

Etude expérimentale de l'efficacité énergétique d'un échangeur air / sol pour le besoin de ventilation d'un local

S .MENHOUDJ¹, H.TENNAH¹ et A .MOKHTARI¹

Adresse¹ : Faculté d'Architecture et de Génie Civil, Département de Génie Civil

Université des Sciences et de La Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF

Email : smenhoujdj@yahoo.fr

Résumé - Nous présentons dans cette communication une étude expérimentale de l'efficacité énergétique d'un système géothermique représentant un échangeur air / sol pour le besoin de ventilation d'un local. On considère deux conduits d'air à deux mètres de profondeur enterrés dans le sol dont l'un en Zinc DN 125mm et l'autre en P.V.C DN 125mm de 20 mètres linéaires chacun séparés et pris dans les mêmes conditions géométriques et d'enterrement dans le sol (Longueur de conduit égale à 20 m, Diamètre nominal de section égal à 125 mm et Hauteur d'enterrement égale à 2m). Un dispositif expérimental a été mis en place pour mesurer la température à différentes positions pour chaque conduit: température de l'air à l'entrée et la sortie; température du sol. Pendant une campagne de mesures de plusieurs mois, nous avons étudié et comparé les performances énergétiques des deux conduits. Les résultats obtenus ont permis d'évaluer l'économie d'énergie apportée par les deux systèmes en matière de besoins en ventilation en air tempérée.

Mots clés : Echangeur air/ sol, local, ventilation, métrologie, température de l'air, efficacité énergétique.

1. Introduction

Le secteur du bâtiment devient de plus en plus important en matière de consommation d'énergie. Les besoins énergétiques dans le bâtiment ne cessent de croître pour faire face aux exigences de l'homme vis-à-vis du confort des ambiances intérieures. L'éclairage artificiel, le chauffage, le rafraîchissement, la ventilation et la production d'eau chaude sanitaire sont les besoins quotidiens de l'homme dans le bâtiment. Le besoin de ventilation prend une part non négligeable dans la consommation d'énergie du au fonctionnement électrique pour un renouvellement d'air à flux contrôlé et du aux déperditions thermiques qu'elle engendre à partir d'un local. Le puits canadien [1] pour le pré conditionnement d'air en hiver et le puits provençal [2] pour le pré conditionnement d'air en été, sont des systèmes géothermiques qui ont permis d'améliorer l'efficacité énergétique pour le besoin de ventilation des locaux. L'échangeur air/sol est un système de ventilation du bâtiment qui exploite l'inertie thermique du sol et qui permet d'apporter une économie en matière de consommation d'énergie. Ce système de géothermie à énergie renouvelable en plein développement pouvant être intégré au bâtiment en Algérie suscite l'intérêt et l'objet de plusieurs études.

Plusieurs travaux de recherche se sont intéressés à l'étude des performances énergétiques de ce système géothermique à basse consommation, l'échangeur air-sol, que ce soit sur le plan théorique de Modélisation ou celui de l'expérimental. Parmi les quels, on citera : [1] ; [2] ; [3] ; [4] et [5].

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la promotion de l'utilisation rationnelle des systèmes à énergies renouvelables intégrés au bâtiment dans le contexte local maghrébin. Nous proposons, dans le contexte algérien, l'étude de l'efficacité énergétique d'un local équipé d'un système géothermique à basse température enterré dans le sol. Il s'agit d'un système représentant une conduite d'air enterré dans le sol qui arrive à une bouche de soufflage à l'intérieur du local, qui procure des ambiances tempérées. Ce système a la particularité d'être peu coûteux et profite à la fois du rôle d'accumulation de la chaleur dans le sol ainsi que de l'apport solaire en surface.

2. Description du dispositif expérimental

L'étude est menée dans une cellule expérimentale implantée sur le site de l'IGCMO de l'Université des Sciences Technologiques d'Oran Mohamed Boudiaf utilisée depuis plusieurs années pour l'étude expérimentale des systèmes énergétiques solaires intégrés au bâtiment. Il s'agit d'une cellule composée de deux cellules (A et B) semblables, qui a déjà servi pour l'étude des performances énergétiques d'un système solaire actif-PSD pour les besoins en chauffage [6] et qui est utilisée depuis l'année 2010 pour l'étude expérimentale des systèmes géothermiques à basse consommation.

La cellule expérimentale a servi aussi à étudier les performances énergétiques d'une citerne remplie d'eau enterrée dans le sol jouant le rôle d'un échangeur thermique couplée à un plancher hydraulique réversible pour le besoin en rafraîchissement d'un local [7].

Pour le cas de notre étude, nous nous intéressons à l'étude des performances énergétiques de deux échangeurs air/sol constitués de matériaux différents (Zinc et P.V.C) couplés à la cellule A (voir Fig.1).

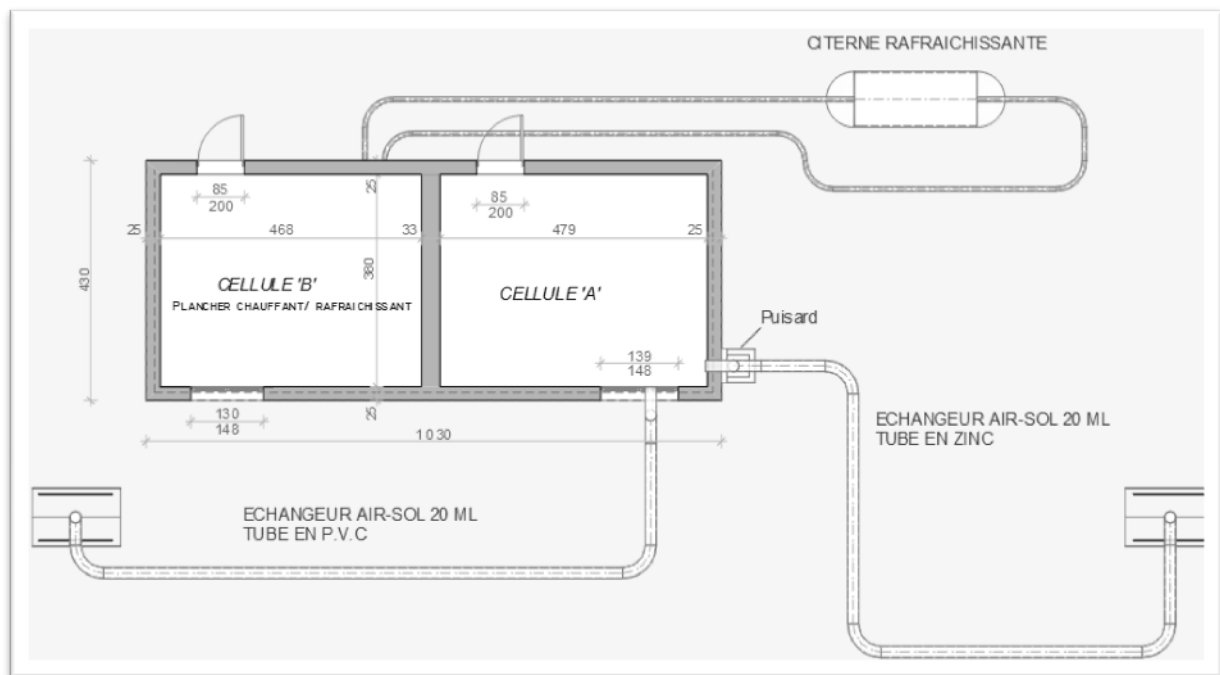


Figure 1 : Vue en plan, cellule expérimentale de l'IGCMO.

Le dispositif expérimental mis en place est composé de :

- Un échangeur air/ sol de 20 mètres linéaires en Zinc enfoui à 2m du sol, avec une cheminée de prise d'air à l'extérieur et une bouche de soufflage à l'intérieur de la cellule A.
- Un échangeur air-sol de 20 mètres linéaires en P.V.C, enfoui à 2m du sol, avec une cheminée de prise d'air à l'extérieur et une bouche de soufflage à l'intérieur de la cellule A.
- Une mini station météorologique pour l'enregistrement des données (Température de l'air intérieur, température de l'air extérieur, humidité relative, vitesse du vent, pression barométrique).
- Des thermocouples reliés à une chaîne d'acquisition de type (KEITHLEY 7700) permettent d'enregistrer les températures à différents points sensibles du système étudié (Température de soufflage à la sortie des deux conduits, température à 1m de profondeur du sol).

2.1 Caractéristiques des deux conduits d'air enterrés

Les caractéristiques géométriques et thermo-physiques des deux échangeurs (conduits d'air enterrés) ainsi que le débit de ventilation sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques des deux échangeurs.

Caractéristiques	Longueur (ml)	Diamètre Nominal (mm)	Conductivité thermique (W /m. °C)	Débit de ventilation en (m ³ /h)	Pente (%)
Echangeur (conduit en P.V.C)	20	120	0,17	90	2
Echangeur (conduit en Zinc)	20	120	116	90	2

2.2 Nature et propriétés physiques du sol

L'identification du sol menée au laboratoire de géotechnique de l'IGCMO a montré qu'il s'agit d'un sol argileux limoneux. Les propriétés physiques du sol sont montrées sur le tableau 2.

Tableau 2 : Propriétés physiques du sol.

Nature du sol	Conductivité thermique (λ s) W/m .K	Capacité thermique (Cs) J /kg. K	Masse volumique (ρ s) Kg/m ³
Sol argileux limoneux	1.5	1.7	1530

3. Calcul des besoins en chauffage et en rafraichissement de la cellule

La cellule expérimentale est considérée comme un local mono zone, ou la cellule A (voir figure.1) n'a aucune influence sur la température de l'air intérieur de la cellule B.

Le calcul des besoins en chauffage et en rafraichissement a été fait par simulation numérique avec le logiciel TRNSYS (Transient System Simulation) qui est un environnement complet et extensible destiné à la simulation de systèmes thermiques au régime instationnaire, y compris les bâtiments multizones. Les résultats de la simulation numérique de la cellule expérimentale sont calculés tout en assurant une température de consigne égale à 26 °C à l'intérieur du local durant la saison de rafraichissement et de 18°C pour la période de chauffage.

Tableau 3 : Résultats de simulation (Logiciel TRNSYS).

Mois	Besoins en chauffage (en KWh)	Besoins en rafraichissement (en KWh)	Infiltration (en KWh)	Ventilation (en KWh)	Irradiation solaire (en KWh)	Gains intérieurs (en KWh)
Janvier	297,40	0,00	-106,10	0,00	117,40	25,06
Février	219,20	0,00	-89,99	0,00	126,20	21,73
Mars	188,40	0,00	-88,01	0,00	136,30	23,55
Avril	114,10	0,00	-67,10	0,00	105,80	22,46
Mai	35,63	0,00	-41,95	0,00	91,61	24,60
Juin	0,40	2,64	-26,25	0,00	80,38	22,46
Juillet	0,00	61,02	-8,02	0,00	91,24	23,53
Aout	0,00	77,07	-6,00	0,00	109,40	24,60
Septembre	0,00	31,53	-23,52	0,00	137,00	21,43

Octobre	17,04	7,02	-36,63	0,00	137,10	25,08
Novembre	129,30	0,00	-63,58	0,00	122,80	24,17
Décembre	253,20	0,00	-96,81	0,00	132,30	23,26
TOTAL	1255,00	179,30	-653,90	0,00	1388,00	281,90

4. Calcul des apports énergétiques des deux échangeurs

L'apport énergétique d'un conduit d'air se justifie par la variation de température de l'air entre l'entrée et la sortie du conduit. Nous calculons les apports énergétiques des deux conduits (P.V.C et Zinc) à la base de la quantité de chaleur qu'a accumulée l'air pendant son parcours le long du conduit. Nous formulons la quantité de chaleur reçue par l'air par l'expression suivante :

$$Q = \rho_a.V. C_a (T_{\text{souf}} - T_{\text{ext}}) \quad (1)$$

Avec :

- ρ_a : Masse volumique de l'air [kg/m³].
- V : Volume du local [m³].
- C_a : Chaleur massique de l'air [J / (kg. °C)].
- T_{souf} : Température de soufflage du conduit [°C].
- T_{ext} : Température extérieure [°C].

Les flux thermiques apportés par les deux conduits enterrés sont calculés à partir des températures (T° de soufflage, T° de l'air extérieur) enregistrées respectivement du mois de Novembre 2010 au mois de septembre 2011 représentés dans le tableau 4 et 5.

La période de chauffage d'un local implantée sur le site d'Oran s'étale du mois de novembre au mois d'avril selon M. ANNABI [8] qui a étudié l'influence du site sur les besoins mensuels de chauffage sous la configuration du logiciel TRNSYS .

Tableau 4 : Les apports énergétiques pour la période de chauffage.

Mois	Novembre 2010	Décembre 2010	Janvier 2011	Février 2011	Mars 2011	Avril 2011
Flux thermique (tube en Pvc) en KWh	39	20	10	14	16	12
Flux thermique (tube en Zinc) en KWh	89	73	42	22	25	23

Tableau 5 : Les apports énergétiques pour la période de rafraîchissement.

Mois	Mai 2011	Juin 2011	Juillet 2011	Aout 2011	Septembre 2011
Flux thermique (tube en Pvc) en KWh	15	23	08	31	0
Flux thermique (tube en Zinc) en KWh	26	36	15	39	2

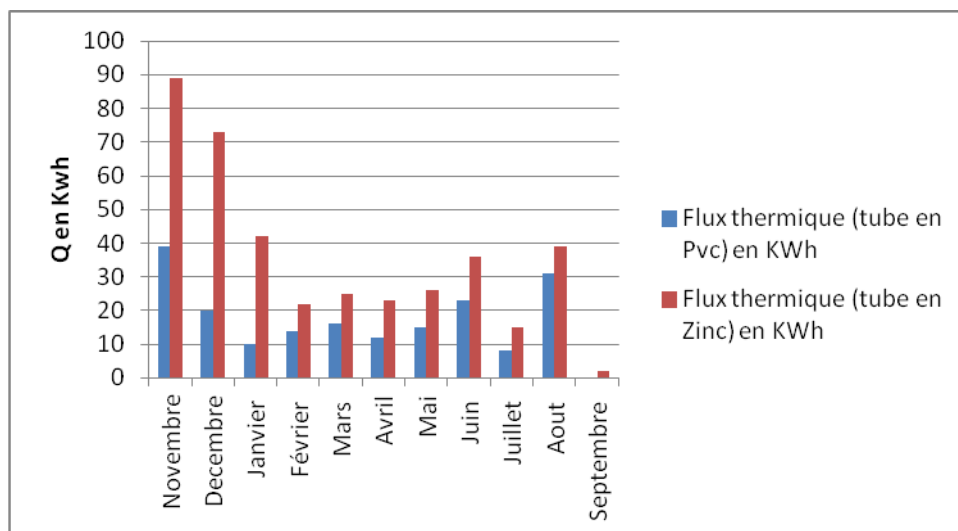


Figure 2 : Les apports énergétiques des deux conduits enterrés.
(Période de chauffage-Période de rafraîchissement).

Nous remarquons que le gain énergétique du conduit d'air en zinc est nettement supérieur à celui apporté par le conduit d'air en P.V.C. Ces apports énergétiques restent globalement en dessous comparativement aux besoins de la cellule, évalués par simulation sous le code de calcul TRNSYS (Tableau 3).

5. Résultats et interprétation (partie expérimentale)

Nous suivons l'évolution de la température de l'air à la sortie des deux conduits d'air enterrés (P.V.C et Zinc) et celle de la température de l'air extérieur pendant la période qui s'étale du 21 /11/2010 au 21 /09/2011.

Nous étudions l'influence de la conductivité thermique des deux échangeurs air-sol constitués de matériaux différents sur la température de l'air à la sortie des conduits (température de soufflage).

Nous remarquons que :

- Pour toute la période de mesure l'évolution de la température de l'air à la sortie des conduits varie entre 10°C et 32°C pour une température de l'air extérieur enregistrée variant de 2,6°C et 42°C (Fig.3).

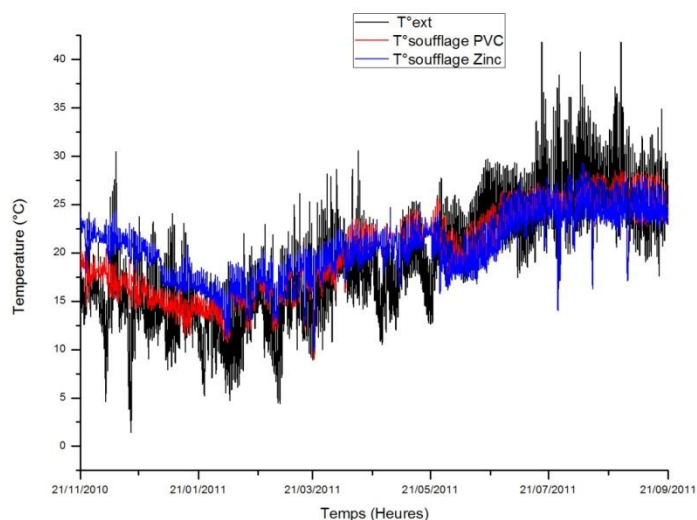


Figure 3 : Evolution de la température de l'air à la sortie du conduit pour la période du 21/11/10 au 21/09/11.

- Pour la période d'hiver du 21/11/2010 au 02/03/2011(**Fig.4**), la température de l'air à la sortie du conduit en P.V.C varie entre 12°C et 20°C, celle du conduit en Zinc entre 12°C et 23°C pour une température de l'air extérieur enregistrée variant de 2,1°C et 31°C.
- Les gains de température apportés par les deux conduits sont de l'ordre de 3,5°C en moyenne pour le conduit en Zinc et de 1,7°C pour celui en P.V.C pendant la période d'hiver.

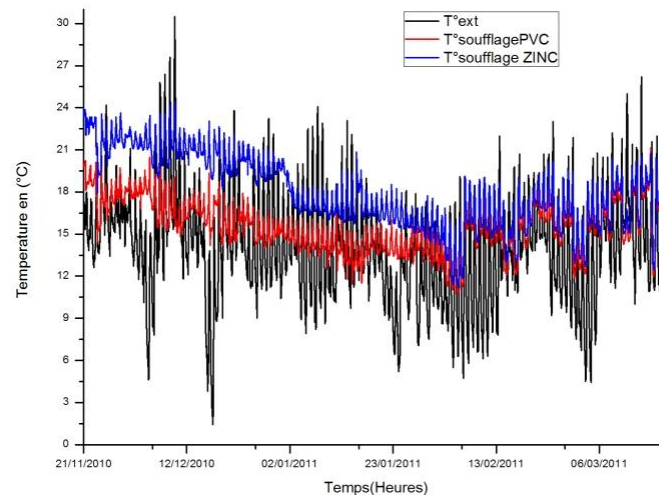


Figure 4: Evolution de la température de l'air à la sortie du conduit pour la période du 21/11/2010 au 21/03/2011

- Pour la période de printemps du 21/03/11 au 20/06/11(**Fig.5**), la température de l'air à la sortie du conduit en P.V.C varie entre 11°C et 30°C, celle du conduit en Zinc entre 18°C et 25°C pour une température de l'air extérieur enregistrée variant de 11°C et 30°C.
- Les gains de température apportés par les deux conduits sont de l'ordre de 0,5°C en moyenne pour le conduit en Zinc et de 0,3°C pour celui en P.V.C pendant la période de printemps.

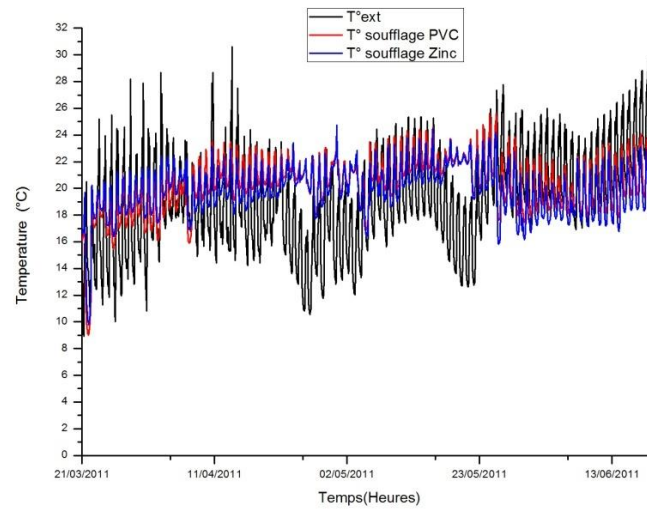


Figure 5 : Evolution de la température de l'air à la sortie du conduit pour la période du 21/03/2011 au 21/06/2011

- Pour la période d'été du 21/06/2011 au 20/09/2011(**Fig.6**), la température de l'air à la sortie du conduit en P.V.C varie entre 17°C et 42°C, celle du conduit en Zinc entre 17°C et 28°C pour une température de l'air extérieur enregistrée variant de 17°C et 42°C.
- Les gains de température apportés par les deux conduits sont de l'ordre de 2°C en moyenne pour le conduit en Zinc et de 1,5°C pour celui en P.V.C pendant la période d'été.
- Les gains de température apportés par les deux conduits enterrés pendant la période de l'hiver et de l'été sont plus importants que ceux apportés durant la période de printemps ou le système peut être considéré comme inefficace.

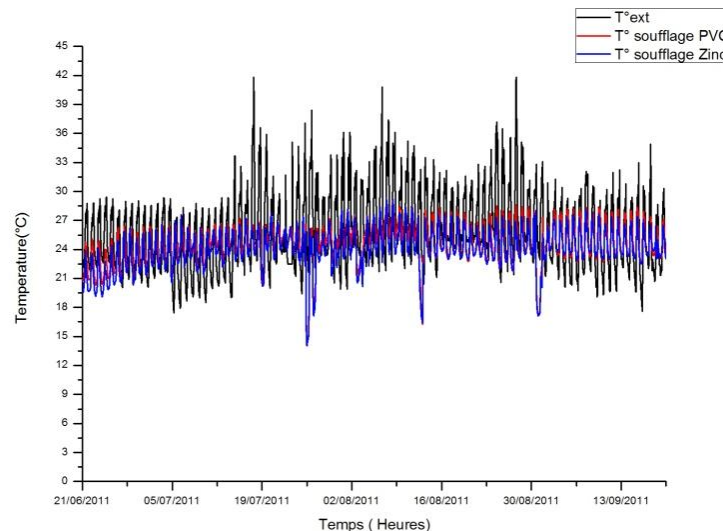


Figure 6 : Evolution de la température de l'air à la sortie du conduit pour la période du 21/06/2011 au 21/09/2011

6. Conclusion

Cette étude expérimentale a permis de tirer des résultats satisfaisants sur le comportement thermique d'un système géothermique à basse température, l'échangeur air/sol, dans le contexte local Algérien, plus particulièrement celui de la ville d'Oran.

L'étude de l'efficacité énergétique des deux conduits d'air enterrés montre que les gains énergétiques apportés par le conduit d'air enterré en Zinc sont plus importantes que ceux apportés par le conduit en P.V.C.

Les apports énergétiques restent globalement en dessous des besoins en matière de chauffage et de rafraîchissement de la cellule étudiée calculés par simulation sous la configuration de l'outil de simulation dynamique TRNSYS.

Les résultats que nous avons obtenus montrent que le l'échangeur air/sol couplé au local permet d'assurer le pré conditionnement de l'air surtout en saison de chauffage et en saison de rafraîchissement. Pour améliorer son efficacité énergétique il sera intéressant d'augmenter la longueur du conduit et de diminuer son débit de soufflage. On pourra aussi parler de la reconstitution du sol comme moyen d'amélioration des conditions des échanges thermiques air/sol.

Références

- [1] P.HOLLMULLER, Utilisation des échangeurs air/sol pour le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments, Thèse de doctorat, Université de Genève, 2002, 126p.
- [2] D.Amitrano, Eléments de dimensionnement d'un échangeur Air/sol, dit « puits canadien », Université J. Fourier, Grenoble, 2006.
- [3] V.BADESCU, « Simple and accurate model for the ground heat exchanger of a passive house », renewable energy, vol .32, 5.pp.845-855, 2007.
- [4] B. PEUPORTIER, S. THIERS, Modélisation thermique d'un échangeur air-sol pour le rafraîchissement des bâtiments, Journée thématique SFT-IBPSA Froid solaire et confort d'été, 2007.
- [5] THIERS S, Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive, Thèse de doctorat à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2008, 255p.
- [6] S .MENHOUDJ, D.SIFODIL et A .MOKHTARI, Etude expérimentale d'un système solaire actif -PSD», revue des énergies renouvelables du CDER, vol. 15, numéro 3, page 479-488, Algérie, 2012.
- [7] N.GACEM, Etude expérimentale de l'efficacité énergétique d'une citerne enterrée dans le sol, mémoire de magister, USTO (Algérie), 2013.
- [8] M.ANNABI, Calcul des besoins énergétiques du bâtiment dans le contexte maghrébin », mémoire de magister, USTO (Algérie), 2005.