

RAFRAÎCHISSEMENT PASSIF DU BÂTIMENT PAR LA GÉOTHERMIE

Saida Baâli*¹, Rafik Bensalem¹, Aicha Boussoulim¹ et Nakhla Bencheriet ²

¹ Laboratoire d'architecture et d'environnement, Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme, EPAU, Alger

<http://labolae.wordpress.com/>

*saida_baa@yahoo.fr

RESUME. Les systèmes passifs de refroidissement par géothermie peu profonde peuvent être considérés comme une des réponses actuelles apportées à la problématique de la maîtrise du confort thermique d'été et de l'utilisation rationnelle de l'énergie dans un bâtiment conçu dans une région à climat chaud et aride. Mais jusqu'à présent cette technique reste non exploitable dans notre pays. Le but de ce travail est d'évaluer, de point de vue expérimental, la performance thermique d'un prototype d'échangeur air/sol réalisé dans la région du Saoura, au sud de l'Algérie, utilisé pour la ventilation naturelle et le refroidissement passif du centre de recherches Saharienne. Tout en essayant d'identifier les paramètres influents son efficacité et de déterminer les limites et les pertinences de son utilisation.

MOTS-CLÉS : géothermie, refroidissement passif, puits canadiens

ABSTRACT. Passive cooling systems by geothermal energy are considered as one of the current responses to the problem of control of thermal comfort in summer of and the rational use of energy in a building designed in cities with a arid hot climates. These systems take profile from cooling capacity of the soil: the soil temperature close to the annual average outdoor temperature, so in the summer, it is lower than outside. In this paper, we summarise our master work on this issue, we discuss experimentally the thermal performance of an existing passive system used indirectly the inertia of the soil to naturally ventilate and cool the building. While trying to identify influential parameters influential effectiveness of this system. And also, to determine limits and pertinence of the use this system.

KEYWORDS : geo-cooling, , Canadian well, , geothermal exchanger

1. INTRODUCTION

Le défi principal de l'urbanisation dans les milieux chauds et arides est d'assurer le confort thermique d'été, tout en minimisant le recours aux énergies épuisables et en respectant l'environnement [1]. Par conséquent, plusieurs systèmes passifs et dispositifs architecturaux du refroidissement ont été développés dans les différentes régions du monde comme alternative à la climatisation conventionnelle. Une de ces techniques consiste à utiliser la géothermie peu profonde. Cette dernière ne date pas d'aujourd'hui, les différents types de l'habitat troglodytique remontant à l'ère préhistorique illustrent nettement son rôle dans l'établissement des ambiances intérieures et s'avèrent être l'habitat le plus performant pour le confort des zones arides. Avec le temps l'utilisation de l'inertie du sol prend une nouvelle forme qui consiste à faire passer une partie de l'air neuf de renouvellement à travers des conduites enterrées dans le sol. La fraîcheur du sol est utilisée pour

refroidir l'air entrant avant qu'il pénètre dans le bâtiment. Cette configuration est connue par l'appellation de « puits canadien ou provençal ».

En Algérie peu de recherches sont effectuées pour l'évaluation des systèmes de rafraîchissement passif en particulier ceux qui utilisent l'inertie du sol, cette situation nous a encouragé à s'intéresser à l'étude d'un de ces systèmes qui présente un cas de figure singulier du fait qu'il tire profil du système d'irrigation la foggara très répandue dans le sud de l'Algérie. Il est utilisée pour le rafraîchissement du centre de recherches sahariennes de Beni-Abbès, Béchar.

2. DESCRIPTION DU SYSTÈME

Le système étudié est dérivé et inspiré du l'ancien système d'irrigation « la foggara ». Il est formé d'une série de trois puits reliés entre eux par une galerie souterraine. Ce système est similaire à celui convenablement appelé « puits canadiens ». [2]

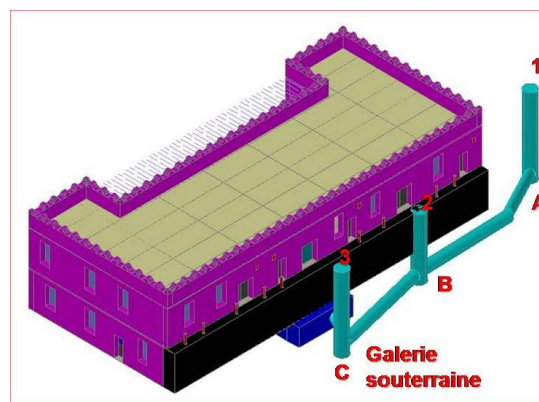


Figure 1 : dispositif du refroidissement de centre des recherches sahariennes beni Abbès, Béchar.

- **Entrée du système** : puits (1) se situe au Nord-Ouest du bâtiment à une distance de 12.3 m, d'un diamètre de 1.25m et d'une profondeur de 7.55 m.
- **Sortie 1 du système** : puits (2) se situe à une distance de 17.5 m du puits (1). Il est entièrement enterré, d'une forme cylindrique de 1.25m de diamètre et de 7.75 m de profondeur. Ce puits est en contact direct avec le bâtiment car il est adjacent à sa façade Nord-est, dont une ouverture de 1.25m x 3.5 m de hauteur le relie à ce dernier au niveau du RDC.
- **Sortie 2 du système** : puits (3) est localisé à 3.5 m de la façade Nord-est du bâtiment et de 9.3m de deuxième puits (2). Il a le même diamètre que les deux autres puits sa profondeur est de 7.5 m. L'entrée de ce puits est couverte d'une dalle mobile en béton. Ce puits est relié au bâtiment au niveau du sous-sol dont une cave est aménagée afin d'abriter l'extracteur d'air qui permet de projeter l'air refroidi à l'intérieur du bâtiment à travers une ouverture d'une forme circulaire de 60 cm de diamètre sise 25 cm de hauteur par rapport au plancher inférieur du sous-sol.
- **Galerie** : La galerie souterraine reliant les trois puits est d'une forme cylindrique de 120 cm de diamètre. La pente d'inclinaison de cette galerie varie d'un tronçon à un autre :
 - Le tronçon (AB) est de 30.89 m de longueur, tracé à partir du puits (1) sa pente d'inclinaison est importante, elle est de 16.26%.
 - Le tronçon (BC) est de 9.84 m de longueur et incliné d'une pente faible de 2.7%

Ce dispositif est utilisé pour le refroidissement d'un bâtiment massif « en dur » semi-enterré abritant le siège du centre de recherches sahariennes, il se développe en deux niveaux, d'une forme d'un parallélépipède de 32.5m de longueur, 15.7m de largeur et 6.7m de hauteur, sa structure est en murs porteurs en pierre. L'épaisseur des murs varie entre 0.5 à 1.5 m selon leur emplacement.

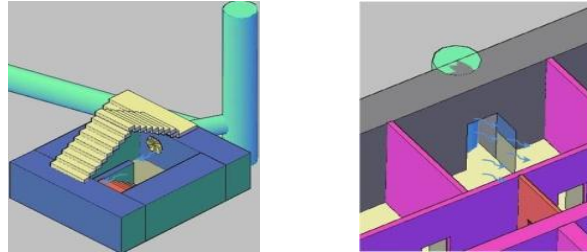


Figure 2 : à gauche sortie2 du système, à droite sortie1

3. FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME

Le fonctionnement du système est suivant un circuit ouvert : L'air chaud et sec rentre par le puits (1) refroidi le long de la galerie souterraine ensuite il est soufflé à l'intérieur du bâtiment au niveau du sous-sol à travers le puits (3) et au RDC à travers le puits (2). L'air chaud est évacué vers l'extérieur à travers des orifices qui s'inscrivent au niveau mur N-E .

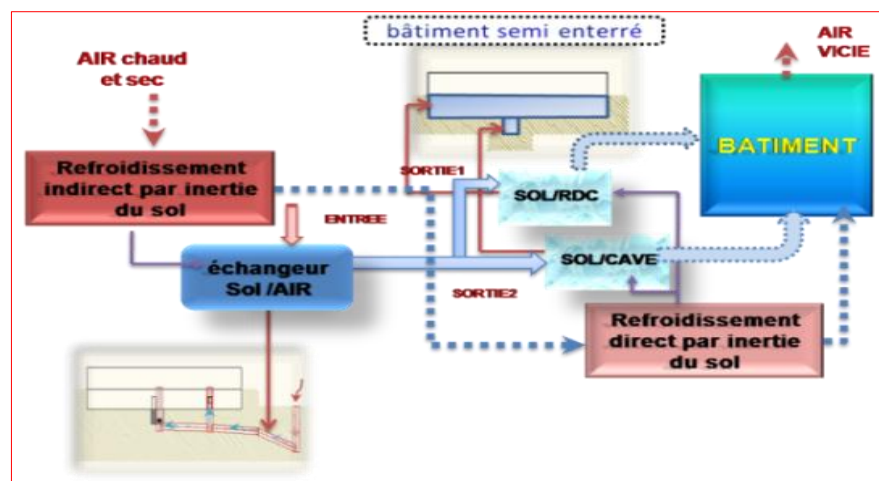


Figure 3 : schéma de fonctionnement du système

4. MÉTHODOLOGIE

Afin d'étudier la performance de ce système passif de rafraîchissement nous avons structuré notre étude en trois étapes :

- **La première étape expérimentale** basée sur des mesures in situ des paramètres climatiques. Dans cette optique nous avons effectué deux campagnes de mesure. La première allant du 12 au 19 juillet, et la deuxième effectuée entre 04 et 10 octobre.
- **La deuxième étape analytique**, nous calculons la température de l'air à la sortie du système, en utilisant un modèle analytique développé par le laboratoire du génie mécanique de l'université Mohamed khidar, Biskra. Les résultats obtenus seront comparés avec ceux obtenus expérimentalement.

➤ **La troisième étape simulation**, nous simulons notre dispositif à l'aide du logiciel GAEA dans le but d'optimiser sa performance et de déterminer la conception adéquate qui permet d'établir un degré du confort.

5. ÉVALUATION DE PERFORMANCE DU SYSTÈME

5.1. MESURE IN-SITU

5.1.1. Première campagne

Durant cette campagne nous avons essayé de comprendre le fonctionnement du système. Les instruments de mesure disponibles nous ont permis d'évaluer que deux paramètres seulement qui sont la température de l'air et la température de surface, à travers des mesures discontinues chaque 3 heures suivant un parcours de 30 minutes en allant de l'extérieur vers l'intérieur de bâtiment avec un intervalle de 5 minutes. Ces mesures sont prises pour un bâtiment fermé jour et nuit refroidi par notre dispositif équipé d'un extracteur d'air fonctionnel en mode continu.

Résultats de la 1^{ère} campagne

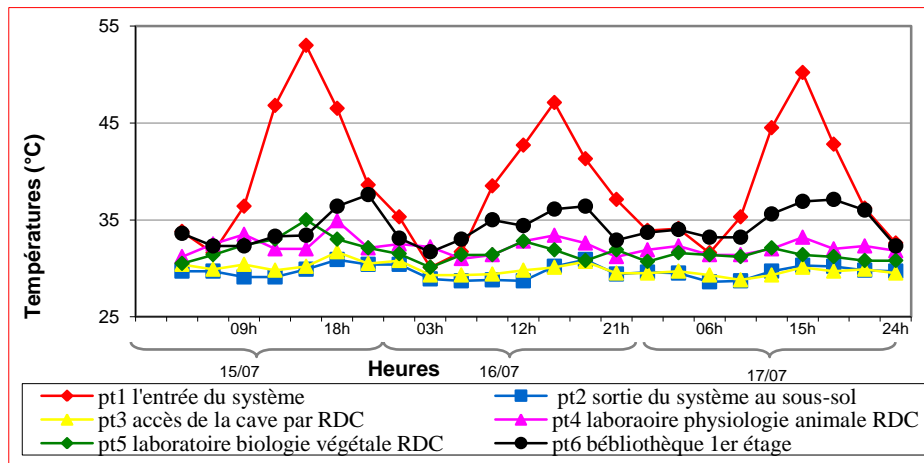


Figure 4 : Graphique des températures moyennes de l'air prises entre 15 et 17 juillet

L'air rentre avec température moyenne élevée dépassant 53°C et il se refroidit à une température moyenne varie entre 28.6 et 30.9°C. Les Températures moyennes prises au RDC varient entre 30.1°C et 35°C ; elles restent inférieures à celles prise à l'étage qui varient entre 31.7 et 37.6°C.

Les mesures de la température de l'air restent insuffisante pour évaluer le rendement du système de rafraîchissement et le degré du confort obtenu à l'intérieur du bâtiment, donc des mesures complémentaires sont indispensables afin de mesurer d'autres paramètres climatiques tout en utilisant un matériel fiable et précis ainsi en multipliant les points de mesure (2^{ème} sortie du système) et également en évaluant le bâtiment selon plusieurs scénarios (fonctionnement du système sans extracteur d'air).

5.1.2. Deuxième campagne

Scénario 1 : consiste à faire fonctionner le système de rafraîchissement avec l'utilisation de l'extracteur d'air au niveau de la sortie du système au sous-sol. Toutes les ouvertures du bâtiment sont fermées pendant le jour et ouvertes pendant la nuit du 21 heures au 6 heures. L'objectif de ce scénario

est d'évaluer l'effet de l'utilisation continue de l'extracteur l'air et de la ventilation nocturne sur le confort thermique à l'intérieur du bâtiment.

Scénario 2 : consiste à faire fonctionner le système sans l'extracteur d'air. Toutes les ouvertures du bâtiment restent fermées pendant le jour et ouvertes la nuit de 21 heures au 6 heures. A travers ce scénario nous voulons vérifier si le système peut fonctionner sans faire appel à l'utilisation de l'extracteur d'air et répondre à la demande du rafraîchissement du bâtiment qui permet d'obtenir le confort thermique nécessaire.

Résultats de la 2^{ème} campagne

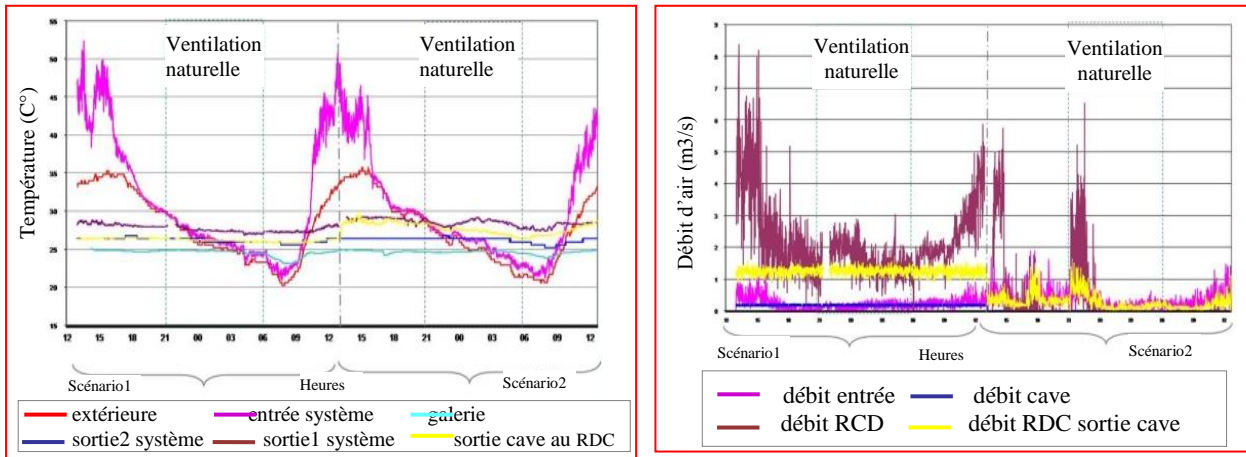


Figure 5 : Graphe des températures de l'air et graphe des vitesses de l'air prises entre 04et 06 octobre

- L'utilisation de l'extracteur de l'air permet d'obtenir des températures d'ambiance intérieure confortables entre 26,5 et 28,5°C au RDC et entre 30 à 31°C à l'étage.
- Le fonctionnement du dispositif sans extracteur d'air :
 - Pour la 1^{ère} sortie : une augmentation des valeurs de température enregistrées (29, 2°C) en particulier, durant les heures les plus chaudes de la journée
 - Pour La 2^{ème} Sortie: températures sont plus ou moins constantes et égales aux valeurs prises durant le scénario1. Malgré que l'extracteur d'air se situe au niveau de 2^{ème} sortie l'influence de sa mise hors service est ressentie nettement au niveau de 1^{ère} sortie.
- Puissance du refroidissement :

jour	entrée	2 ^{ème} Sortie	1 ^{ère} Sortie	Puissance MAX 2 ^{ème} Sortie	Puissance MAX 1 ^{ère} Sortie
S1	21 à 52,3	25,6 à 26,7	26,8 à 28,8	25,6°C	23,5 °C
S2	21,2 à 47, 3	25,2 à 26,7	27,4 à 29,2	20,6°C	18,1°C

Tableau 1 : puissance du refroidissement.

- Puissance du refroidissement élevée (moyenne Max 24,6°C)
- Température de l'air 2^{ème} sortie constante (max =26,7°C). Cet écart correspond à une distance de l'entrée égale à 44,89 m
- Température de l'air 1^{ère} sortie plus élevée (2,9°C) que celle de la 2^{ème} sortie. Cet écart correspond à la différence de longueur de tube enterré (égale à 30,80 m pour la 1^{ère} sortie)

➤ Effet de ventilation nocturne :

- 1^{er} scénario : Effet apprécié à l'étage, ventilation transversale (surface fenêtres ouvertes = ½ des ouvertures sous le vent) mais moins appréciée au RDC (Absence des ouvertures face au vent).
- 2^{ème} scénario : effet moins apprécié: la 1^{ère} phase de ventilation, Absence des ouvertures face au vent et pour la 2^{ème} phase de ventilation, Vitesse de vent est nulle.

5.2. CALCUL ANALYTIQUE

Le modèle analytique utilisé est celui qui a été développé par le laboratoire du génie mécanique LGM de l'université de Mohamed Khidar, Biskra, Algérie en 2009. Ce dernier permet de calculer la variation de la température de l'air le long du conduit. Dans cette étude nous se limitons au calcul de la température de l'air au niveau des deux sorties du système donc au point L = 30.80 m et L = 44.89 m.

$$T_a = T_{ae} \times \exp\left(\frac{-2L}{\rho \times c \times r \times v \times R}\right) + T_{sol} \times \left(1 - \exp\left(\frac{-2L}{\rho \times c \times r \times v \times R}\right)\right) \quad (1)$$

Dont :

- ✓ Ta : température de l'air - conduit, [°C]
- ✓ Tae : température de l'air à l'entrée du conduit, [°C]
- ✓ L : longueur du conduit, [m]
- ✓ ρ : masse volumique de l'air, [kg/m³]
- ✓ c : chaleur massique de l'air, [J/kg.K]
- ✓ r : rayon de la gaine, [m]
- ✓ v : vitesse de circulation de l'air à l'intérieur du conduit, [m/s]
- ✓ R : résistance thermique totale de la gaine [m².K/W]
- ✓ T_{sol} : température du sol, [°C]

Les courbes suivantes montrent les valeurs de la température de l'air à la sortie du système calculées selon le modèle analytique {eq (1)}. On remarque que la température de l'air décroît de l'entrée de l'échangeur jusqu'à la sortie.

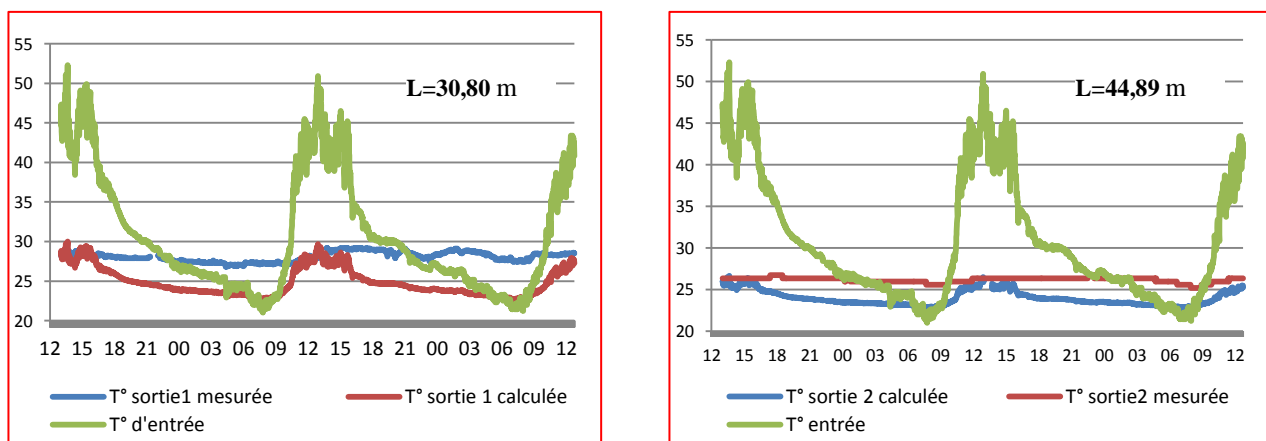


Figure 6 : comparaison entre température de l'air mesurée et calculée entre 04 et 06 octobre

Si la longueur de l'échangeur est de 30,80 m l'écart maximum est important environ 22,3 °C. Cette longueur correspond à la 1^{ère} sortie du système. Au-delà de cette longueur, la température continue à chute dont on a calculé un écart de 25,96 °C à une longueur de 44,89 m.

En comparant les courbes de températures mesurées et les températures calculées on obtient :

- Pour L= 44,89 m :
 - $36,8^{\circ}\text{C} \leq T_{ae} \leq 48,7^{\circ}\text{C}$ l'écart entre les deux courbes varie entre 2 et 0°C. ($\Delta T = T_a \text{ mesurée} - T_a \text{ calculée}$)
 - $T_{ae} \geq 48,7^{\circ}\text{C}$, $\Delta T \leq 0^{\circ}\text{C}$
- Pour L= 30,80 m :
 - $35,6^{\circ}\text{C} \leq T_{ae} \leq 44,3^{\circ}\text{C}$ l'écart entre les deux courbes varie entre 2 et 0°C. ($\Delta T = T_a \text{ mesurée} - T_a \text{ calculée}$)
 - $T_{ae} \geq 44,3^{\circ}\text{C}$, $\Delta T \leq 0^{\circ}\text{C}$

Ceci est dû au modèle analytique qui considère que l'échange thermique se fait en régime stationnaire. et le sol est homogène.

5.3. SIMULATION

La simulation est faite à l'aide de logiciel GAEA pour deux jours : 15 juillet à 15H et 04 Octobre à 15H, pour un modèle formé d'un seul tube de diamètre 1,25 m d'une longueur totale 44,89 m l'ensemble est placé à une profondeur de 7,5 m

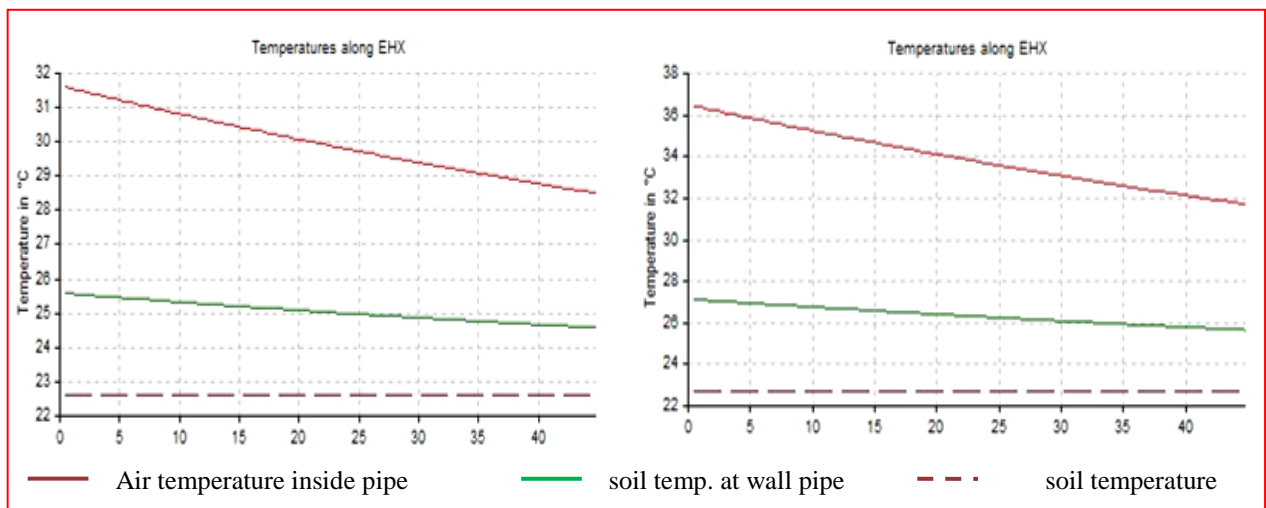


Figure 7 : simulation à gauche 15 juillet et à droite 04 octobre

Les résultats de simulation du 15 Juillet à 15H, montrent que pour une longueur d'échangeur de 33,80 m l'air est refroidi jusqu'au 33,0 C° et sa température continue à baisser jusqu'au 31,7°C pour une longueur de 44,89 m.

Les résultats de simulation du 04 Octobre à 15H, montrent que pour une longueur d'échangeur de 33,80 l'air est refroidi jusqu'au 29,4 C° et sa température continue à baisser jusqu'au 28,5°C pour une longueur de 44,89 m.

5.4. CONCLUSION ET OPTIMISATION :

Les résultats expérimentaux, analytiques et simulés montrent que ce système permet d'avoir des écarts significatifs entre la température de l'air à l'entrée du système et de ses deux sorties qui se trouvent à des distances différentes de son entrée (30,80 m et 44,89 m). En effet, la température de l'air continue à chuter avec la longueur de l'échangeur et le régime thermique est loin d'être établi. Ce qui nous permet de conclure que le dispositif présenté pourra être amélioré afin d'augmenter sa capacité de refroidissement et de stabiliser plus les fluctuations des températures intérieures. Nous pensons que cela est possible par ajustement de composants de dispositif lui-même, telle que sa longueur et le nombre des conduits.

A l'aide de logiciel GAEA, on a pu proposer un modèle plus performant ; il s'agit d'un réseau de trois tronçons formé de trois tubes d'une longueur totale 150 m et 5m d'espacement. Le diamètre interne du tube est de 0,75 m ; l'ensemble est placé à une profondeur de 5 m et à 4m de distance du bâtiment. Ce dispositif permet d'obtenir une température d'air de 22,6 °C à la sortie, le 15 Juillet à 15h.

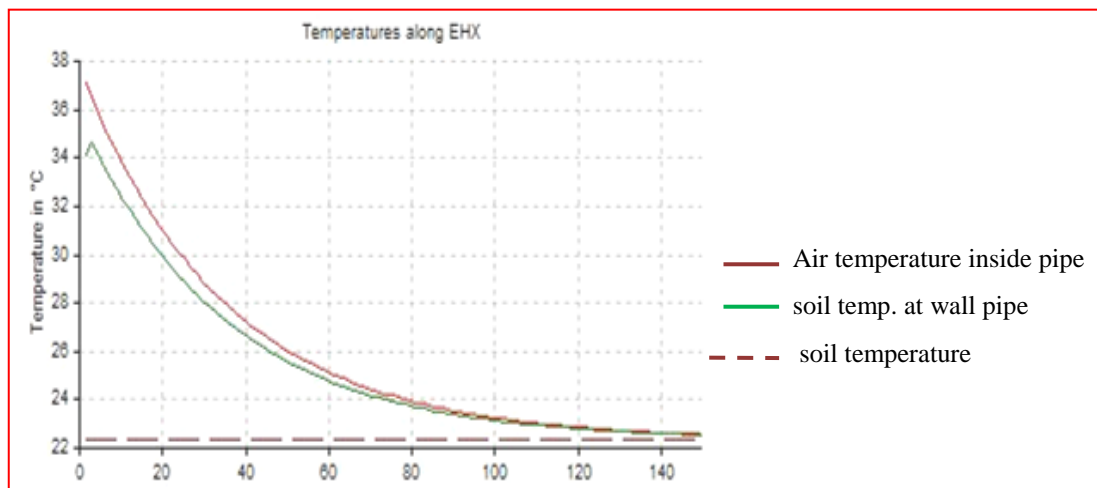


Figure 8 : simulation du modèle optimisé 15 juillet

6. BIBLIOGRAPHIE

- Al-Ajmi F. Loveday D.L. and Hanby V.I. 2006 – The cooling potential of earth–air heat exchangers for domestic buildings in a desert climate. *Building and Environment*, Vol.41, Issue n°3, pp. 235-244.
- Arbaoui A. 1998 – L'aménagement urbain dans les régions arides du sud algérien : considération climatiques, *Les cahiers de l'EPAU*, N° 7/8, pp.41-44.
- Baâli, S : Climatisation passive en chaud et aride, Thèse de magistère. *Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme, Alger, Algérie*. 221p. 2012.
- Francis C.E. 1982– Case Studies of Three Cool Tubes in Earth- Heat Exchangers used for Summer Space Conditioning in the Midwest United States , *Solar World Forum*, Vol. III, U.K., I.S.E.S., London.
- Givoni B .1994 – Passive And Low Energy Cooling of Buildings. *Edition Jhon Wiley & Sons, (CANADA)*, 263 p.
- Hollmuller P, 2002- utilisation des échangeurs air/sol pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments, thèse de Doctorat, Université de Genève (Suisse).
- Moumami N, Moumami A, Aoues K, Mahboub C et Youcef Ali S, « Le rafraîchissement par la géothermie: étude théorique et expérimentale dans le site de Biskra », *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 13 N°3 (2010) 399 – 406