

# CONTRIBUTION DE LA GEOTHERMIE DANS LA REHABILITATION ENERGETIQUE DES MAISONS INDIVIDUELLES. CAS DE CONSTANTINE/VILLE HAMMA.B. ALGERIE

BOUMAUCHE. NASREDDINE & BOUCHAHM. YASMINA

Université Constantine 3. Laboratoire : Architecture Bioclimatique et environnement. Constantine. Algérie.

Reçu le 29/06/2016 – Accepté le 02/11/2017

## Résumé

Face aux défis énergétiques et climatiques, l'énergie géothermique peut constituer une alternative aux énergies fossiles au même titre que les autres énergies renouvelables. Se chauffer ou se rafraîchir localement au moyen d'une énergie propre qu'offre la terre est une démarche écologique et économique. La nappe phréatique de Hamma Bouziane renferme un important réservoir d'eau chaude à 34°C qui confère à cette ville d'être une pionnière dans le domaine du chauffage urbain géothermique en Algérie. Le diagnostic du logement individuel pris comme échantillon dans le cas de cette étude révèle que cette typologie est inconfortable pendant les deux saisons hivernale et estivale et au même temps énergivore. La consommation énergétique est de l'ordre de 200 KWh/an. La réhabilitation énergétique du bâti grâce à la géothermie basse température est possible. Le chauffage à air chaud est convenable, en exploitant les calories de l'eau, sans recourir aux pompes à chaleur, au moyen d'un échangeur proposé par l'auteur. Le rafraîchissement peut être assuré en profitant de l'inertie du sol pendant l'été. Les résultats obtenus sont très satisfaisants pour la stratégie d'hiver et d'été, car les solutions envisagées révèlent que la température résultante de l'air intérieur peut être ramenée à 20°C et plus.

**Mots clés:** réhabilitation ; énergie géothermique ; confort ; maisons individuelles ; chauffage ; climatisation.

## Abstract

In front of energy and climatic challenges, the geothermal energy can constitute an alternative to the fossil fuels as well as other renewable energies. To heat or to refresh themselves locally by means of a clean energy, offered from the ground is an ecological and economic approach. The groundwater of Hamma Bouziane contains an important hot water tank in 34°C, which confers on this city to be a pioneer in the field of the geothermal district heating in Algeria. The diagnosis of the individual housing taken as sample in the case of this study reveals that this typology is uncomfortable during both wintry and summery seasons and it is energivore. The energy consumption is about 200 KWh / Year.

The energy rehabilitation of the built thanks to geothermal low-temperature is possible. The heating with hot air is suitable, by exploiting the calories of the water, without resorting to heat pumps, by means of a heat exchanger proposed by the author. The refreshment can be assured by taking advantage of the inertia of the ground during the summer. The obtained results are very satisfactory for the summer and winter strategy, because the envisaged solutions reveal that the resultant temperature of the internal air can be brought back to 20°C and more.

**Keywords:** Rehabilitation; geothermal energy; comfort; Individual housing; Heating; cooling.

## ملخص.

لمواجهة تحديات الطاقة والمناخ يمكن للطاقة الحرارية الأرضية أن تشكل بديلا لطاقة الحفريات. إن تستدفئ أو تبتعث محليا بوسائل الطاقة النظيفة التي تمنحها الأرض هو مسعى بيئي واقتصادي. إن السباط المائي لحامة بوزيان يحوي خزان معتبر من المياه الساخنة (34°C)، التي تؤهلها لأن تكون رائدة في مجال التدفئة الحضرية باستخدام الطاقة الحرارية الأرضية في الجزائر. أظهر المسكن الفردي الذي استخدم كعينة للتجارب في إطار هذه الدراسة أنه غير مريح و يستهلك كمية كبيرة من الطاقة حيث تقدر بحوالي 200 KWh في السنة. إعادة التأهيل للمساكن باستعمال الطاقة الحرارية الأرضية تعتبر عملية ممكنة. التدفئة بالهواء الساخن تعتبر مناسبة حيث تستغل الوحدات الحرارية للماء بدون اللجوء إلى المضخات الحرارية و ذلك باستعمال مبدل حراري مقترح من المؤلف. فيما يخص التبريد في الصيف، فقد نلجأ إلى استغلال الكتلة الحرارية للأرض. تعتبر النتائج المحصل عليها مرضية بالنسبة لإستراتيجية الشتاء و الصيف لأن الحلول المقترحة تمكن من التحكم في درجة الحرارة الداخلية، حيث نستطيع إيصالها إلى 20°C أو أكثر.

**الكلمات المفتاحية :** إعادة التأهيل، الطاقة الحرارية الأرضية، الأريحية، السكنات الفردية. التدفئة، التبريد.

## INTRODUCTION :

L'ère de la construction massive et respectueuse de l'environnement, d'antan, est révolue. Le développement des technologies de la construction, de chauffage et de climatisation, durant le XXème siècle a engendré un gaspillage énorme de l'énergie fossile, polluante et non renouvelable. Les défenseurs de la nature enregistrent chaque jour des atteintes au biotope, à la qualité de l'air, à l'ozone...etc. la planète entière est menacée par les fréquentes catastrophes naturelles, si dévastatrices ; inhérentes aux effets du réchauffement planétaire. L'accord universel sur le climat tenu en 2015 à Paris (COP21), recommande aux pays signataires de diminuer les taux d'émissions des gaz à effet de serre. D'œuvrer pour une politique énergétique saine et durable aux fins de freiner l'élévation de la température moyenne à l'échelle mondiale et de la maintenir en deçà d'un réchauffement de 2°C.

L'objectif de la présente approche vise la réhabilitation énergétique des maisons individuelles à Hamma Bouziane pour atteindre un confort thermique optimum pour les deux saisons critiques (hiver & été) et du coup atténuer les émissions des gaz à effet de serre. La disponibilité en permanence de l'eau chaude naturelle dans cette ville suscite notre réflexion pour un éventuel emploi, en tant qu'énergie alternative aux éphémères et redoutables énergies utilisées actuellement. Nous allons saisir cette opportunité au cours de cette recherche en faisant une application sur un modèle des maisons individuelles. Des campagnes de mesures des paramètres climatiques sont effectuées pour évaluer son comportement énergétique et son niveau de confort thermique pendant les deux saisons contraignantes (hiver & été). La modélisation et la simulation sont réalisées par le logiciel « TRNSYS. V16 », au moyen duquel, plusieurs scénarios sont envisagés pour trouver une solution adéquate au chauffage et climatisation en puisant les calories de l'eau géothermale locale.

## 2. CHAMP D'ETUDE :

Hamma Bouziane est située au Nord-ouest de la ville de Constantine, et distante d'elle de 9km seulement, limitée par :

- Le Nord: Commune de Béni H'miden;
- Le Nord -est : Commune de Didouche Mourad;
- Le Sud et Sud-est : Commune de Constantine;
- L'Ouest: Commune de Messaoud Boudjriou;
- Le Sud-ouest : Commune d'Ibn Ziad.

Elle est érigée sur une surface de 73,20 Km<sup>2</sup> et dispose d'un réseau routier important qui lui permet d'être un carrefour, reliant cinq wilayas : Skikda, Guelma, Annaba, Mila et Jijel.

Le choix a été porté, sur cette ville pour la principale raison qu'elle dispose d'un gisement énergétique important qui est : l'eau chaude souterraine dont la température est de 34 °C à la surface et un débit total de tous les forages est de l'ordre de 975 l/s [1], d'autant plus qu'elle est potable. Cette dualité fera de Hamma Bouziane une capitale de la géothermie qui pourrait alimenter Constantine et toutes ses communes limitrophes.

Le parc urbain de Hamma Bouziane comporte un nombre important de logements individuels estimés à 10409 logements [2], érigés dans des lotissements et des cités d'habitats spontanés. Cette typologie d'habitat est un modèle, qu'on retrouve pratiquement dans toutes les villes du nord Algérien.

## 3. LA GEOTHERMIE :

La géothermie est l'exploitation de la chaleur naturelle de la terre, c'est une énergie renouvelable qui ne dégage pas de gaz à effet de serre. La température du sol croît selon un gradient thermique de 1°C tous les 30 à 40 m de profondeur [3]. Les plus fortes températures sont proches du noyau de la terre et les plus faibles sont à 1m de profondeur et sont tributaires de l'effet du climat. La géothermie concerne deux principales filières énergétiques : la thermique et l'électricité. On peut classer cette énergie propre selon trois types :

**a) La géothermie à haute énergie (150°C – 250°C)**, concerne des fluides, contenus dans des réservoirs localisés à une profondeur moyenne de 3000 m. l'énergie captée est sous forme de vapeur. L'objectif est de transformer l'énergie thermique en énergie électrique.

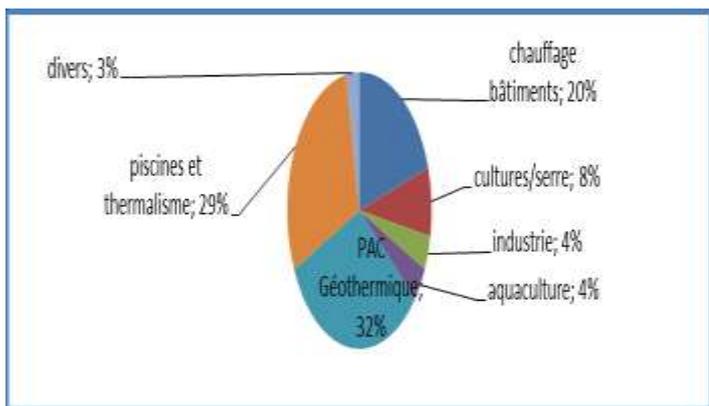
**b) La géothermie moyenne énergie (90°C à 150°C)**, l'exploitation de cette énergie s'effectue au niveau des bassins sédimentaires, sous forme d'eau chaude ou de vapeur humide à une profondeur moyenne 2000 m. L'utilisation est directe, essentiellement, destinée au chauffage urbain collectif par réseau de chaleur;

**c) La géothermie à basse énergie (< 90°C)**, extraction d'une eau dans des nappes phréatiques localisées entre 1500 et 2500 m de profondeur. On l'utilise pour le chauffage et certaines applications industrielles.

**d) La géothermie à très basse énergie (< 30°C),** l'exploitation se fait à une faible profondeur (10 à 100 m). En général, l'utilisation de la pompe à chaleur est nécessaire. Souvent, le choix est porté sur une PAC réversible qui produit soit la chaleur ou l'eau rafraîchie pour en profiter toute l'année.

La production mondiale moyenne en 2012 de l'énergie géothermique tout type confondu est de 193 GWh/jour [4], dont la part de la production de chaleur d'origine géothermique dans le monde s'élève à 122,6 TWh. Il y a lieu de distinguer, les installations utilisant directement de la chaleur du fluide de celles qui nécessitent la présence d'une pompe à chaleur. La répartition des secteurs d'activités utilisant l'énergie géothermique (usage thermique) au niveau mondial est représentée dans la figure N°1 :

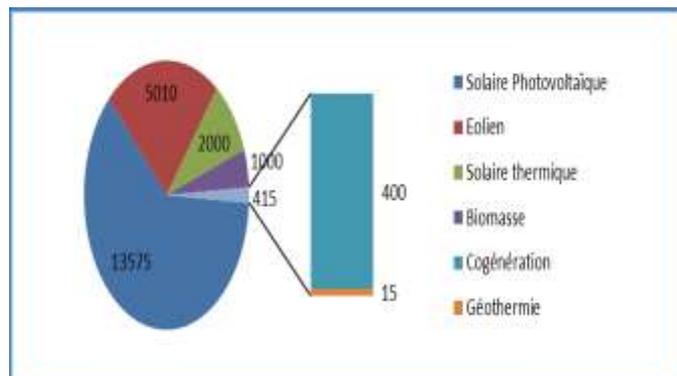
**Figure.1:** La répartition mondiale, des filières géothermiques (thermiques). Source : Word geothermal congress , 2005.



Nous remarquons que les calories puisées de la terre sont prises par de nombreux domaines dans le monde (habitat individuel, collectif, tertiaire, industrie, thermalisme et agriculture) d'où l'intérêt de cette source d'énergie qui a prouvé sa pertinence technique, économique et environnementale.

Le programme de développement des énergies renouvelables établi en Algérie et qui s'étale sur 20 ans (2011-2030) consiste à produire 22 000 MW dont 20% seront réalisés d'ici 2020, (fig.2). Ce programme ne représente que 27% du bilan national de production d'électricité. La place de l'énergie géothermique parmi les autres EnR, répartie par filière est insignifiante ; elle est estimée à 15MW seulement [5].

**Figure.2 :** Prévisions de production des énergies renouvelables en Algérie (2011-2030). Source: Ministère de l'énergie.



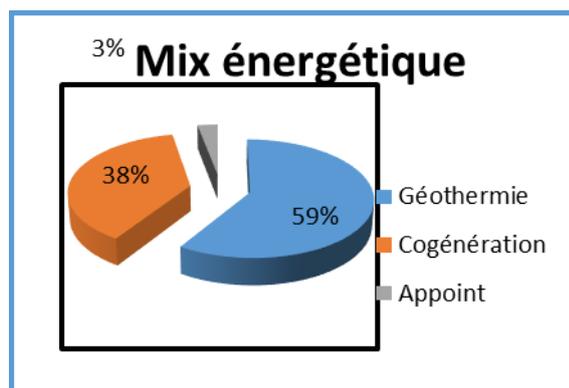
Malgré que le pays dispose de 240 sources thermales, tout l'intérêt au développement des EnR en Algérie est réservé au solaire photovoltaïque (13575 MW) et l'éolien (5010MW). Certains sites présentent des potentialités réelles en matière de production de l'énergie géothermique à moyenne température, comme l'aquifère albien du Sahara (98°C), le centre du pays (80°C) et Tlemcen (68°C). La production d'énergie actuelle est très restreinte, et se limite au thermalisme et le secteur agricole notamment l'aquaculture. Quelques nouveaux projets ponctuels, ont vu le jour dans certaines wilayas comme : Guelma, khanchela et le sud qui ont bénéficié de 80% d'aide par l'état.

#### 4. EXPERIENCES EUROPEENNES :

##### a) Expérience française :

Les statistiques comptent plus de 200 000 logements, chauffés par la géothermie à moyenne et basse énergie en région d'Aquitaine et Ile-de-France, uniquement [6]. L'usage de la géothermie dans le domaine du chauffage urbain occupe la plus importante part avec 87%, suivi par le secteur de l'agriculture (10%) et 3 % pour les piscines. Le plus grand réseau géothermique de l'Europe est celui qui couvre les trois villes Françaises : Chevilly Larue, Hay les roses et Villejuif. Il alimente 22000 unités d'habitations en **circuit fermé**. La mise en service des deux premières villes était en 1985 ; quant à la dernière, n'a bénéficié du projet qu'en 2013. Le réseau de chaleur est constitué de 80 km de canalisations (réseau à 3 tubes) et de 02 centrales de production d'énergie (géothermie et cogénération).

La part de la géothermie est la plus dominante avec 59% de production d'énergie (fig.3). L'exploitation s'effectue à une profondeur de 1800 m au niveau de l'aquifère du Dogger dont la température est de 75°C & 73°C et un débit de 300 m³/h en circuit fermé. Le projet a un impact environnemental très positif car il a permis de réduire l'émission de « **27.381 t/an** » de gaz à effet de serre (Tab.1).

**Figure.3** : Proportions d'énergies produites pour les trois villes**Tableau.1** : Quantité de G.E.S évité grâce à la géothermie

| Nature Gaz      | Quantité réduite tonnes/ an |
|-----------------|-----------------------------|
| CO <sub>2</sub> | 27 000                      |
| SO <sub>2</sub> | 335                         |
| NO <sub>x</sub> | 46                          |

Source : J.Lemale, 2012

### b) Expérience Allemande: ville de Prenzlau

L'une des premières centrales géothermiques au monde est située à Prenzlau. Elle est entrée en service en 1987. Elle approvisionnait au départ, 501 logements en chaleur, grâce à de l'eau thermale à 42°C, puisé à 1050 m de profondeur. Les installations ont été restaurées 1994, pour atteindre la nappe phréatique à une profondeur de 2786 m. la température de l'eau à ce niveau est de 108°C. La puissance totale de la centrale géothermique est de 3900 MWh, composée de :

- Un échangeur de chaleur (150 kW) destiné à l'échange direct de la chaleur ;
- Une pompe à chaleur, (350-500 kW) destinée à prélever la chaleur de l'eau de la sonde.

Le réseau de chaleur alimente 2000 logements en **circuit fermé**, dont 1200 reçoivent à la fois l'énergie et l'eau chaude. Il dessert aussi, un ensemble d'équipements formé par 2 écoles équipées de salles de sports et 3 bâtiments commerciaux. Les émissions de CO<sub>2</sub> et de CO ont baissé de 20%, après la mise en service de la centrale géothermique à Prenzlau.

### c) Expérience anglaise: Ville Southampton.

Le forage du puits a été réalisé en 1980 au centre même de la ville de Southampton sans aucun risque. L'eau chaude jaillit à 76°C à une profondeur de 1800 m. la construction du réseau de chauffage urbain était entamé en 1981 et la climatisation urbaine est venue s'y ajouter en 1994 grâce à des pompes à chaleur à absorption. La centrale géothermique fournit 30 000 MWh de chaleur et 1200 MWh de puissance pour produire de l'eau rafraîchie nécessaire pour la climatisation en été. Ces réseaux alimentent 3000 logements et quelques équipements en **circuit fermé**. Le système de production a permis d'éviter l'émission de plus de 10.000 tonnes par an de CO<sub>2</sub> [7].

## 5. ETUDE DE CAS :

### 5.1 Présentation de l'échantillon :

La maison individuelle choisie, pour effectuer les mesures des paramètres météorologiques est située dans le lotissement dit : « *Bergli* » commune, chef lieu, de Hamma Bouziane (fig.4 & 6). Les coordonnées géodésiques du site sont: 36°25'33''27 de Latitude Nord et 6°35'15''05 de Longitude Est. Il est élevé à une altitude de 480 m. Le lotissement comporte 90 maisons individuelles et des équipements publics. Les parties Nord, Est et Ouest sont occupées par des habitations spontanées. Quant à la partie Sud est occupée par de superbes vergers (fig.5) qui agrémentent le paysage, adoucie l'ambiance thermique et procurent de l'oxygène, ils créent, ainsi, un véritable microclimat. Cette dimension environnementale est à protéger de la prolifération du béton, de l'asphalte et de la pollution de l'air qui ne cesse de s'accroître. La superficie moyenne des parcelles bâties est de l'ordre de 240 m<sup>2</sup>); Le C.E.S prescrit par le cahier des charges est de 60%, d'où une surface de 144m<sup>2</sup> (fig.6), seulement, est autorisée à la construction. La hauteur moyenne est de 12m, soit : R+2 + T.A (terrasse accessible) (fig.7). Le style dominant est le contemporain. La maison objet de l'investigation s'insère parfaitement dans cette typologie d'habitation.

**Figure 4**: photo satellite du lotissement Bergli. Source : Google earth 2015.



Le rez-de-chaussée abrite le garage des voitures et un local de commerce. Les deux étages supérieurs sont dédiés à l'habitation. La terrasse est accessible et abrite deux petits espaces construits appelés « buanderies » mais réellement, ils sont utilisés comme espaces de rangements (fig.8). L'organisation spatiale du logement se rapproche

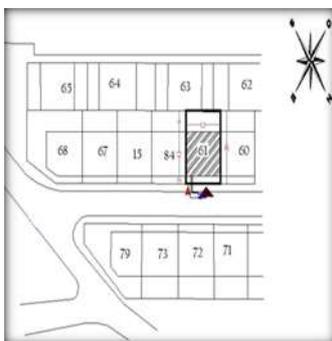
beaucoup plus de la typologie européenne : les pièces principales d'habitation gravitent autour d'un couloir qui se termine par un espace central couvert. Les chambres et le séjour disposent de larges fenêtres ou portes fenêtres qui donnent directement vers l'extérieur ou bien à travers des balcons, (fig.7 & 8). Ces ouvertures représentent, presque le 1/3 de la surface d'un panneau de façade. Les matériaux utilisés pour la construction des maisons

individuelles sont presque identiques surtout pour les gros œuvres et second d'œuvres, excepté pour les revêtements des sols et certains murs des cuisines et salles d'eaux où l'on constate quelques différences dans la nature des matériaux et leurs motifs de décoration. Nous avons essayé de présenter dans le tableau N°2 les matériaux les plus importants qui constituent la maison échantillon.

**Tableau N°2 :** Matériaux utilisés dans la construction de la maison échantillon. Source : auteur

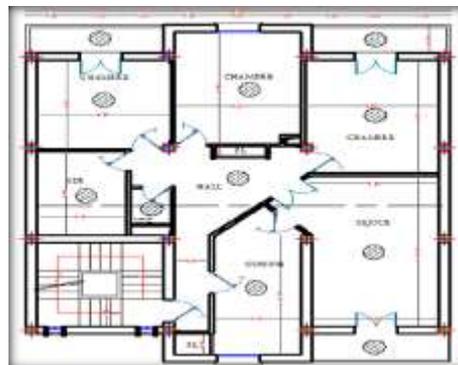
| Planchers & Dalles  | Poteaux & poutres  | Murs   | Ouvertures  | Terrasses  | Revêtements  |
|---|--|--|---|--|--|
| Planchers à corps creux (16+4).<br>Hourdis 16 cm + dalle de compression en B.A, 4cm | Poteau en béton armé (30 x30) cm<br>.....<br>Poutres en béton armé (30 x40) cm | Murs de remplissage en brique d'argile cuite rouge :<br>-Mur double extérieur :30cm dont lame d'air de 5cm.<br>-cloison intérieures: 10 et 15 cm | - Huisserie et ouvrants sont en bois de menuiserie rouge du nord<br>- vitrage simple translucide de 3mm d'épaisseur<br>- persienne en bois rouge du nord. | Terrasse accessible :<br>-Plancher en corps creux ;<br>-forme de pente en béton maigre ;<br>-nivellement par couche de sable ;<br>-revêtement en carreau de granito. | Les sols sont revêtus de carreaux de granito ainsi que les terrasses et la cage d'escalier.<br>.....<br>Tous les murs sont revêtus d'un enduit de ciment de 1.5 cm |

**Figure 5 :** Vue sur les vergers au sud-ouest. **Figure 6 :** Plan de masse de la maison étudiée. **Figure 7 :** façade Nord-est



**Figure 8 :** vues en plan de l'étage courant et de la terrasse accessible.

**Figure 9 :** emplacements des appareils de mesures (Matérialisés par des ellipses)



## 5.2 Investigation :

L'objectif principal de l'investigation est de déterminer quantitativement, le niveau de confort thermique des habitations individuelles ainsi d'examiner leurs comportements thermiques pendant les différentes saisons, tout en quantifiant leurs besoins énergétiques en chauffage et climatisation. Cette opération est fondamentale afin de procéder à une réhabilitation énergétique adéquate. Les campagnes de mesures des paramètres climatiques : températures et humidités relatives de l'air ont été effectués à l'intérieur et l'extérieur des pièces principales de la maison testée. Les appareils de mesures « thermo hygromètres » sont placés à l'intérieur des pièces (au centre et à 1 m du sol) alors que les capteurs ou sondes sans fils sont installés à l'extérieur, au niveau des balcons (fig.9). Les opérations de mesures ont été lancées en décembre, le mois le plus froid et en juillet, le mois le plus chaud de l'année. Parallèlement, nous avons procédé à des mesures de température de l'eau chaude au niveau des forages de hammam Zouaoui et hammam Skhoune sis à la ville de Hamma Bouziane (fig.4). Il est à noter que les températures de l'eau mesurées par nos soins coïncident avec les relevés de la société de gestion de l'eau « SEACO », soit : 34°C.

Les outils de mesures utilisés lors des campagnes sont :

- une station météorologique à sept sondes sans fil « WMR 928 NX d'Oregon Scientifique (professionnelle);
- ne centrale météorologique « WHS-5041 ». Marque: OTIO. Ayant trois capteurs ;
- Thermomètre électronique « BEKA », à sonde métallique inoxydable, pour mesurer la température de l'eau chaude;
- Thermomètre stylo, IP65, à sonde métallique inoxydable, pour mesurer la température de l'eau chaude.

## 5.3 Résultats et interprétations :

### A) Fluctuation des Températures et de l'humidité en période hivernale.

#### a) Températures :

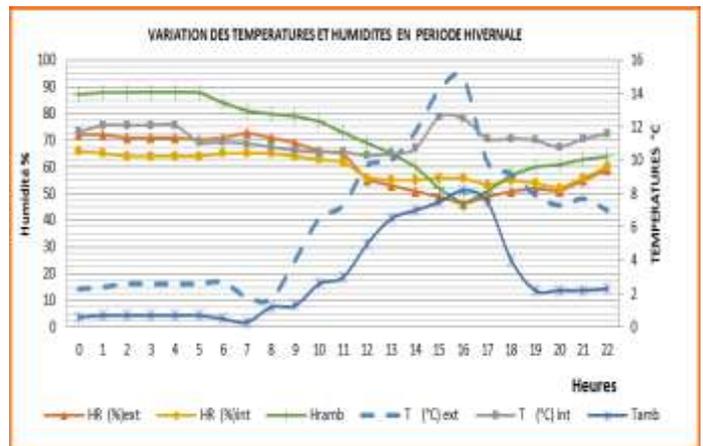
La courbe des températures extérieures (à proximité du bâtiment) et celle ambiante (météo) varient énormément selon une allure sinusoïdale et avec des amplitudes importantes respectivement : 13°C et 8°C par contre, la courbe représentant les températures intérieures des pièces sont beaucoup plus stables et tournent autour de 11°C, selon une courbe de tendance presque horizontale avec **une faible amplitude** de 2°C environ (fig.10).

Il est à noter que les valeurs des températures extérieures (à proximité du bâtiment) sont nettement supérieures à celles ambiantes (météo), soient respectivement :

$$T_{\text{ext max}} = 14.9^{\circ}\text{C} ; T_{\text{ext min}} = 1.7^{\circ}\text{C} ; \text{ alors que } T_{\text{amb max}} = 8.2^{\circ}\text{C} ; T_{\text{amb min}} = 0.3^{\circ}\text{C}.$$

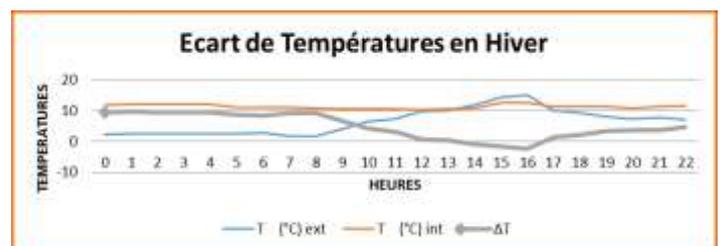
Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que la station météorologique est loin de 15km environ du site. En outre, elle est située à une altitude de 650m, alors que, le lieu de l'investigation est à 480m d'altitude. Aussi, le couvert végétal qui règne dans la région (arboriculture & culture maraîchère) (fig.9&10), adoucit le climat par le phénomène de l'évapotranspiration, donc c'est l'effet du microclimat qui est à l'origine de cette différence de température de l'air extérieur par rapport à celui de la météo.

**Figure 10 :** Fluctuation des températures et humidités pendant une journée représentative en Hiver (17/12/2015).



Pendant la journée, l'écart entre les températures extérieures et celles de l'intérieur est faible, soit 2°C (fig.11), car la température extérieure s'élève énormément à cause du rayonnement solaire. La maison bénéficie alors, d'un léger apport d'énergie. Néanmoins, cet écart, devient progressivement plus important la nuit en raison de l'absence du rayonnement solaire, il atteint presque « 9°C ». En phase nocturne, La température extérieure chute, lorsque la température de l'air intérieure reste stable et relativement élevée. Le flux de chaleur sortant est plus important en ces moments. L'énergie ainsi perdu annuellement est évaluée à 154,74 kWh/m<sup>2</sup>/an (tab.3). On peut déduire qu'il existe des déperditions de chaleurs importantes, qu'il faudrait diminuer à un taux acceptable, la norme allemande recommande 15 kWh/m<sup>2</sup>/an pour les bâtiments à basse consommation énergétique.

**Figure 11 :** Ecart des températures en période hivernale



Dans le but de vérifier le niveau de confort à l'intérieur des espaces, il y a lieu de déterminer la plage de confort pour la saison d'hiver. A cet effet, on détermine la température de neutre (Tn) selon la formule d'Auliciemes, lorsque le taux hygrométrique est à 50% :

$$T_n = 17,6 + 0,31 T_m, \quad \text{avec :}$$

- Tm = température moyenne du mois le plus froid.  
Selon les statistiques météorologiques de la ville de Constantine, Tm = 8,80°C  
Alors, Tn = 20,33°C

Les limites supérieures et inférieures de la température de confort sont : Tn (hiver) ± 2°C

Par conséquent : **18,33 < Tc (hiver) < 22, 33°C**

### b) Humidité relative :

En ce qui concerne l'humidité relative de l'air intérieur, elle est beaucoup plus stable que les autres courbes de l'humidité (extérieure et météo), fig.10. Le taux maximum enregistré de HRint.max est de 66% et HRint.min: 52%, ceci revient à l'absence de production d'humidité intérieure par les occupants car la maison est inoccupée lors des investigations. Quoique, ces valeurs ne sont pas assez élevées, la perception de l'ambiance hygrothermique est inconfortable «froide», dû essentiellement à la température résultante intérieure qui est assez basse, soit : 11 °C.

La courbe de tendance hygrométrique tourne autour de 59% seulement, malgré que cette période soit caractérisée par de fortes précipitations. Les deux autres courbes de l'humidité ambiante (météo) et extérieure (proche du bâtiment), fluctuent énormément surtout la matinée. Elles présentent les valeurs respectives suivantes :

HR.amb.max: 88%; HR.amb.min: 46% ;  
HR.ext.max: 73%; HR.ext.min: 46%.

Nous remarquons que les deux taux min sont égaux mais les taux max sont différents, le plus élevé est celui de la météo car l'humidité est tributaire de la température ambiante la plus basse, loin de toutes autres influences. L'impact du microclimat sur la variation de la température et l'humidité extérieur est prépondérant, ce qui explique l'écart entre les deux courbes « météo » et « extérieur ». En outre, il est à rappeler que la température intérieure est stable et plus élevée que les températures extérieures, ce qui induit :

- une stabilité de l'humidité intérieure ;
- un taux hygrométrique moins élevé que ceux de l'extérieur.

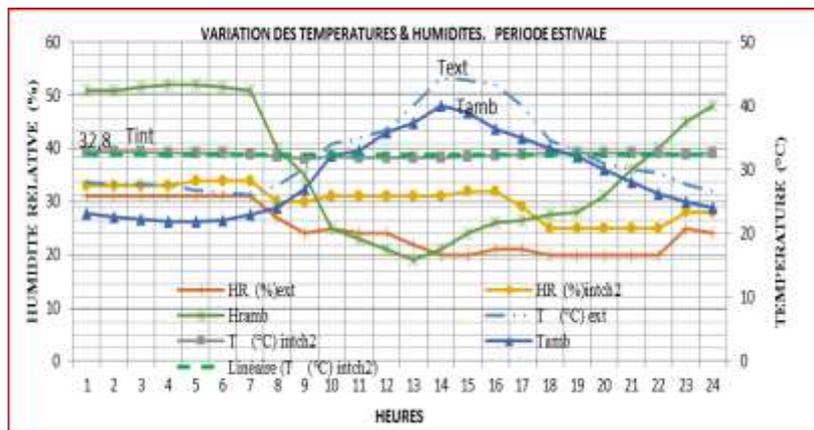
Il est à rappeler aussi que les mesures des facteurs climatiques intérieurs sont réalisées dans les conditions où toutes les portes et fenêtres de la maison sont fermées donc il n'ya pas d'échanges thermiques direct avec l'extérieur.

### A) Fluctuation des Températures et Humidités en période estivale.

#### a) Températures :

Les températures intérieures fluctuent selon une allure presque horizontale autour de 32,5°C et avec une très faible amplitude proche de 1°C. Cependant les variations des températures extérieures (à proximité du bâtiment) et celles de la météo (ambiante) varient selon une allure sinusoïdale où la température extérieure maximale (T.max) a atteint 44°C et la température minimale (T.min) 26°C; au moment où la T.max ambiante est de 40°C et la T.min ambiante est de 22°C (fig.12). On constate que les deux courbes des températures extérieure et météo présentent la même valeur d'amplitude journalière qui est: 18°C, malgré l'important écart de leurs valeurs. On remarque aussi, que la température extérieure (proche du bâtiment) est inférieure à celle de la météo durant la matinée; par contre, elle est à l'inverse l'après midi, jusqu'à minuit. Ceci est dû aux multiples réflexions des radiations solaires au niveau des parois verticales et horizontales du bâtiment. En outre, la restitution de la chaleur emmagasinée dans les parois entraîne l'augmentation des températures extérieures à proximité des murs.

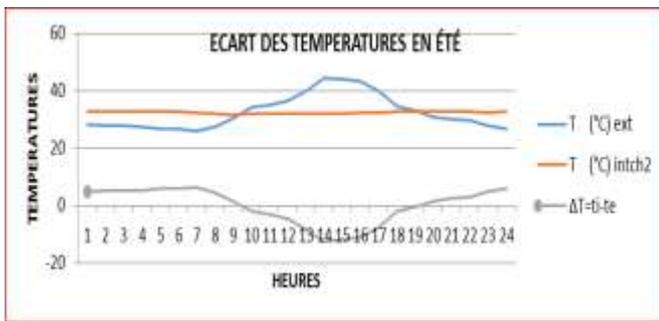
**Figure 12:** Fluctuation des températures et humidités pendant une journée représentative en été.



La stabilité des températures de l'ambiance thermique intérieure des pièces, par rapport aux grandes fluctuations des températures extérieures et météo conduisent à supposer que les parois présentent une masse thermique assez importante; néanmoins, la perception du confort thermique n'est pas atteinte, du moment que les températures, sont en deçà du seuil supérieur de la zone de confort du diagramme de S. Szokolay : qui vaut ≈ 24,5°C (fig.14).

L'amplitude des températures en période estivale est beaucoup plus importante, lors de la mi-journée où sa valeur peut atteindre (-12,5°C) à 14h (fig.13). Le signe négatif (-) de l'écart, signifie que les températures extérieures, sont supérieures aux températures intérieures. Ceci indique que le flux de chaleur est entrant, donc il ya apport d'énergie solaire en ces moments. L'estimation globale de ces apports solaires sont évalués à 4794,45 kWh/an (Tab.4). Ces gains d'énergie se minimisent puis s'annulent après le coucher du soleil jusqu'à 10h du matin. La restitution de chaleur emmagasinée dans les parois se fait pendant la nuit jusqu'au matin. Le flux de chaleur sortant est faible car l'écart de températures est minime lors des tranches d'heures (00h-10h et 19h-24h) : il est compris entre: 1 et 6°C.

**Figure 13:** Ecart des températures en période estivale



Détermination des limites de confort pour la saison estivale :

- Calcul de la température neutre ( $T_n$ ) pour la période d'été selon la formule d'Auliciemes :  $T_n = 17,6 + 0,31 T_m$  ; avec  $T_m$  = température moyenne du mois le plus chaud et dans les conditions où le taux hygrométrique est à 50%.

Selon les statistiques météorologiques de la ville de Constantine,  $T_m = 15,80^\circ\text{C}$

Alors,  $T_n = 22,50^\circ\text{C}$

Les limites supérieures et inférieures de la température de confort sont :  $T_n (\text{été}) \pm 2^\circ\text{C}$

Par conséquent :  $20,50 < T_c (\text{été}) < 24, 50^\circ\text{C}$

## b) Humidité Relative

Les taux d'humidités relatives extérieures et météo fluctuent énormément, selon des allures sinusoïdales, mais de manières non identiques, et évoluent à l'inverse des courbes des températures extérieures et celles de la météo (fig.12). Ils présentent des écarts évalués à 20%, soit: tôt le matin ou tard le soir. Ils s'annulent à 10h et 14h, toutefois, l'écart est insignifiant pendant la journée, où on a enregistré seulement des valeurs de 3 à 5 %. Les valeurs les plus importantes sont celles de la météo avec un max de 52% vers 4h du matin et tard la nuit dû à l'absence du rayonnement solaire. Le taux le plus faible est enregistré aussi par la météo d'une valeur de 19%, en mi-journée vers 13h GMT, à cause des fortes radiations

solaires qui amplifient les températures l'après midi. Si cette ambiance hygrométrique « très sèche » est courte (3 heures) pour celle de la météo, elle est par contre, étalée (8 heures) pour l'ambiance hygrométrique de l'environnement immédiat du bâtiment.

La courbe des humidités relatives à l'intérieur de la chambre 2 évolue selon une allure un peu particulière plus ou moins stable, présentant trois paliers décroissants ayant les valeurs respectives suivantes: 34%, 31% et la troisième 25% (fig.12). La moyenne tourne autour de 30%. On peut déduire que l'ambiance hygrométrique est **très sèche**.

## B) Etat de l'ambiance thermique intérieure

L'utilisation des diagrammes bioclimatiques de S. Szokolay appliquée sur la ville de Constantine (fig.14) ainsi que celui de G. Porchet (fig.15), nous a permis d'établir une comparaison des facteurs climatiques, mesurées dans la chambre 2 qui sont les températures intérieures et humidités relatives avec leurs zones de confort respectives, sachant que la vitesse de l'air est négligeable car les mesures sont effectuées dans des espaces intérieurs clos. La méthode consiste à insérer une représentation en forme de points de ces facteurs thermiques, d'une journée typique pour chaque période (hivernale et estivale). Les résultats révèlent ce qui suit :

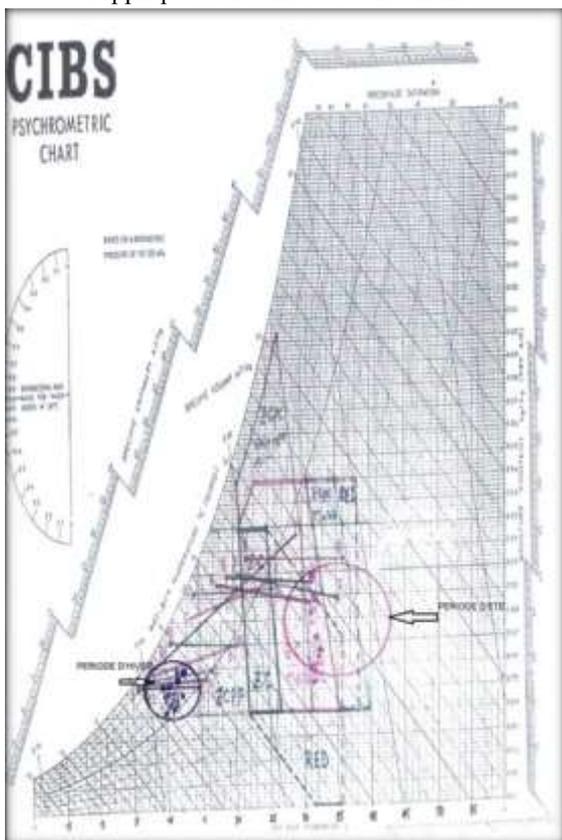
### a) Période hivernale :

La lecture des fluctuations thermiques de la journée type sur le diagramme bioclimatique de Szokolay, montre que l'ambiance thermique est très froide et nécessite un chauffage d'appoint. Quant au diagramme de climatisation de G. Porchet, confirme que l'ambiance thermique est bien loin de la zone de confort et est située dans la zone froide. Ceci s'explique par le fait que les températures sont très basses et les taux d'humidités assez élevés.

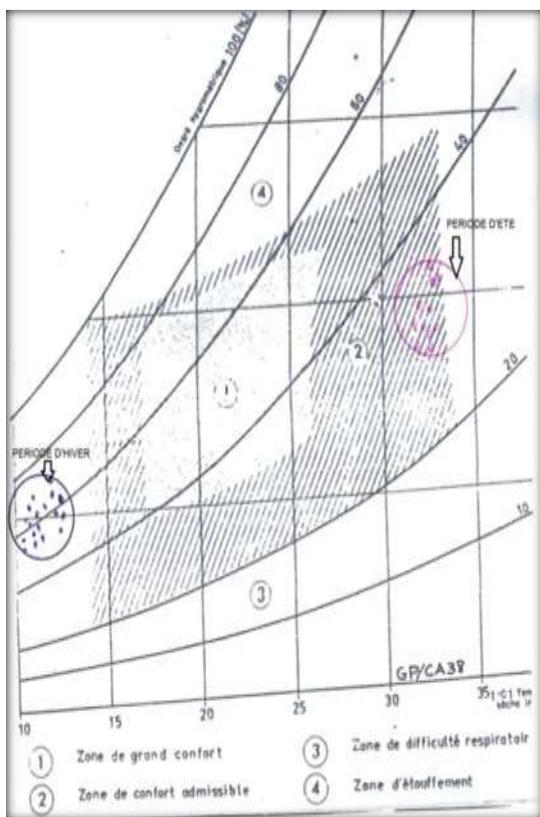
### b) Période estivale :

On remarque que l'ambiance thermique est plutôt chaude et très sèche, représentée sur les deux diagrammes cités ci-dessus. Au niveau de celui de Szokolay (fig.14), la journée type est représentée par des points sur la zone potentiellement chaude où il est recommandé d'augmenter la masse thermique. En ce qui concerne le diagramme de Porchet (fig.15), on constate que la journée type est positionnée sur la limite supérieure de la zone de confort admissible. Ceci est dû aux valeurs assez élevées des températures et aux faibles taux hygrométriques. On peut conclure que l'ambiance thermique à l'intérieure des pièces est inconfortable pendant les deux périodes (hiver & été). L'hiver s'avère beaucoup plus rude et plus long que l'été. Il ya lieu donc à intervenir par des opérations de réhabilitation énergétique, afin de réguler l'ambiance thermique pour les deux saisons, surtout l'hiver afin d'arriver à un état de confort optimum.

**Figure14** : Diagramme bioclimatique de Szokolay. Appliqué à la ville de Constantine.



**Figure15**: Diagramme de Confort de G. Porcher

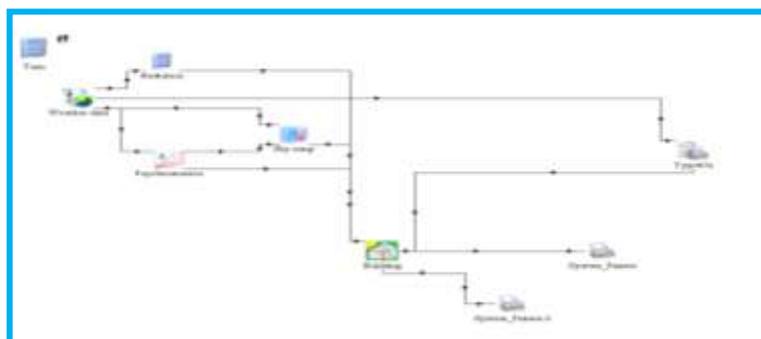


**5.4 Simulation et modélisation :**

Les exigences environnementales et économiques de nos jours insistent sur la nécessité de diminuer la consommation énergétique dans le bâtiment qui s’amplifie au fur et à mesure de l’accroissement de la population et du développement économique et industriel du pays, tout en assurant le confort thermique des ambiances intérieures. Les acteurs dans la construction se voient contraint par le temps et la mise en œuvre des techniques conceptuelles accessibles à tous pour arriver à de meilleures solutions dans un laps de temps très court. A cet effet le recours à des logiciels thermiques performants permet d’aider le concepteur à faire le bon choix du système constructif et les matériaux de constructions, en vue d’améliorer les exigences du confort thermique et les performances énergétiques des bâtiments.

Parmi ces logiciels, nous avons choisi « TRNSYS » version 16 : un outil de simulation thermique en régime **dynamique** appliqué au bâtiment. Les premiers résultats de la simulation et modélisation de la maison individuelle (fig. 16), objet de l’investigation, avec le logiciel « TRNSYS. V16 » s’avèrent satisfaisants. Les graphes ci-dessous (fig.17&18) des deux journées types simulées sont pratiquement similaires à ceux mesurées pendant les deux périodes: hivernale et estivale. A titre d’exemple, la température de l’air intérieur de la chambre2 tourne autour de 11°C pendant l’hiver et celle de l’été est de l’ordre de 32°C. Cet aboutissement, nous permet d’entériner le logiciel de simulation « TRNSYS. V16 ».

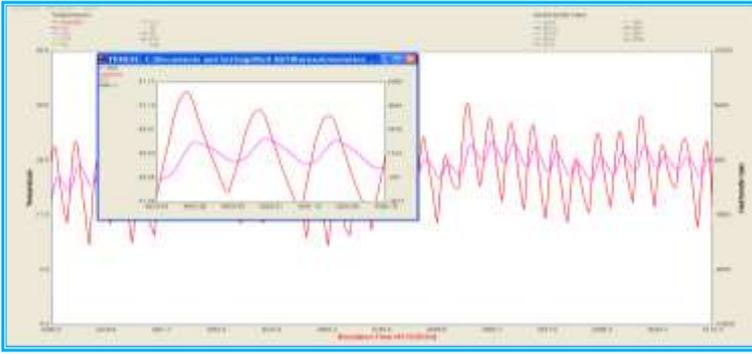
**Figure 16**: modélisation et simulation de l’échantillon sous environnement Trnsys.



**Figure 17**: journée type de la saison hivernale (Modélisation).

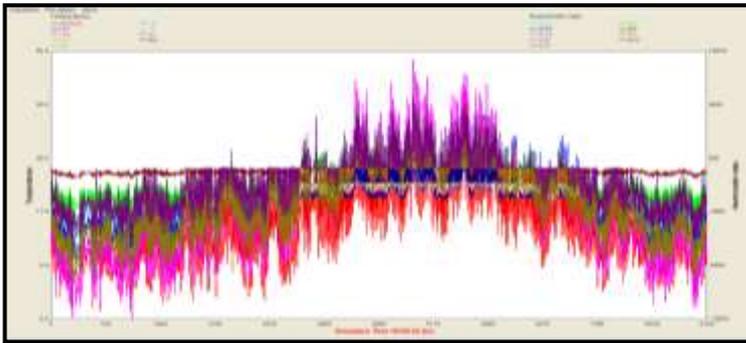


**Figure 18** : Journée type de la saison estivale (Modélisation).



Les déperditions de chaleur évaluées par le logiciel correspondent aux besoins en énergie pour le chauffage. Les courbes de la figure N°19, révèlent que la période de chauffage s'étale sur cinq mois : de Décembre à Avril. Tandis que, les apports solaires les plus intenses qui nécessitent un besoin en énergie de climatisation, couvrent une période relativement courte estimée à trois mois, soit du mois de juin à Aout.

**Figure 19**: Déperditions et gains d'énergie durant une année (8760heures).



Le tableau N°3, donne l'estimation quantitative de la demande énergétique en chauffage de toutes les zones, relative au logement simulé. Il y a lieu de constater que la consommation totale de cet appartement de huit zones thermiques, d'une superficie totale habitable de 106,29 m<sup>2</sup> est de 16.447,42 kWh/an ; soit un taux de 154, 74 kWh/an/m<sup>2</sup>.

| Zones        | Surface M <sup>2</sup> | Qsens_heat [kJ/h] | Besoin en énergie chauffage [kwh/an] | Besoin en énergie chauffage [kwh/an/m <sup>2</sup> ]        |
|--------------|------------------------|-------------------|--------------------------------------|---|
| Z1           | 13,32                  | 7169083,86        | 1991,41                              | 149,50  |
| Z2           | 16,56                  | 9348837,27        | 2596,89                              | 156,81  |
| Z3           | 17,28                  | 13529259,51       | 3758,12                              | 217,48  |
| Z4           | 24                     | 15127037,63       | 4201,95                              | 175,08  |
| Z5           | 11,25                  | 4358674,09        | 1210,74                              | 107,62  |
| Z6           | 8,64                   | 4593762,39        | 1276,04                              | 147,68  |
| Z7           | 2,16                   | 436454,92         | 121,23                               | 56,12   |
| Z8           | 13,08                  | 4647769,35        | 1291,04                              | 98,70   |
| <b>Total</b> | 106, 29                | 59.210.879,02     | <b>16.447,42</b>                     | <b>Besoin d'une maison : 154, 74 [kwh/an/m<sup>2</sup>]</b> |

**Tableau 3**: Besoins en chauffage par zone thermique

Les besoins en climatisation ont atteint la valeur de 4794,45 kWh/an, soit 45,10 kWh/ m<sup>2</sup>/ an (Tab.4). Ils s'avèrent donc assez importants mais pas aussi élevés que les besoins en chauffage. Il en résulte que la somme totale de la demande énergétique s'élève à: 199,84 kWh/ m<sup>2</sup>/ an, soit ≈ 200 kWh/ m<sup>2</sup>/ an.

**Tableau 4** : Besoins en climatisation par zone thermique

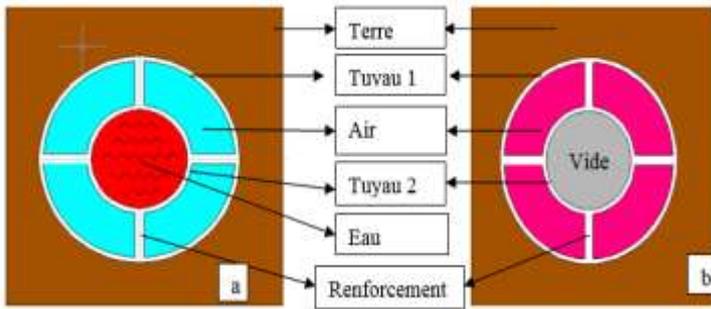
| Zones        | Surface M <sup>2</sup> | Qsens_cool [kJ/h] | Besoin en énergie climatisation [kwh/an] | Besoin en énergie climatisation [kwh/an/m <sup>2</sup> ] |
|--------------|------------------------|-------------------|--|--|
| Z1           | 13,32                  | 2269485,19        | 630,41                                   | 47,32  |
| Z2           | 16,56                  | 2644042,94        | 734,45                                   | 44,35  |
| Z3           | 17,28                  | 1584082,36        | 440,022                                  | 25,46  |
| Z4           | 24                     | 2685333,13        | 745,92                                   | 31,08  |
| Z5           | 11,25                  | 3634047,50        | 1009,45                                  | 89,72  |
| Z6           | 8,64                   | 1070519,62        | 297,36                                   | 34,41  |
| Z7           | 2,16                   | 537399,02         | 149,27                                   | 69,10  |
| Z8           | 13,08                  | 2835131,53        | 787,53                                   | 60,20  |
| <b>Total</b> | 106, 29                | 17260041,29       | <b>4.794,45</b>                          | <b>Besoin d'une maison: 45,10 [kwh/an/m<sup>2</sup>]</b> |

De ce qui précède, et si, nous nous référons à la norme allemande qui fixe le taux de consommation d'énergie à 15 kWh/an/m<sup>2</sup>, pour un bâtiment « basse consommation énergétique », nous pouvons déduire que la demande énergétique de cette maison individuelle est trop excessive.

### 5.5 Mécanismes d'intervention :

Etant donné, que la maison est énérgivore, l'objectif est de diminuer au maximum la consommation énergétique et de rendre les ambiances thermiques intérieures confortables pendant les deux saisons. L'opération de réhabilitation « énergétique » se présente comme un moyen d'intervention afin d'atteindre les buts assignés sans apporter de grandes transformations au bâtiment. Notre réflexion porte essentiellement sur le choix d'intégration d'une énergie renouvelable, localement disponible, efficace et surtout non polluante. Comme les forages de la nappe phréatique de Hamma Bouziane fournies de l'eau chaude à une température de 34°C [8], cette température semble suffisante pour une éventuelle exploitation en chauffage de type « basse température ». Le procédé adopté consiste à concevoir un système passif, facilement réalisable, efficace, et peu énérgivore. Le système se constitue d'un échangeur de chaleur, composé essentiellement, d'un double tuyau linéaire (fig.20). Ce réseau est enterré à 1,20 m pour profiter de l'inertie du sol et être protégé au même temps. Une partie est posée le long de l'emprise de la voie publique et d'autres tronçons au niveau des jardins des logements individuels. On rappelle que, la source d'eau chaude est située à 03 Km de la maison étudiée (Hammam El-Skhouné). Le fonctionnement et l'exploitation du réseau diffèrent d'une saison à une autre:

**Figure 20** : Coupe transversale de l'échangeur de chaleurs : a) procédé d'hiver ; b) procédé d'été.



**a) Procédé d'hiver :**

L'eau chaude à 34°C, puisée dans la nappe phréatique sera véhiculée dans la canalisation N°02 (fig.20a), et l'air froid est aspiré de l'extérieur et écoulé dans le conduit N°1. Des échanges thermiques s'effectuent alors, entre l'air et l'eau par convection sans recours au mélange des deux fluides. Les meilleurs résultats obtenus, après avoir lancé la simulation du système, conçu pour le procédé d'hiver (fig.21), montrent que les températures de l'air à la sortie de l'échangeur peuvent augmenter jusqu'à arriver à 32°C (fig.22). Sachant que ce résultat est obtenu, lorsque la température météo varie autour de 9°C (avant introduction dans l'échangeur), tandis que la température du sol reste constante : aux environs de 16°C.

Nous avons constaté qu'à l'issue des échanges thermiques, l'eau chaude se refroidit car elle cède beaucoup de calories à l'air, ses températures s'abaissent jusqu'à 23°C, alors qu'elle était à 34°C avant son introduction dans le conduit. L'élévation de la température de l'air au niveau de l'échangeur de chaleur varie en fonction de trois facteurs : le débit des fluides; le coefficient de déperdition linéique des conduits et la longueur de l'échangeur. En faisant varier ces trois facteurs selon certains scénarios (tab.5), où seules les températures de l'eau et de l'air à l'entrée du système, restent constantes, soient :

- T.eau chaude = 34°C;
- T. air météo = 9°C.

N.B. Il est à noter que seulement six cas ont été retenus.

La lecture des résultats obtenus à l'aide de la simulation réalisée par TRNSYS. V16, démontre bien que les facteurs cités ci-dessus sont déterminants. Lorsque la longueur de l'échangeur avoisine 200 m, les deux fluides auront plus de temps pour effectuer au maximum les échanges thermiques, à condition que le débit de l'eau soit assez élevé par rapport à celui de l'air. Il ya lieu aussi de noter l'importance de la nature du matériau de l'échangeur dont les caractéristiques thermo-physique soient favorables à de bons échanges thermiques, c'est-à-dire que sa résistance thermique soit faible. On peut considérer un bon coefficient de déperdition linéique « K » s'il est supérieur ou égale à 2 (Kj/kg.k).

Par ailleurs, il convient de préciser que l'air sortant de l'échangeur (enterré) à 32°C est propulsé par

un ventilateur à une vitesse modérée de 6 m/s, dans une gaine verticale de 9,00m de hauteur, construite en briques pleine (existante). La température déterminée à l'extrémité de cette gaine est de 30,80°C. Ensuite, l'air passe horizontalement, dans un réseau de conduits circulaires calorifugés pour être souffler dans toutes les pièces à chauffer. A ce niveau la chute de température est très faible, soit une baisse de l'ordre de 0,40 °C seulement.

**Tableau 5** : Variations des paramètres déterminants au niveau de l'échangeur de chaleur.

| Canalisation Air |        |              | Canalisation Eau |        |              | Température Air à la sortie de l'échangeur |
|------------------|--------|--------------|------------------|--------|--------------|--|
| Φa (Kg/h)        | La (m) | Ka (Kj/kg.k) | Φe (Kg/h)        | Le (m) | Ke (Kj/kg.k) | Ts (°C)                                    |
| 100              | 200    | 2            | 185              | 200    | 2            | 32   |
| 160              | 200    | 2            | 185              | 200    | 2            | 28   |
| 185              | 200    | 2            | 100              | 200    | 2            | 26   |
| 160              | 200    | 1            | 185              | 200    | 1            | 23   |
| 160              | 50     | 2            | 185              | 50     | 2            | 17   |
| 160              | 100    | 2            | 185              | 100    | 2            | 19   |
| 160              | 150    | 2            | 185              | 150    | 2            | 26   |

Etant donnée que, l'ambiance thermique intérieure au niveau des pièces est froide (inconfortable), essayons de déterminer la température de mélange entre l'air ambiant et l'air soufflé (chaud) selon la relation (I).

$$\theta_m = \frac{qv1 \times \theta_1 + qv2 \times \theta_2}{qv1 + qv2} \text{ [ } ^\circ\text{C] \quad (I); \text{ Où}$$

- $\theta_m$ : Température de mélange de l'air [°C]
- $\theta_1$ = température sèche de l'air ambiant [°C]
- $\theta_2$ = température sèche de l'air soufflé [°C]
- $qv1$ = débit d'air ambiant [m³/h]
- $qv2$ = débit d'air soufflé [m³/h]

La température de mélange «  $\theta_m$  » recherchée est celle qui répond aux conditions de confort optimum. A cet effet, plusieurs scénarios sont envisagés en faisant varier les paramètres de la relation « I », sauf que la température de soufflage doit rester une constante, soit  $\theta_2 = 30,80^\circ\text{C}$ . Les résultats obtenus sont satisfaisants. A titre d'exemple, on obtient,  $\theta_m = 20^\circ\text{C}$ , quand,  $\theta_1 = 9^\circ\text{C}$  ;  $qv1 = 48 \text{ m}^3/\text{h}$  et  $qv2 = 53 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Figure 21 : Système de chauffage en période hivernale

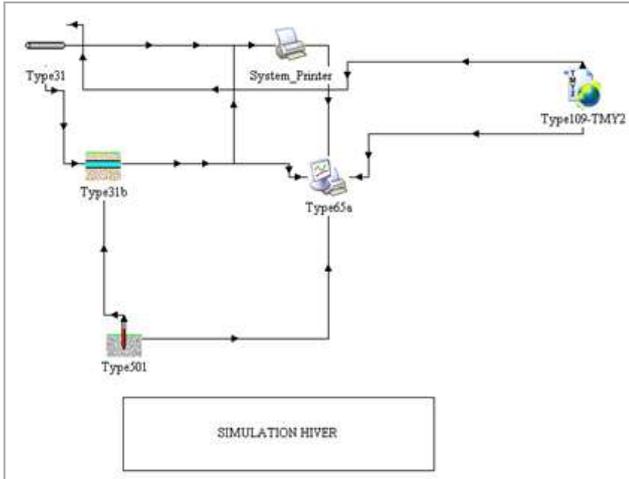
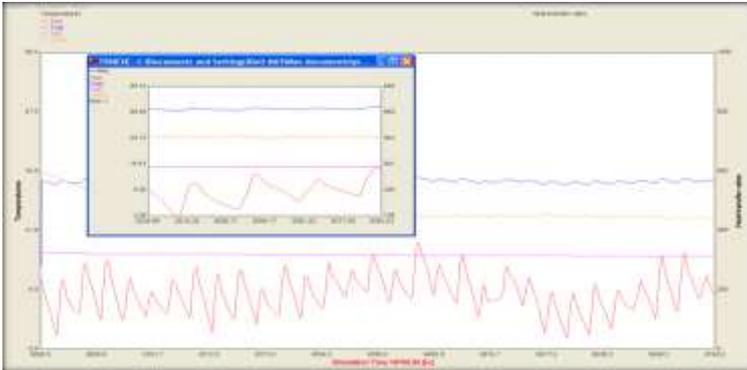


Figure 22 : résultat de la simulation. Période hivernale



**b) Procédé d'été :**

Contrairement à la saison d'hiver, le système fonctionnera alors d'une autre manière (fig.23). A l'aide d'un dispositif « by-pass » qui permet de bloquer l'eau chaude indésirable pour cette saison ; Seul, l'air extérieur capté (chaud), circule dans le réseau enterré à 1,20 m de profondeur en contact avec la terre (Fig.20b). Certaines parties des canalisations passent au niveau des jardins des maisons individuelles. Sachant que ces lieux sont plantés par des arbres, fleurs et/ou potagers nécessitant des arrosages réguliers. La terre est ainsi bien humidifiée. En général, ceci dure au delà de 24 heures avant de sécher complètement. L'ambiance thermique qui en résulte est beaucoup plus rafraichissante. On assiste à un microclimat, limité à une zone très restreinte (le long des jardins), où la température ambiante diminue, en moyenne de 2°C et une hausse de l'humidité relative de 20 %. Ceci est dû essentiellement aux:

- Phénomène d'évapotranspiration du couvert végétal notamment des arbres ;
- Evaporation de l'eau d'arrosage quotidien ;
- Ombre portée par les arbres et les constructions ;

- Différents modes d'échanges thermiques entre l'air ambiant, la terre humide et les arbres...etc.

Les échanges thermiques qui se font au niveau de l'échangeur, entre l'air aspiré de l'extérieur et la terre humide sont tributaires de trois paramètres, déjà cités précédemment (p.17). Si nous prenons en compte les paramètres adoptés pour le procédé d'hiver, il ya lieu de fixer la longueur de l'échangeur :  $La = 200 \text{ m}$  ; le coefficient de déperdition :  $Ka = 2 \text{ KJ/kg.k}$  ; la température de l'air à l'entrée du système :  $t. \text{ météo} = 37^\circ\text{C}$ . Nous devons alors, faire varier uniquement le débit de l'air à l'entrée du système comme suit (tab.6) :

Tableau 6 : variation des débits d'air, au niveau de l'échangeur de chaleur. Période d'été.

| Canalisation Air |          |                | Température moyenne de l'Air à la sortie de l'échangeur |
|------------------|----------|----------------|---|
| $\Phi_a$ (kg/h)  | $La$ (m) | $Ka$ (Kj/kg.k) | $T_s$ (°C)  |
| 100              | 200      | 2              | 17  |
| 160              | 200      | 2              | 19  |
| 185              | 200      | 2              | 21  |

La lecture des résultats obtenus par simulation sous environnement de TRNSYS (tab.6), permet de déduire que la meilleure température moyenne de sortie de l'échangeur (17°C) est obtenue grâce au plus faible débit (100 kg/h). On enregistre donc, un important rabaissement de température, estimé à une moyenne de 20°C (fig.24). En effet, on peut conclure que les tests effectués selon les scénarios proposés dans le tableau N°5, prouvent que le procédé d'été est efficace.

Figure 23: Système de rafraichissement en période estivale.

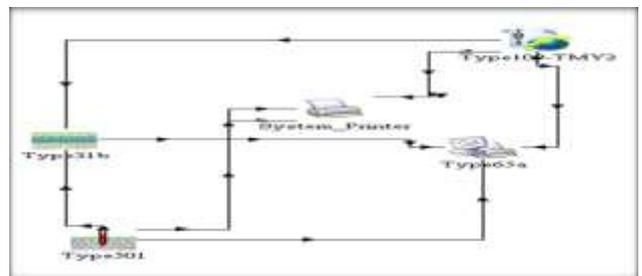
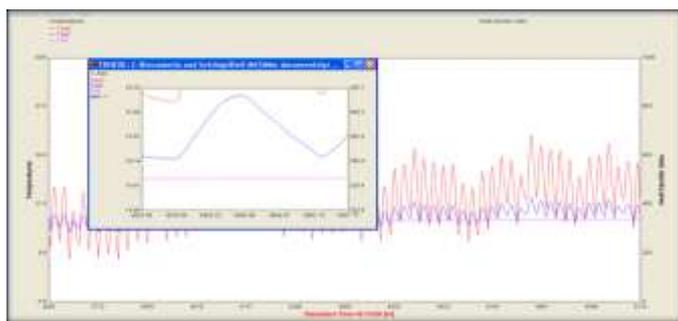


Figure 24 : résultat de la simulation. Période estivale.



De la même manière que précédemment, si on considère que l'air propulsé dans la gaine verticale est à une température de 21°C, la température de soufflage de l'air à l'intérieur des pièces sera de l'ordre de 22°C. Pour déterminer la température de mélange «  $\theta_m$  », entre l'air frais soufflé et l'ambiance thermique chaude à l'intérieur des pièces. Nous avons procédé à plusieurs scénarios en faisant varier les paramètres de la relation « I » sauf la température de soufflage qui doit rester une constante, soit  $\theta_2 = 22^\circ\text{C}$ . Nous avons obtenu de bons résultats où la température de mélange est située dans la plage de confort comprise entre: 20,5°C et 24,5°C (voir P11). A titre d'exemple: lorsque,  $\theta_1=34^\circ\text{C}$ ;  $qv_1=35 \text{ m}^3/\text{h}$  et  $qv_2=158 \text{ m}^3/\text{h}$ . On obtient  $\theta_m= 24^\circ\text{C}$ .

## CONCLUSION

Le diagnostique établi sur la maison individuelle à Hamma Bouziane a révélé un état d'inconfort thermique pendant les deux périodes d'hiver et d'été selon les diagrammes de confort de S. Szokolay et de G. Porchet. La modélisation et simulation dynamique sous environnement *TRNSYS*, a permis de nous renseigner sur le comportement thermique de la dite maison avec son environnement, tout en quantifiant les besoins en énergie de chauffage et de climatisation. Les résultats montrent que ce type d'habitation est énergivore avec un taux de consommation total évalué aux environs de 200 KWh/an. Les principales causes reviennent aux insuffisances de l'isolation thermique de l'enveloppe extérieure et des différents planchers à cause de l'absence totale d'études thermiques préalables, face à un climat contrasté et rigoureux.

La possibilité de réhabiliter le parc logement existant est possible, grâce à l'utilisation de l'énergie géothermique de type basse énergie. Dans le cas de cette étude, Le chauffage à air chaud est convenable et réalisable pendant l'hiver en exploitant la chaleur de l'eau de la nappe phréatique de Hamma Bouziane dont la température est de 34°C. Quand à la climatisation, est aussi possible au moyen de soufflage d'air frais, pendant l'été, en puisant de la fraîcheur du sol. Les solutions envisagées pour les stratégies d'hiver et d'été ont données

de résultats satisfaisants où les températures de confort peuvent être atteintes pour les deux saisons, à savoir : en hiver la température de l'air intérieure peut être rehaussée à 20°C. Pendant l'été, la température de l'air intérieure peut être abaissée à 24°C. En outre ce type d'intervention sur les bâtiments permet d'éviter de grandes quantités d'émissions de CO<sub>2</sub>. Dans le cas de cette recherche, on estime avoir évité l'émission dans l'atmosphère de 4,5t de CO<sub>2</sub> par an et par maison, soit un total de 46.840,5t/an, pour l'ensemble des maisons individuelles de la ville de Hamma. B.

Il est à rappeler que la géothermie est une énergie renouvelable, économique et propre qui ne dégage aucun gaz nocif ou à effet de serre. Alors, les opérations de réhabilitation qui utilisent cette énergie sont classées comme respectueuses de l'environnement et donc, rentrent dans le cadre du développement durable et ce, sans recourir à de grands travaux de transformation à l'intérieur des pièces. Dans le cas de notre étude, seule un faux plafond est à réaliser pour cacher le réseau horizontal de soufflage d'air, aux fins de confort visuel.

## REFERENCES

- [1].Statistiques de la société de l'eau et de l'assainissement de Constantine (SEACO), 2016.
- [2].Recensement général de la population et de l'habitat. Algérie. (RGPH), 2008.
- [3].J. C. Lhomme, les énergies renouvelables, 2<sup>ème</sup> éd. Delachaux et Niestlé, Paris, 2002.
- [4].www. Connaissancedesenergies. 2016.
- [5].Bilan du Ministère de l'énergie Algérien, 2015.
- [6].J. Lemale, La Géothermie, 2<sup>ème</sup> éd. Le Moniteur, Dunod, Paris, 2012.
- [7].Energie-Cités, avec la collaboration de la ville de Prenzlau dans le cadre du programme ALTENER. Financé par la Commission Européenne. 2002.
- [8].Mesure de température effectuée par l'auteur au niveau des forages de Hammam Zouaoui. Hamma Bouziane.