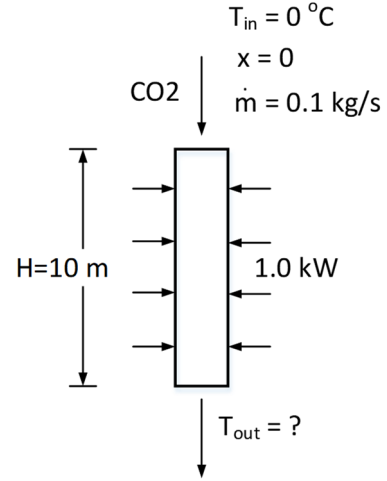


Question 1 (4 points)

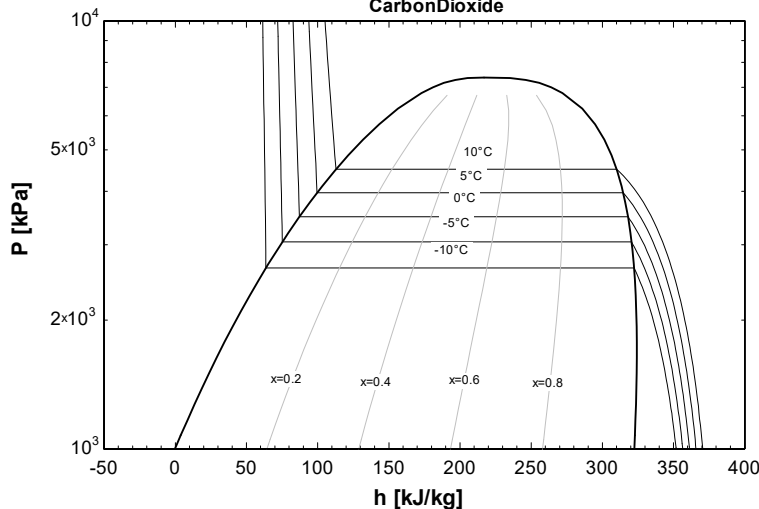
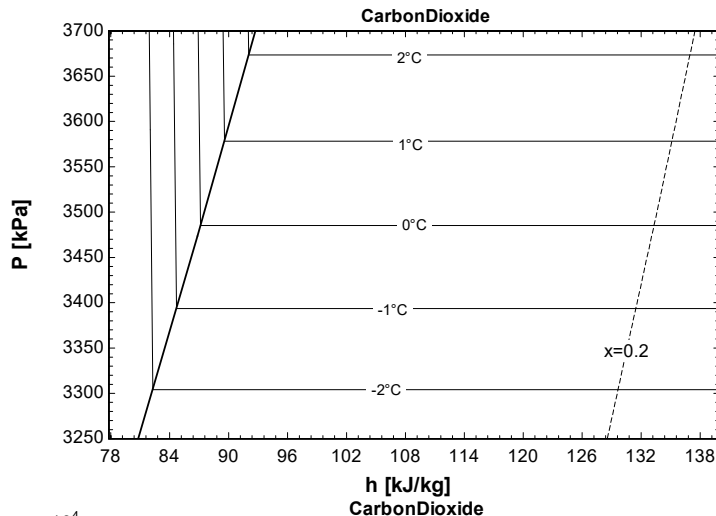
La figure ci-contre montre une conduite verticale servant d'évaporateur à système à expansion directe. La conduite est alimentée avec du CO2 liquide ($x=0$) à une température de 0 °C. La conduite est soumise à un taux de transfert de chaleur de 1.0 kW. La perte de charge par friction est de 5 kPa/m et la densité moyenne du CO2 est de 800 kg/m³ sur la hauteur de 10 m.



On demande de déterminer la température du CO2 à la sortie du tuyau.

Note :

- 1- L'accélération du fluide dans la conduite peut être négligée.
- 2- Servez-vous des diagrammes P-h ci-dessous pour effectuer vos calculs. L'échelle des y est logarithmique pour la figure du bas et linéaire pour la figure du haut.



Question 2 (5 points)

La figure ci-contre montre un puits géothermique de type coaxial dans lequel le fluide caloporteur circule d'abord dans le tuyau interne pour ensuite remonter par l'espace annulaire formé entre les tuyaux interne et externe. Le tuyau interne est parfaitement isolé de sorte qu'il n'y a pas d'échange de chaleur entre le fluide descendant et le fluide montant.

Les caractéristiques du problème sont :

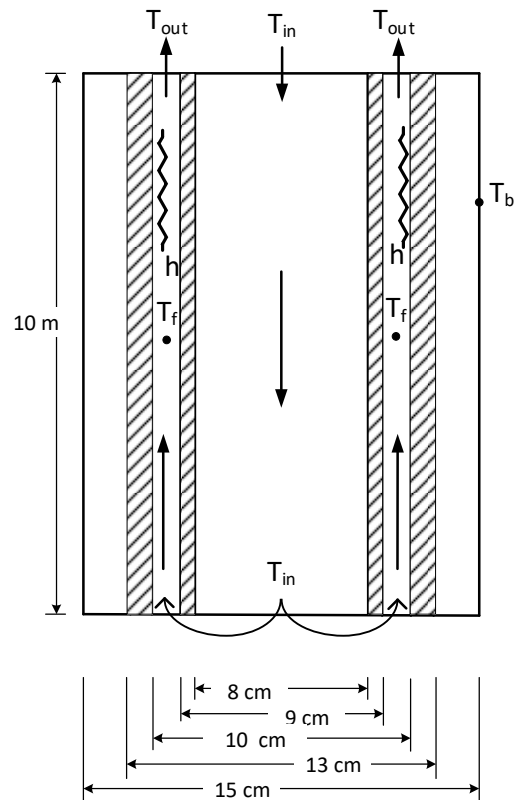
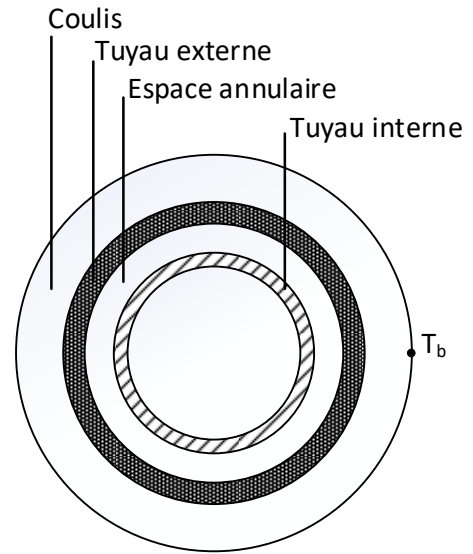
- Conductivité thermique du coulis, $k_{coulis} = 1.5 \text{ W/m-K}$
- Capacité thermique du coulis par unité de longueur, $C_{coulis} = 17000 \text{ J/m-K}$
- Conductivité thermique du tuyau externe, $k_{ext} = 0.4 \text{ W/m-K}$
- Chaleur spécifique du fluide, $C_p = 4200 \text{ J/kg-K}$
- Capacité thermique du fluide par unité de longueur, $C_{fluide} = 6200 \text{ J/m-K}$
- Coefficient d'échange entre le fluide et le tuyau externe, $h = 500 \text{ W/m}^2\text{-K}$

a) On demande de calculer la résistance thermique du puits entre T_f et T_b en régime permanent.

Au temps $t=0$, le débit est nul et l'ensemble du puits (fluide, tuyaux, coulis) est à une température uniforme de 10°C . De $t=0^+$ à $t=100 \text{ sec.}$, le débit d'eau est de 1 kg/s , la température $T_{in} = 20^\circ\text{C}$, et $T_b = 10^\circ\text{C}$.

b) Écrire les équations gouvernantes d'un modèle de type TRC avec un nœud dans le coulis et un nœud dans le fluide. (On supposera que la capacité thermique du tuyau externe est négligeable).

c) En vous servant du modèle développé en b), évaluer T_{out} à $t = 100 \text{ sec}$ sachant que la température du coulis est de 10.34°C à $t = 100 \text{ sec}$.

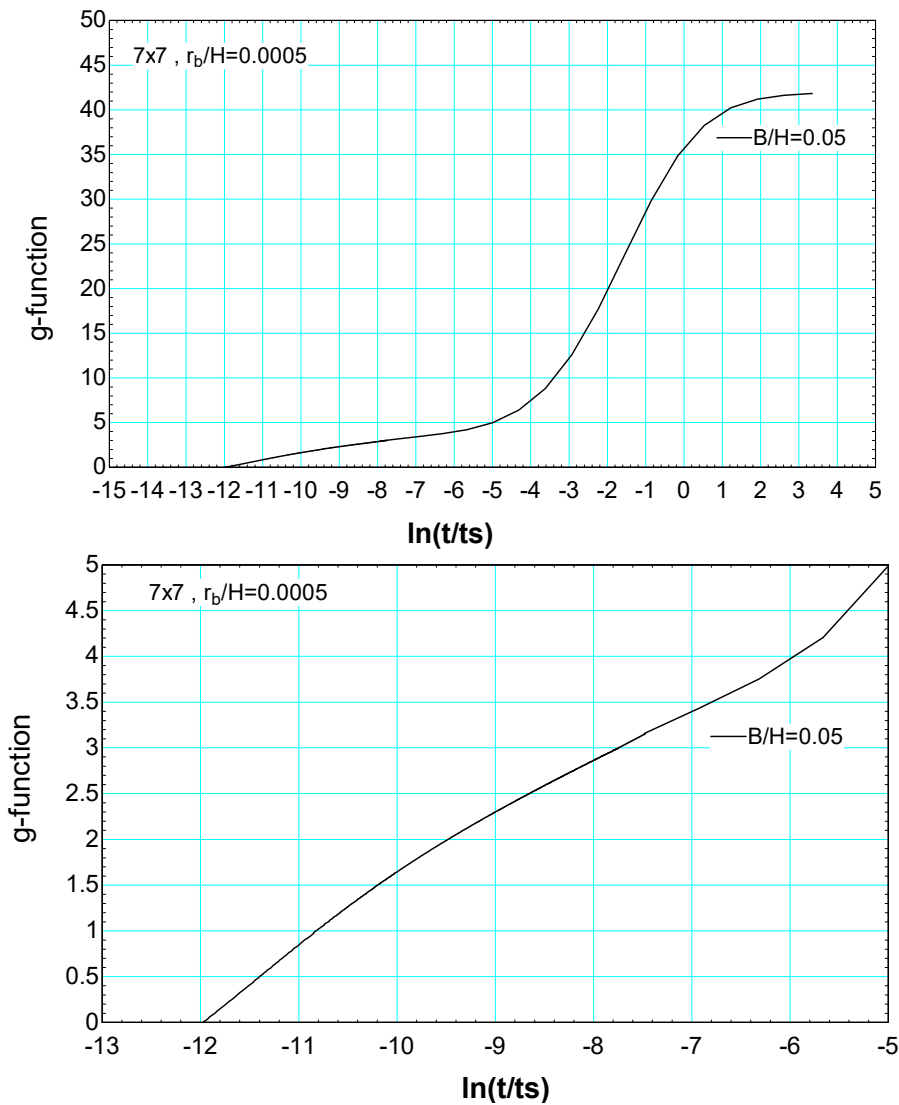


Question 3 (3 points)

Des puits d’une longueur totale de 4900 m sont répartis selon une configuration de 7 x 7. Les puits sont espacés de 5 m et ont un diamètre de 10 cm. La résistance thermique équivalente, R_b^* , est égale à 0.1 m-K/W. La température du sol non perturbée est de 10 °C alors que la conductivité thermique et la diffusivité thermique du sol sont, respectivement, de 1.0 W/m-K et 0.1 m²/jour. Les g-fonctions de ce champ sont données aux figures ci-dessous. Le champ sert de rejet de chaleur et est soumis à trois impulsions thermiques successives:

- 10 kW pendant 10 ans
- 30 kW pendant 30 jours
- 100 kW pendant 6 heures

On vous demande de déterminer la température moyenne du fluide dans les puits suite à l’injection des trois impulsions thermiques à $t = 10 \text{ ans} + 30 \text{ jours} + 6 \text{ heures}$.



Question 4 (4 points)

Un essai de réponse thermique est réalisé dans un sol ayant les caractéristiques suivantes:

Diffusivité thermique, $\alpha = 0.1 \text{ m}^2/\text{jour}$

Température, $T_g = 10 \text{ }^\circ\text{C}$

Les caractéristiques du puits sont :

Diamètre = 0.15 m

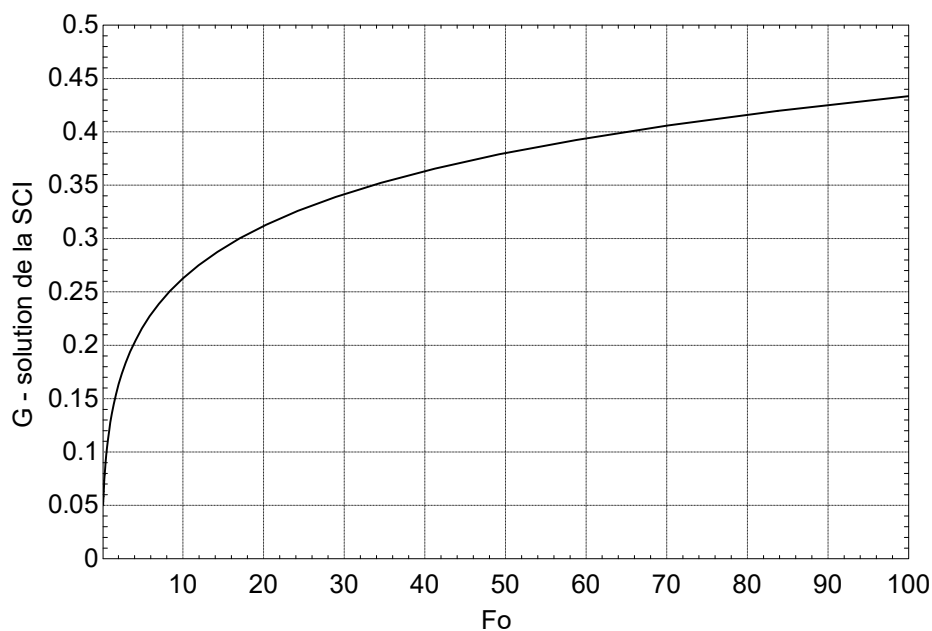
Longueur = 100 m

Résistance thermique, $R_b^* = 0.1 \text{ m-K/W}$

L'essai est réalisé en 2 temps avec une injection de chaleur de 3000 W pendant les 20 premières heures suivie d'une injection de 4000 W pendant les 20 heures suivantes. La température moyenne du fluide dans le puits mesurée après 40 heures est de 20.56 °C.

L'unité de réponse thermique utilisée pour interpréter cet essai, utilise la valeur moyenne de l'injection de chaleur sur les 40 heures (3500 W) pour déterminer la conductivité thermique du sol. Calculer l'erreur encourue sur la conductivité thermique du sol en utilisant cette approximation.

Note : Servez-vous de la figure suivante pour déterminer la réponse thermique du sol (source cylindrique infinie).



Question 5 (4 points)

On vous demande de comparer la performance d'un puits géothermique opérant en régime laminaire ou turbulent. Les conditions d'opération sont décrites au tableau suivant. Le facteur de friction, f , pour le type de tuyau utilisé est donné à la figure ci-dessous en fonction du nombre de Reynolds.

	Laminaire	Turbulent
Débit massique (kg/s)	0.1	0.5
Nombre de Reynolds (-)	1060	5860
Coefficient d'échange dans les tuyaux, h_i (W/m ² -K)	70	1470
Retrait de chaleur du puits (W)	2000	
Température à la paroi du puits (°C)	7.71	
Hauteur du puits (m)	100	
Rayon du puits (m)	0.055	
Rayon interne des tuyaux de HDPE (m)	0.013	
Résistance thermique du tuyau, R_{pipe} (m-K/W)	0.08	
Densité du fluide caloporteur (kg/m ³)	1025	
Chaleur spécifique du fluide caloporteur (J/kg-K)	3880	
Nombre de tuyaux dans le puits (-)	2	
Résistance thermique du puits, R_b (m-K/W)	Voir figure ci- dessous	
Résistance thermique totale entre les 2 tuyaux, R_a (m-K/W)	Voir figure ci- dessous	

On demande de :

- a) déterminer la température moyenne du fluide dans le puits dans les deux cas en tenant compte du court-circuit thermique entre les deux tuyaux.
- b) déterminer la perte de charge (en kPa) entre l'entrée et la sortie du puits dans les deux cas.

