux géothermiques

2. Résultats obtenus



Pieux de fondation:

8 pieux
D=40 cm
L=10 m

Sondes:

17 sondes en U / pieu
D=2.2 cm

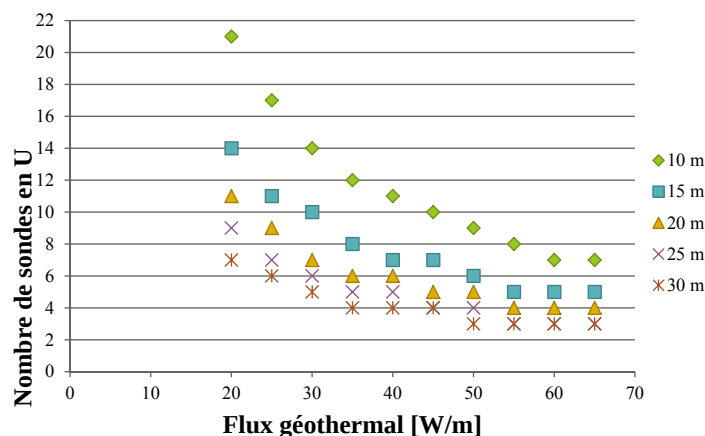
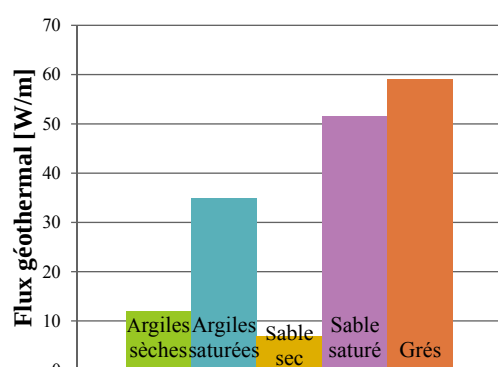
Solution de pieux géothermiques difficilement envisageable

- Surdimensionnement du diamètre pour conserver la résistance
- Profondeur de pieu trop faible => La température entre 0 et 10 m n'étant pas constante, il est impossible de garantir une entrée et sortie d'eau constante dans l'évaporateur (variation du COP)

3. Compléments donnés à l'entreprise

Solution de pieux géothermiques envisageable dans les cas suivants:

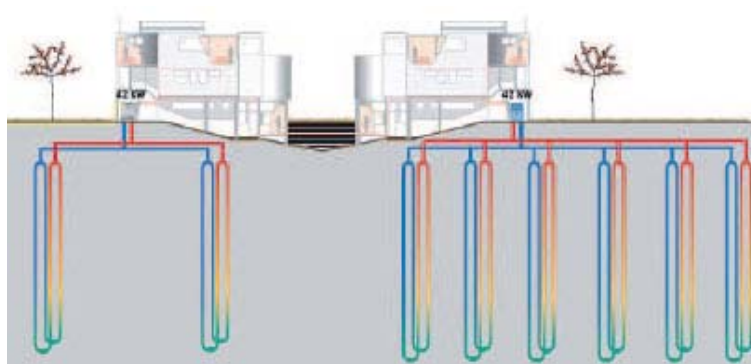
- Longueurs de pieux supérieures à 20m
- Forte diffusivité du sol (sol humide)
- Espacement minimal possible entre pieu de 10 m.



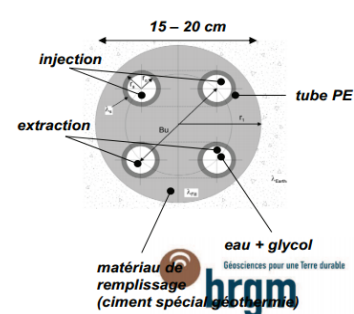
Année 2013- Dossier technologique

11

Partie 4: Capteurs géothermiques verticaux



Disposition des tubes au sein du forage



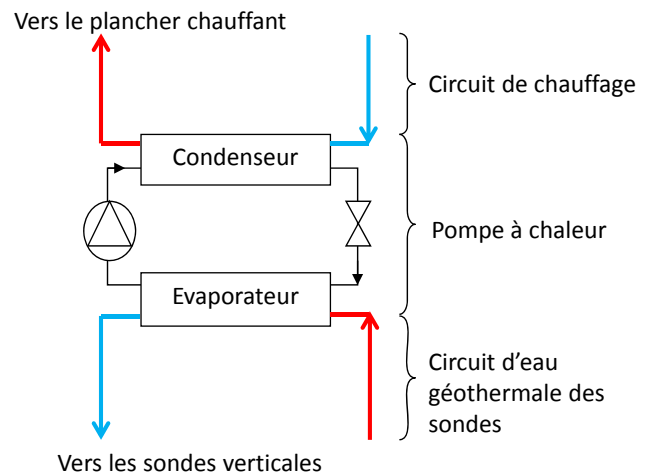
Objectif: Atteindre des profondeurs jusqu'à 100 m où la température est constante (12°C)

Année 2013- Dossier technologique

12

Axes d'étude

1. Plancher chauffant
2. Pompe à chaleur
3. Circuit géothermal



Valeurs indicatives générales

Sous-sol de mauvaise qualité (sédiment sec) ($\lambda < 1,5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$)	25 W/m
Sous-sol rocheux normal et sédiment saturé en eau ($\lambda = 1,5 - 3,0 \text{ W/m} \cdot \text{K}$)	60 W/m
Roche compacte à conductibilité thermique élevée ($\lambda > 3,0 \text{ W/m} \cdot \text{K}$)	84 W/m

Année 2013- Dossier technologique

13

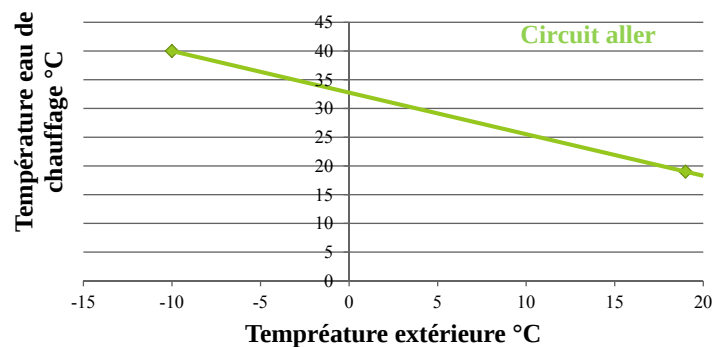
1. Plancher chauffant

Régime de température: 40/25



T max surface= 28°C

Loi d'eau plancher chauffant



$$Q_{m,eau} = \frac{P}{C_p \cdot (T_{entrée} - T_{sortie})} = 1.0 \text{ kg/s}$$

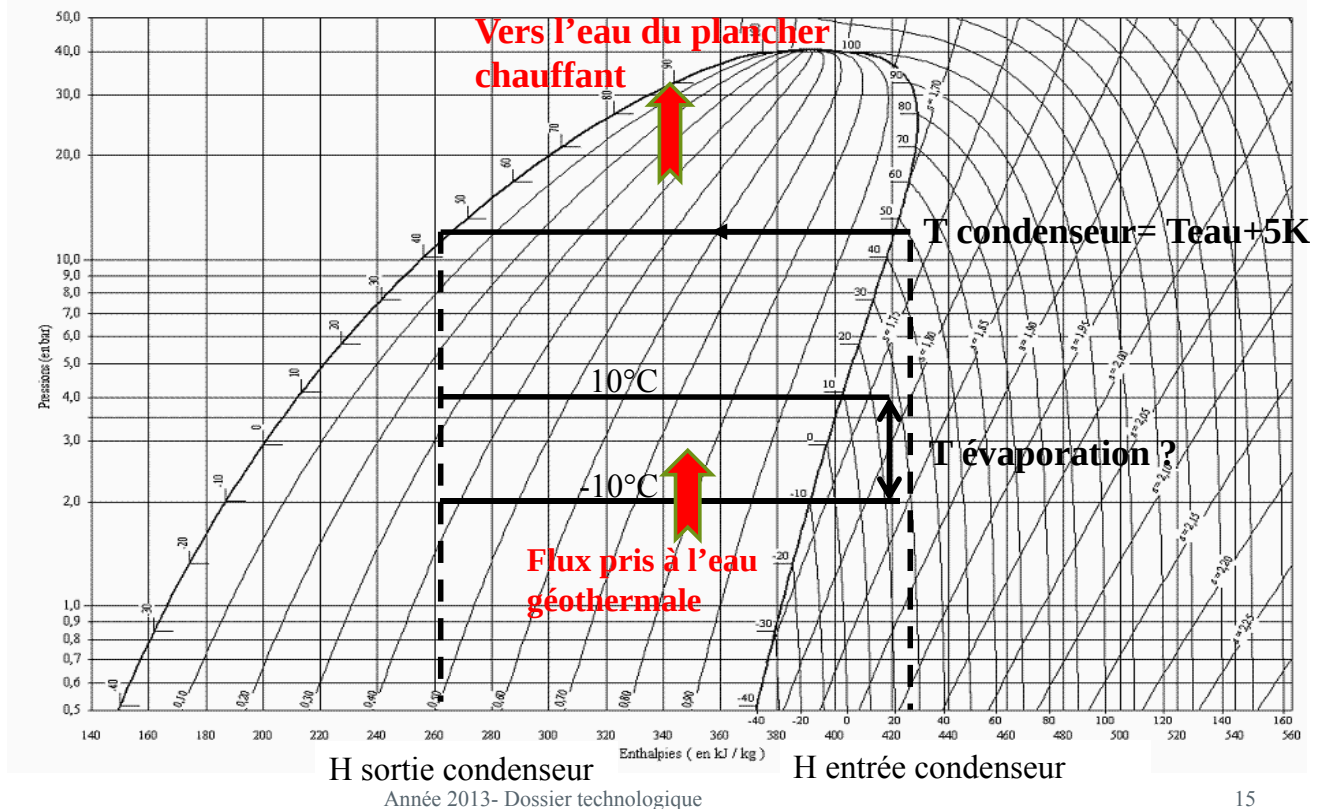
P= 63 kW
(Comfie Pleiades)

$$D = \sqrt{\frac{4Q_{m,eau}}{\pi V \rho}} = 0.029 \text{ m} \Rightarrow D_{nominal} = 30 \text{ mm}$$

Année 2013- Dossier technologique

14

2. Pompe à chaleur



15

Système à résoudre: 2 équations, 5 inconnues => infinité de solutions

$$2. U \cdot (\varphi_{\text{limons}} \cdot L_{\text{limons}} + \varphi_{\text{grés}} \cdot L_{\text{grés}}) = Q_{m,\text{eau}} \cdot C_{p,\text{eau}} \cdot (T_{\text{entrée,eau}} - T_{\text{sortie,eau}})$$

$$Q_{m,\text{eau}} \cdot C_{p,\text{eau}} \cdot (T_{\text{entrée,eau}} - T_{\text{sortie,eau}}) = \frac{P_{\text{condenseur}}}{h_{\text{entrée,cond}} - h_{\text{sortie,cond}}} \cdot (h_{\text{sortie,évap}} - h_{\text{entrée,évap}})$$

Solution: méthode d'optimisation sous Matlab

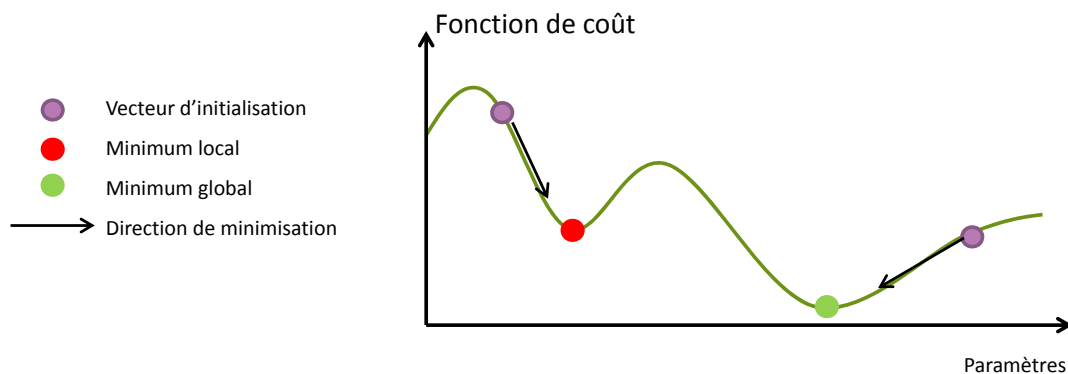
Il est nécessaire de reformuler le problème sous forme d'un problème de minimisation.

Ce problème doit contenir : **une fonction de coût, un vecteur de valeurs initiales et des encadrements pour les paramètres.**

$$F1 = |2 \cdot U \cdot (\varphi_{\text{limons}} \cdot L_{\text{limons}} + \varphi_{\text{grés}} \cdot L_{\text{grés}}) - Q_{m,\text{eau}} \cdot C_{p,\text{eau}} \cdot (T_{\text{entrée,eau}} - T_{\text{sortie,eau}})|$$

$$F2 = \left| Q_{m,\text{eau}} \cdot C_{p,\text{eau}} \cdot (T_{\text{entrée,eau}} - T_{\text{sortie,eau}}) - \frac{P_{\text{condenseur}}}{h_{\text{entrée,cond}} - h_{\text{sortie,cond}}} \cdot (h_{\text{sortie,évap}} - h_{\text{sortie,évap}}) \right|$$

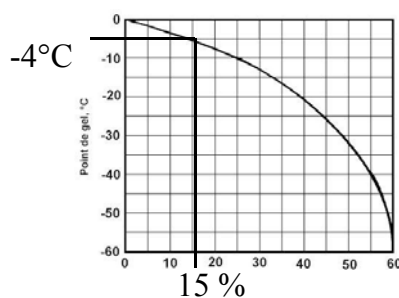
- **Fonction de coût: $F1+F2=0$ équivalent à $F1=F2=0$**
- **Vecteur de valeurs initiales**



Année 2013- Dossier technologique

17

En raison d'une teneur en glycol de 15 % pour éviter tout risque de gel on provoque une modification de la masse volumique et de la capacité thermique massique



$$C_p = 3380 \text{ J/kg.K}$$

$$\rho = 1018 \text{ kg/m}^3$$

	Profondeur de 70m
Nombre de U	8
Vitesse [m/s]	0,19
Diamètre [m]	0,034
$T_{\text{évap}} [^{\circ}\text{C}]$	-6,3
$T_{\text{entrée eau}} [^{\circ}\text{C}]$	5.8
$h_{\text{sortie,évap}} [\text{kJ/kg}]$	392

8 sondes de 140 m, chacune de diamètre extérieur de 4cm

Caractéristiques de la pompe à chaleur associée

	Puissances kW
Evaporateur	50
Condenseur	63
Compresseur	16,8 (absorbée)
COP	3,7
Efficacité frigorifique	2,9

C. Circuit géothermal

Espacement minimal entre chaque sonde

Objectif: Evaluer la distance sur laquelle on a un refroidissement

Hypothèses:

Problème de diffusion 1D instationnaire

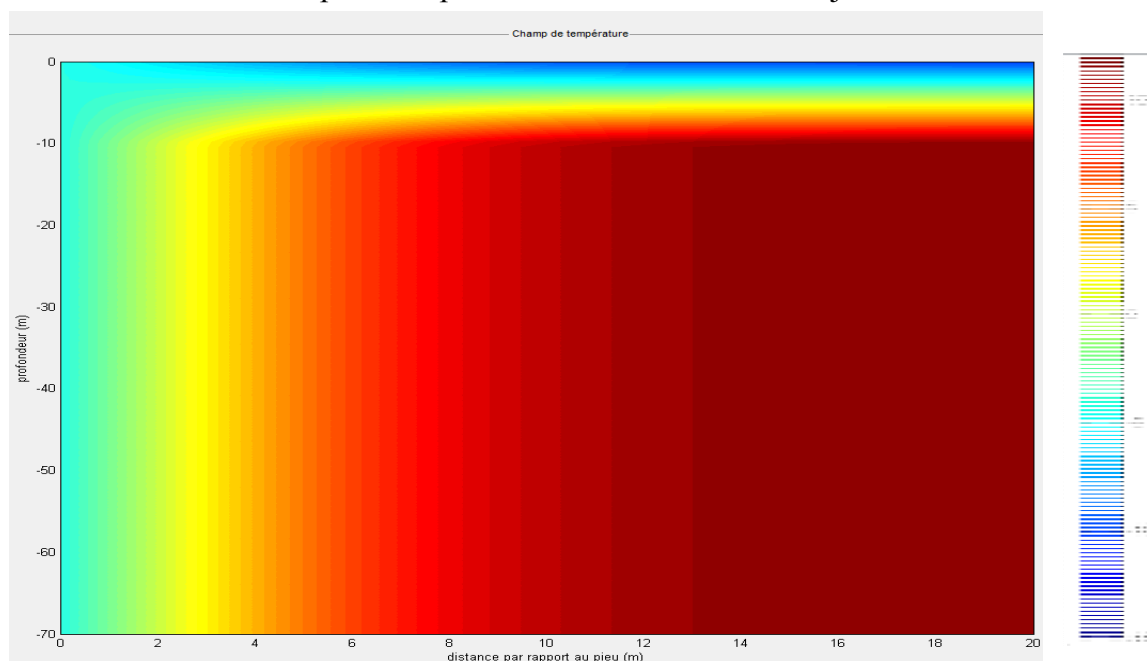
Sol homogène

Résolution de l'équation de la chaleur dans le domaine de Laplace puis passage en temporel:

Solution analytique

$$T(z, t) = (T_{\text{fluide}} - T_{\infty\text{sol}}) \cdot \text{erfc}\left(\frac{z}{2\sqrt{at}}\right) + T_{\infty\text{sol}}$$

Résultats obtenus après une période de simulation de 232 jours de chauffe:



⇒ Distance minimale entre sonde : 10-11 m en fonction du type de sol

Conclusion

Inconvénients

- Coûts d'investissement très élevés. € € €
- Certaines technologies difficilement applicable à la rénovation
- Temps d'étude important



Avantages

- Moins dépendante de la hausse des énergies fossiles
- Coûts d'exploitation et de maintenance réduits
- Impacts environnementaux réduits
- Aides et crédits d'impôts



Insertion pédagogique

Niveau : DUT génie thermique

UE3.3 : Systèmes thermodynamiques

M 3302 Machines Frigorifiques

12h de CM

12h TD

16h TP

Objectifs du module:

Décrire le fonctionnement d'une machine frigorifique

Sensibiliser les étudiants aux nouvelles technologies en fonction de leurs impacts environnementaux.

Identifier l'impact de différents facteurs sur les performances énergétiques

Prérequis : thermodynamiques, technologie des systèmes thermiques

Séquence:

Généralités et diagrammes frigorifiques 2h

Fluides frigorigènes 2h

Machines à compression mécanique simple et étagée 2h

Machines à compression thermique 4h

Rendement des compresseurs 2h

TD TP

2h

4h

8h

4h

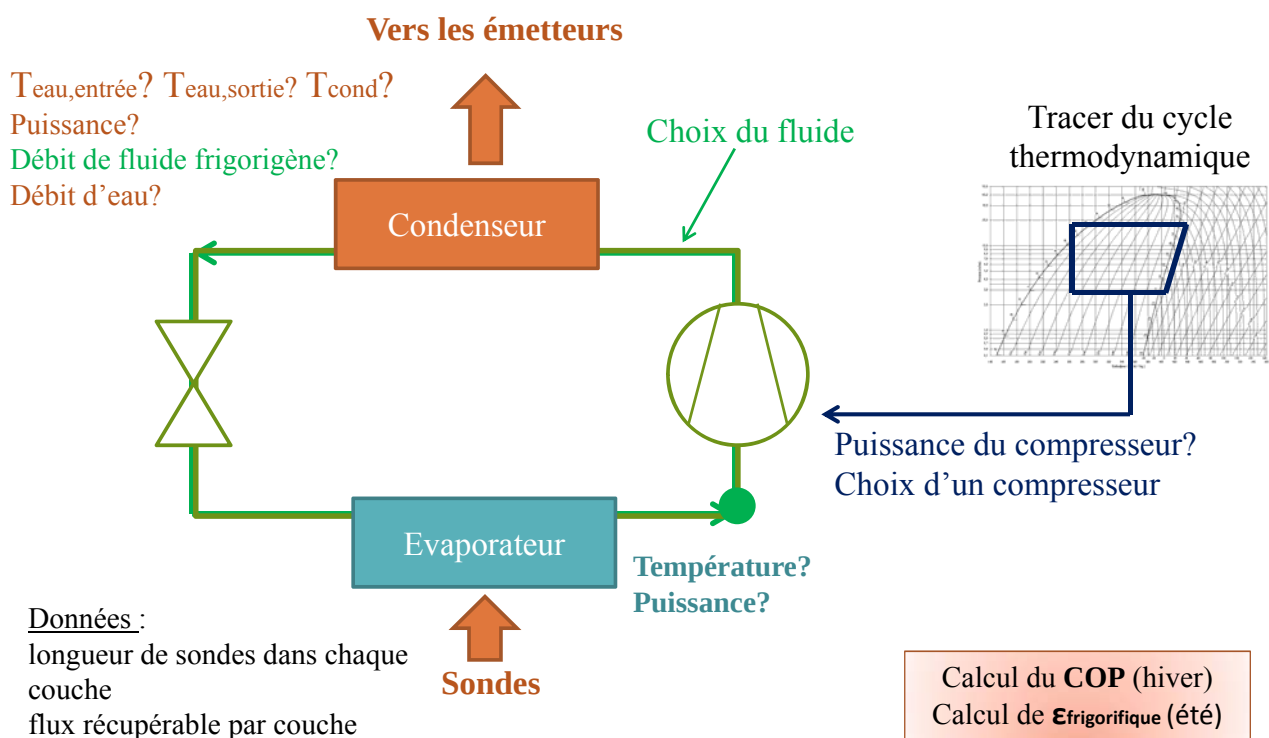
8h

2h

Année 2013- Dossier technologique

23

TD : PAC géothermique: fonctionnement hiver et été (4h)



Année 2013- Dossier technologique

24