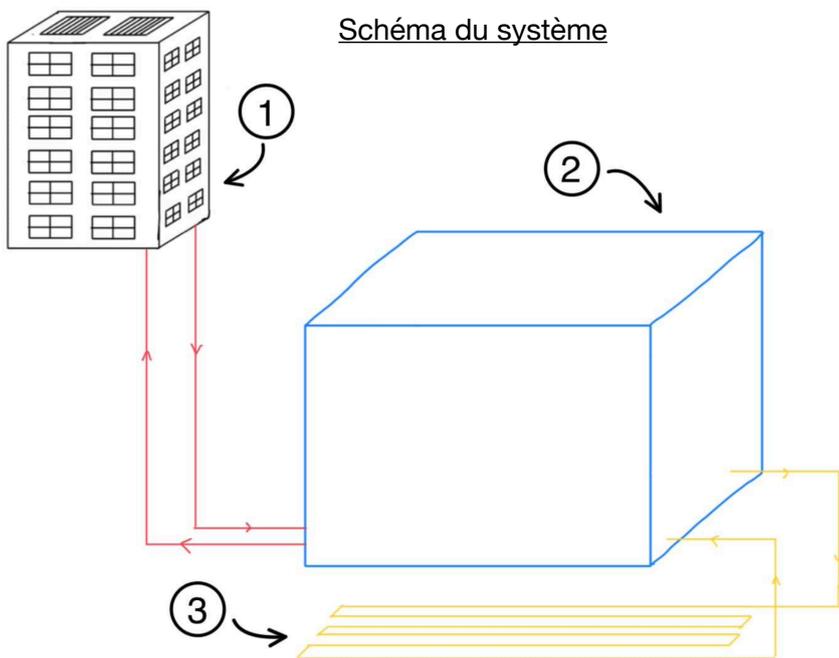


Isolation hydrique d'un bâtiment

Système générale



1: Immeuble avec système d'isolation active dans les murs

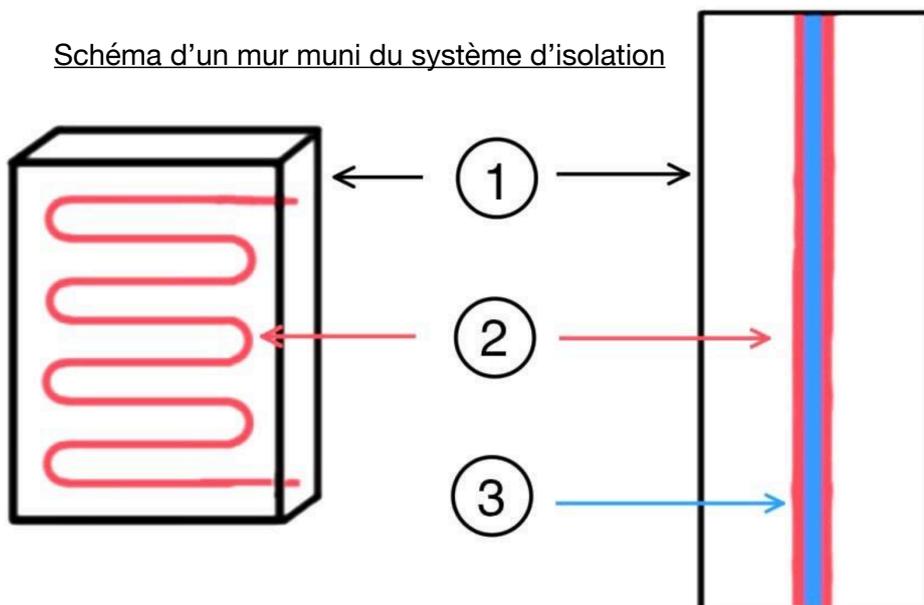
2: Cuve d'eau enterrée dans le sol

3: Tuyau enterré jouant le rôle d'échangeur thermique

On peut décomposer le système en 3 systèmes différents que nous allons étudier séparément.

Le système fonctionne de la façon suivante: le bâtiment (1) est équipé de tuyaux traversant ses murs, l'eau circulant dans les tuyaux vient de la cuve enterrée (2). Cette eau est maintenue à une température quasiment constante toute l'année grâce à l'échangeur thermique (3).

Schéma d'un mur muni du système d'isolation



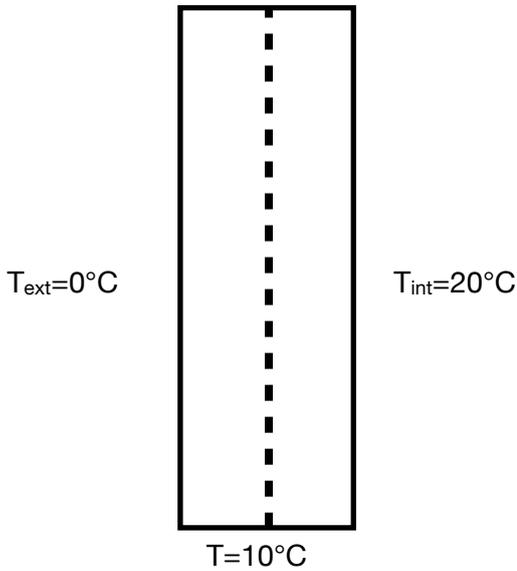
1: Mur du bâtiment

2: Tuyau de cuivre

3: Eau circulant dans le tuyau

Premièrement, pourquoi ce système permet une « isolation hydrique active » ?

Si on suppose un mur faisant la séparation entre une pièce à 20°C et l'extérieur à 0°C. Alors on a:

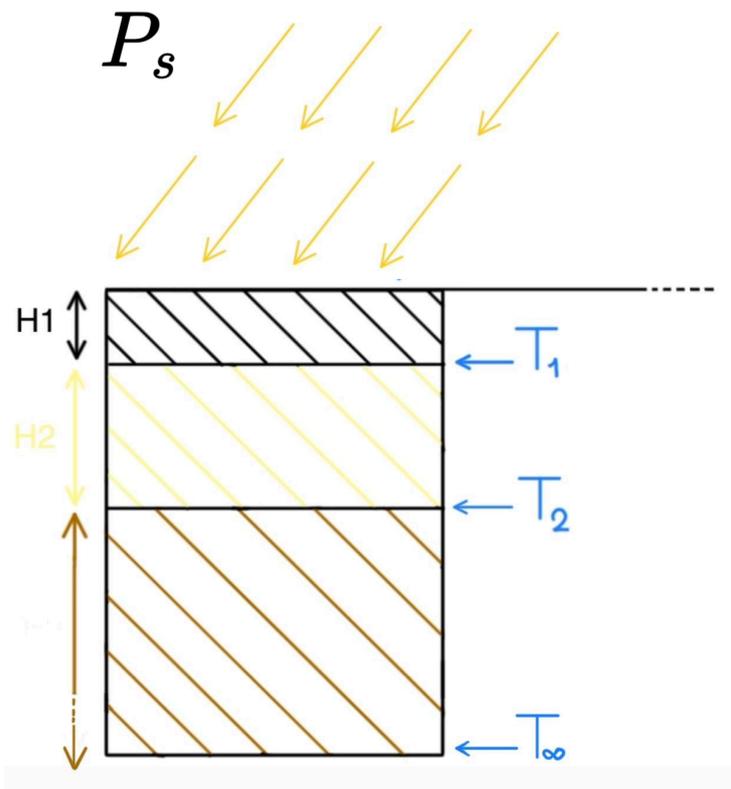


$$\text{Donc ici } T = (T_{\text{int}} + T_{\text{ext}}) / 2$$

Donc si on fixe $T=15^{\circ}\text{C}$ et $T_{\text{int}}=20^{\circ}\text{C}$ alors on aura une T_{ext} « fictive » de 10°C

C'est donc bien ici un système isolant car il va compenser les échanges thermiques avec l'extérieur.

Ensuite il faut connaître la température que l'eau pourra avoir dans la cuve, pour cela il nous faut connaître la température du sol à une profondeur donnée et à une période de l'année donnée. Pour cela nous allons utiliser les modèles suivants:



On modélise le sol comme 3 couches, une couche d'asphalte de hauteur $H1$, une couche de sable et de gravier de hauteur $H2$ et une couche de terre que l'on suppose infini avec pour température limite T_{∞}

$$T_{\text{air}} = T_a + A \cos(\omega t)$$

$$P_s = P_0 + P \cos(\omega t + \varphi)$$

On modélise ensuite la puissance surfacique solaire et la température de l'air comme ceci pour avoir une variation cyclique d'une année.

On peut alors trouver la température de la surface du sol en fonction de la température de l'air, de la puissance surfacique du soleil et de l'albédo du sol.

$$T_{\text{sol}} = T_{\text{air}} + \frac{(1 - A)P_s}{h}$$

Pour finir on va modéliser la température dans le sol comme ceci, avec t modélisant le temps et x la profondeur.

$$T(x, t) = T_0 + \exp(-mx) \left(\sum_{i=0}^n A_i \cos(\omega t - \Phi(x) + \varphi_i) \right)$$

Après avoir fait l'étude avec les paramètres choisis c'est à dire les paramètres de température, de puissance solaire, de conductivité... (Nous prenons ces paramètres sur la ville de Vaasa en Finlande, cela nous servira pour vérifier notre modélisation de température.)

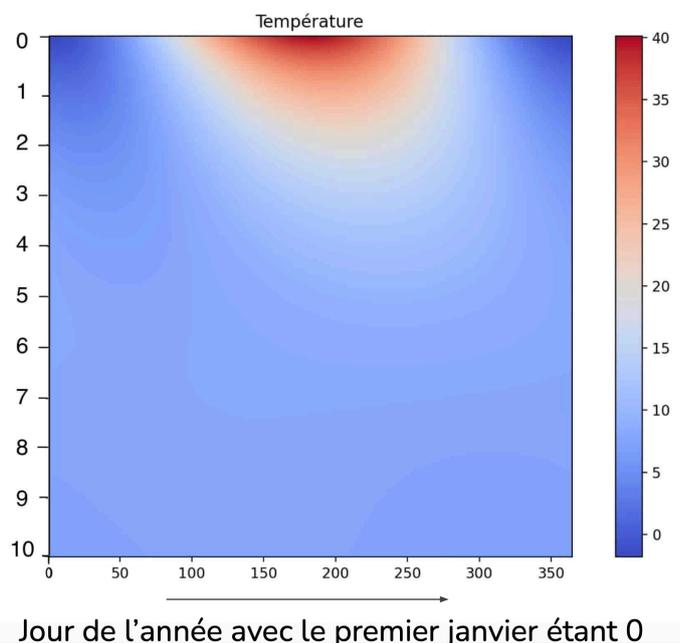
On trouve deux profondeurs intéressantes, la première est la profondeur à laquelle la température ne variera plus que d'un pour-cent au cours de l'année. Cela se passe à 11,9m de profondeur. Ensuite la deuxième profondeur intéressante est la profondeur à laquelle la température est au plus haut en hiver et au plus bas en été (à cause de la phase $\Phi(x)$). Cela se passe à 7,4m de profondeur.

On va donc, pour maximiser l'effet de l'isolation, installer l'échangeur thermique (3) à 7,4m de profondeur.

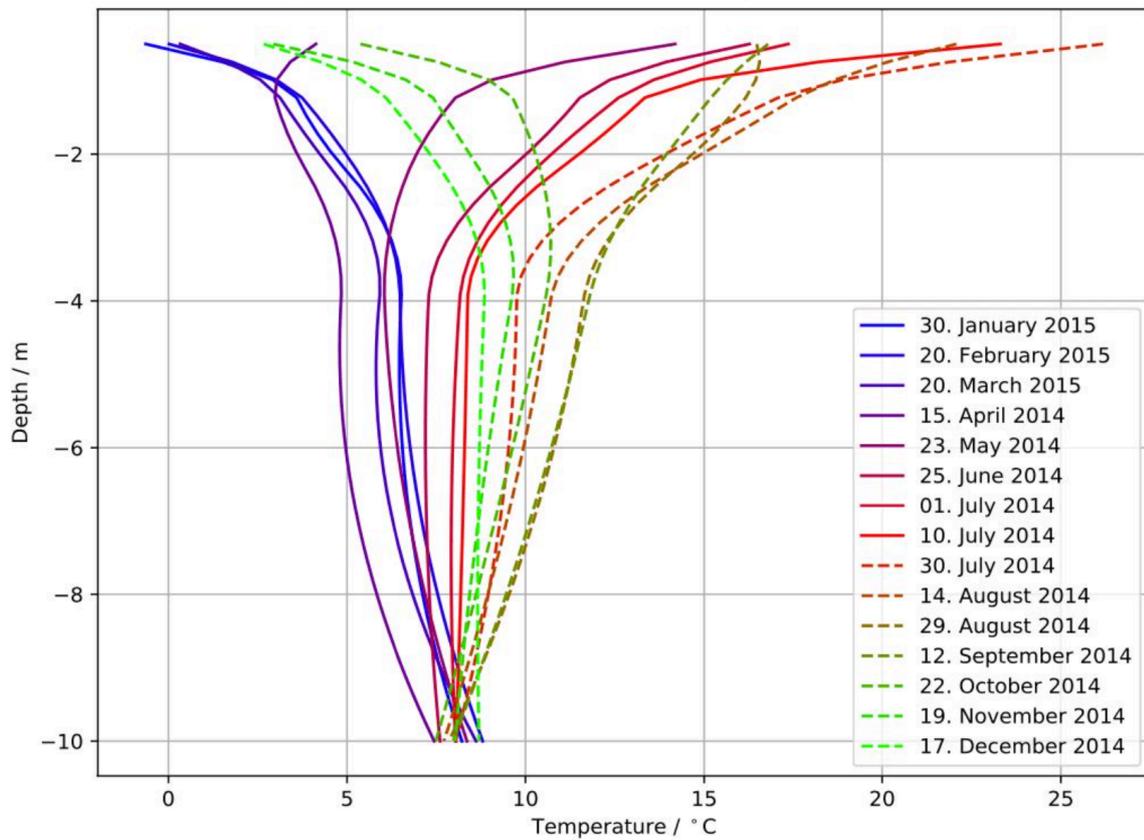
Température du sol en fonction de la profondeur et de l'époque de l'année

Profondeur

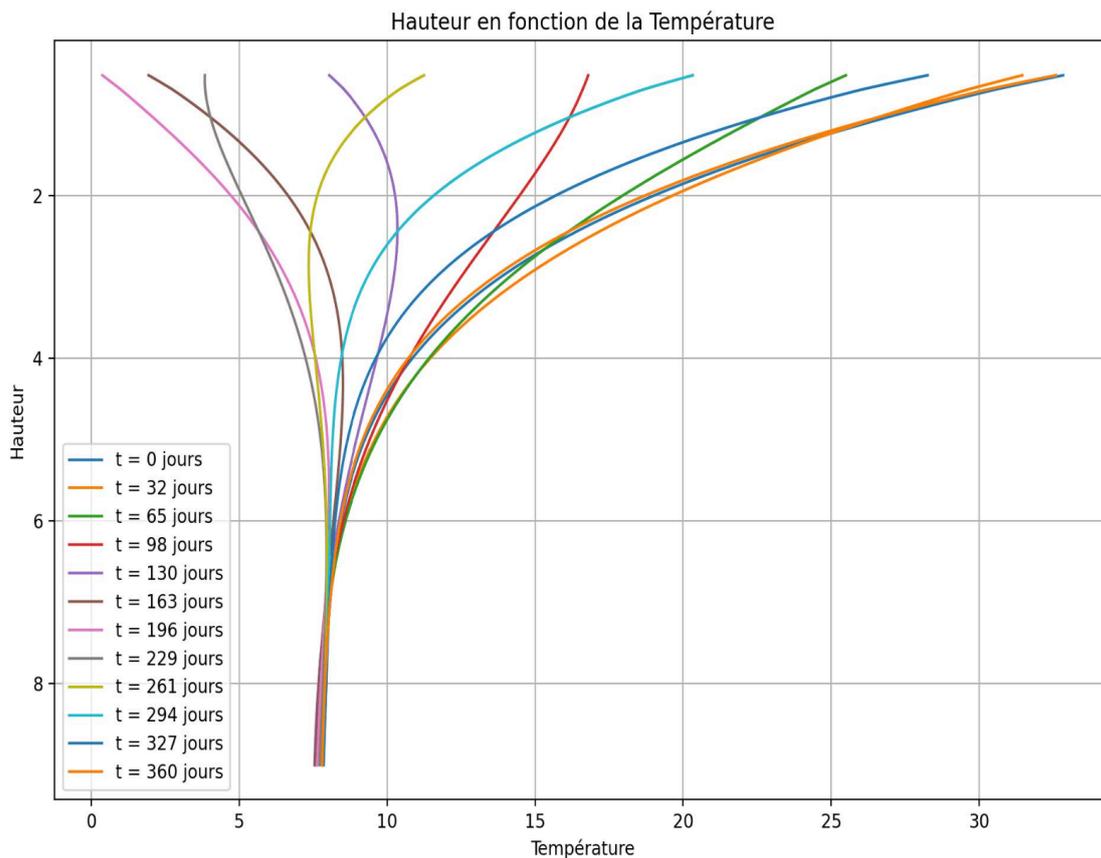
Données:
<https://www.mdpi.com/1996-1073/13/4/979>
 Vaasa, Finlande

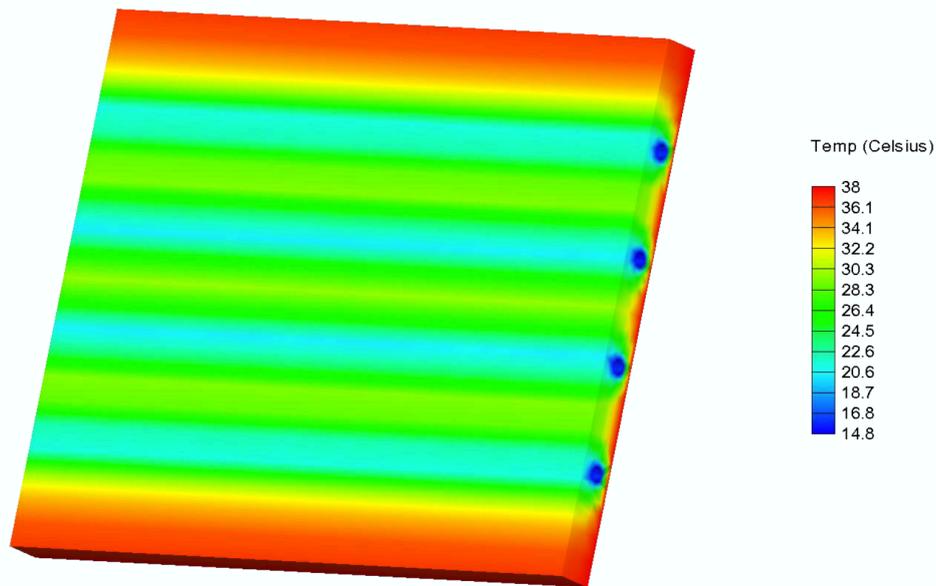


Maintenant nous devons vérifier le modèle. Pour cela nous prenons des mesures réalisées à Vaasa en Finlande. Ce sont des mesures de températures prises à différentes périodes de l'année et à différentes profondeurs dans le sol.
 Voici les tracés: (Source: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/4/979>)



Puis nous faisons les mêmes tracés avec notre modèle, cela nous donne:

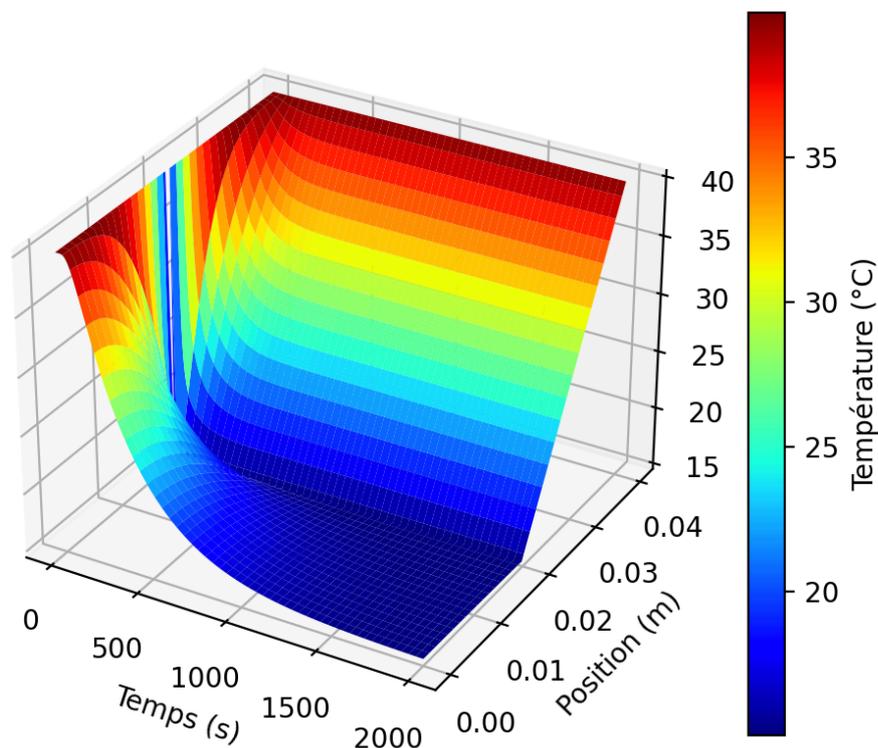


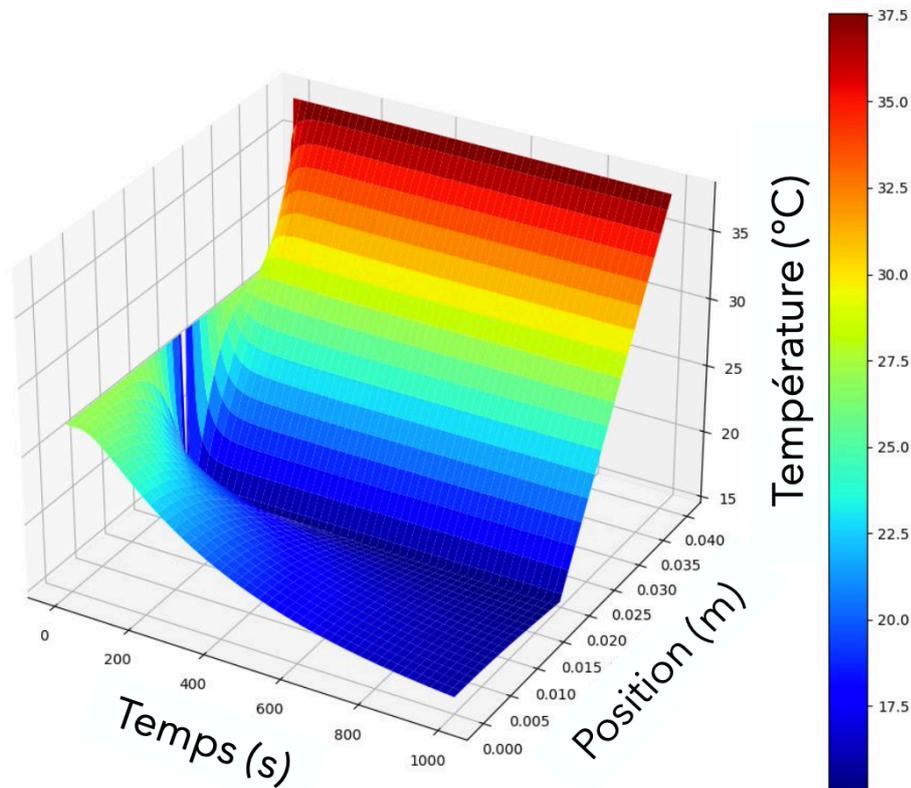


Simulation de la température atteinte par le mur en régime permanent avec une eau à 15°C dans les tuyaux et une température extérieure de 38°C. On voit ici que le mur intérieur atteint une température moyenne de 25°C ce qui rend le dispositif intéressant pour le refroidissement en été.

Maintenant nous effectuons une simulation en régime transitoire pour voir le temps que le système prend pour passer en régime permanent à partir d'une température intérieure de 40°C puis de 25°C.

On remarque ici que le régime permanent dure au maximum 2000 secondes c'est à dire à peu près 30 minutes. Après ce temps on considère que l'intérieur du mur est à température constante. Dans la réalité on aura plutôt une température supérieure à 15°C du aux échange entre le mur et la pièce. (Trop complexe à modéliser ici)





Pour calculer l'efficacité du système fonctionnant avec la température intérieur à 20°C, celle extérieur à 0°C et l'eau à 15°C. On calcule la puissance allant du mur vers l'intérieur et la puissance perdu par les frottements dans les tuyaux. (Il y a un facteur 1/4 à cause de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur)

Ensuite nous supposons que ce système va compter comme la moitié du système de chauffage. En prenant un compte un chauffage électrique classique de rendement 1, il suffit de faire la moyenne des deux rendements pour avoir le rendement du système final.

En considérant la moyenne des efficacité des systèmes de chauffage français à 2, on calcule l'énergie économisé en faisant le quotient des 2 efficacité, cela nous donne une utilisation de 5% de l'énergie utilisée auparavant, cela représente 95% d'économie.

$$e = \frac{P_{mur}}{P_f} \quad P_f = \Delta P \times D_v$$

$$P_{mur} = \frac{hS_{ech} (T_{eau} - T_{mur})}{4}$$

$$AN : e = 77$$

$$AN : e_f = \frac{77 + 1}{2} = 39$$