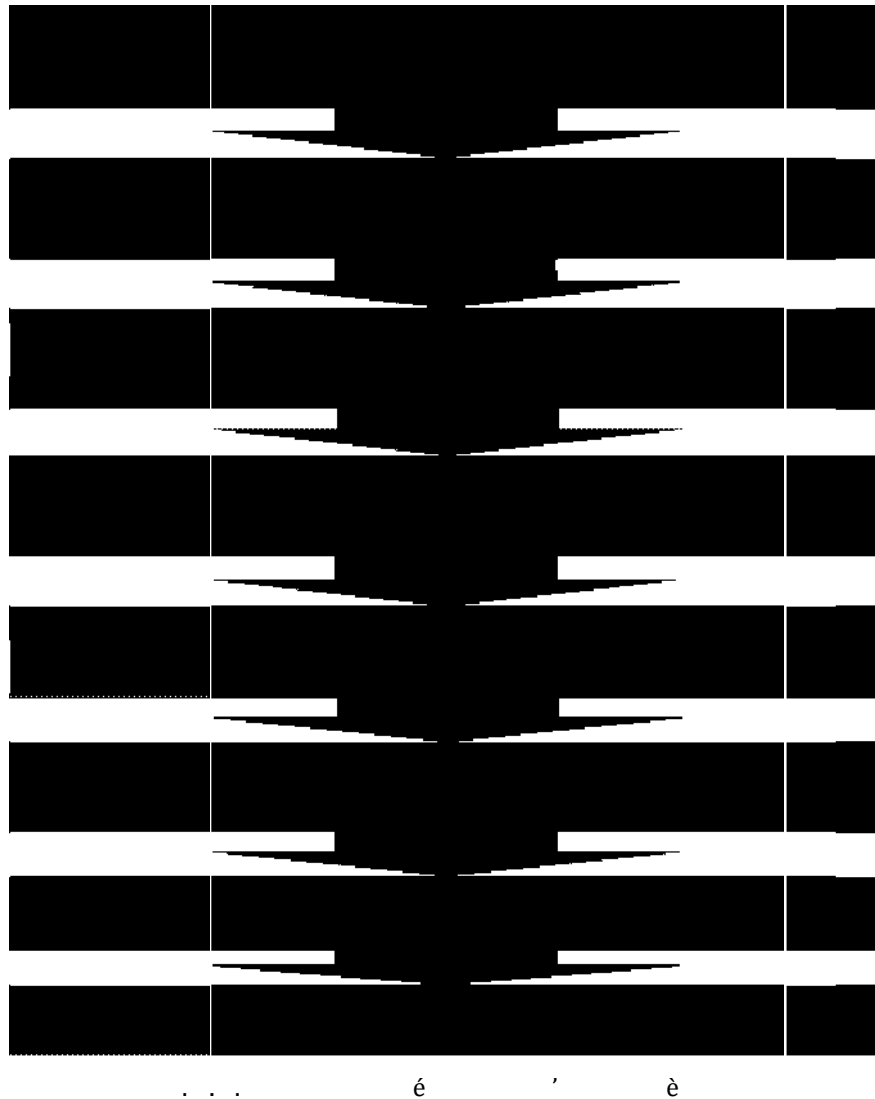


V) Résolution numérique du problème et les résultats obtenus

V-1 La méthode numérique de résolution et de discrétisation d'équation de convection

V-1-1 Planning de résolution d'un problème

La figure ci-dessous représente les étapes de résolution numérique du problème convectif de transfert de chaleur entre le fluide et le sol:



V-1-2 La résolution numérique de l'équation de convection

Ces phénomènes sont en générale complexes et régis par des équations aux dérivées partielles. La résolution de ce fait se fait numériquement:

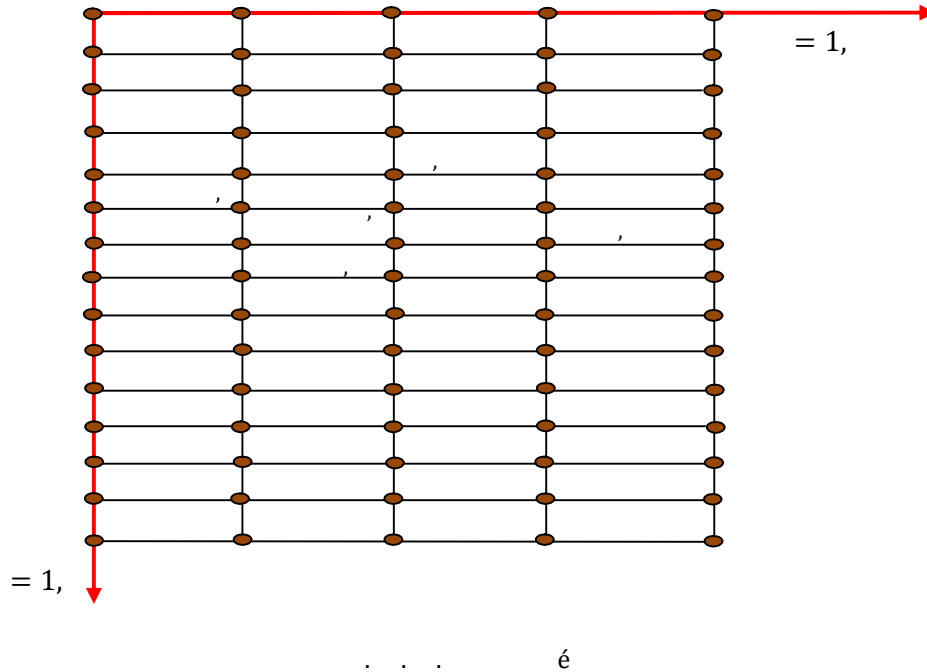
Nous avons l'équation ci-dessous qui caractérise le phénomène de convection :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \dots \dots \dots (.1)$$

La discrétisation de l'équation:

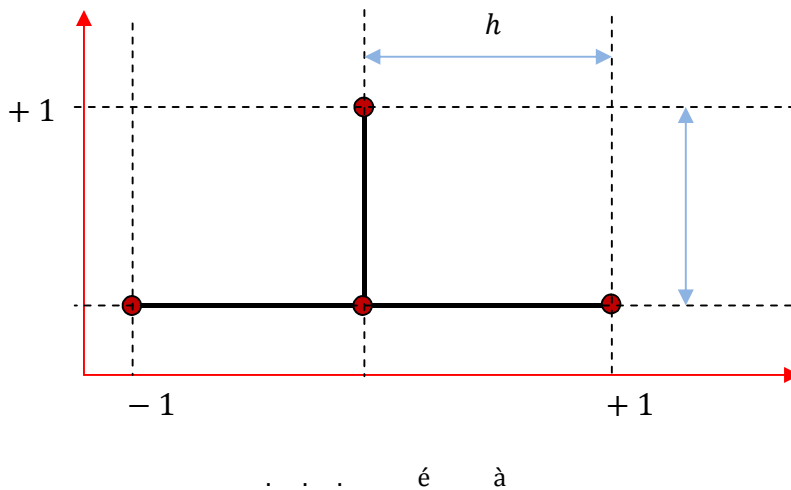
$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = -1$$

On pose la vitesse constante



Du fait de la présence d'une dérivée seconde par rapport à x , il est nécessaire d'introduire trois points en espace. Pour un pas d'espace h uniforme, la méthode la plus simple : Explicite. Les dérivées sont approchées comme suit:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial u}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2h} \quad (\text{é } i) \\ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \approx \frac{u_{i-1} - 2u_i + u_{i+1}}{h^2} \quad (\text{é } i) \end{array} \right. \dots \dots (2)$$



En remplaçant l'approximation (.2) dans l'équation(.1), il vient:

$$\frac{-}{\dots} = - \frac{+ - 2}{h} \dots\dots\dots (.3)$$

En considérons le cas de l'écoulement d'air à l'intérieur de la conduite avec une vitesse constante = en tous points de la section droite.

$$(.3) \Rightarrow \frac{-}{\dots} = \frac{+ - 2}{h}$$

$$\Rightarrow \frac{h}{\dots} - \frac{h}{\dots} = \dots + \dots - 2. \dots\dots\dots (.4)$$

$$(.4) \Rightarrow \dots - \dots - \dots = -2. \dots + \dots$$

$$\Rightarrow \frac{h}{\dots} - \dots + \dots = \frac{h}{\dots} - 2. \dots\dots\dots (.5)$$

Où : — :

On pose:

$$= \frac{\dots}{\dots} \text{ et } = \frac{\dots}{\dots}$$

$$\Rightarrow = \dots - \dots + \dots\dots\dots (.6)$$

V-2 Résultats et Interprétations

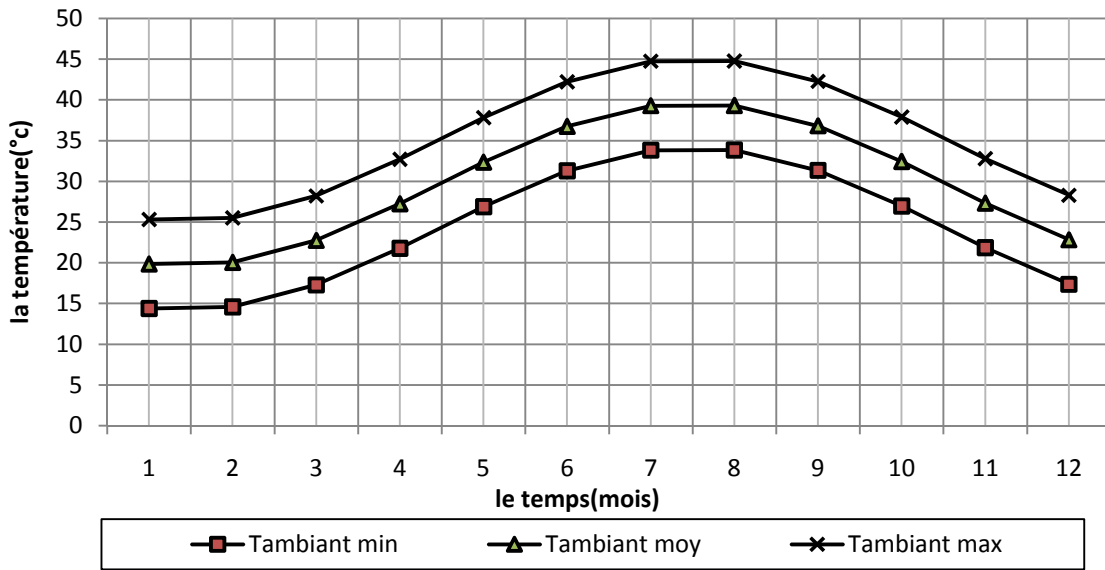
Introduction

Dans ce chapitre on présente les résultats des calculs effectués relatifs à l'influence de quelques paramètres sur la variation de la température du sol ainsi que celle à la sortie de l'échangeur air/sol.

V-2-1 Variation de la température ambiante

Les figures () et () montrent la variation de la température ambiante de forme sinusoïdale de période journalière et annuelle.

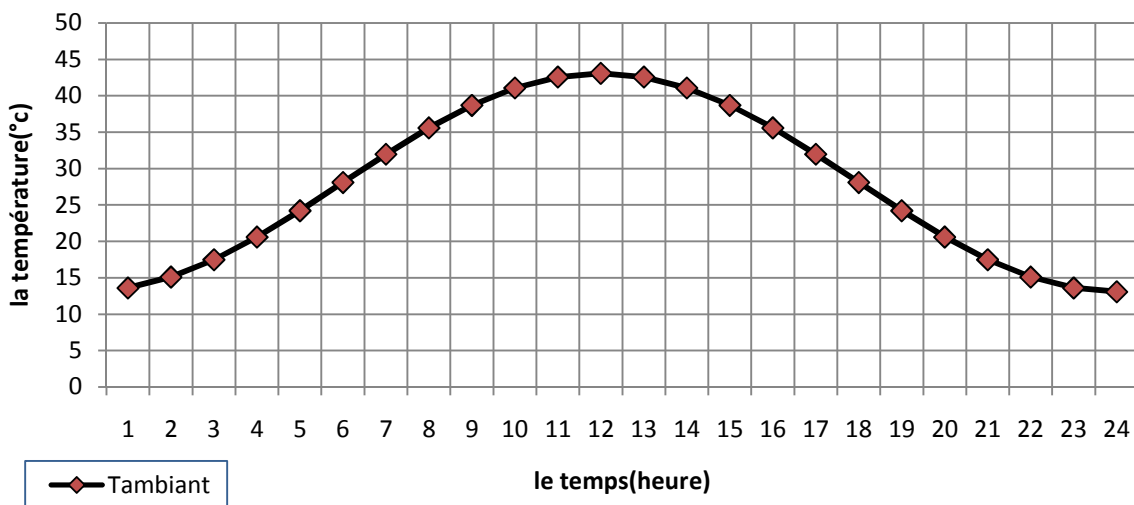
La figure () présente la variation de la température ambiante annuelle, pour ville Biskra d'amplitude $= 12^\circ$ et de température moyenne annuelle $= 17.16^\circ$, $= 22.625^\circ\text{C}$, $= 28.08^\circ\text{C}$.



.....

é

La figure () présente la variation de la température ambiante journalière, d'amplitude de $= 12^\circ$ et de température moyenne annuelle $= 28.08^\circ$.



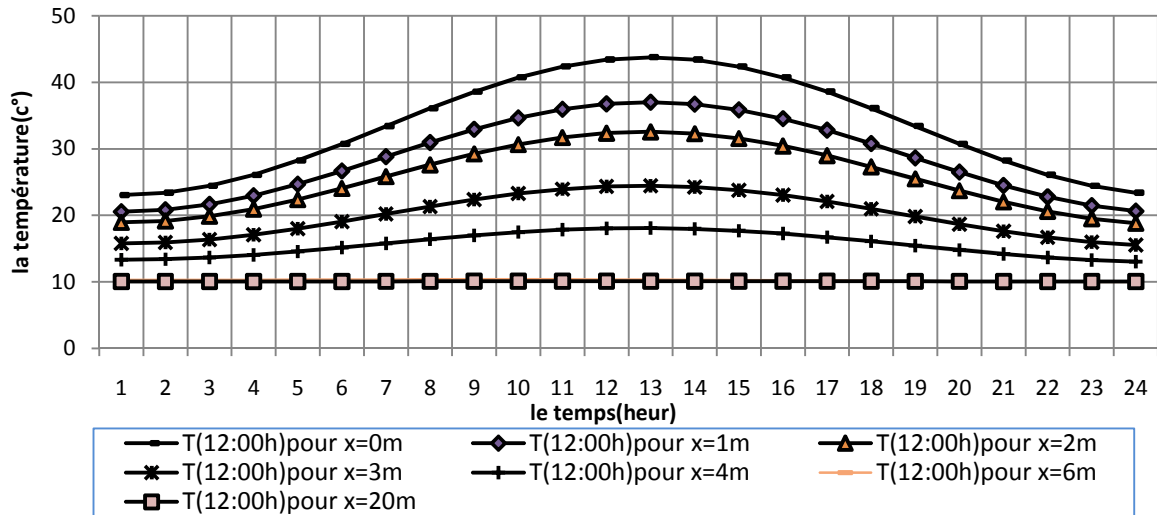
.....

é

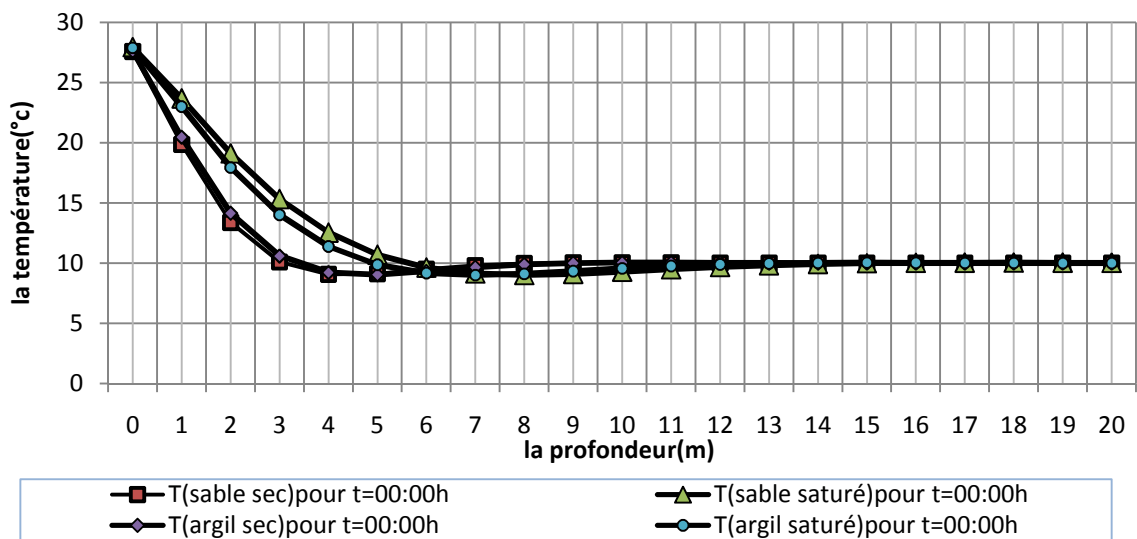
è

V-2-2 Variation de la température du sol

La figure (.) montre la variation de la température du sol qui forme une sinusoïde de période journalière dans les différentes des profondeurs, d'amplitude = 12° et de température moyenne annuelle = 28.08° .



Les figures (.) et (.) présentent la variation de la température du sol en fonction de la profondeur et de la nature du sol, pour minuit et midi, d'amplitude = 12° et de température moyenne annuelle = 28.08° . Cette valeur se stabilise pour des profondeurs supérieures à 6m quelque soit le temps.



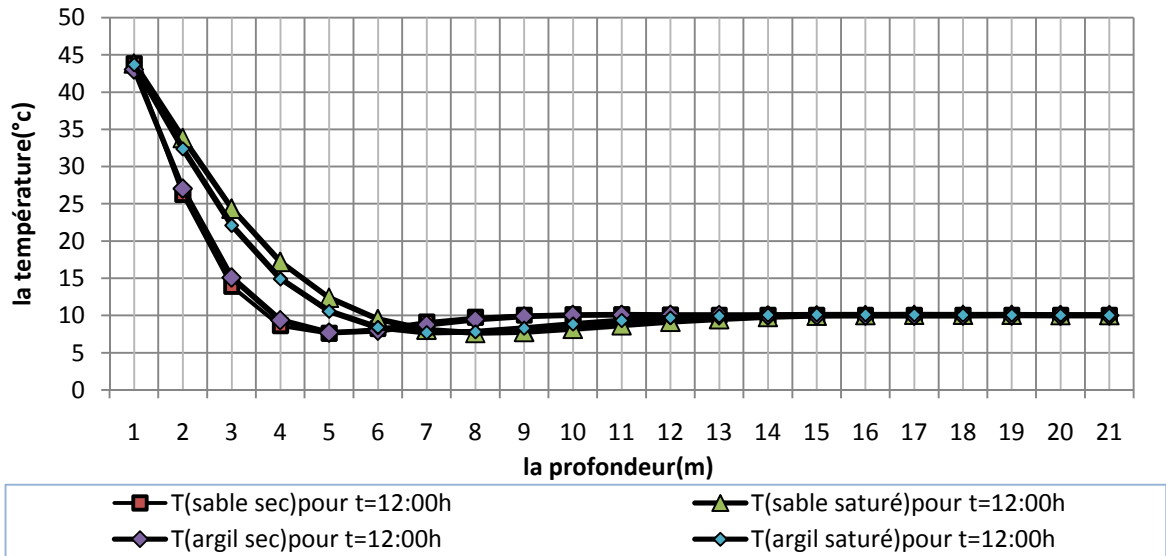


Figure 5.1 : Variation de la température du sol (sable saturé) en deux temps $t=00:00h$ et $t=12:00h$ en fonction de la profondeur, d'amplitude $= 12^\circ$ et de température moyenne annuelle $= 28.08^\circ$. Sa valeur se stabilise pour des profondeurs supérieures à 6m quelque soit le temps.

La figure (5.1) présente la variation de la température du sol (sable saturé) en deux temps $t=00:00h$ et $t=12:00h$ en fonction de la profondeur, d'amplitude $= 12^\circ$ et de température moyenne annuelle $= 28.08^\circ$. Sa valeur se stabilise pour des profondeurs supérieures à 6m quelque soit le temps.

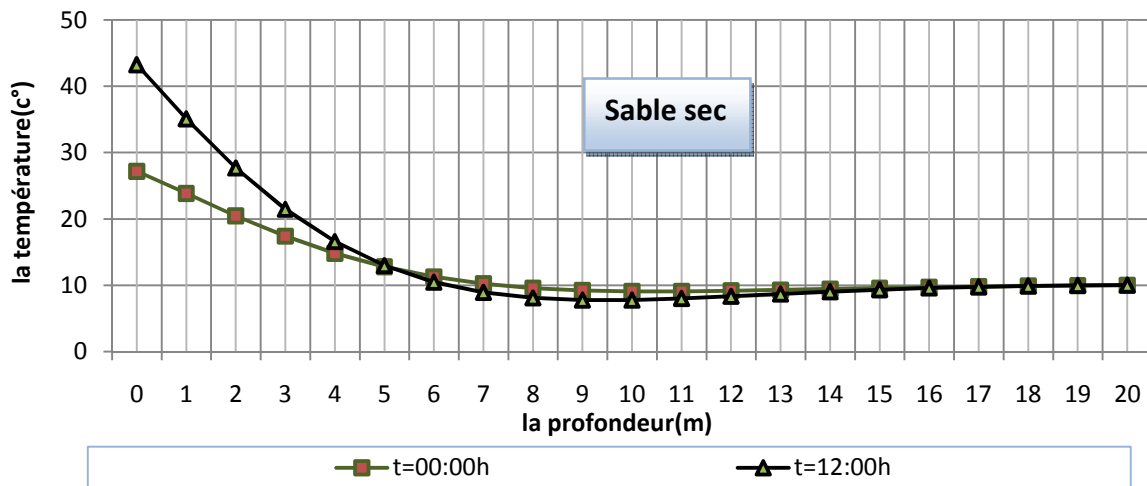


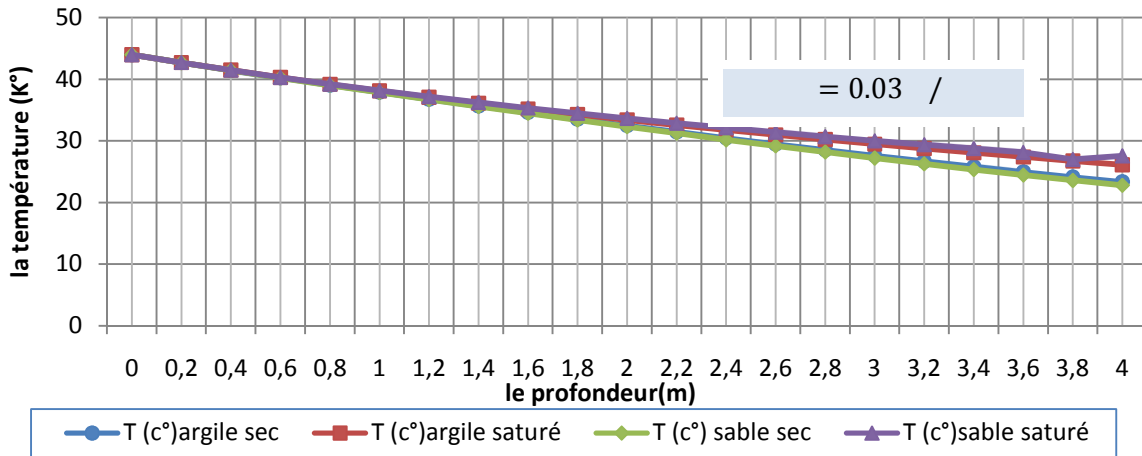
Figure 5.2 : Variation de la température du sol (sable saturé) en deux temps $t=00:00h$ et $t=12:00h$ en fonction de la profondeur, d'amplitude $= 12^\circ$ et de température moyenne annuelle $= 28.08^\circ$. Sa valeur se stabilise pour des profondeurs supérieures à 6m quelque soit le temps.

V-2-3 Variation de la température de l'air dans l'échangeur

❖ Tronçon vertical

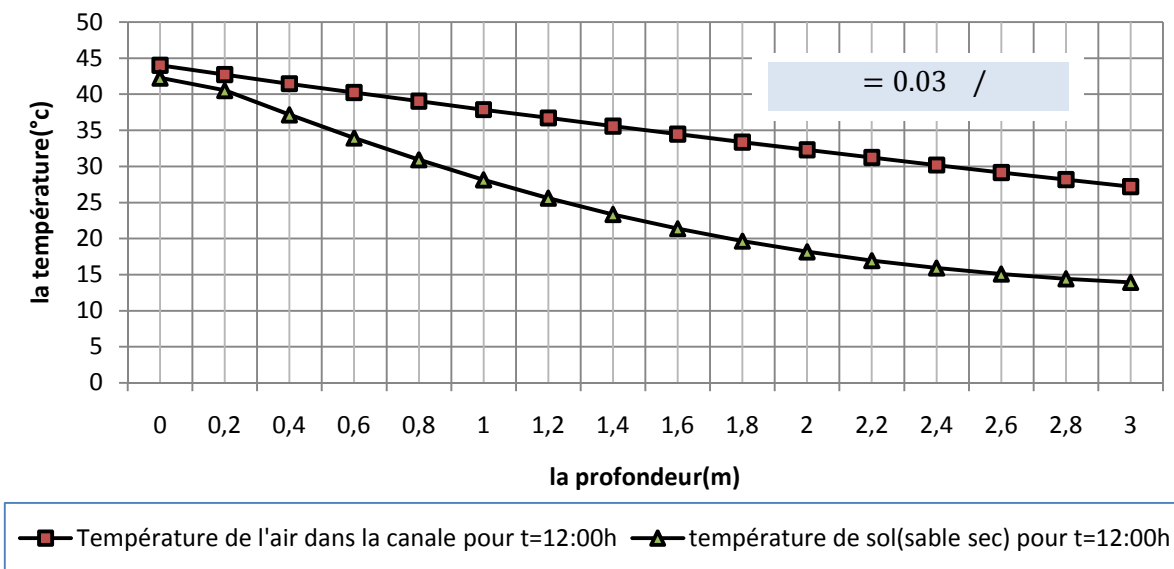
En ce qui concerne l'échange thermique entre l'échangeur et le fluide caloporteur nous avons obtenu les résultats suivants :

La figure (.10) présente la variation de la température de l'air en centre du tube enterré verticalement suivant la nature de sol (argile sec, argile saturé, sable sec, sable saturé) et en fonction de la profondeur. On observe la même variation de la température de l'air quelque soit la nature du sol.



é

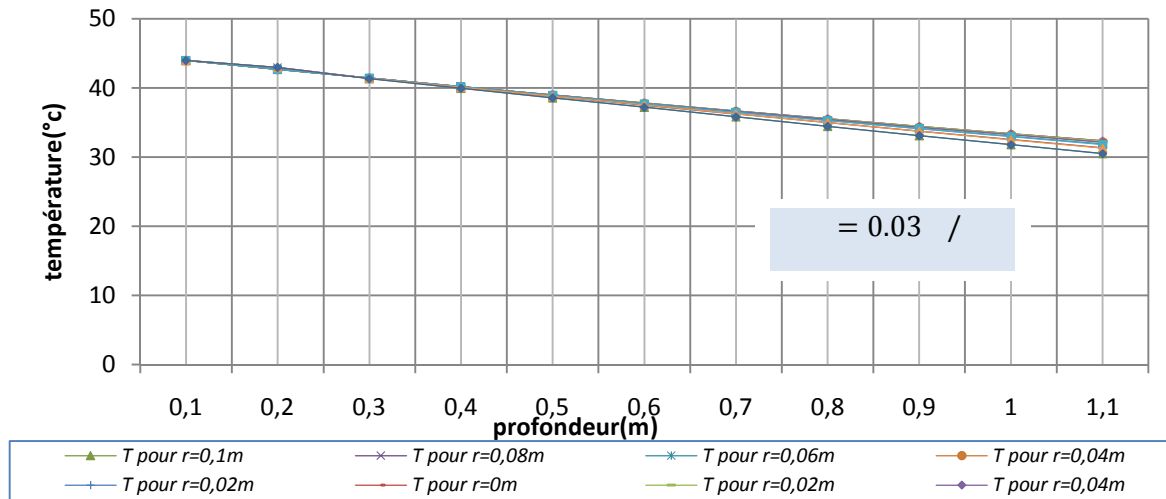
La figure (.11) montre qu'en saison estivale, la température du sol (sable sec) atténué par rapport à la température de l'air dans un canal enterré verticalement, où l'air écoule à une vitesse constante $= 0.03 \text{ m/s}$.



é

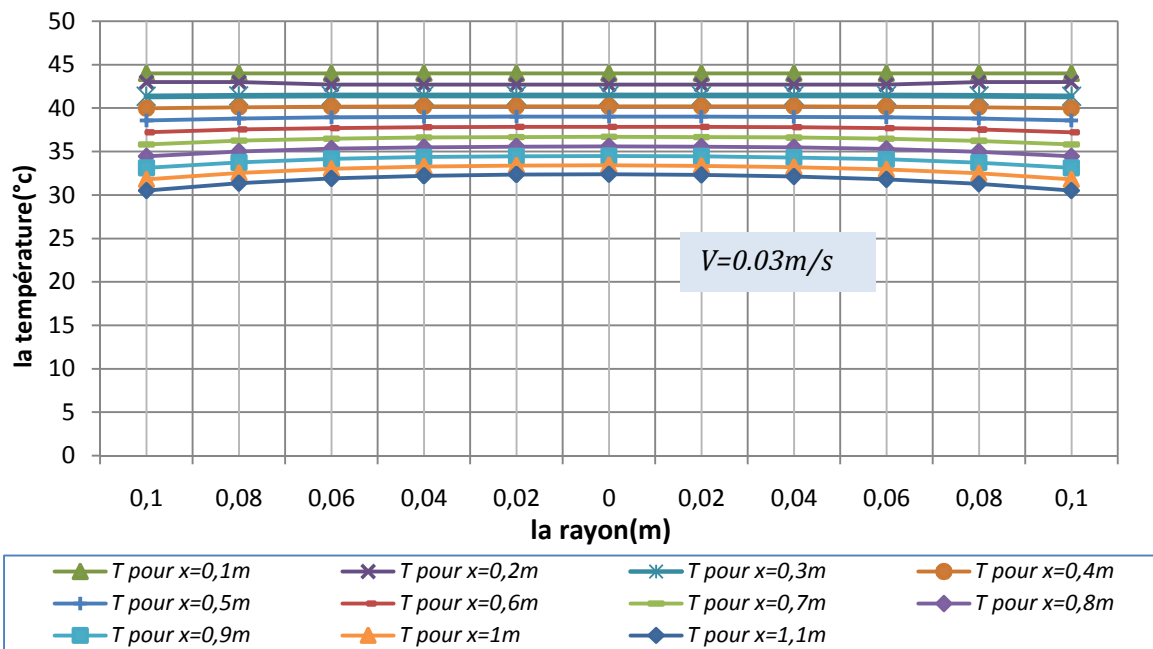
On constate que la température de l'air baisse de l'entrée jusqu'à une profondeur relative à un tronçon de la longueur verticale du tube équivaut à 1,1m. Par ailleurs on peut dire que la température dans les différentes sections transversale du tube est homogène.

La figure (.1) présente la variation de la température de l'air dans un tube enterré verticalement en fonction de la profondeur pour quelques valeurs du rayon du canal. On observe la même variation de la température de l'air, où l'air écoule à une vitesse constante $= 0.03 \text{ /}$.



é

La figure (.1) présente la variation de la température de l'air dans un tube enterré verticalement en fonction du rayon du canal pour quelques valeurs de la profondeur.



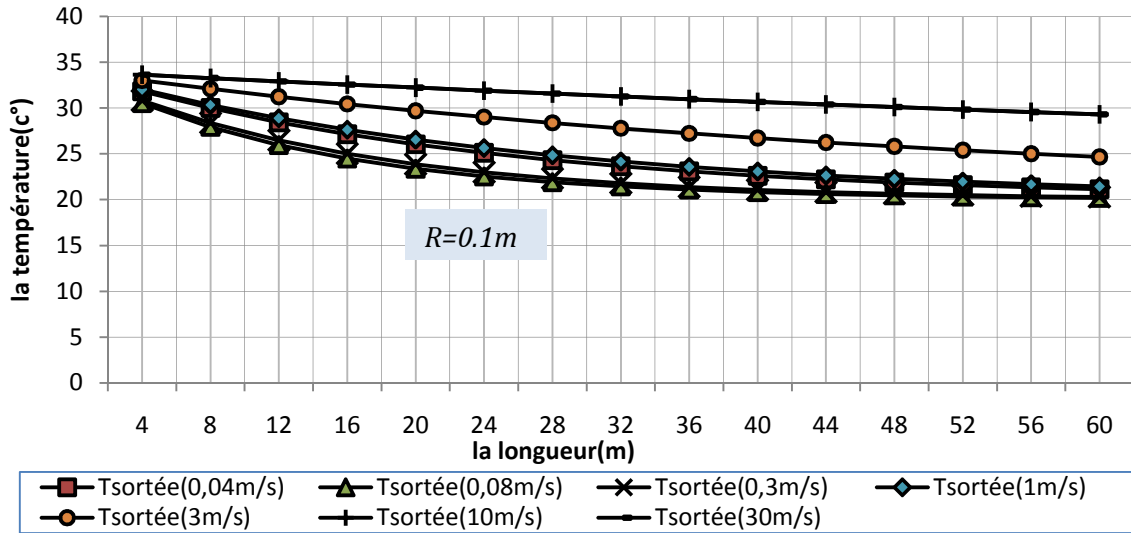
é

❖ **Tronçon horizontal :**

En ce qui concerne l'échange thermique entre le fluide caloporteur qui écoule dans le tube enterré horizontalement et le sol. Nous avons obtenu les résultats suivants :

Les figures (.14) et (.15) montre l'influence de la vitesse et la longueur sur la température de l'air à la sortie de tube.

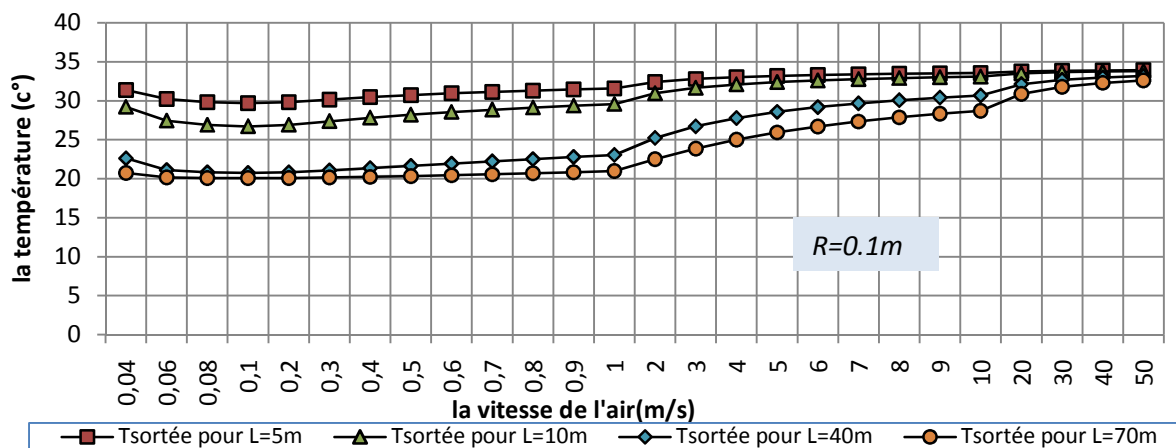
La figure (.14) présente la variation de la température de l'air à sortie du tube enterré horizontalement suivant la longueur du canal et la vitesse de l'air.



à

é

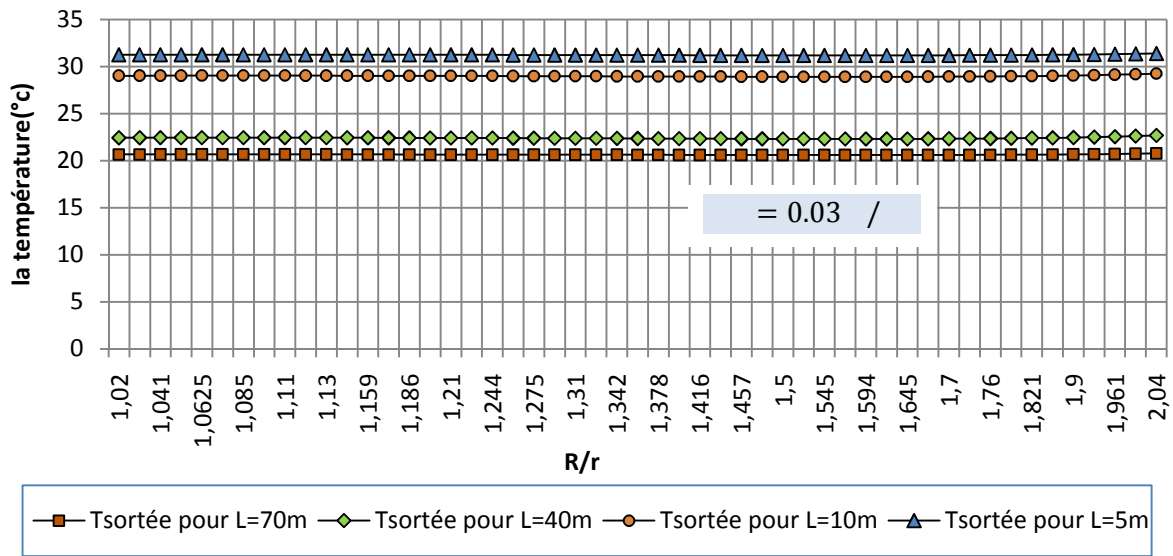
La figure (.15) présente la variation de la température de l'air à sortie du tube enterré horizontalement en fonction de la vitesse de l'air pour quelques valeurs de la profondeur.



à

é

Les figures (VI. 16) et (VI. 17) présentent la variation de la température de l'air à la sortie du tube enterré horizontalement en fonction du rapport (R/r).

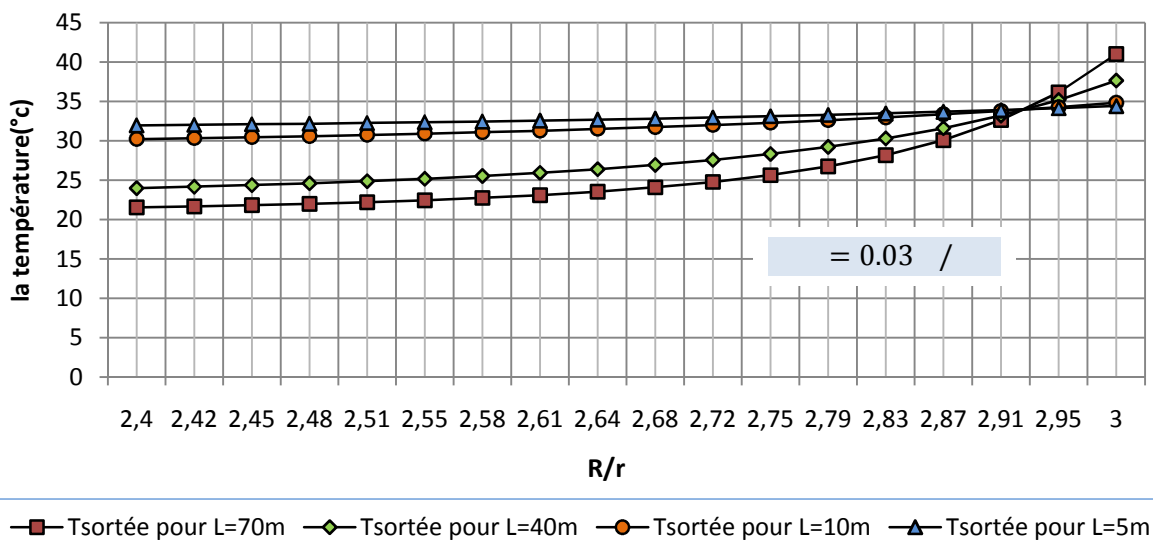


. . .

àé

(/)

é



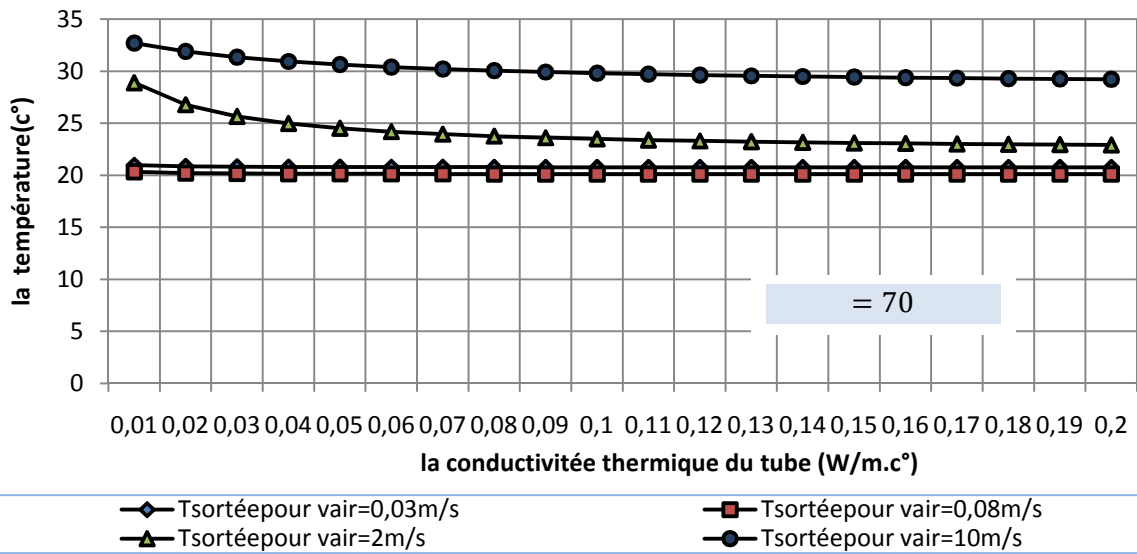
. . .

àé

(/)

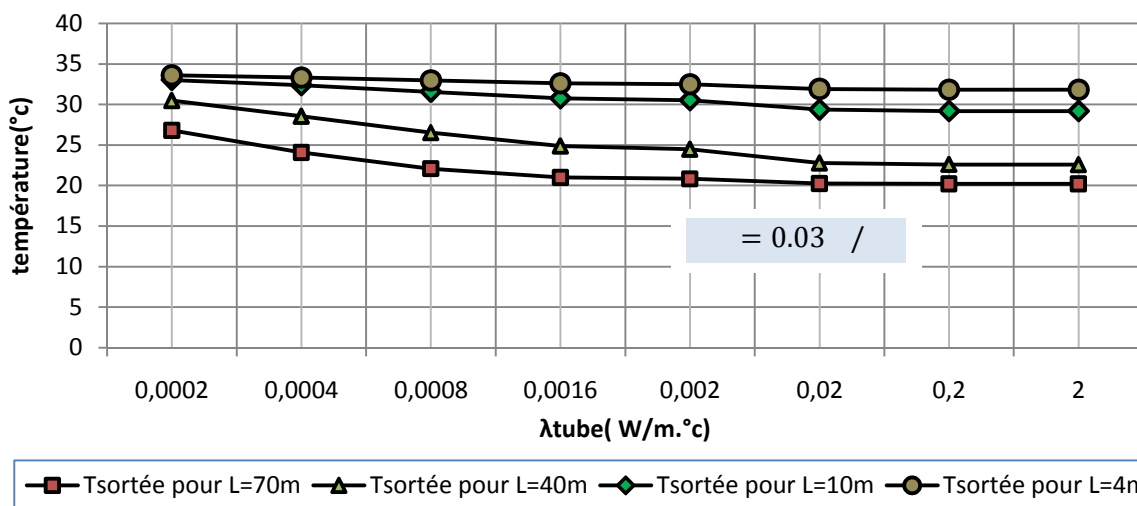
é

La figure (.18) présente la variation de la température de l'air à la sortie du tube enterré horizontalement en fonction de la conductivité thermique du tube pour quelques valeurs de la vitesse de l'air.



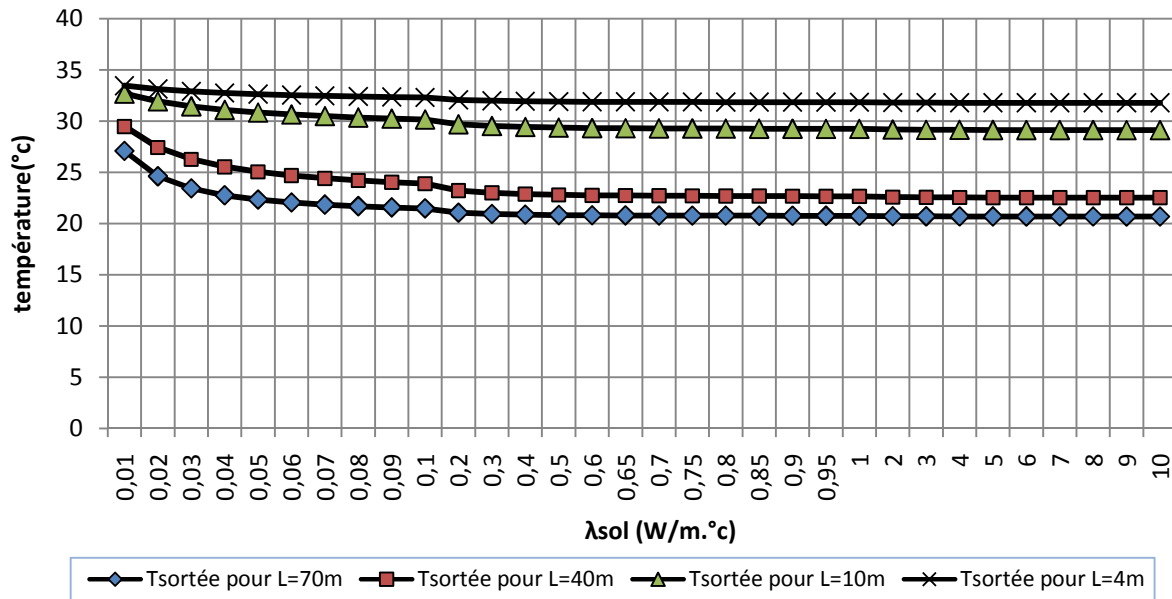
à é é

La figure (.19) présente la variation de la température de l'air à la sortie du tube enterré horizontalement en fonction de la conductivité thermique du tube pour quelques valeurs de la longueur du tube.



à é é

La figure (.20) présente la variation de la température de l'air à la sortie du tube enterré horizontalement en fonction de la conductivité thermique du sol pour quelques valeurs de la longueur du tube.

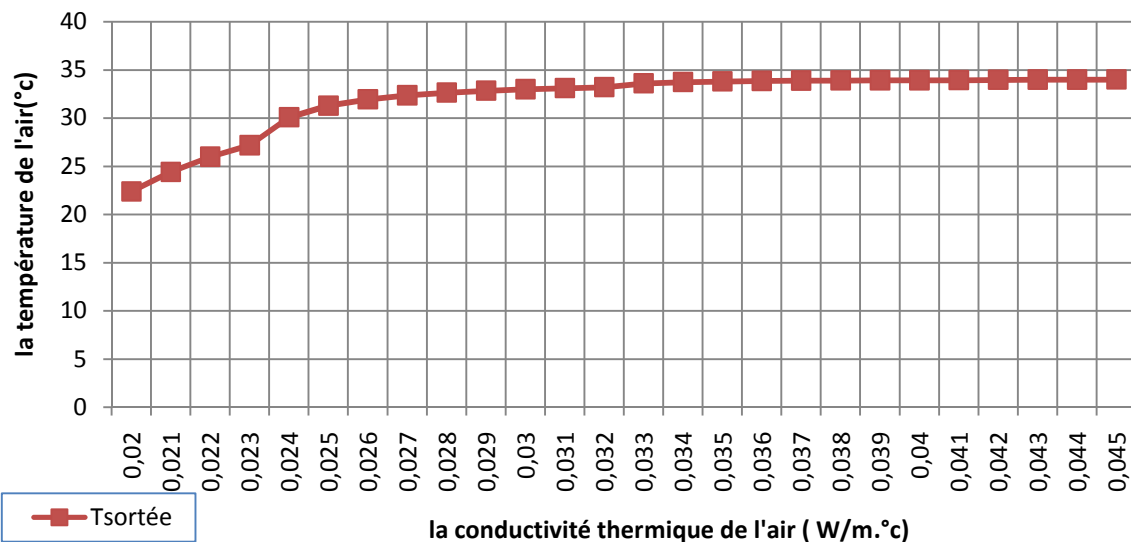


à é

é

é

La figure (.21) présente la variation de la température de l'air à la sortie de tube enterrée horizontalement en fonction de la conductivité de l'air.

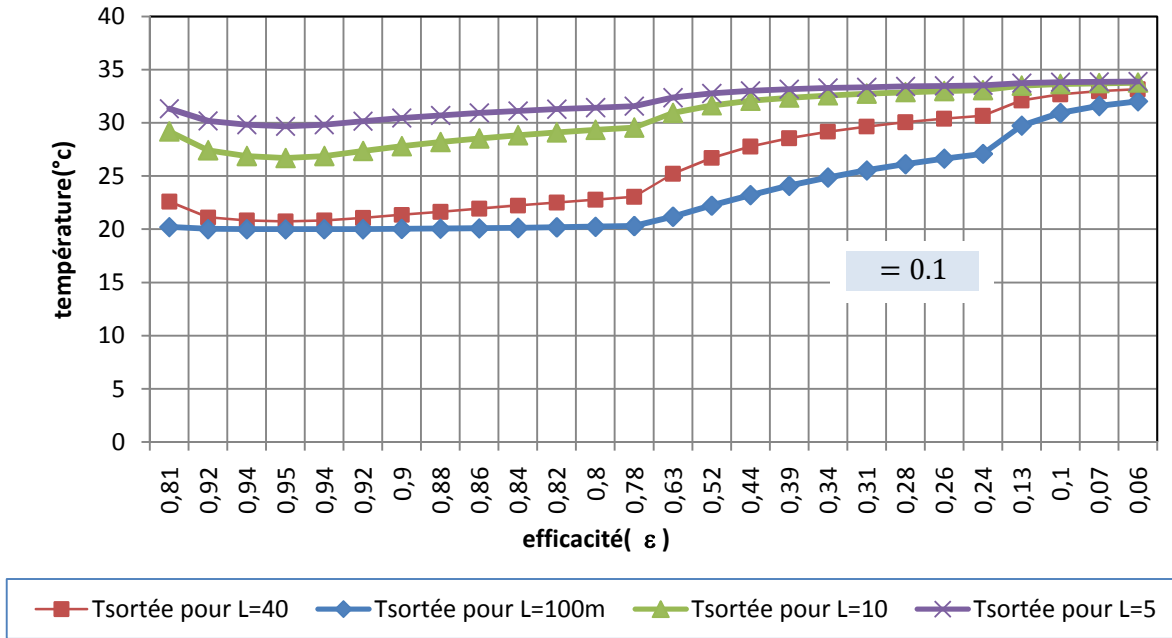


à é

é

é

La figure (VI.22) présente la variation de la température de l'air à la sortie du tube enterrée horizontalement en fonction de l'efficacité du tube pour quelques valeurs de la longueur du tube.

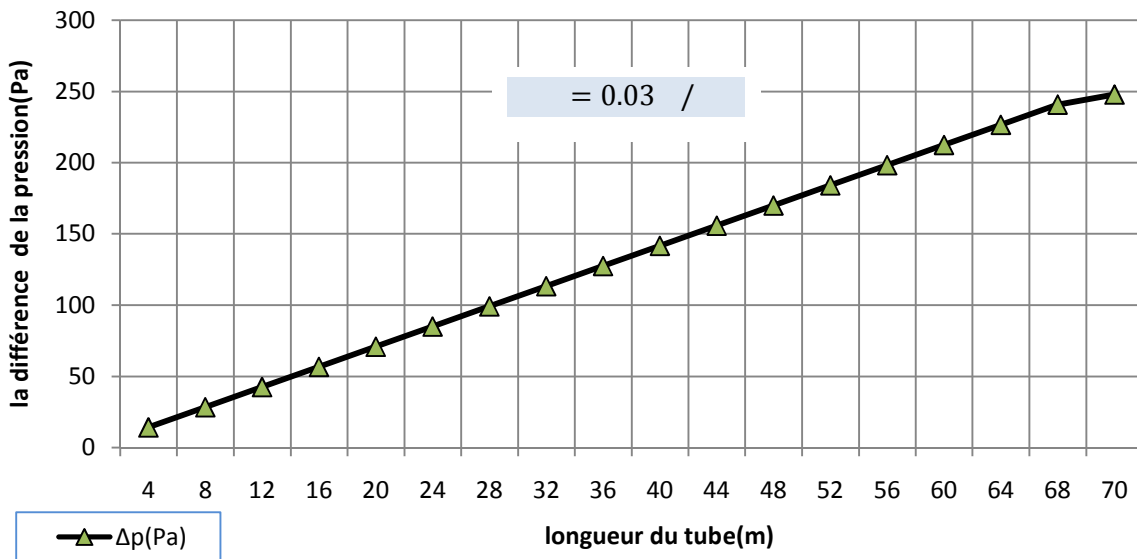


à

é

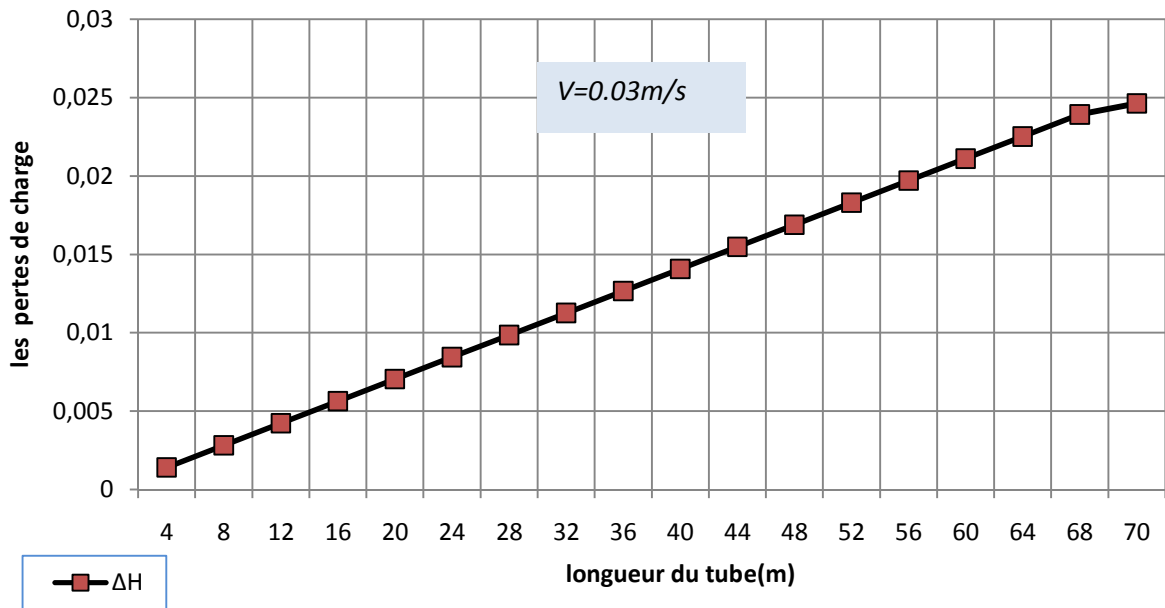
é

La figure (VI.23) présente la variation de la différence de pression du tube enterré horizontalement en fonction de la longueur du tube pour une vitesse $= 0.03 \text{ /}$.

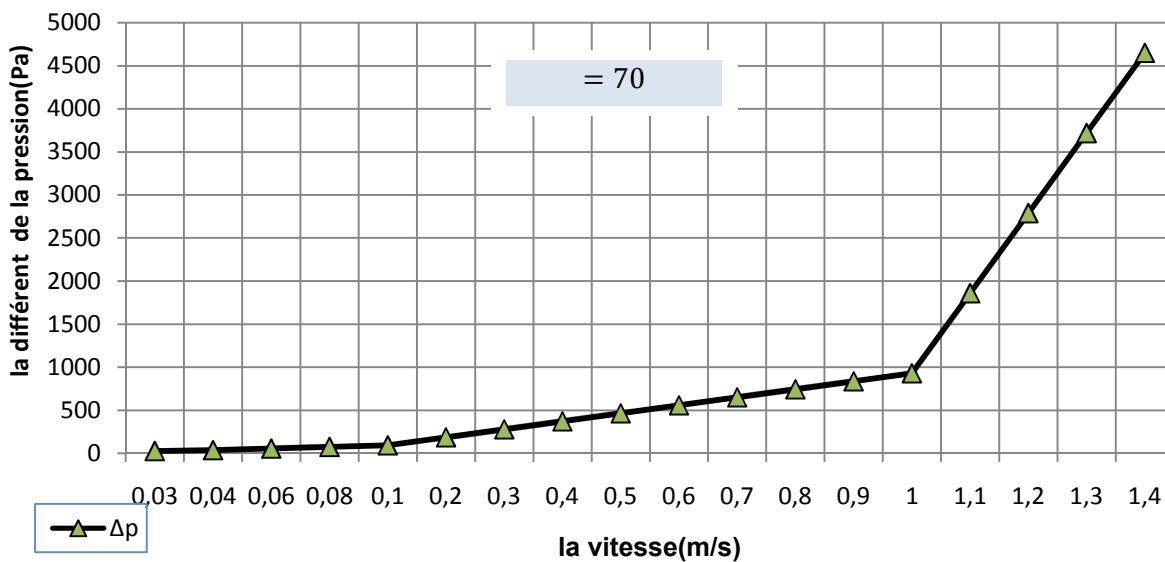


é

La figure (VI.24) présente la variation des pertes de charge du tube enterré horizontalement en fonction de la longueur du tube pour une vitesse $= 0.03 \text{ m/s}$.



La figure (VI.25) présente la variation de la différence de la pression du tube enterré horizontalement en fonction de la vitesse de l'air pour une longueur $= 70 \text{ m}$.



é

La figure (VI.26) présente la variation des pertes de charge d'un tube enterré horizontalement en fonction de la vitesse de l'air pour une longueur $L = 70$.

