

**République Algérienne Démocratique et Populaire.**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.**



**Université SAAD DAHLEB-Blida.**

Faculté des Sciences de l'Ingénieurs.

Département de mécanique

---

**Confort thermique**

**Intégration d'un puits canadien dans une  
maison individuel**

**Réaliser par :**

**Kebbal-Med-Amine**

**Proposé par**

**Mme : Maachi**

**Année académique : 2014-2015.**

# REMERCIEMENT

*Tout d'abord, nous remercions Dieu pour tout ce qui nous a procréé et procuré depuis notre naissance et nous avoir aidé à conclure ce travail.*

*En préambule à ce mémoire nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leurs aides et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.*

*Pour cela j'exprime tout d'abord ma gratitude et mes plus vifs remerciements à mon encadreur Mme Maachi pour sa présence, son soutien, sa patience, et ses conseils judicieux et pertinents.*

*Nous remercions aussi nos parents et tous les membres de nos familles de nous avoir soutenus, supporter pendant notre cursus universitaire.*

*Enfin, je remercie également à mes amis et collègues du département de mécanique de BLIDA*

## Résumé

Ce travail de recherche a pour but d'étudier et d'analyser le comportement thermique d'un bâtiment résidentiel individuel et intégré un système de rafraîchissement et préchauffage géothermique (puits canadien), nous essayons dans ce projet d'évaluer les performance du puits canadien pour le rafraichissement et préchauffage d'une maison individuel situé à Tipaza le travail consiste a évaluer les besoins en chauffage/climatisation sous PLEIADES+COMFIE, puis intégré le puits canadien qui seras dimensionner avec des paramètre fixé en préalable puis une simulation sera faite avec les résultats obtenus qu'on va intégrer sous le logiciel GAEA.

## Abstract

This research aims to study and analyze the thermal behavior of an individual residential building and an integrated cooling system, geothermal preheating (Canadian well), we try in this project to evaluate the performance of the Canadian wells to refresh and preheating of (an individual house located in Tipaza work is to evaluate the heating requirements / air conditioning as PLEIADES + COMFIE then joined the Canadian wells that will be dimensioned with parameter set in advance and then a simulation is made with results that will integrate under GAEA software.

## ملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة وتحليل سلوك كالحراريل للمبنا السكني الفردي ونظام التبريد المتكاملة، التسخين الحراري (البنر الكندي)، ونحن نحاول في هذا المشروع وعلتقييم أداء الآبار الكندية لتحديث والتسخين من PLEIADES+ COMFIE (بيتا الفردي الموجود في العمل تمييزاً هو تقييم تكييف متطلبات التدفئة / الهواء كما ثمان ضمناً لثريا GAEA. الآبار الكندية التي سيتم الأبعاد مع المعلمة المحددة مسبقاً ومنتجتها إجراء محاكاة معالنتائج التي تستخدم جفا إطار البرنامج





## Liste des figures

Figure 1 Disposition de l'échangeur enterré (air/sol).....	16
Figure 2 :Disposition des sondes le long de l'échangeur .....	18
Figure 3 : Variation en fonction de la longueur de la température de l'air .....	19
Figure 4 : Variation en fonction de la longueur de la température de l'air .....	19
Figure 5 : Variation en fonction de la longueur de la température de l'air .....	20
Figure 6 :Repérage d'un point M du sol .....	22
Figure 7 : Géométrie de l'échangeur air-sol modélisé .....	22
Figure 8:exmple d'intégration d'un puits canadien avec PLEIADES.....	23
Figure 9: Carte géographique d'Algérie.....	26
Figure 10:carte Daïras de la wilaya de Tipaza .....	26
Figure 11:Température et précipitation mensuel .....	27
Figure 12:Durée d'insolation mensuelle.....	28
Figure 13:shéma descriptif de la maison.....	28
Figure 14:Shéma de zonage 1er étage.....	29
Figure 15:Shéma de zonage RDC .....	29
Figure 16:Plan RDC .....	30
Figure 17:Plan 1er étage.....	31
Figure 18:coupe.....	32
Figure 19:Fenêtre double vitrages en aluminium.....	36
Figure 20:Interface PLEIADES+COMFIE.....	39
Figure 21:Interface ALYCONE .....	40
Figure 22: Plan RDC +1ER étage dessiné avec ALYCONE .....	40
Figure 23: 3D de la maison .....	41
Figure 24: Evolution de la température (hiver-sans consigne) .....	53
Figure 25:Récapitulatif des résultats (été-sans consigne) .....	54
Figure 26:Evolution de la température (été-sans consigne).....	55
Figure 27: Récapitulatif des résultats (hiver avec consigne).....	56
Figure 28:Evolution de la température (hiver avec consigne) .....	56
Figure 29:Besoin en chauffage (hiver avec consigne) .....	57

Figure 30:Récapitulatif des résultats (été avec consigne) .....	58
Figure 31:Evolution de température (été avec consigne).....	58
Figure 32:Besoin en climatisation (été avec consigne).....	59
Figure 33:conductivité thermique des quelque types .....	65
Figure 34:Disposition des tubes en méandres .....	66
Figure 35:Disposition des tubes en boucle (circulaire).....	66
Figure 36:Disposition des tubes en boucle de tichelmann .....	66
Figure 37:Emplacement des tubes.....	67
Figure 38: géométrie de pose du conduit .....	71
Figure 39: paramètre intégrer sous GAEA.....	73
Figure 40:géométrie de pose .....	74
Figure 41:variation de température à la sortie du conduit.....	74
Figure 42:variation de la température à l'intérieur du .....	75
Figure 43:variation de la température à l'intérieur du .....	75

## Liste des tableaux

Tableau 1:discriptif des surfaces des parois .....	32
Tableau 2:composition mur extérieur .....	33
Tableau 3:Mur intérieur .....	34
Tableau 4:Plancher bas.....	34
Tableau 5:Plancher intermédiaire.....	35
Tableau 6:toiture .....	35
Tableau 7: Murs extérieur .....	42
Tableau 8:Murs intérieur.....	42
Tableau 9:Plancher intermédiaire.....	43
Tableau 10: Plancher bas.....	43
Tableau 11: Toiture .....	43
Tableau 12: Scénario de thermostat hiver .....	44
Tableau 13: Scénario de thermostat été.....	45
Tableau 14:Scénario occupation chambre.....	45
Tableau 15:Scenario occupation séjour.....	46
Tableau 16: Scenario occupation SDB+WC.....	46
Tableau 17: Scenario occupation cuisine .....	47
Tableau 18: Scenario puissance dissipée chambre.....	48
Tableau 19:Scenario puissance dissipée cuisine .....	48
Tableau 20:Scenario puissance dissipé .....	49
Tableau 21: Scenario de ventilation été .....	49
Tableau 22:Scenario de ventilation hiver.....	50
Tableau 23:Récapitulatif des résultats (hiver-sans consigne) .....	53
Tableau 24:Besoin de chauffage et de climatisation .....	60
Tableau 25: description du puits canadien .....	70
Tableau 26:caractéristique du sol.....	70
Tableau 27:caractéristique du conduit.....	70



## NOMENCLATURE

<b>CS</b> : La capacité thermique du sol	[m <sup>2</sup> /s]
<b>ρi</b> : la masse volumique du sol	[kg/m <sup>3</sup> ]
<b>ci</b> : la capacité thermique du sol	[j/k.m <sup>3</sup> ]
λ : la conductivité thermique	[w/m <sup>o</sup> .k]
U : coefficient de transmission de chaleur	[w/m <sup>2</sup> .k]
R : coefficient de résistance thermique[m <sup>2</sup> K/w]	
qvan: le débit minimal d'air neuf	[ m <sup>3</sup> /h]
qve réf : le débit extrait de référence	[m <sup>3</sup> /h]
qve min : le débit extrait minimal de référence	[m <sup>3</sup> /h]
qve max : le débit extrait maximal de référence	[m <sup>3</sup> /h]
Vh: volume habitable [m <sup>3</sup>	
S : surface	[m <sup>2</sup> ]
Rho= masse volumique de l'air	[kg/m <sup>3</sup> ]
V : vitesse de l'air	[m/s]
A : section de la gaine	[m <sup>2</sup> ]
R : rayon	[cm]
D : diamètre	[cm]
P : pertes de charge	[watt]

# **CHAPITRE I : INTRODUCTIF ET ETAT DE L'ART**

## **I-1- INTRODUCTION**

Afin de préserver les ressources fossiles et éviter, ou minimiser, les impacts environnementaux associés à leur combustion, on se doit de diversifier les ressources énergétiques et de développer des technologies capables de puiser économiquement l'énergie de ces ressources. En effet, les différents modèles de prédiction s'accordent à prévoir l'épuisement des ressources fossiles dans quelques dizaines d'années. De même, l'évidence des changements climatiques ne fait plus de doute. Ces changements climatiques sont le résultat des émissions de gaz à effet de serre, dont la principale composante est le dioxyde de carbone émis essentiellement lors de la combustion de combustibles fossiles. Devant l'augmentation vertigineuse du prix des combustibles fossiles ces derniers temps, les problèmes économiques sont venus s'ajouter aux problèmes environnementaux et aux appréhensions d'éventuelles difficultés d'approvisionnement.

En Algérie, la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment représente plus que le tiers de la consommation d'énergie du pays. De plus, avec l'amélioration du niveau de vie, cette proportion risque d'augmenter, ce qui serait préjudiciable au bilan énergétique du pays et entraînerait une pollution significative. Afin d'accroître le confort et réduire la consommation d'énergie de chauffage et de climatisation, on doit maîtriser la consommation énergétique du secteur et développer l'utilisation d'énergies non-fossiles et non-polluantes. Parmi ces dernières, une forme d'énergie renouvelable qui semble être bien adaptée au domaine du chauffage et de la climatisation dans le bâtiment pour atteindre un confort thermique en minimisant le recours aux énergies conventionnelle.

Plusieurs technologies existent pour assurer l'échange de chaleur entre le local et le sous-sol. Par exemple, on peut citer les systèmes de pompes à chaleur muni, du côté sol, de sondes géothermiques (capteurs verticaux) ou de capteurs horizontaux (serpentins de tubes horizontaux enfouis); les systèmes d'échangeurs de chaleurs, ou les systèmes direct d'échange air/sol (appelés aussi puits canadiens ou puits provençaux).

L'utilisation de l'une ou l'autre de ces technologies dépend des températures recherchées et de celles du sol.

L'objet de cet article est l'étude de faisabilité de l'utilisation de la géothermie de surface pour la climatisation et le chauffage d'un habitat individuel en Algérie, application du système puits canadien discussions et comparaison des différents résultats.

## **I-2-Problématique :**

Le dimensionnement d'un puits canadien est assez délicat du fait du nombre de paramètres à optimiser : longueur, diamètre et nombre de tubes, profondeur d'enfouissement, distance entre les tubes, débit de ventilation.

**Quelle sont les critères objectifs a proposer pour choisir ces différents caractéristique ?**

## **I-3-Etat de l'art**

### **I-3-1-Introduction :**

Avant d'étudier le confort thermique des bâtiments et l'application d'un système actif dit puits canadien, il est nécessaire de préciser le paramètre qui font l'objet de cette étude et présenter des travaux faits à ce sujet.

Dans ce chapitre, nous allons commencer en introduisant le confort thermique, la performance énergétique, les enveloppes des bâtiments, l'isolation thermique, les ponts thermique, rafraichissement par la géothermie.

Recherche bibliographique

### **I-3-2-Le confort thermique :**

La notion de confort thermique, désigne l'ensemble des multiples interactions entre l'occupant et son environnement ou l'individu est considéré comme un élément du système thermique, Le confort thermique est traditionnellement lié à six paramètres :

-Le métabolisme, qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36,7°C. Un métabolisme de travail correspondant à une activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos.[1]

-L'habillement, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.

-La température ambiante de l'air  $T_a$ .

-La température moyenne des parois  $T_P$ .

-L'humidité relative de l'air (HR), qui est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température  $t_a$  et la quantité maximale d'eau contenue à la même température.

-La vitesse de l'air, qui influence les échanges de chaleur par convection. Dans le bâtiment, les vitesses de l'air ne dépassent généralement pas 0,2 m/s.

Notez que de façon simplifiée, on définit une température de confort ressentie (appelée aussi "température opérative" ou "température résultante sèche") :

$$T^{\circ}\text{opérative} = (T^{\circ}\text{air} + T^{\circ}\text{parois}) / 2$$

Cette relation simple s'applique pour autant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0,2 m/s. Ainsi, le lundi matin, la température des parois est encore basse et le confort thermique risque de ne pas être atteint malgré la température de l'air de 20 ou 21°C...[1]

### **I-3-3-la performance énergétique :**

En Algérie, la réglementation thermique de 1997 des bâtiments à usage d'habitation a été conçue pour réduire la consommation de chauffage de l'ordre de 25 %. Une réflexion est engagée actuellement pour porter ce niveau d'économie à plus de 40%. Pour ce faire, des simulations numériques ont été menées sur des logements types. Il ressort de l'étude qu'en agissant sur la seule limitation des déperditions thermiques par transmission, il est possible d'atteindre ce nouvel objectif tout en réduisant substantiellement la charge de climatisation d'été. Une nouvelle réglementation thermique pourrait s'articuler autour des deux principes suivants: réserver la réglementation de 1997 à l'habitat individuel, définir de nouveaux coefficients réglementaires plus contraignants pour l'habitat en immeuble collectif.[1]

### **I-3-4-Les enveloppes des bâtiments :**

Avant tout, une approche bioclimatique doit être suivie pour favoriser les apports solaires passifs nécessaires à la réduction des besoins de chauffage. La situation, l'orientation, la compacité du bâtiment, la position et la performance des vitrages doivent donc être optimisés. Ensuite, l'enveloppe doit être fortement isolée (y compris la dalle) et les ponts thermiques éliminés, ce qui passe le plus fréquemment par une isolation par l'extérieur. Les murs extérieurs et le toit d'un bâtiment sont l'interface entre l'intérieur et l'environnement extérieur. Les bâtiments doivent être isolés selon les conditions extérieures et intérieures de l'environnement des exigences de confort thermique. L'isolation thermique est généralement installée dans les composants d'enveloppe du bâtiment afin de réduire le chauffage et la climatisation des locaux, la consommation d'énergie et les coûts. Le coût d'installation d'isolation augmente avec l'épaisseur, alors que le coût de chauffage et de refroidissement baisse.[2]

L'isolation thermique dans le bâtiment est un paramètre très important dans l'économie énergétique, vu que le bâtiment représente le quart des émissions de gaz à effet de serre. Une bonne isolation permet une économie d'énergie très appréciable.

### **I-3-5- l'isolation thermique :**

L'isolation thermique permet à la fois de réduire la consommation d'énergie de chauffage et/ou climatisation et d'accroître le confort.

L'isolation est aussi bénéfique pour l'environnement car, en réduisant la consommation, elle permet de préserver les ressources énergétiques et limiter les émissions de gaz à effet de serre.

Ainsi, l'isolation thermique est intéressante en termes de protection de l'environnement, de confort et d'économie financière.

-principe de l'isolation thermique

L'isolation d'un bâtiment est faite pour limiter les échanges de chaleur entre l'extérieur d'un bâtiment et l'intérieur, pour cela on ajoute aux matériaux de construction des matériaux isolants caractérisés par une forte résistance thermique (notée  $R$ , en  $m^2.k/w$ )

La résistance thermique, exprimée en  $m^2.k/w$ , s'obtient par le rapport de l'épaisseur (en mètre) sur la conductivité thermique  $\lambda$  (lambda) du matériau considéré.[1]

### **I-3-6-Les ponts thermiques :**

Un pont thermique est une zone localisée de faible résistance thermique où la chaleur peut s'échapper facilement. Dans un bâtiment ancien, les ponts thermiques représentent couramment 20% des déperditions totales cependant, avec l'augmentation des épaisseurs **d'isolant** (et dans le cas de l'isolation par l'intérieur), leur influence en pourcentage est plus importante.

Sur l'enveloppe d'un bâtiment, il existe deux sources de déperdition de chaleur par les parois :

- les déperditions surfaciques (à travers la surface de la paroi)
- les déperditions linéiques (au pourtour de la paroi)

Un pont thermique est une zone sur l'enveloppe du bâtiment où la résistance thermique n'est plus homogène

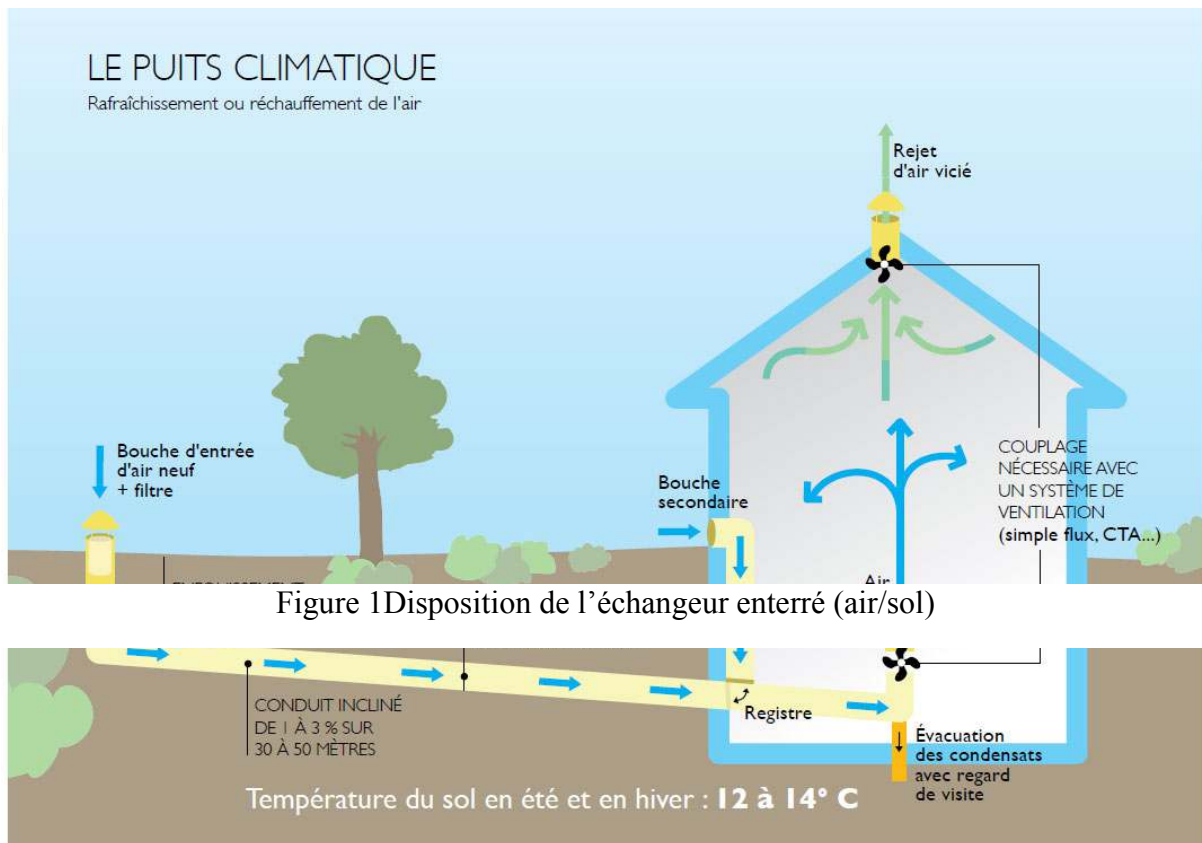
### **I-3-7-Principe du rafraîchissement par la géothermie (échangeur enterré) :**

Le phénomène du rafraîchissement par la géothermie s'appuie principalement sur le fait qu'en été la température en profondeur du sol est basse par comparaison à celle de l'air ambiant.

La température du sol influe principalement sur les performances d'un tel échangeur, car le sol, à une certaine profondeur, devient le facteur principal aux échanges thermiques qui ont lieu entre l'air qui circule à l'intérieur de l'échangeur enterré et le milieu qui l'entoure. Le dispositif utilisé pour le rafraîchissement (Fig.1), consiste à utiliser de l'air ambiant qui a préalablement cédé sa chaleur au sol à travers un échangeur tubulaire enterré à une certaine

profondeur. Cette profondeur, qui dépend des contextes géographiques et climatiques servira de base pour le dimensionnement d'un tel système pour qu'il puisse être exploité.

-L'échangeur est placé horizontalement avec une certaine pente de 2% pour permettre l'évacuation de l'eau produite suite à la condensation.[3]



### I-3-7-1-Travaux expérimentaux réalisés :

#### I-3-7-1-1-Modèle de Hollmuller[4]



La thèse de doctorat de Hollmuller constitue aujourd'hui l'une des principales références pour la thermique des échangeurs air-sol [Hollmuller 2002]. En s'appuyant sur une modélisation théorique analytique approfondie mais aussi sur de nombreuses mesures in-situ, l'auteur y établit des règles simples pour le dimensionnement des échangeurs air-sol. La dynamique de l'échange et l'influence des différentes caractéristiques physiques du sol et de l'air sur cet échange sont étudiées dans un cas idéal (un seul tube enfoui dans le sol). Après une dimension du problème, l'étude aboutit à des solutions analytiques complètes permettant de simuler des échanges de chaleurs intervenant entre un tube et le sol qui l'entoure. La dynamique du stockage thermique réalisé dans le sol est analysée : l'échangeur est considéré comme un filtre intervenant sur le signal thermique constitué par la température de l'air entrant. L'auteur analyse les capacités d'amortissement et de déphasage du signal en fonction de la fréquence de variation de ce dernier. Pour caractériser le phénomène, il utilise la notion de profondeur de pénétration, représentant l'épaisseur de sol où la température est fortement influencée par une variation de température de l'air circulant dans le tube. Il faut noter que les transferts de chaleur par migration d'eau dans le sol, les transferts par conduction dans la direction de la longueur, l'effet de l'interposition de la paroi du tube entre l'air et le sol ont été négligés dans cette étude.

Néanmoins, les échanges thermiques latents (évaporation ou condensation d'eau) ont été intégrés au modèle numérique mis en œuvre avec le logiciel TRNSYS. Ce modèle comporte 2095 mailles, pour un échangeur composé de 14 tubes placés sur trois niveaux de profondeur différents ; la définition du maillage est directement liée à la structure de l'échangeur modélisé.

#### **I-3-7-1-2-Modèle de Stéphane THIERS[5]**

La thèse de doctorat de Stéphane THIERS (2008) est aussi une référence principale dans le domaine d'échangeurs air-sol. L'auteur a réalisé un modèle mathématique très avancé qui donne la température du sol à tout instant et à toute profondeur, en prenant en considération le comportement thermique du sol, ce modèle est l'un des meilleurs modèles qui simule parfaitement cette température. Pour le modèle numérique de l'échangeur, l'auteur a choisi la méthode des différences finies pour l'appliquer sur un modèle comportant 80 mailles pour un échangeur composé de quatre tubes. Pour la résolution l'auteur a utilisé un outil informatique dit « COMFIE ».

COMFIE est un logiciel de simulation thermique multi zones qui a été développé au sein du Centre Énergétique et Procédés de l'École des Mines de Paris.

#### **I-3-7-1-3-Essais et travail expérimental réalisés au site de l'Université de Biskra[6]**

Mr. N. Moumami et ses collaborateurs ont mené en premier lieu une étude théorique pour l'établissement d'un modèle qui traduit l'évolution de la température de l'air dans un échangeur air-sol en fonction des différents paramètres structurels conceptuels les plus adaptés aux caractéristiques du site.

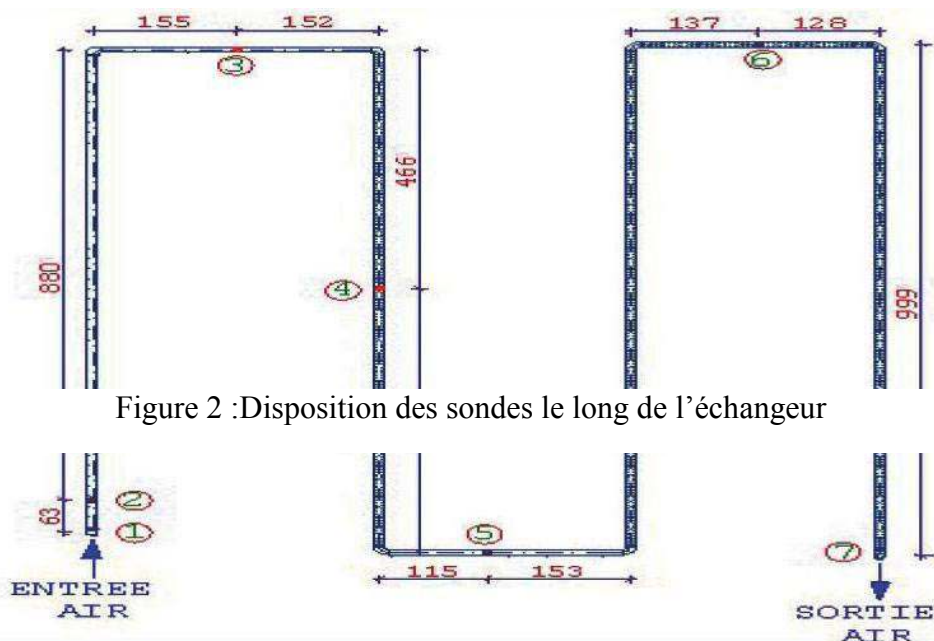
En deuxième étape, les résultats théoriques obtenus sont comparés avec ceux obtenus expérimentalement.

En voici une description du dispositif expérimental réalisé

Le banc des essais expérimentaux est monté sur site à l'université de Biskra. Il s'agit d'un réseau de quatre trçons d'une longueur totale d'environ 60 m. Le diamètre interne du tube est de 110 MM. L'ensemble est placé à une profondeur de 3 m sous une pente de 2 %.

Pour le site de Biskra, cette profondeur (3 m) a été déterminée préalablement grâce à une étude effectuée en fonction des données locales du site). Les tubes sont disposés et espacés les uns des autres d'une distance entre axes de 2 m.

Une fosse de réception en béton est construite à la sortie de l'échangeur. Un extracteur d'air de débit variable est placé à l'entrée de l'échangeur. Une série de sondes thermiques a été placées le long de l'échangeur de l'entrée jusqu'à la sortie. Les sondes sont reliées à une centrale d'acquisition. Les tests sont effectués le 28 juin 2009.



Les graphes suivants présente une comparaison entre les résultats calculés et ceux obtenus expérimentalement pour différents débits :

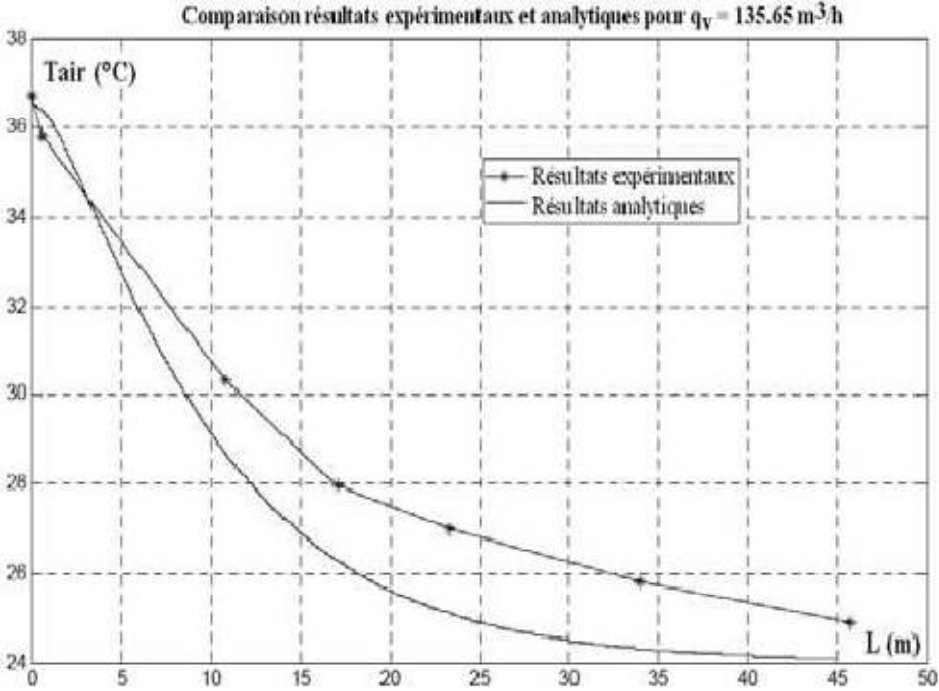


Figure 3 : Variation en fonction de la longueur de la température de l'air

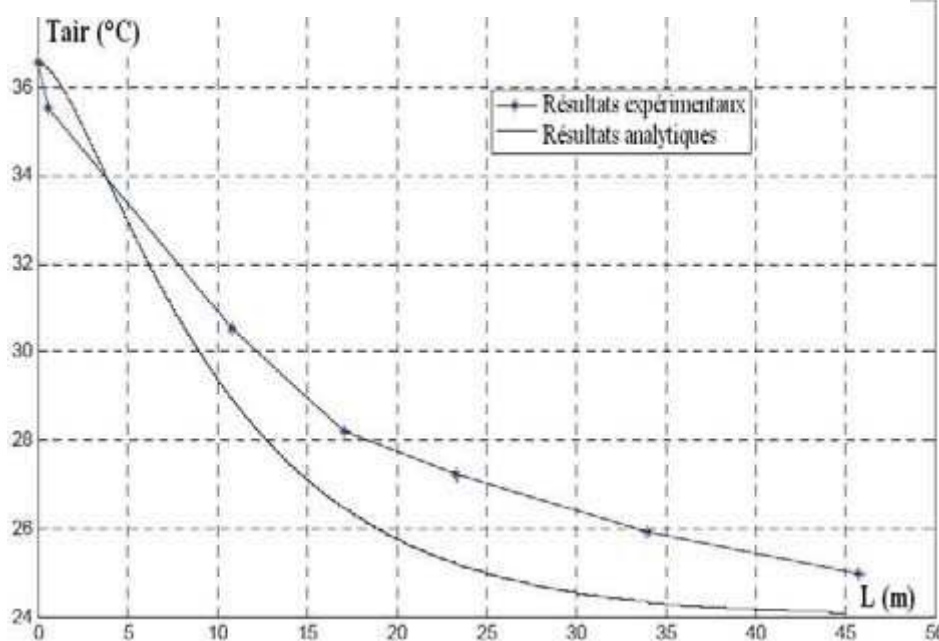


Figure 4 : Variation en fonction de la longueur de la température de l'air

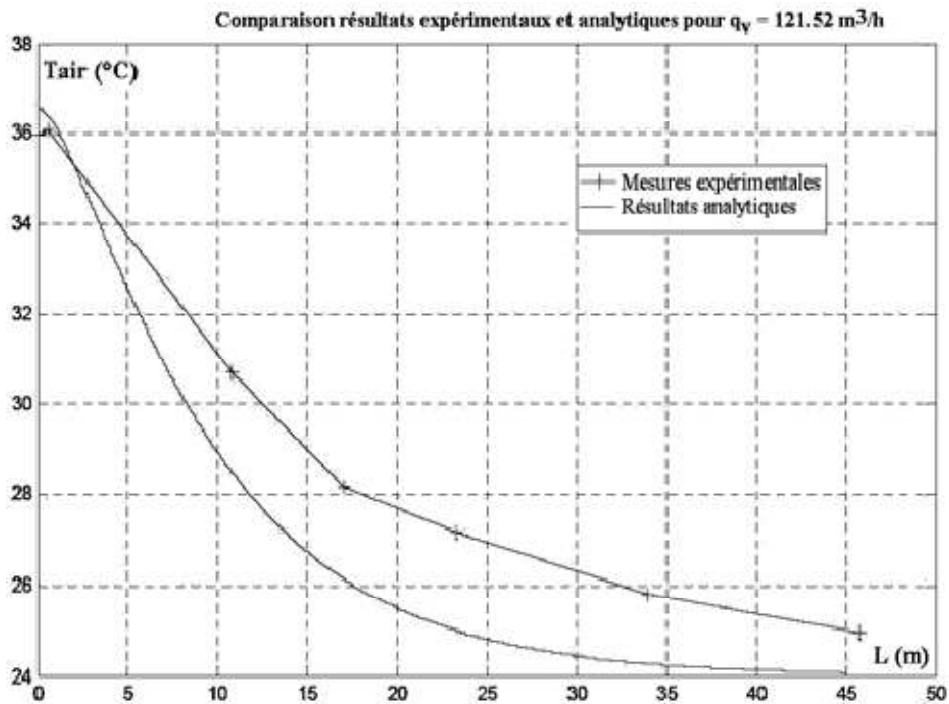


Figure 5 : Variation en fonction de la longueur de la température de l'air

#### I-3-7-1-4-Essais et instrumentations réalisés par l'INSA de Toulouse France[7]

A. Trombe et B. Bourret (Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse .France) proposent une modélisation d'un puits canadien suivie de sa validation expérimentale. Le modèle est construit grâce au principe de superposition permettant de chercher des solutions séparées pour les différentes sollicitations thermiques subies par la terre, la solution étant la somme des solutions séparées. La terre est soumise à un échange thermique au niveau de la surface et à la charge imposée par le puits canadien. Le modèle prend en compte tous les phénomènes de transfert de chaleur à l'exception des échanges radiatifs et latents au niveau de la surface et des échanges latents dans le puits. Les échanges radiatifs sont principalement l'ensoleillement reçu par le sol et dans une moindre mesure les radiations émises par le sol vers le ciel la nuit. Les échanges latents sont relatifs à l'évaporation de l'eau. Les échanges latents dans les puits, en l'absence d'infiltrations sont négligés.

L'avantage de ce modèle est d'être analytique. Il évite ainsi un maillage de la terre qui est délicat, étant donné la géométrie du problème. Cependant, la présence de fonctions mathématiques dans les formules est susceptible d'augmenter nécessairement le temps de calcul. En outre, le principe de superposition peut être extrapolé à plusieurs puits facilement alors que c'est très délicat dans le cas des modélisations numériques par maille. La deuxième partie est consacrée uniquement à l'expérimentation. Elle présente trois expériences distinctes. La première est consacrée à l'étude d'un puits canadien classique et évalue son incidence sur la thermique d'un petit bâtiment. La seconde compare trois puits canadiens ne se différenciant que par le matériau le constituant. Enfin la troisième étudie l'évolution de la

température du sol en l'absence de puits canadiens. La première expérience étudiée à la fois l'été et l'hiver. Elle permet plusieurs constats. Les puits canadiens amortissent très bien l'oscillation jour-nuit qui passe d'une amplitude de 10°C pour l'air extérieur à 1°C pour la température de sortie des puits. En été, la température de sortie passe de 20 à 23°C entre début juillet et début août ce qui montre l'incidence de l'utilisation du puits et donc la nécessité de modéliser les puits canadiens de manière dynamique. Cela montre aussi la capacité de rafraîchissement du système puisque l'air entre dans la pièce avec une température environ 5° inférieure à celle de l'air extérieur. Pour l'hiver : Au mois de novembre et décembre la température de sortie vaut 14°C environ ce qui permet un préchauffage efficace de l'air de ventilation, environ 55% des besoins relatifs au renouvellement d'air sont assurés. Pendant la période allant de janvier à mars, ce chiffre n'est plus que de 25% à cause de la baisse de température de sortie du puits due à la fois à la baisse naturelle de température de la terre et aux prélèvements effectués pendant la période précédente.

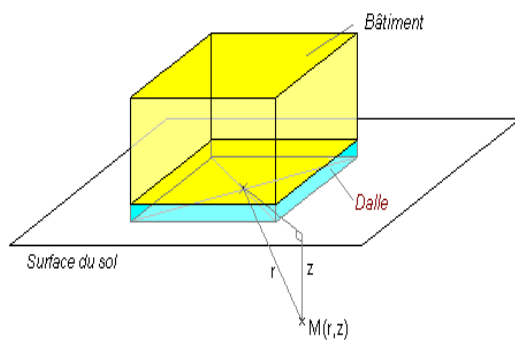
Au bilan, la couverture énergétique des puits canadiens pour le renouvellement d'air est d'environ 40%. La seconde expérience compare les températures en sortie de 3 puits de 10 mètres de long de ne se différenciant que par le matériau les constituant. Les écarts ne dépassent pas 2°C. Dans le cas d'un puits canadien réel, c'est à dire d'une longueur d'environ 30 mètres, ils seront encore bien plus faibles (de l'ordre de 0,5°C). Le choix du matériau constitutif du puits n'influe donc pas de manière significative sur son efficacité. La troisième expérience permet de vérifier la bonne concordance entre les valeurs expérimentales et théorique de la température du sol en l'absence de puits canadien. La température expérimentale est supérieure de 1 °C au maximum à 2,5 mètres de profondeur. La troisième partie compare les mesures expérimentales avec les résultats donnés par le modèle. La température de sortie théorique est plus faible d'environ 0,5°C en moyenne par rapport à la température expérimentale été comme hiver. Les températures le long du canal sont suivies par pas de 3 mètres. En conclusion de cette étude :

- Les performances des puits canadiens peuvent être évalués grâce au modèle présenté avec une bonne précision à condition de bien connaître les caractéristiques thermiques du sol.
- En hiver les puits canadiens permettent de réaliser des économies de chauffage de l'ordre de 40% sur le poste de renouvellement d'air.
- En été, la puissance de froid lors des périodes les plus chaudes vaut 800 W par puits et elle pourrait être augmentée grâce à une augmentation de débit.

### I-3-7-1-5-Modélisation thermique d'un échangeur air-sol pour le rafraîchissement d'un bâtiment[8]

Stéphane Thiers, Bruno Peuportier (Journée thématique SFT-IBPSA : froid solaire et confort d'été 6 février 2012)

Le modèle proposer est conçu pour pouvoir être utilisé pour le dimensionnement de l'échangeur et pour la conception de bâtiment, notamment à l'aide d'outils accessibles aux professionnelles du bâtiment. Ce modèle s'appuie notamment sur le modèle analytique d'hollmuler () et sur celui mis en œuvre au sein du logiciel GAEA ().les caractéristiques recherchées sont : la cohérence vis-à-vis des phénomènes physique mis en jeux, la simplicité de la structure et précision des résultats fournis. En fin, ce modèle et valable pour les deux modèle d'utilisation possibles de l'échangeur air-



sol : rafraîchissement ou préchauffage.

Figure 6 :Repérage d'un point M du sol

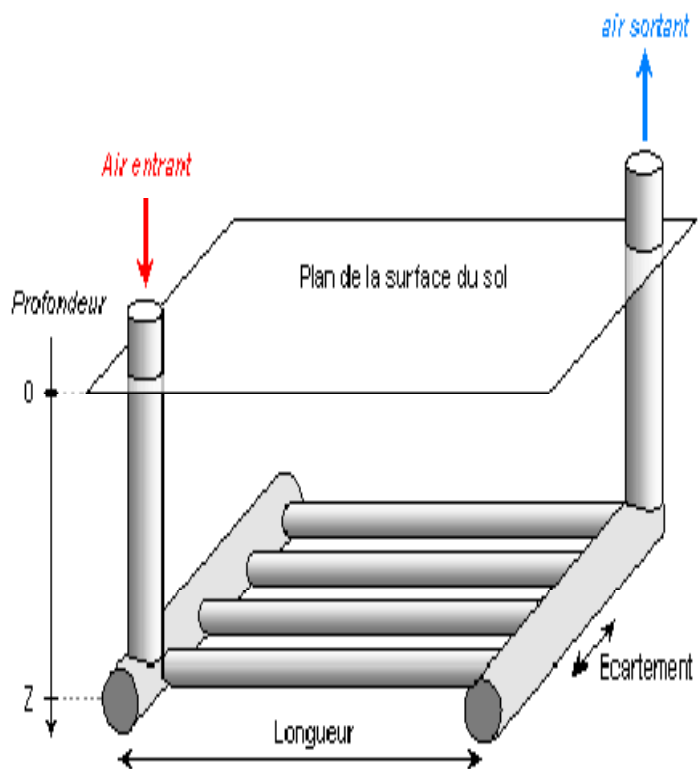


Figure 7 : Géométrie de l'échangeur air-sol modélisé

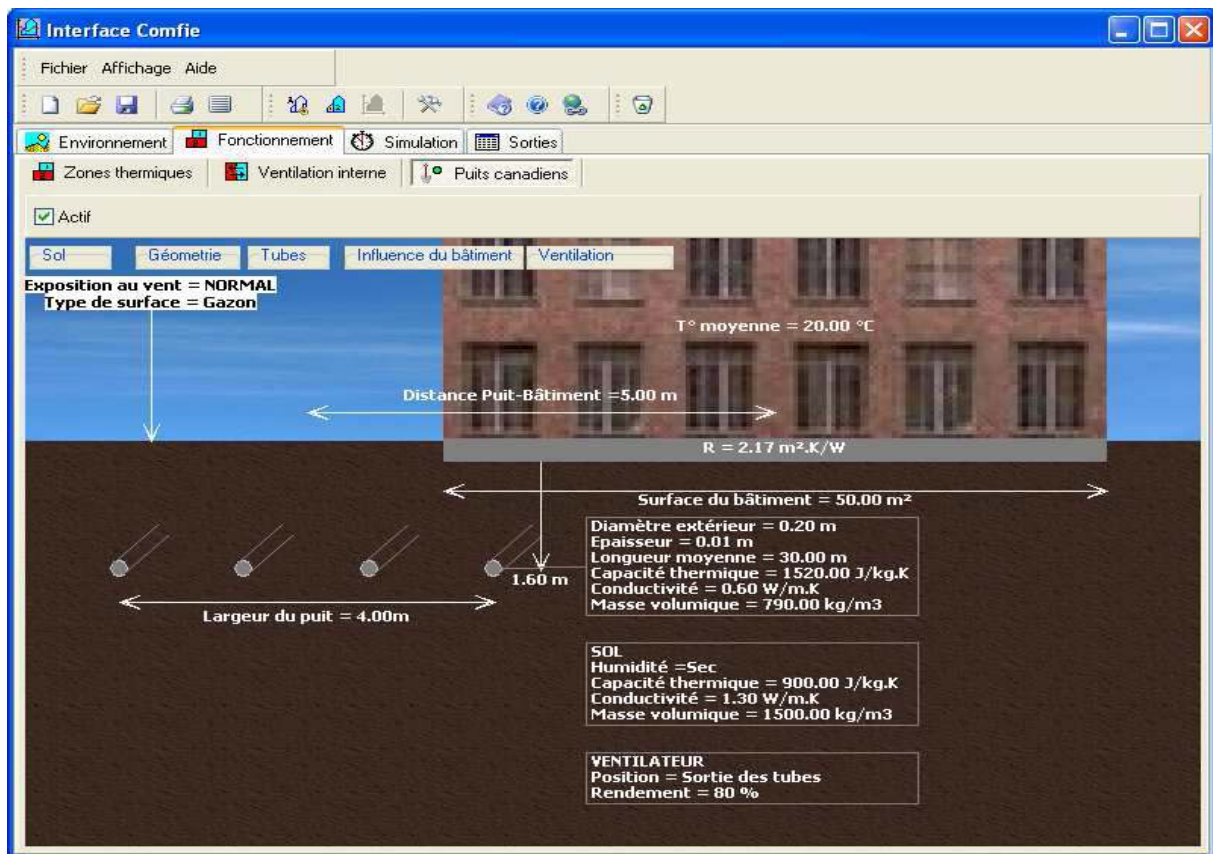


Figure 8: exemple d'intégration d'un puits canadien avec PLEIADES

## Validation

Une étude de sensibilité du modèle aux différents paramètres a permis de vérifier que les paramètres

Prépondérants étaient constitués par le dimensionnement de l'échangeur (nombre et longueur des tubes, profondeur d'enfouissement) et le débit de ventilation de l'échangeur, mais aussi par le rayonnement solaire incident et les propriétés thermiques du sol. Ces deux derniers éléments influent particulièrement sur la température du sol « non perturbé » calculée par le modèle thermique de sol. Les propriétés thermiques du sol et le dimensionnement de l'échangeur interviennent sur l'efficacité de l'échange thermique avec l'air. Enfin, le débit de ventilation influe notablement sur la température en sortie d'échangeur, du fait qu'un accroissement de débit n'induit pas un accroissement de la puissance instantanée déposée (ou puisée en hiver) dans le sol. L'influence du dimensionnement de l'échangeur sur ses performances – représentées par la réduction des degrés-jours d'inconfort (DJI) à 27 °C par rapport à une référence sans système de rafraîchissement.

## **I-4-Conclusion :**

L'objectif de cette étude :

- Faire des simulations sur la maison sans le système pour avoir les besoin en énergie.

Simulation sous PLEIADES+COMFIE

- Dimensionné de manière simple le système en fonction des principaux paramètres et à l'aide d'un jeu d'équation.

- simulation après application du système via le logiciel GEAE, comparaison des résultats



**CHAPITRE II : PRESENTATION**  
**Du CAS D'ETUDE HABITAT A**  
**TIPAZA**

## II-1-Introduction

La réalisation d'un projet d'architecture passe avant tout par son implantation dans un site donné

Cette étude nous permet de collecter les différentes données du site, les analyser, et tirer les potentialités et les contraintes.

## II-2-Situation géographique

**Tipaza** est une ville littorale qui s'ouvre sur la mer Méditerranée, à vocation principale touristique et qui a une histoire très importante à travers les époques (la richesse des vestiges archéologique).

Elle est située à **70 Km** à l'Ouest d'Alger, **28 Km** à l'Est de Cherchell, en contact avec la mer, la plaine et la montagne.

Le territoire de la wilaya de Tipaza couvre une superficie de **1707 Km<sup>2</sup>**. [9]



Figure 9: Carte géographique d'Algérie

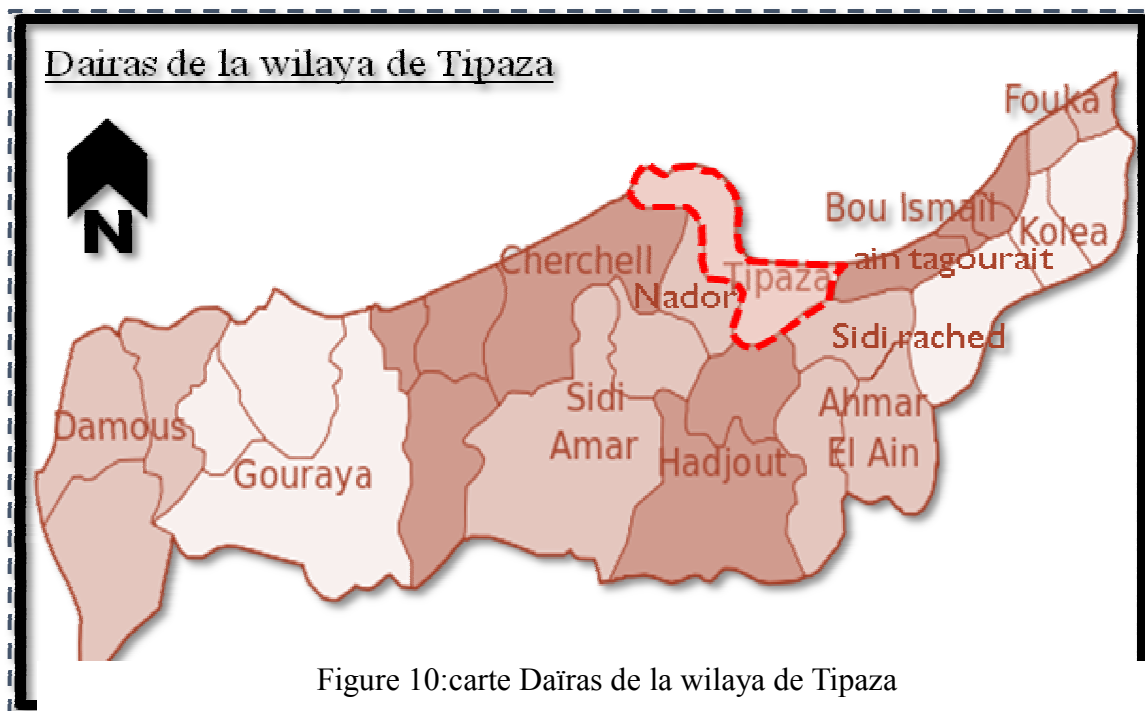


Figure 10: carte Dairas de la wilaya de Tipaza

### II-3-Caractéristique climatique du site :

La station météorologique la plus proche est celle de Alger, vue la similarité du climat on obtenus les résultats suivant (logiciel utilisé météoNorme) :

Le climat de Tipaza est chaud et tempéré. En hiver, les pluies sont bien plus importantes à Tipaza qu'elles ne le sont en été. La température moyenne annuelle à Tipaza est de 18.6 °C. Les précipitations annuelles moyennes sont de 624 mm[10]

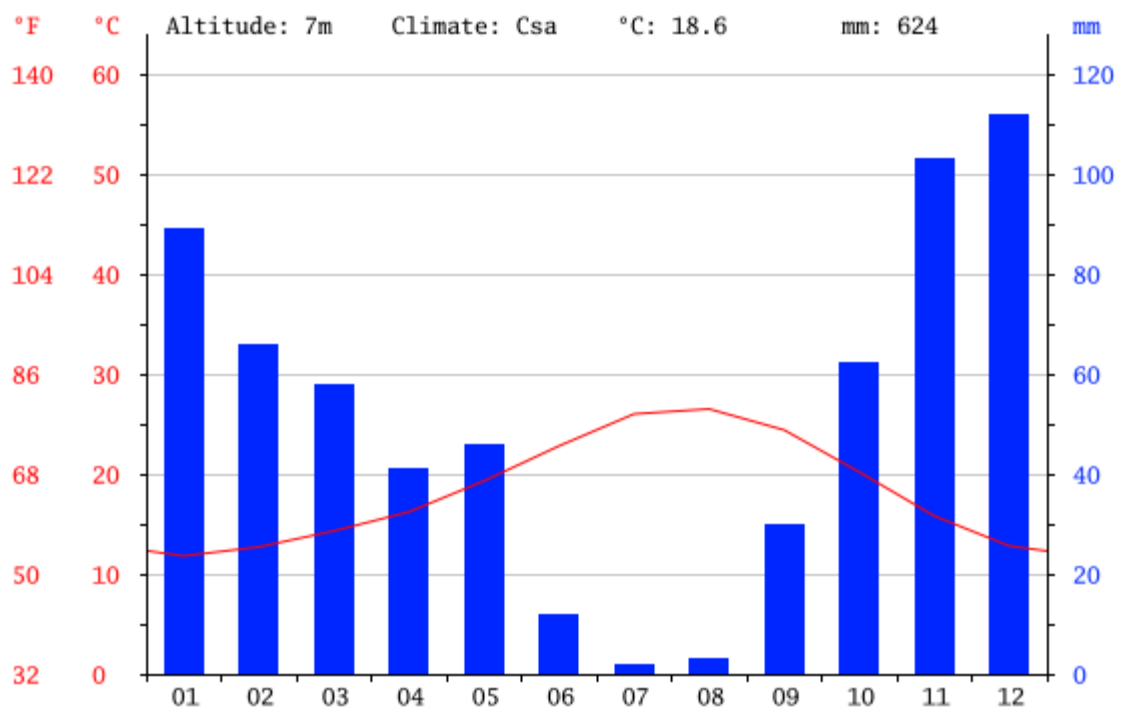


Figure 11:Température et précipitation mensuel

#### II-3-1Diagramme climatique :

Avec 2 mm, le mois de Juillet est le plus sec. En Décembre, les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 112 mm.[10]

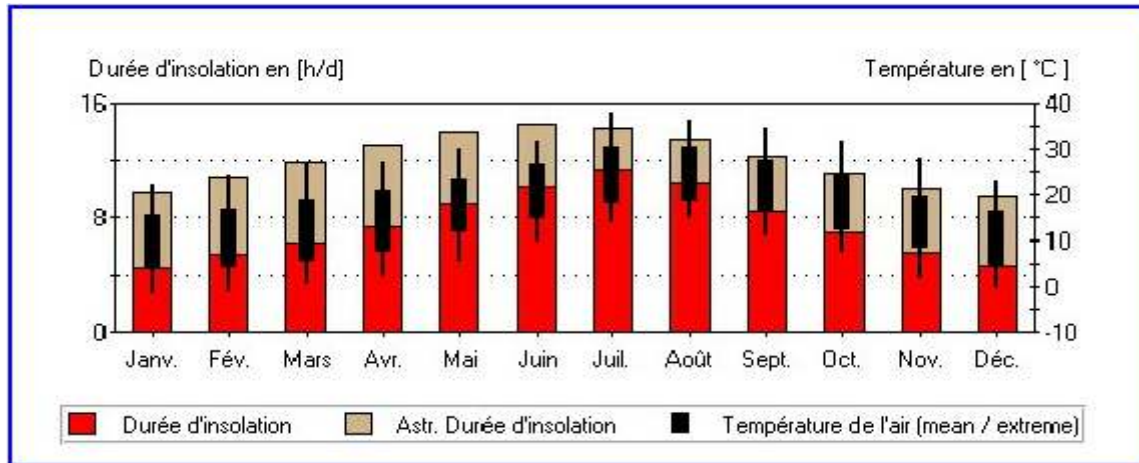


Figure 12:Durée d'insolation mensuelle

### II-3-2-Courbe des températures

38 °C font du mois d'Aout le plus chaud de l'année. Janvier est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 11.8 °C à cette période.[10]

### II-4-Présentation du projet d'étude

Cette partie comprend des logements type F5 qui se développe en duplex, la partie RDC représente la partie jour avec une chambre d'amie doté aussi d'un jardin et un garage pour la voiture, à l'étage on retrouve la partie nuit avec une chambre parentale équipé d'une salle de bain on retrouve aussi une terrasse accessible, l'accès aux unités d'habitation se fais par les voie de desserte.[9]

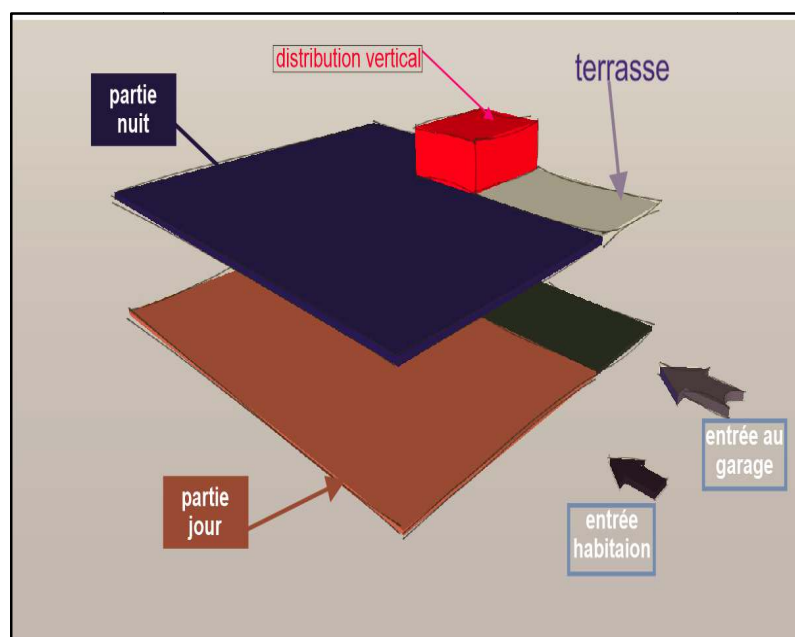


Figure13:schéma descriptif de la maison

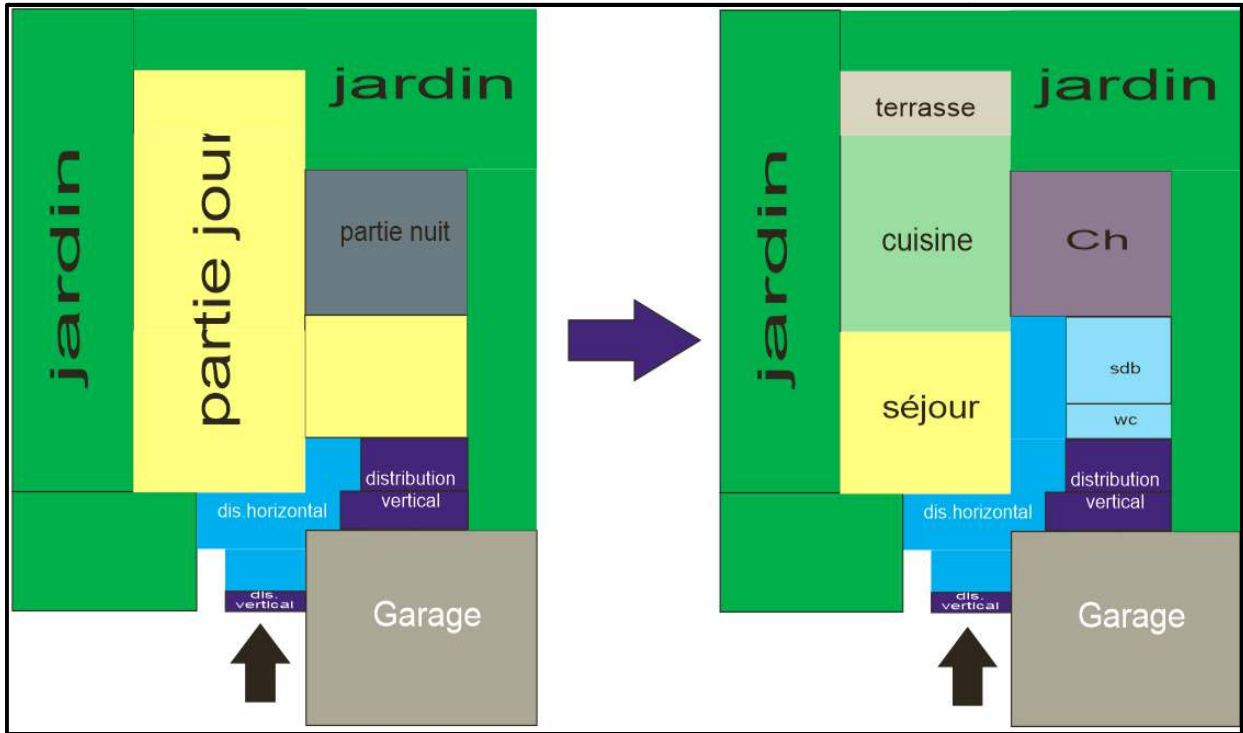


Figure 15: Shéma de zonage RDC

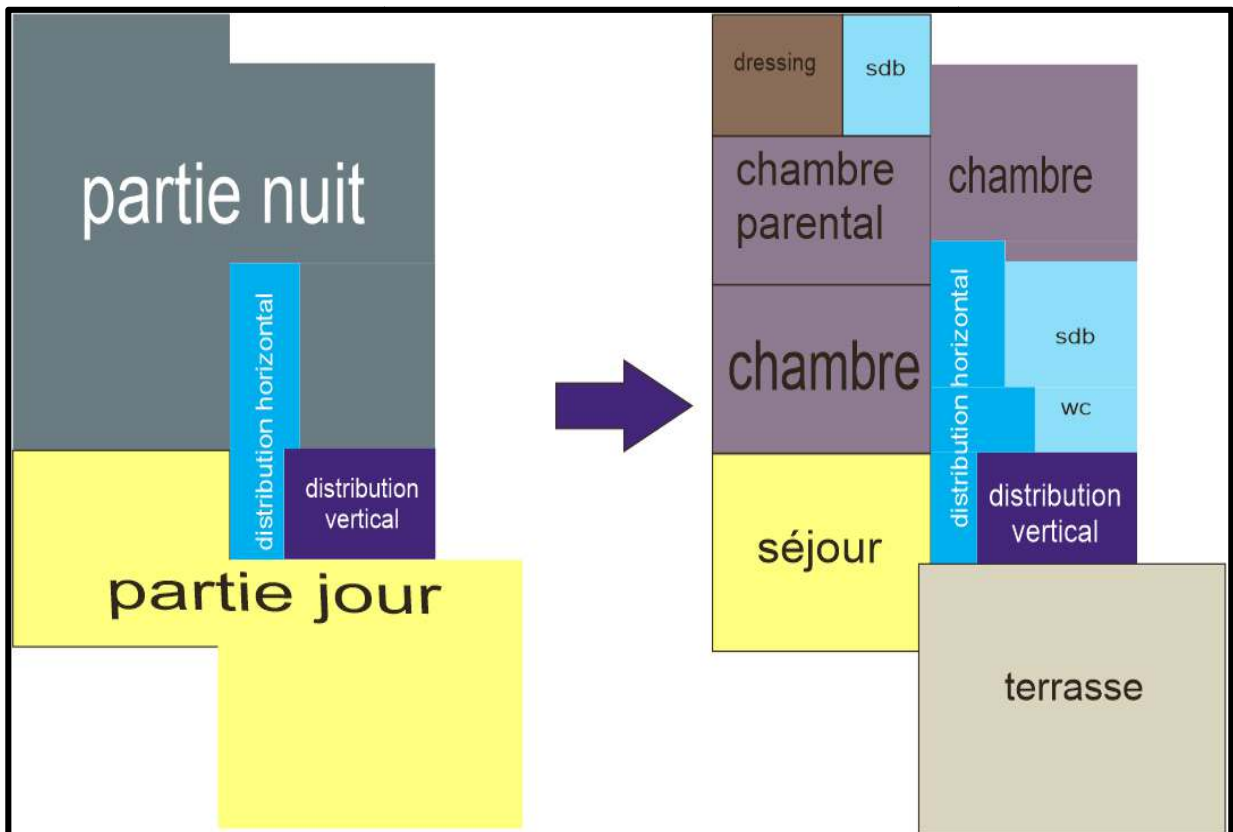


Figure 14: Shéma de zonage 1er étage

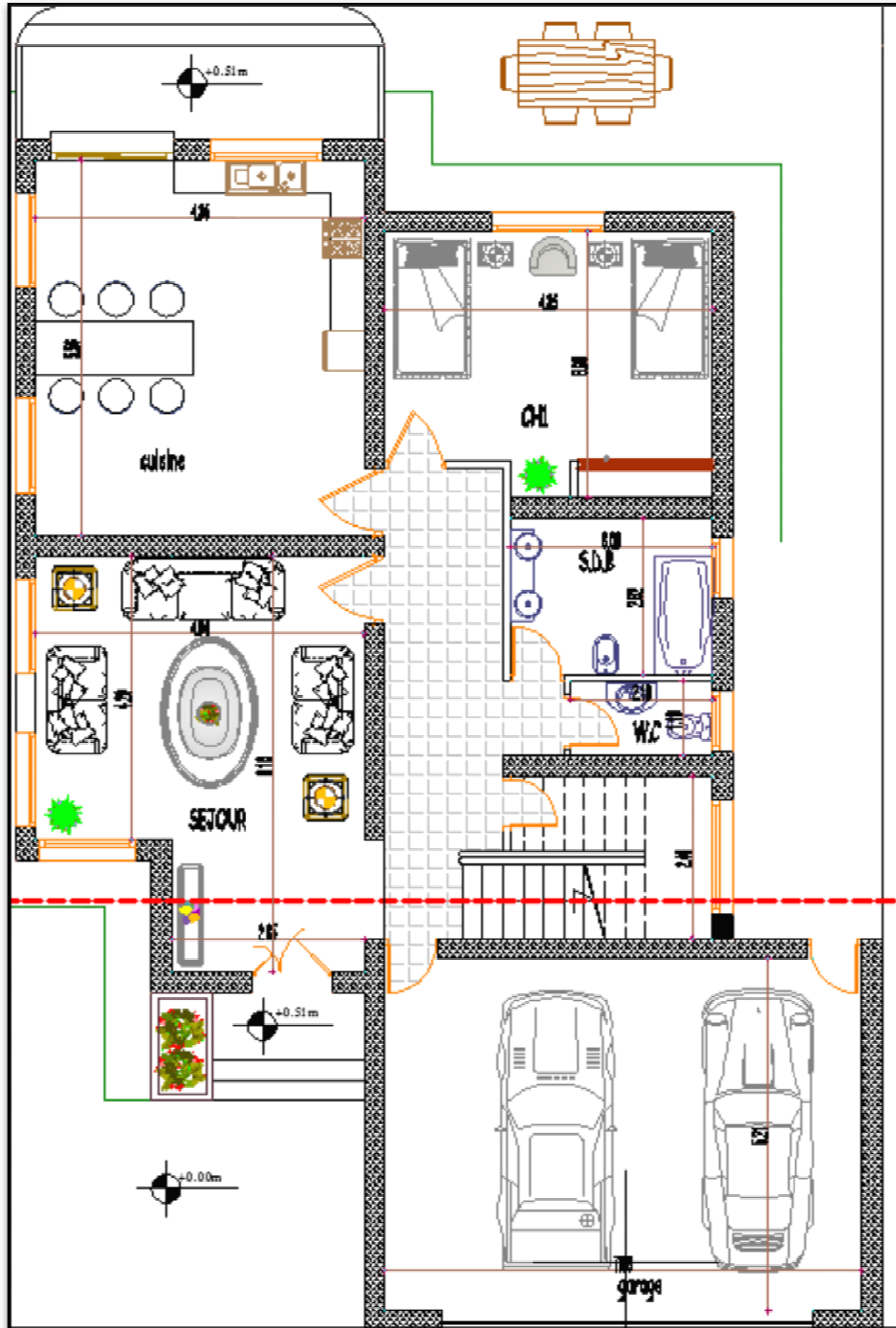


Figure 16: Plan RDC

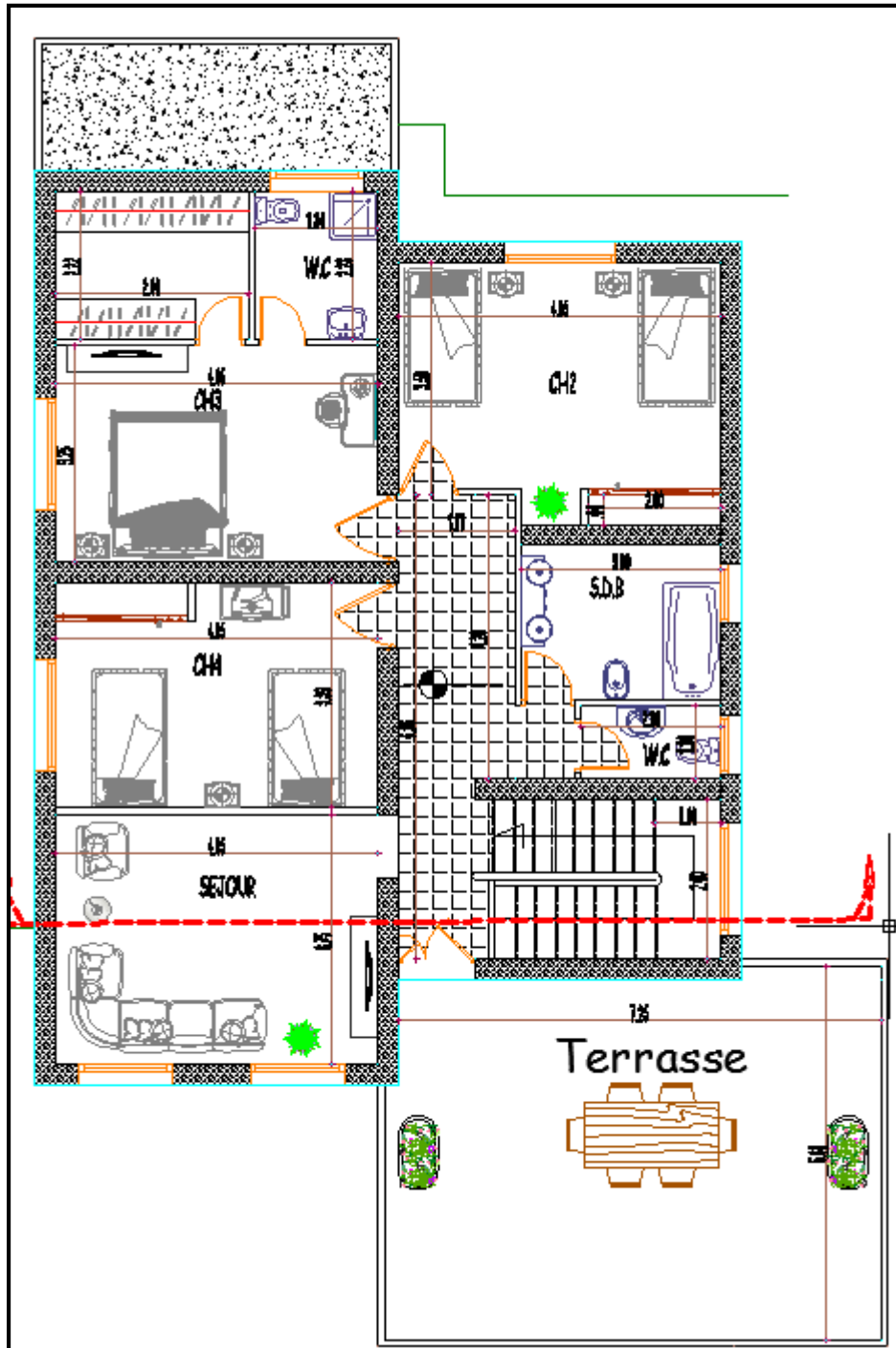
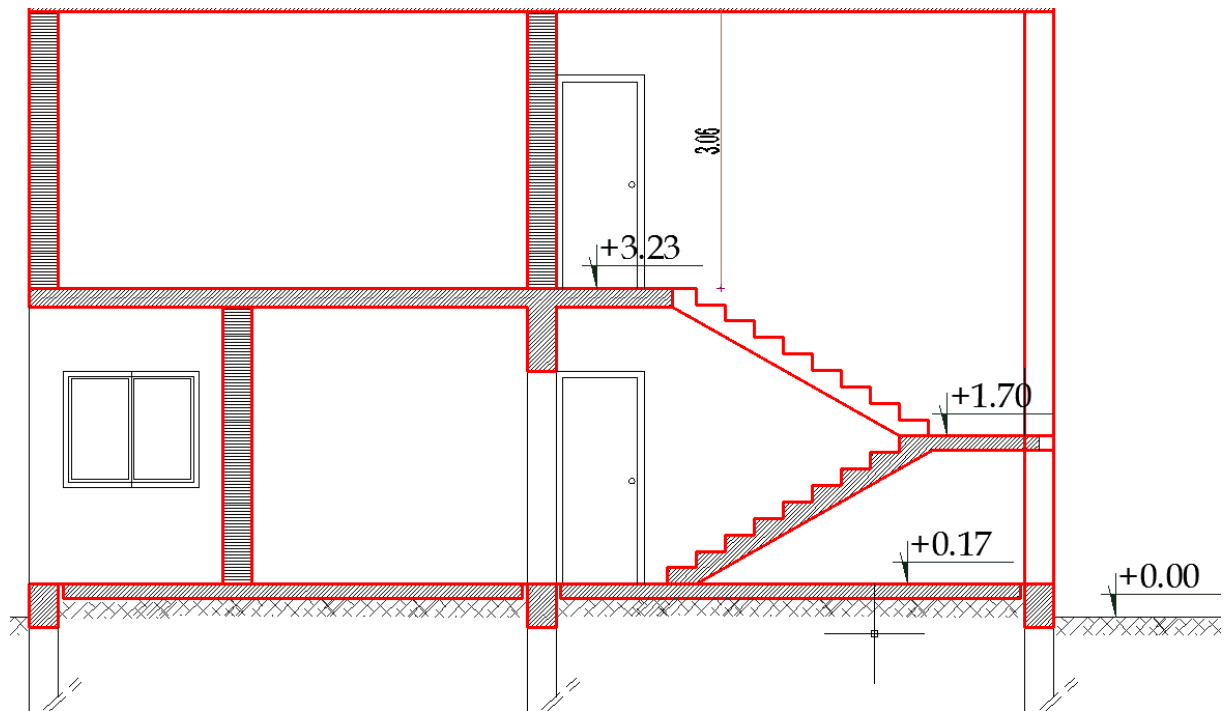


Figure 17: Plan 1er étage

Figure 18: coupe



[9]

#### II-4-Paramètre dimensionnelle du bâtiment étudié :

Le tableau ci-dessous illustre toutes les surfaces des parois avec et sans ouvertures

Tableau 1: descriptif des surfaces des parois

Désignation	Surface total avec les ouvertures	Surface total sans les ouvertures
<b>Mur extérieur-1</b>	<b>64.87 M<sup>2</sup></b>	<b>54.27 M<sup>2</sup></b>
<b>Mur extérieur-2</b>	<b>83.68 M<sup>2</sup></b>	<b>76.52 M<sup>2</sup></b>
<b>Mur extérieur-3</b>	<b>64.87 M<sup>2</sup></b>	<b>54.98 M<sup>2</sup></b>
<b>Mur extérieur-4</b>	<b>77.17 M<sup>2</sup></b>	<b>64.57 M<sup>2</sup></b>
<b>Mur intérieur</b>	<b>118.38 M<sup>2</sup></b>	<b>93.9 M<sup>2</sup></b>
<b>Plancher bas</b>	<b>164.60 M<sup>2</sup></b>	/
<b>Plancher intermédiaire</b>	<b>140.6 M<sup>2</sup></b>	/
<b>Terrasse</b>	<b>131.6 M<sup>2</sup></b>	/



## II-5-Composition des murs et plancher :

Le choix des matériaux de construction est une étape délicate. Ils déterminent l'atmosphère de l'habitat, une maison saine est un lieu bien isolé mais qui respire l'enveloppe de la construction fait office de frontière entre l'intérieur et l'extérieur.

- l'isolation renforcée pour favoriser les économies d'énergies en hiver comme été.
- Les fenêtres à double vitrage peu émissif (laisse échapper à l'extérieur que 4% de la chaleur qu'il reçoit, un avantage évident en hiver a l'inverse de l'été pour cela chaque fenêtre est équipé d'une imposte supérieure).

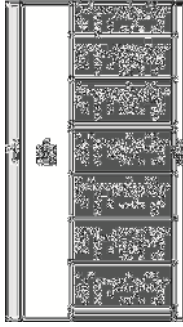
Désignation et représentation	Couche	Epaisseur [cm]	$\lambda$ [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> . °C/W]
<b><u>Mur extérieur</u></b> 	<b>1 –enduit extérieur</b>	<b>1.00</b>	<b>1.15</b>	<b>0.01</b>
	<b>2 - Polyuréthane</b>	<b>5.00</b>	<b>0.03</b>	<b>1.67</b>
	<b>3 – béton cellulaire</b>	<b>30.00</b>	<b>0.33</b>	<b>0.91</b>
	<b>4- Placoplatre BA13</b>	<b>1.3</b>	<b>0.32</b>	<b>0.04</b>
				<b>R = 2.63</b>

Tableau 2:composition mur extérieur


Désignation et représentation	Couche	Epaisseur [cm]	$\lambda$ [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> . °C/W]
<p><b><u>Mur intérieur</u></b></p> 	<p>1 –enduit plâtre</p> <p>2– béton cellulaire</p> <p>3- enduit plâtre</p>	<p>1.00</p> <p>30.00</p> <p>1.00</p>	<p>0.35</p> <p>0.33</p> <p>0.35</p>	<p>0.03</p> <p>0.91</p> <p>0.03</p> <p>R = 0.97</p>

Tableau 3:Mur intérieur

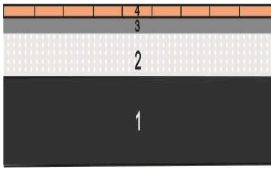
Désignation et représentation	Couche	Epaisseur [cm]	$\lambda$ [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> . °C/W]
<p><b><u>Plancher bas</u></b></p> 	<p>1 –béton lourd</p> <p>2– polystyrène expansé</p> <p>3- mortier</p> <p>4-carrelages</p>	<p>10.00</p> <p>08.00</p> <p>05.00</p> <p>01.00</p>	<p>1.75</p> <p>0.04</p> <p>1.15</p> <p>1.70</p>	<p>0.06</p> <p>2.05</p> <p>0.04</p> <p>0.01</p> <p>R = 2.16</p>

Tableau 4:Plancher bas

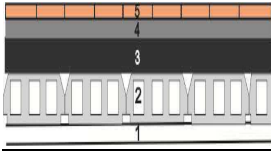
Désignation et représentation	Couche	Epaisseur [cm]	$\lambda$ [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> . °C/W]
<b><u>Plancher intermédiaire</u></b> 	1-enduit plâtre	01.00	0.35	0,06
	2 –hourdis	16.00	1.23	0.13
	3-polystyrène expansé	05.00	0.04	2.05
	4- mortier	01.00	1.15	0.01
	5-carrelages	01.00	1.70	0.01

Tableau 5:Plancher intermédiaire

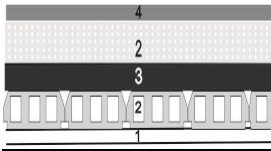
Désignation et représentation	Couche	Epaisseur [cm]	$\lambda$ [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> . °C/W]
<b><u>Toiture</u></b> 	1- Placoplatre BA13	01.3	0.32	0.04
	2 –hourdis	16.00	1.23	0.13
	3- polystyrène expansé	12.00	1.75	0.03
	4-béton lourd	05.00	1.75	0.03
	5-feutre bitumeux	05.00	0.50	0.10

Tableau 6:toiture

## II-6-Les fenêtres en double vitrage :

Le double vitrage est composé de 2 vitres isolées par un vide, remplies d'air ou de gaz. En installant une fenêtre double vitrage, l'ouverture est hermétique avec un gain d'isolation de 30% par rapport au vitrage classique sans oublier qu'il assure une bonne isolation phonique

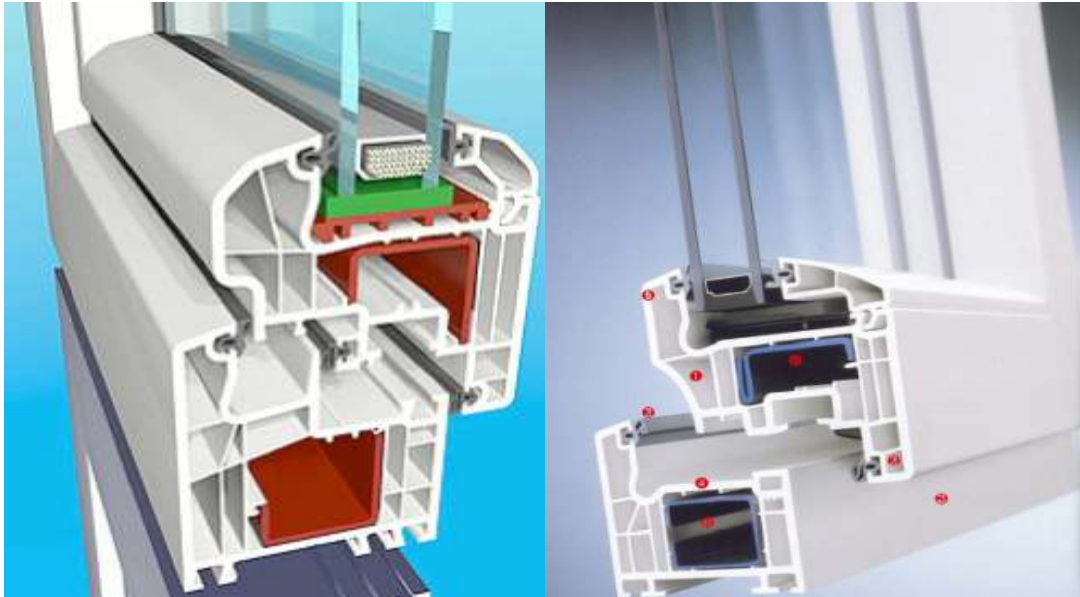


Figure 19:Fenêtre double vitrages en aluminium

## II-7-Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la situation géographique, les données climatiques de l'air d'étude, ainsi que les caractéristiques spécifiques et leur impact sur l'habitat et l'architecture.

Par la suite, nous avons fait une description du logement étudié et les caractéristiques des matériaux composant les murs externes et internes ainsi que les planches bas et haut, et le vitrage utilisé dans cette habitation.

# **CHAPITRE III : APPLICATION DES LOGICIELS**

### **III-1-Introduction :**

Le temps de l'énergie facile est révolu l'utilisation efficace des énergies renouvelables, la recherche du moindre impact environnemental, l'analyse énergétique et économique préalable par des outils de simulation sont aujourd'hui un impératif écologique et un critère de bonne gestion, cette démarche qui consiste à l'optimisation énergétique est gagnante pour l'économie des projets pour notre environnement et pour la préservation des ressources de demain.

A la fin des années 80, deux types d'outils existaient pour étudier la performance thermique des bâtiments : les méthodes simplifier (bilan mensuels comme celui de la réglementation thermique 1988), et les outils détaillés (TRNSYS, DOE2, ESP...) très peu utilisés par les professionnels car trop couteux en temps de saisie et d'apprentissage. C'est dans ce contexte qu'a été développé COMFIE, grâce aux techniques de réduction de modèle développées au centre d'énergétique (BACOT, 1984), (peuportier, 1988), (Blanc Sommereux, 1989).

L'objectif est d'étudier la pertinence des approches « bioclimatique » en particulier de concepts comme l'isolation transparente et les vérandas, à la fois en terme d'économie d'énergie et le confort en effet certaines réalisations solaire des années 70 avaient constitué des contre références à cause des surchauffes d'été, il est donc nécessaire d'étudier à la fois les besoins de chauffage et les évolutions de température, ce que permettent pas les méthodes simplifiées. D'autre part, la simulation permet de calculer de manière plus précise les apports solaires utiles en fonction de l'inertie l'approche a pu paraitre décalée dans un contexte d'énergie bon marché elle a néanmoins intéressé quelques concepteurs pionniers, et une première interface utilisateurs conviviale a été développée sur macintosh.

L'idée de prendre en compte les aspects environnementaux dans la conception des bâtiments a fait son chemin, avec la médiatisation apportée par l'association HQE. Même si cette association ne fait pas la promotion de la simulation thermique, les exigences en matière de confort conduisent un nombre croissant de concepteurs à utiliser cette méthode

L'utilisation du logiciel de simulation dynamique PLEIADES+COMFIE permet d'analyser de façon détaillée heure par heure le comportement thermique multizone des bâtiments.



Créer des masques proches, de recopier un niveau, de sélectionner les zones thermiques, de changer l'orientation, etc... une image scannée peut être insérée en fond d'écran pour faciliter la saisie, même dès la première esquisse.

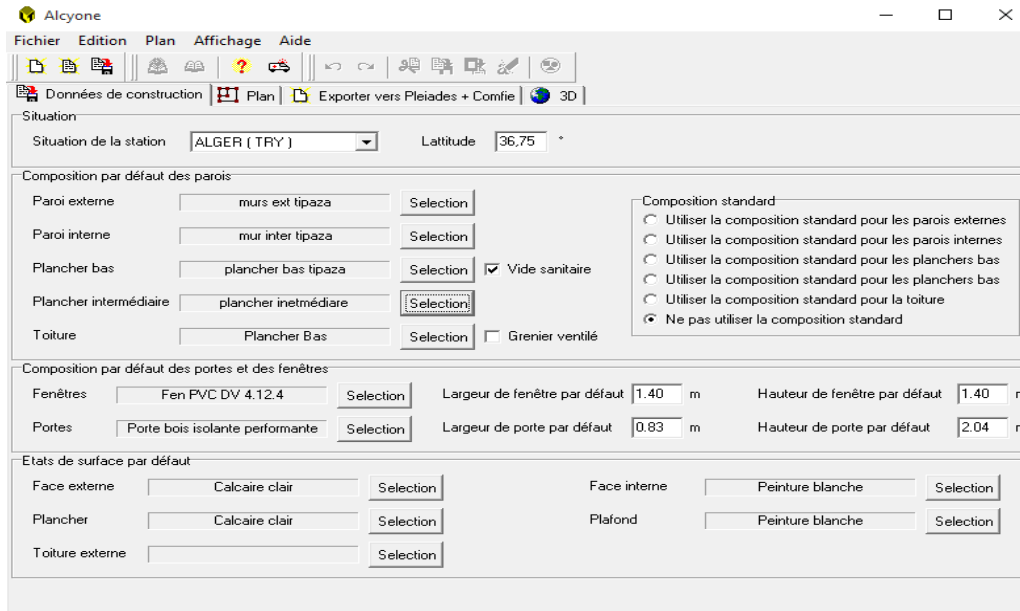


Figure 21: Interface ALYCONE

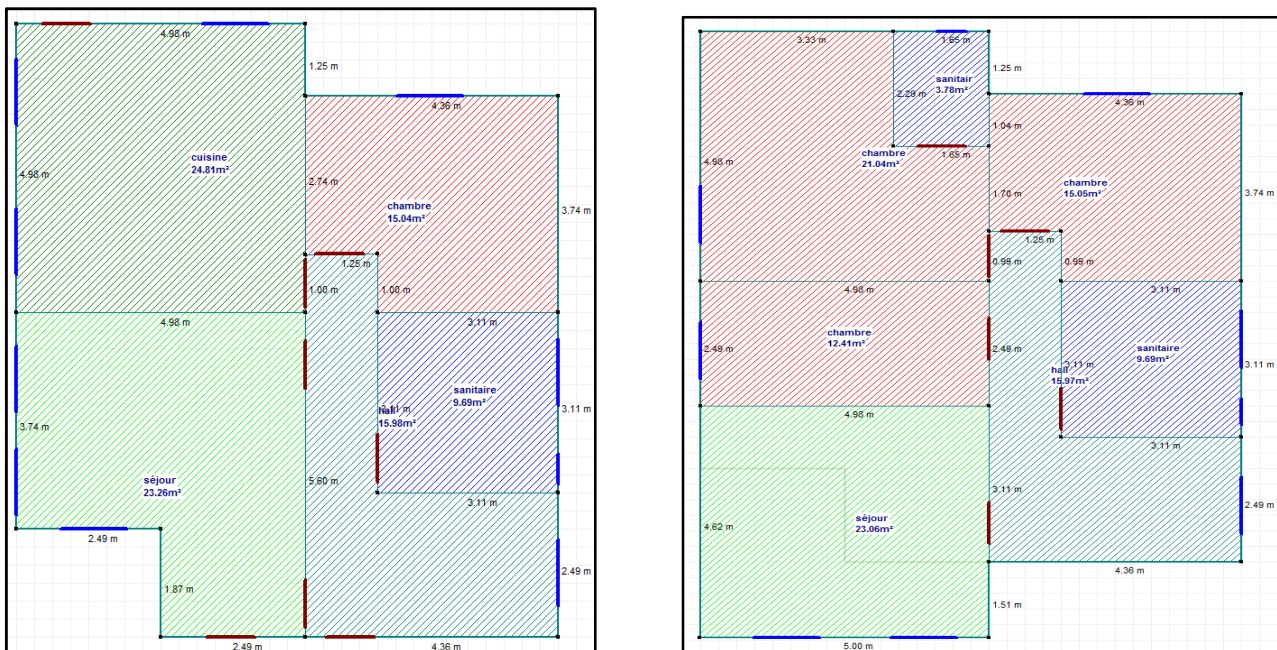


Figure 22: Plan RDC +1ER étage dessiné avec ALYCONE



Les pièces de même couleur appartiennent à la même zone, c'est-à-dire que les conditions intérieures sont identiques (température, ventilation, occupation...).

La maison est divisée en cinq Zone :

Zone 01 : cuisine (24,81m<sup>2</sup>) « en vert »

Zone 02: chambre +chambre +chambre (15.04m<sup>2</sup>+15.04m<sup>2</sup>+21.04m<sup>2</sup>+12.41m<sup>2</sup>) « en rouge »

Zone 03 : séjour + séjour (23.61m<sup>2</sup>+23.06m<sup>2</sup>) « en jaune »

Zone 04 : Salle de bain + WC (9.69m<sup>2</sup>+9.69m<sup>2</sup>+3.78m<sup>2</sup>) « en Bleu »

Zone 05 : couloire + hall + escalier (15.97m<sup>2</sup>+15.97m<sup>2</sup>) « en Bleu »



Figure 23: 3D de la maison

### III-4-Description Des Systèmes Constructifs Et Condition aux limites sous PLEIADES+COMFIE

Le logiciel PLEIAD-COMFIE possède une grande base de données de matériaux et même on peut faire rentrer d'autres éléments connaissant leurs masses volumiques, leurs conductivités thermiques et leurs capacités thermiques.

La modélisation des surfaces de l'enveloppe thermique utilisée se fait comme suit :

**Caractéristiques de la composition**

Classe: Murs

Nom: murs ext tipaza

Complément:

Origine:

Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	
Enduit extérieur	M	1.0	17	1.15	0.01	Extérieur ↓ Intérieur
Polyuréthane	M	5.0	2	0.03	1.67	
Béton cellulaire 800	M	30.0	240	0.33	0.91	
Placoplatre BA 13	E	1.3	10	0.32	0.04	
Total		37.3	269		2.63	

Tableau 7: Murs extérieur

**Caractéristiques de la composition**

Classe: Murs

Nom: mur inter tipaza

Complément:

Origine:

Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	
Enduit plâtre	M	1.0	15	0.35	0.03	Extérieur ↓ Intérieur
Béton cellulaire 800	M	30.0	240	0.33	0.91	
Enduit plâtre	M	1.0	15	0.35	0.03	
Total		32.0	270		0.97	

Tableau 8: Murs intérieur

**Caractéristiques de la composition**

Classe

Nom

Complément

Origine

Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R
Carrelage	M	1.0	23	1.70	0.01
Mortier	M	1.0	20	1.15	0.01
Béton lourd	M	5	115	1.75	0.03
Hourdis de 16 en béton	E	16.0	208	1.23	0.13
Enduit plâtre	M	2	30	0.35	0.06
Total		25.0	396		0.24

Extérieur

↓

Intérieur

Tableau 9:Plancher intermédiaire

**Caractéristiques de la composition**

Classe

Nom

Complément

Origine

Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R
Béton lourd	M	10.0	230	1.75	0.06
Polystyrène expansé	M	8.0	2	0.04	2.05
Mortier	M	5.0	100	1.15	0.04
Carrelage	M	1.0	23	1.70	0.01
Total		24.0	355		2.16

Extérieur

↓

Intérieur

Tableau 10: Plancher bas

**Caractéristiques de la composition**

Classe

Nom

Complément

Origine

Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R
Feutre bitumeux	M	5.0	85	0.50	0.10
Polystyrène expansé	M	12.0	3	0.04	3.08
Béton lourd	M	5.0	115	1.75	0.03
Hourdis de 16 en béton	E	16.0	208	1.23	0.13
Placoplatre BA 13	E	1.3	10	0.32	0.04
Total		39.3	421		3.38

Extérieur

↓

Intérieur

Tableau 11: Toiture

### III-5-Les zones thermiques et les scenarios utilisés dans les logements

Sur PLIAED, il n'est pas possible de créer dans une même simulation, des scénarios pour l'hiver et pour l'été (par exemple, ventilation d'été et ventilation d'hiver en même temps). On a donc été obligé, de considérer soit le confort d'hiver soit le confort d'été; certains points seront identiques durant toute l'année, comme les scenarios d'occupation et les gains de chaleur interne.

#### III-5-1-Environnement et fonctionnement de la maison

Tout d'abord, pour pouvoir simuler le fonctionnement la maison, il faut au préalable crée des zone ayant des caractéristiques de chauffage, de puissance dissipée et d'occupations différentes. Il est donc nécessaire de définir ces zones en fonction de leur utilité, en faisant par exemple une zone "chambre une zone" séjour une zone "salle de bain + toilette"

#### III-5-2- Scénario de consigne thermostat

Les consigne de thermostat ont pour fonction de déclencher le chauffage si la température dans la pièce descend en dessous de la limite qu'on aura fixée au préalable pour nous le consigne de thermostat c'est juste pour déterminer les besoins de chauffage et de climatisation.

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
11/11	25	25	25	25	25	25	25
11/12	25	25	25	25	25	25	25
11/13	25	25	25	25	25	25	25
11/14	25	25	25	25	25	25	25
11/15	25	25	25	25	25	25	25
11/16	25	25	25	25	25	25	25
11/17	25	25	25	25	25	25	25
11/18	25	25	25	25	25	25	25
11/19	25	25	25	25	25	25	25
11/20	25	25	25	25	25	25	25
11/21	25	25	25	25	25	25	25
11/22	25	25	25	25	25	25	25
11/23	25	25	25	25	25	25	25
12/1	20	20	20	20	20	20	20
12/2	20	20	20	20	20	20	20
12/3	20	20	20	20	20	20	20
12/4	20	20	20	20	20	20	20
12/5	20	20	20	20	20	20	20
12/6	20	20	20	20	20	20	20
12/7	20	20	20	20	20	20	20
12/8	20	20	20	20	20	20	20
12/9	20	20	20	20	20	20	20
12/10	20	20	20	20	20	20	20
12/11	20	20	20	20	20	20	20
12/12	20	20	20	20	20	20	20
12/13	20	20	20	20	20	20	20
12/14	20	20	20	20	20	20	20
12/15	20	20	20	20	20	20	20
12/16	20	20	20	20	20	20	20
12/17	20	20	20	20	20	20	20
12/18	20	20	20	20	20	20	20
12/19	20	20	20	20	20	20	20
12/20	20	20	20	20	20	20	20
12/21	20	20	20	20	20	20	20
12/22	20	20	20	20	20	20	20
12/23	20	20	20	20	20	20	20
12/24	20	20	20	20	20	20	20

Tableau 12: Scénario de thermostat hiver

°C	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H		26	26	26	26	26	26
1 H		26	26	26	26	26	26
2 H		26	26	26	26	26	26
3 H		26	26	26	26	26	26
4 H		26	26	26	26	26	26
5 H		26	26	26	26	26	26
6 H		26	26	26	26	26	26
7 H		26	26	26	26	26	26
8 H		26	26	26	26	26	26
9 H		26	26	26	26	26	26
10 I		26	26	26	26	26	26
11 I		26	26	26	26	26	26
12 I		26	26	26	26	26	26
13 I		26	26	26	26	26	26
14 I		26	26	26	26	26	26
15 I		26	26	26	26	26	26
16 I		26	26	26	26	26	26
17 I		26	26	26	26	26	26
18 I		26	26	26	26	26	26
19 I		26	26	26	26	26	26
20 I		26	26	26	26	26	26
21 I		26	26	26	26	26	26
22 I		26	26	26	26	26	26
23 I		26	26	26	26	26	26
24 I		26	26	26	26	26	26

Tableau 13: Scénario de thermostat été

### III-5-3-Scenario d'occupation

Les scenarios d'occupations permettent de définir le nombre de personnes occupent chaque zone et leur fréquence de présence dans cette dernière. Le but de ces scenarios étant de reproduire la chaleur émise par personne.

Pour notre modélisation, nous avons créé des scénarios pour chaque zone

-scenario d'occupation dans la zone : chambres

Occupation de 4 personnes de 23h à 7h

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H		100	100	100	100	100	100
1 H		100	100	100	100	100	100
2 H		100	100	100	100	100	100
3 H		100	100	100	100	100	100
4 H		100	100	100	100	100	100
5 H		100	100	100	100	100	100
6 H		100	100	100	100	100	100
7 H		100	100	100	100	100	100
8 H		0	0	0	0	0	0
9 H		0	0	0	0	0	0
10 I		0	0	0	0	0	0
11 I		0	0	0	0	0	0
12 I		0	0	0	0	0	0
13 I		0	0	0	0	0	0
14 I		0	0	0	0	0	0
15 I		0	0	0	0	0	0
16 I		0	0	0	0	0	0
17 I		0	0	0	0	0	0
18 I		0	0	0	0	0	0
19 I		0	0	0	0	0	0
20 I		0	0	0	0	0	0
21 I		0	0	0	0	0	0
22 I		0	0	0	0	0	0
23 I		100	100	100	100	100	100
24 I		100	100	100	100	100	100

Tableau 14: Scénario occupation chambre

-scenario d'occupation dans la zone : séjour

Occupation de 4 personnes de 19h à 23h

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	0	0	0	0	0	0	0
1 H	0	0	0	0	0	0	0
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	0	0	0	0	0	0	0
6 H	0	0	0	0	0	0	0
7 H	0	0	0	0	0	0	0
8 H	0	0	0	0	0	0	0
9 H	0	0	0	0	0	0	0
10 H	0	0	0	0	0	0	0
11 H	0	0	0	0	0	0	0
12 H	0	0	0	0	0	0	0
13 H	0	0	0	0	0	0	0
14 H	0	0	0	0	0	0	0
15 H	0	0	0	0	0	0	0
16 H	0	0	0	0	0	0	0
17 H	0	0	0	0	0	0	0
18 H	0	0	0	0	0	0	0
19 H	100	100	100	100	100	100	100
20 H	100	100	100	100	100	100	100
21 H	100	100	100	100	100	100	100
22 H	100	100	100	100	100	100	100
23 H	100	100	100	100	100	100	100
24 H	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 15: Scenario occupation séjour

-scenario d'occupation dans la zone : salle de bain + WC

Occupation de 1 personnes : on suppose que la zone et occuper avec une personne chaque heure par alternance

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	100	100	100	100	100	100	100
1 H	0	0	0	0	0	0	0
2 H	100	100	100	100	100	100	100
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	100	100	100	100	100	100	100
5 H	0	0	0	0	0	0	0
6 H	100	100	100	100	100	100	100
7 H	0	0	0	0	0	0	0
8 H	100	100	100	100	100	100	100
9 H	0	0	0	0	0	0	0
10 H	100	100	100	100	100	100	100
11 H	0	0	0	0	0	0	0
12 H	100	100	100	100	100	100	100
13 H	0	0	0	0	0	0	0
14 H	100	100	100	100	100	100	100
15 H	0	0	0	0	0	0	0
16 H	100	100	100	100	100	100	100
17 H	0	0	0	0	0	0	0
18 H	100	100	100	100	100	100	100
19 H	0	0	0	0	0	0	0
20 H	100	100	100	100	100	100	100
21 H	0	0	0	0	0	0	0
22 H	100	100	100	100	100	100	100
23 H	0	0	0	0	0	0	0
24 H	100	100	100	100	100	100	100

Tableau 16: Scenario occupation SDB+WC



- **Scenario puissance dissipée zone : chambre**  
 2 lampes (33wat chaque une) de 6h à 7h et de 19h à 23h  
 Téléviseur (100wat) de 6h à 7h et de 19h à 23h

Vatt	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	0	0	0	0	0	0	0
1 H	0	0	0	0	0	0	0
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	0	0	0	0	0	0	0
6 H	0	0	0	0	0	0	0
7 H	166	166	166	166	166	166	166
8 H	0	0	0	0	0	0	0
9 H	0	0	0	0	166	166	0
10 H	0	0	0	0	166	166	0
11 H	0	0	0	0	166	166	0
12 H	0	0	0	0	166	166	0
13 H	0	0	0	0	166	166	0
14 H	0	0	0	0	166	166	0
15 H	0	0	0	0	166	166	0
16 H	0	0	0	0	166	166	0
17 H	0	0	0	0	166	166	0
18 H	0	0	0	0	166	166	0
19 H	0	0	0	0	166	166	0
20 H	166	166	166	166	166	166	166
21 H	166	166	166	166	166	166	166
22 H	166	166	166	166	166	166	166
23 H	166	166	166	166	166	166	166
24 H	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 18: Scenario puissance dissipée chambre

- **Scenario puissance dissipée zone : cuisine**  
 1 lampes (33wat) de 7h à 8h et 18h à 22h  
 Réfrigérateur (100wat) h24 7/7  
 Four ou micro-onde (100wat) de 11h à 12h et de 19h à 20h

Vatt	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	100	100	100	100	100	100	100
1 H	100	100	100	100	100	100	100
2 H	100	100	100	100	100	100	100
3 H	100	100	100	100	100	100	100
4 H	100	100	100	100	100	100	100
5 H	100	100	100	100	100	100	100
6 H	100	100	100	100	100	100	100
7 H	233	233	233	233	233	233	233
8 H	100	100	100	100	100	100	100
9 H	100	100	100	100	100	100	100
10 H	100	100	100	100	100	100	100
11 H	100	100	100	100	100	100	100
12 H	233	233	233	233	233	233	233
13 H	100	100	100	100	100	100	100
14 H	100	100	100	100	100	100	100
15 H	100	100	100	100	100	100	100
16 H	100	100	100	100	100	100	100
17 H	100	100	100	100	100	100	100
18 H	100	100	100	100	100	100	100
19 H	100	100	100	100	100	100	100
20 H	233	233	233	233	233	233	233
21 H	100	100	100	100	100	100	100
22 H	100	100	100	100	100	100	100
23 H	100	100	100	100	100	100	100
24 H	100	100	100	100	100	100	100

Tableau 19: Scenario puissance dissipée cuisine



- **Scénario de puissance dissipé zone : hall +escalier**  
33 lampes (33wat chaque une) de 18h à 00h

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	0	0	0	0	0	0	0
1 H	0	0	0	0	0	0	0
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	0	0	0	0	0	0	0
6 H	0	0	0	0	0	0	0
7 H	0	0	0	0	0	0	0
8 H	0	0	0	0	0	0	0
9 H	0	0	0	0	0	0	0
10 H	0	0	0	0	0	0	0
11 H	0	0	0	0	0	0	0
12 H	0	0	0	0	0	0	0
13 H	0	0	0	0	0	0	0
14 H	0	0	0	0	0	0	0
15 H	0	0	0	0	0	0	0
16 H	0	0	0	0	0	0	0
17 H	0	0	0	0	0	0	0
18 H	100	100	100	100	100	100	100
19 H	100	100	100	100	100	100	100
20 H	100	100	100	100	100	100	100
21 H	100	100	100	100	100	100	100
22 H	100	100	100	100	100	100	100
23 H	100	100	100	100	100	100	100

Tableau 20: Scenario puissance dissipé

### III-5-5-Scénario de ventilation

Si la ventilation dans un bâtiment occupée est indispensable pour assurer la qualité de l'aire, cette exigence devient plus aigüe pour un bâtiment isolé et fortement étanche aux infiltrations d'air extérieur.

-pour cela on a appliqué deux scénarios de ventilation été – hiver pour notre projet

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	100	100	100	100	100	100	100
1 H	100	100	100	100	100	100	100
2 H	100	100	100	100	100	100	100
3 H	100	100	100	100	100	100	100
4 H	100	100	100	100	100	100	100
5 H	100	100	100	100	100	100	100
6 H	100	100	100	100	100	100	100
7 H	100	100	100	100	100	100	100
8 H	0	0	0	0	0	0	0
9 H	0	0	0	0	0	0	0
10 H	0	0	0	0	0	0	0
11 H	0	0	0	0	0	0	0
12 H	0	0	0	0	0	0	0
13 H	0	0	0	0	0	0	0
14 H	0	0	0	0	0	0	0
15 H	0	0	0	0	0	0	0
16 H	0	0	0	0	0	0	0
17 H	0	0	0	0	0	0	0
18 H	0	0	0	0	0	0	0
19 H	0	0	0	0	0	0	0
20 H	100	100	100	100	100	100	100
21 H	100	100	100	100	100	100	100
22 H	100	100	100	100	100	100	100

Tableau 21: Scenario de ventilation été

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	100	100	100	100	100	100	100
1 H	100	100	100	100	100	100	100
2 H	100	100	100	100	100	100	100
3 H	100	100	100	100	100	100	100
4 H	100	100	100	100	100	100	100
5 H	100	100	100	100	100	100	100
6 H	100	100	100	100	100	100	100
7 H	100	100	100	100	100	100	100
8 H	100	100	100	100	100	100	100
9 H	100	100	100	100	100	100	100
10 H	100	100	100	100	100	100	100
11 H	100	100	100	100	100	100	100
12 H	100	100	100	100	100	100	100
13 H	100	100	100	100	100	100	100
14 H	100	100	100	100	100	100	100
15 H	100	100	100	100	100	100	100
16 H	100	100	100	100	100	100	100
17 H	100	100	100	100	100	100	100
18 H	100	100	100	100	100	100	100
19 H	100	100	100	100	100	100	100
20 H	100	100	100	100	100	100	100
21 H	100	100	100	100	100	100	100
22 H	100	100	100	100	100	100	100
23 H	100	100	100	100	100	100	100
24 H	100	100	100	100	100	100	100

Tableau 22:Scenario de ventilation hiver

### III-6-Conclusion

PLEIADES+COMFIE nous a permis d'intégrer toutes les compositions de la maison ainsi les différents scénarios pour avoir des résultats plus proche de la réalité, PLEIADES + COMFIE

Permet à un architecte beta un maitre d'ouvrage d'analyser un projet ou d'envisager une réhabilitation dans une démarche complète d'analyse thermique, depuis les première esquisse jusqu'aux étapes les plus avancés du projet.

**CHAPITRE**  
**IV :INTERPRETATION**  
**RESULTATS ET DISCUSSION**

## **IV-1-Introduction**

Dans ce chapitre nous allons interpréter les résultats obtenus grâce au logiciel PLEIADES+COMFIE avec le quelle on a réalisé des simulations du comportement énergétique de la maison.

Les résultats des simulations sont les besoins de chauffage et de rafraichissement, les températures de zone, des indicateurs de performance et de confort, Ces résultats sont présentés sous la forme de diagrammes graphes ou tableaux.

## **IV-2-Etape de l'acquisition des résultats**

Pour bien voire les variations des températures des zones de confort, on illustrera nos simulations par deux graphes (chauffage et climatisation) on lance une simulation sans les consignes de thermostat et une deuxième avec ces même consignes (La température de confort doit être entre 20°C et 26°C) ce qui fait en tous un total de quatre simulations.

Tout cela se fait d'après les étapes qui suivent :

Etape 1 : on va appliquer les scenarios sans consigne de thermostat pour avoir les températures des zones de confort et l'extérieur (été/hiver)

Etape 2 : on va appliquer toutes les scénarios pour déterminer les besoin en chauffage et en climatisation

Pour cela on a décomposé l'année on deux larges saisons suivant le fonctionnement de PLEIADES et suivant le besoin qu'on veut déterminer chauffage et climatisation.

## IV-2-1-Simulations sans consigne

### Simulation hiver sans consigne de thermostat :

Les résultats issue de cette simulation sont récapitulés don le tableau suivant

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
cuisine	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	10.57 °C	15.43 °C	22.90 °C
chambre+chambre+chambre+chambre	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	10.29 °C	14.14 °C	20.34 °C
sanitair +sanitair+sanitair	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	10.80 °C	15.08 °C	23.90 °C
séjour+séjour	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	10.02 °C	14.37 °C	21.31 °C
hall+hall	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	10.81 °C	14.91 °C	23.03 °C
Total	0 kWh	0 kWh	0 W	0 W			
Zones	Besoins Chaud+Froid	Moyenne Surchauffe Max	Amplification de T°Ext	Taux d'inconfort	Part de besoin nets		
cuisine	0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	17.46 %	46.83 %	0.00 %		
chambre+chambre+chambre+chambre	0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	5.85 %	77.03 %	0.00 %		
sanitair +sanitair+sanitair	0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	12.64 %	57.54 %	0.00 %		
séjour+séjour	0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	10.65 %	58.10 %	0.00 %		
hall+hall	0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	8.30 %	58.89 %	0.00 %		

Tableau 23:Récapitulatif des résultats (hiver-sans consigne)

Comme c'est indiqué au tableau ci-dessus les besoins de chauffage et de climatisation sont nuls sans intégrer les consignes de thermostat,

Pour la zone de confort la température varie entre 10.02°C et une température maximale de 21.31°C.

Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la température externe et celle de la zone de Confort.

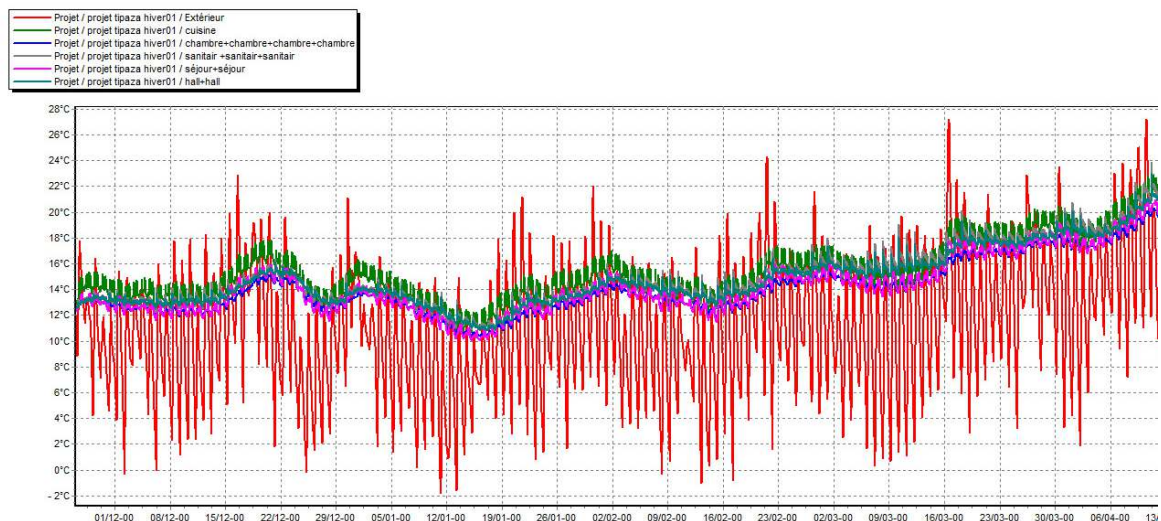


Figure 24: Evolution de la température (hiver-sans consigne)

La température extérieure atteint au minimum  $-2^{\circ}\text{C}$ , par contre la température dans la zone de confort est relativement stable grâce à l'isolation et aux matériaux utilisés dans l'enveloppe de la maison

. Zone 1 (chambre+ chambre+ chambre) : la température varie entre  $12^{\circ}\text{C}$  et  $16^{\circ}\text{C}$

. Zone 2 (séjour) : la température varie entre  $10^{\circ}\text{C}$  et  $16^{\circ}\text{C}$

La température externe varie entre  $-2^{\circ}\text{C}$  et  $26^{\circ}\text{C}$

On déduit que sans aucune installation de chauffage la maison est gardée hors gel grâce aux matériaux utilisés dans la conception de la maison, mais il nous reste un certain niveau de confort à atteindre.

### Simulation été sans consigne :

Les résultats issus de cette simulation sont récapitulés dans le tableau suivant

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
cuisine	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	12.21 °C	25.40 °C	33.91 °C
chambre+chambre+chambre+chambre	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	12.00 °C	24.38 °C	31.96 °C
sanitaire +sanitaire+sanitaire	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	11.92 °C	26.10 °C	36.89 °C
séjour+séjour	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	11.85 °C	24.50 °C	32.45 °C
hall+hall	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	12.11 °C	25.61 °C	35.57 °C
Total	0 kWh	0 kWh	0 W	0 W			
Zones	Besoins Chaud+Froid	Moyenne Surchauffe Max	Amplification de T°Ext	Taux d'inconfort	Part de besoin nets		
cuisine	0.00 kWh/m3	33.94 (1/10°C)	17.39 %	43.97 %	0.00 %		
chambre+chambre+chambre+chambre	0.00 kWh/m3	28.88 (1/10°C)	6.49 %	36.68 %	0.00 %		
sanitaire +sanitaire+sanitaire	0.00 kWh/m3	43.20 (1/10°C)	18.05 %	48.79 %	0.00 %		
séjour+séjour	0.00 kWh/m3	30.34 (1/10°C)	10.98 %	38.12 %	0.00 %		
hall+hall	0.00 kWh/m3	37.02 (1/10°C)	12.83 %	45.14 %	0.00 %		

Figure 25:Récapitulatif des résultats (été-sans consigne)

Comme cela est indiqué dans le tableau les besoins de climatisation sont nuls sans consigne de thermostat

Pour la zone de confort la température varie entre  $11.85^{\circ}\text{C}$  et  $31.96^{\circ}\text{C}$  avec une moyenne de  $24.5^{\circ}\text{C}$

Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la température externe et celle de la zone de confort.

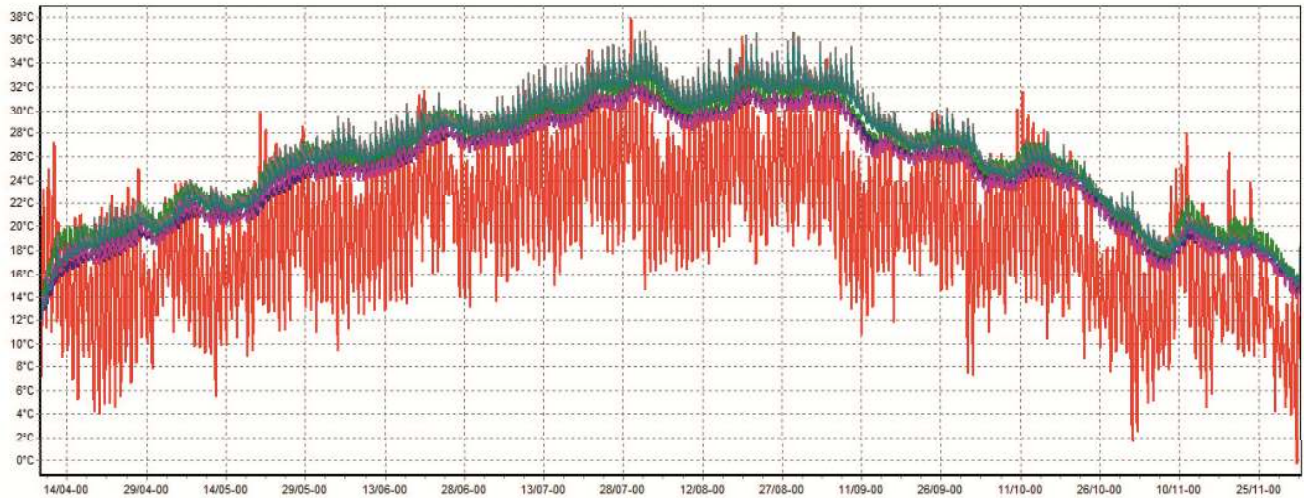


Figure 26: Evolution de la température (été-sans consigne)

La température extérieure atteint un maximum de 38°C, cela influe considérablement sur la température dans la zone de confort qui atteint 32°C.

. Zone 1(chambre +chambre+ chambre) la température varie entre 12°C et 32°C

. Zone 2(séjour) la température varie entre 11.85°C et 32°C

La température externe varie 12°C et 38°C

De ceci on déduit que sans installation de climatisation, nous avons un problème de surchauffe dans la maison ce qui nous a donné un taux d'inconfort de 38.12 %.

#### **IV-2-2-Simulation avec consigne de thermostat :**

Dans cette étape nous allons faire des simulation on intégrant les scénarios de consignes de thermostats, cela va nous permettre d'obtenir les besoin de chauffage on fixant la consigne de thermostat à 20°C, et les besoin de climatisation on fixant cette dernière a 26°C

Cette simulation nous permettra de quantifier le besoin d'énergie nécessaire pour rendre le taux d'inconfort égale à 0%

## Simulation hiver avec consigne de thermostat 20°C :

Les résultats issus de cette simulation sont récapitulés dans le tableau suivant

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
cuisine	574 kWh	0 kWh	681 W	-0 W	19.81 °C	20.23 °C	23.57 °C
chambre+chambre+chambre+chambre	2183 kWh	0 kWh	1751 W	-0 W	19.99 °C	20.04 °C	21.26 °C
sanitair +sanitair+sanitair	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	16.33 °C	18.90 °C	24.84 °C
séjour+séjour	1567 kWh	0 kWh	1420 W	-0 W	19.97 °C	20.07 °C	22.01 °C
hall-hall	685 kWh	0 kWh	674 W	-0 W	19.97 °C	20.16 °C	24.03 °C
<b>Total</b>	<b>5009 kWh</b>	<b>0 kWh</b>	<b>4526 W</b>	<b>0 W</b>			
Zones	Besoins Chaud-Froid	Moyenne Surchauffe Max	Amplification de T°Ext	Taux d'inconfort	Part de besoin nets		
cuisine		6.18 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	6.64 %	0.00 %		42.87 %
chambre+chambre+chambre+chambre		9.93 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	0.62 %	0.00 %		69.02 %
sanitair +sanitair+sanitair		0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	13.11 %	0.00 %		0.00 %
séjour+séjour		9.19 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	1.60 %	0.00 %		65.22 %
hall-hall		5.03 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	3.99 %	0.00 %		42.56 %

Figure 27: Récapitulatif des résultats (hiver avec consigne)

Depuis le tableau, les besoins en chauffage sont calculés et donnés par la somme de 5009 kWh, soit  $2.81 \text{ kWh/m}^3$ , pour la zone de confort la température sera égale à 20°C, qui est la température de consigne que l'on a fixée, la température atteindra 24.84°C comme valeur maximale.

Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la température extérieure et celle de la zone de confort.

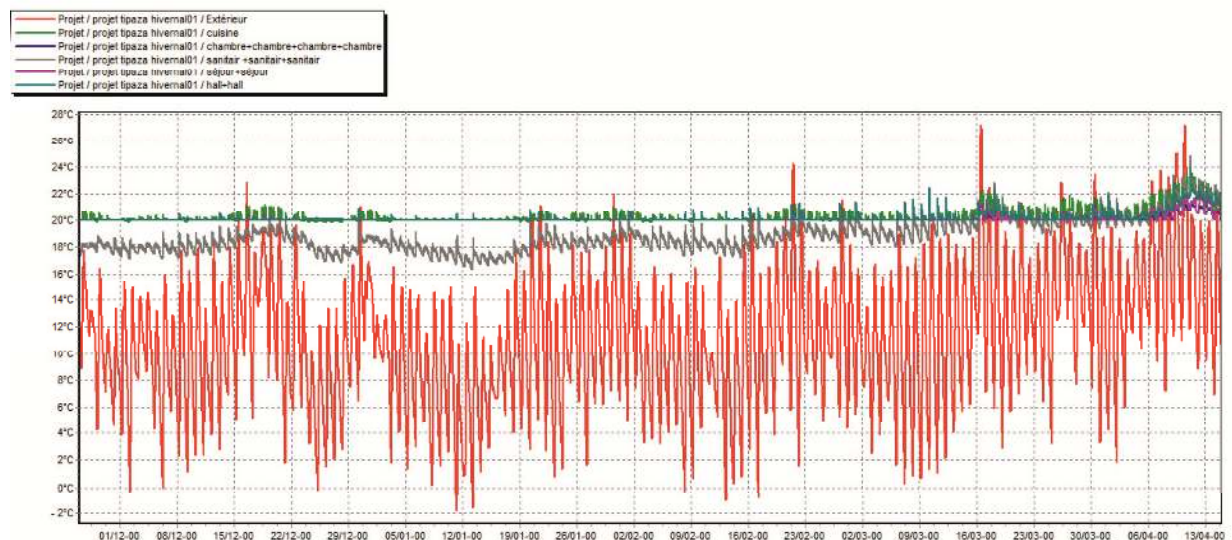


Figure 28: Evolution de la température (hiver avec consigne)



La température à l'extérieur minimum est de  $-2^{\circ}\text{C}$  :

. Zone de confort (séjour+ chambre + cuisine) la température est fixée à  $20^{\circ}\text{C}$

. Zone (sanitaire) la température varie entre  $17^{\circ}\text{C}$  et  $20^{\circ}\text{C}$

Le confort thermique est atteint à l'intérieur de la maison avec  $2.81\text{kWh}/\text{m}^3$

#### IV-2-2-1-La puissance de chauffage :

La graphique si dessous illustre la variation des puissances de chauffage dans chaque zone en fonction de la température.

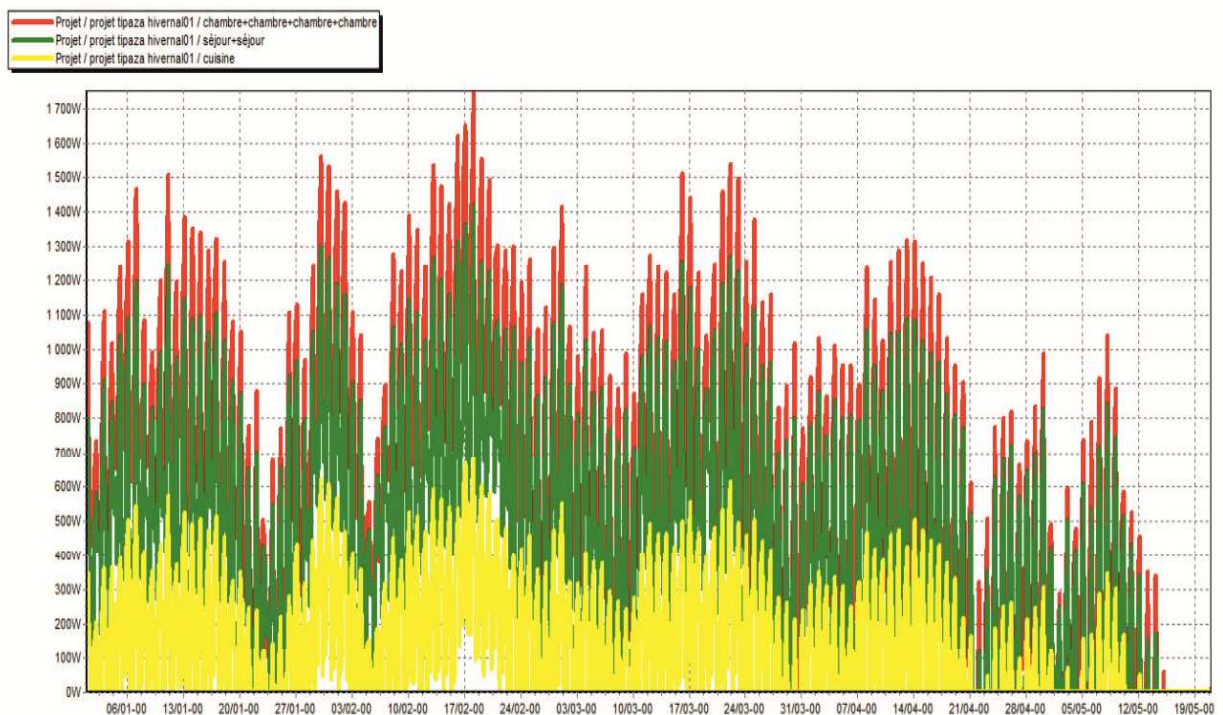


Figure 29:Besoin en chauffage (hiver avec consigne)

## Simulation été avec consigne de thermostat 26°C :

Les résultats issus de cette simulation sont récapitulés dans le tableau suivant.

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauffage	Puiss. Clim.	T* Min	T* Moyenne	T* Max
<b>Année</b>							
cuisine	76 kWh	514 kWh	543 W	786 W	19.82 °C	24.07 °C	26.12 °C
chambre+chambre+chambre+chambre	385 kWh	566 kWh	1461 W	1137 W	19.99 °C	23.60 °C	26.11 °C
sanitair +sanitair+sanitair	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	17.13 °C	25.30 °C	32.87 °C
séjour+séjour	285 kWh	481 kWh	1194 W	1248 W	19.97 °C	23.67 °C	26.03 °C
hall+hall	74 kWh	1016 kWh	644 W	2757 W	19.98 °C	24.11 °C	26.19 °C
<b>Total</b>	<b>819 kWh</b>	<b>2577 kWh</b>	<b>3842 W</b>	<b>5928 W</b>			
Zones	Besoins Chaud+Froid	Moyenne Surchauffe Max	Amplification de T*Ext	Taux d'inconfort	Part de besoin nets		
cuisine		6.35 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	9.06 %	0.00 %	14.99 %	
chambre+chambre+chambre+chambre		4.32 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	3.73 %	0.00 %	32.93 %	
sanitair +sanitair+sanitair		0.00 kWh/m3	19.58 (1/10°C)	17.94 %	41.27 %	0.00 %	
séjour+séjour		4.49 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	6.57 %	0.00 %	31.76 %	
hall+hall		8.01 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	4.82 %	0.00 %	12.99 %	

Figure 30:Récapitulatif des résultats (été avec consigne)

Depuis le tableau on a les besoins de climatisation calculé et donner par 2577kwh soit 1.44kwh/m<sup>3</sup>, pour la zone de confort la température sera fixé à 26°C qui est la consigne de thermostat qu'on a fixé.

Le graphique ci dessous montre l'évolution de la température externe et celle de la zone de confort.

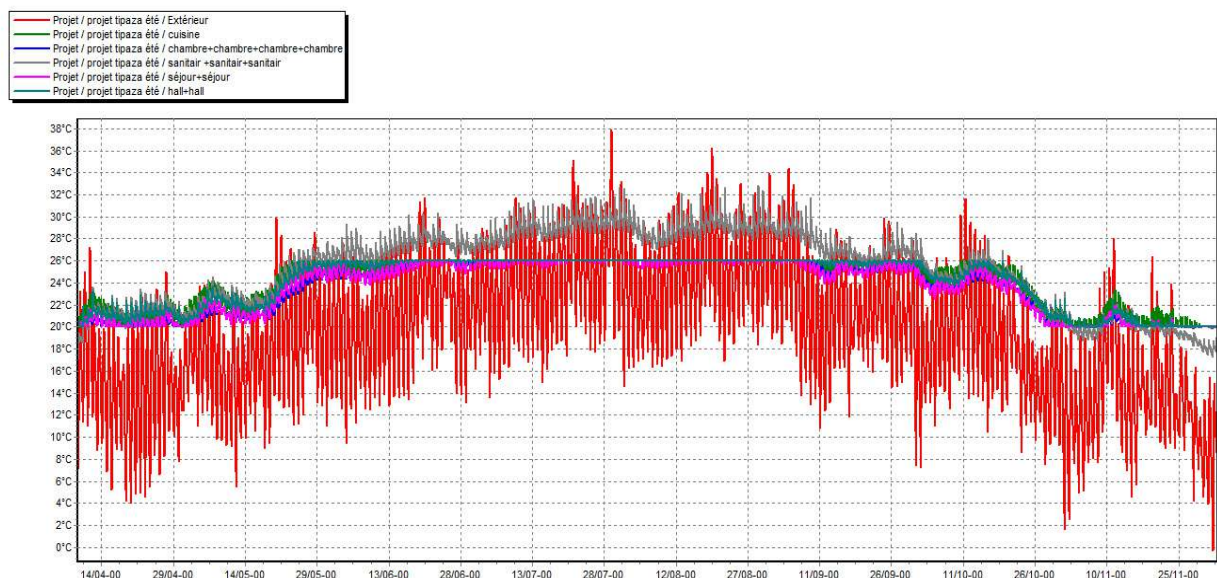


Figure 31:Evolution de température (été avec consigne)

La température extérieure atteint 38°C comme valeur maximale sur la période estivale

. Zone de confort (séjour+ chambre+ cuisine) la température est fixe à 26°C.

. Zone (sanitaire) la température varie entre 26°C et 32°C.

Le confort thermique dans les zones de confort peut être atteint avec 1.44kwh/m<sup>3</sup>

#### IV-2-2-2-La puissance de climatisation :

La graphique ci-dessous illustre la variation des puissances de climatisation dans chaque zone en fonction de la température, la puissance de climatisation est comptée négativement et peut atteindre 2600watt dans le cas étudié.

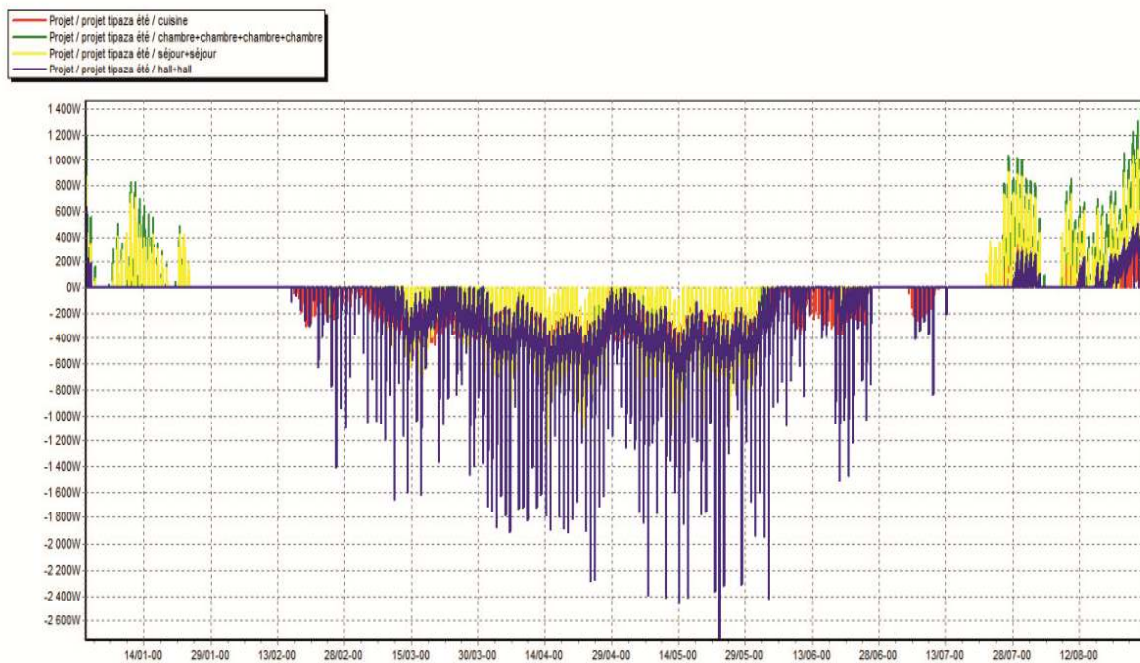


Figure 32: Besoin en climatisation (été avec consigne)

### IV-3-Conclusion

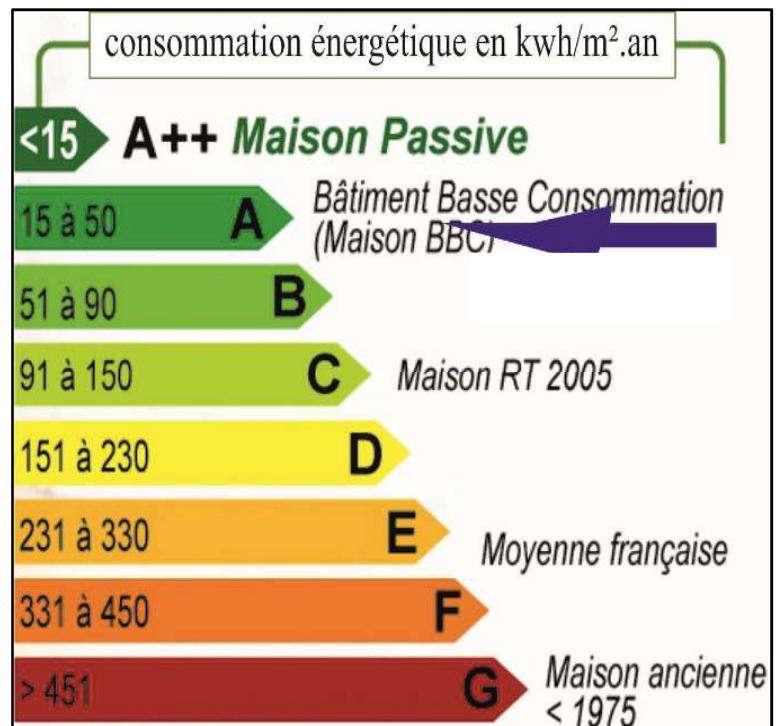
D'après les simulations réalisées dans ce chapitre on obtient les besoins nécessaires pour la climatisation et le chauffage pour la maison on récapitule tous ça dans le tableau suivant

Besoins (KWh)	hiver	Eté	Total
Besoins de chauffage	5009	819	5827
Besoins de climatisation	0	2577	2577

Tableau 24: Besoin de chauffage et de climatisation

La maison étudiée a une consommation énergétique de 5827kwh pour le chauffage et de 2577kwh pour la climatisation, soit 44.26kwh/m<sup>2</sup>.an. Selon l'étiquette bioclimatique, la maison est classée au niveau A ce qui veut dire que la maison est parfaitement économe certes, mais il nous reste à subvenir au besoin de chauffage et de climatisation pour atteindre le confort thermique.

Pour cela nous allons prédéfinir un système qui assurera ce besoin, il s'agit d'un système de ventilation le plus simple qu'il soit, utiliser pour le chauffage ou le rafraîchissement on utilisant la géothermie (puits canadien), un système très économe en matière de consommation d'énergie.



**CHAPITRE V :**  
**DIMENSIONNEMENT ET**  
**ANALYSE DE**  
**FONCTIONNEMENT D'UN**  
**ECHANGEUR AIR/SOL**

## **V-1-Echangeur air-sol (le puits Canadian) :**

### **V-1-1-introduction:**

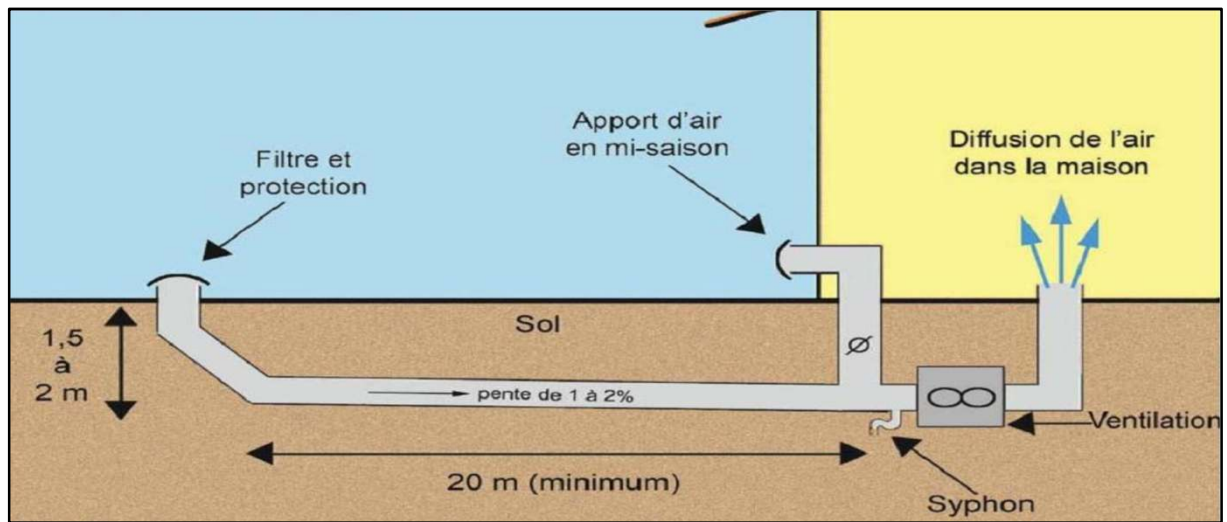
L'échangeur air-sol est un système géothermique consiste à rafraîchir l'air ventilé dans un bâtiment. Il suffit d'enterrer un ou plusieurs tuyaux sur un trajet suffisamment long et de faire circuler l'air. L'air extérieur transite dans ce réseau de gaines par convection forcée, se réchauffe en hiver ou se refroidit en été, avant d'être soufflé dans le bâtiment. Le principe de l'échangeur air-sol est de faire circuler l'air neuf dans un conduit enterré grâce à un ventilateur, avant de l'insuffler dans le bâtiment. En hiver, l'air se réchauffe au cours de son parcours souterrain, les besoins de chauffage liés au renouvellement d'air des locaux sont alors réduits et le maintien hors gel du bâtiment peut être assuré, le puits est alors dit puits canadien. En été, l'air extérieur profite de la fraîcheur du sol pour se refroidir et arriver dans le bâtiment durant la journée à une température inférieure à celle d'extérieure, le puits est alors dit puits provençal.[13]

### **V-1-2-Characteristique des différents composants de l'échangeur air/sol**

Le système se compose d'une entrée d'air, munie de filtres pour empêcher les rongeurs de pénétrer dans le puits, d'une canalisation enterrée sur 30-50m, lisse et pentue pour l'écoulement des eaux de condensation, enterrée à une profondeur moyenne de 1.50m, d'un siphon ou d'un regard pour leur récupération, et d'un ventilateur pour l'insufflation dans une ou plusieurs pièces.

Donc, les quatre principaux éléments sont :

- \*Entrée d'air neuf
- \* Conduit
- \* Système d'évacuation des condensats
- \* Ventilateur et système de régulation du puits



### V-1-3- Principaux paramètres de dimensionnement :

L'analyse de la littérature consultée a permis d'identifier les paramètres influant sur le comportement thermique de l'échangeur air-sol et de distinguer les plus prépondérants. Ces paramètres sont considérés pour le dimensionnement d'un échangeur air-sol.

#### V-1-3-1-Le débit d'air total :

Le débit total de l'air circulant dans l'échangeur doit assurer l'ensemble des besoins de renouvellement d'air des pièces à ventiler. Le régime de ventilation peut varier selon le mode de fonctionnement (réduit en préchauffage, plus élevé en rafraîchissement). La détermination du débit d'air total maximal constitue le premier paramètre de dimensionnement de l'échangeur. [13]

#### V-1-3-2- Le nombre et le diamètre des tubes :

Le nombre et le diamètre des tubes définissent la section totale de tubes par laquelle va circulé l'air. Ils influent à la fois sur la vitesse d'écoulement de l'air et sur la surface de contact entre l'air et le sol. Ces paramètres sont ajustés en fonction du débit nominal de ventilation. En pratique, pour les installations domestiques, le diamètre utilisé se situe entre 16 cm et 20 cm, mais il peut être bien supérieur sur des installations de grande taille. Le nombre de tubes est conditionné par l'espace disponible pour l'installation de l'échangeur

#### V-1-3-3-La vitesse de l'air dans les tubes :

La vitesse de l'air ne constitue pas un paramètre indépendant, puisqu'elle découle directement du choix des trois paramètres précédents. Néanmoins, elle impose le type d'écoulement (laminaire, turbulent) et influe donc non seulement sur la valeur du coefficient d'échange convectif entre l'air et les tubes, mais aussi sur les pertes de charges mécaniques qui doivent être compensées par le ventilateur. Afin de limiter les pertes de charge, cette vitesse est le plus souvent maintenue en deçà de  $3 \text{ à } 4 \text{ m.s}^{-1}$

#### **V-1-3-4-La longueur des tubes :**

La longueur des tubes détermine la surface d'échange et le temps de séjour de l'air dans les tubes. Il existe donc une longueur optimale de l'échangeur, liée à la longueur caractéristique de l'échange thermique  $L$ , qui peut être obtenue en confrontant le surcoût économique de l'échangeur (constant avec la longueur) à l'économie d'énergie apportée par l'allongement des tubes. Par conséquent, il est préférable d'employer plusieurs tubes de longueur raisonnable (20 m à 40 m) plutôt qu'un ou deux tubes beaucoup plus longs.[13]

#### **V-1-3-5-La distance entre tubes :**

Les fonctions de stockage et d'amortisseur thermique du sol sont assurées par le volume de sol situé tout autour de chaque canalisation. L'épaisseur de sol concernée est proportionnelle à la profondeur de pénétration du signal thermique, qui dépend de la période de variation des phénomènes mis en jeu. Ainsi, si la distance entre deux tubes est du même ordre de grandeur ou inférieure à la profondeur de pénétration, la température de la portion de sol située entre ces tubes est influencée simultanément par ces deux tubes, ce qui réduit localement la capacité de stockage du sol.

L'influence de la distance entre les tubes sur les performances de l'échangeur est peu abordée dans la littérature. Pourtant, il semble important d'assurer une distance minimale afin de limiter l'interaction entre deux tubes adjacents et d'optimiser ainsi l'exploitation de l'inertie du sol. Donc, une distance de 40 cm sera suffisante pour maintenir l'effet de stockage thermique pour des variations journalières. Par contre, un stockage thermique saisonnier nécessiterait un espacement de l'ordre de 3 m, qui n'est généralement pas envisageable en pratique.

#### **V-1-3-6-La profondeur d'enfouissement des tubes :**

Pour un échangeur air-sol, le sol joue le rôle d'isolant et de tampon thermique entre l'atmosphère et les canalisations enterrées. La profondeur d'enfouissement influe sur la qualité de cette isolation. Les variations de température de l'air extérieur sont d'autant plus amorties et déphasées par le sol que la profondeur est grande. Au-delà d'une dizaine de mètres sous la surface du sol, la température du sol ne dépend quasiment plus des conditions atmosphériques.

#### **V-1-3-7-La nature du sol et son taux d'humidité :**

La capacité calorifique et la conductivité du sol ont une influence importante sur l'efficacité du système. Elles dépendent de la composition du sol mais aussi de son taux d'humidité et des migrations d'eau en son sein. La capacité thermique du sol correspond à la moyenne des



capacités calorifiques de ses différents constituants : minéraux, matières organiques, air et eau. L'eau possède une capacité et une conductivité thermiques supérieures à celles des autres constituants du sol. Ainsi, un sol humide emmagasine mieux la chaleur qu'un sol sec et la transmet plus facilement à l'air dans les canalisations de l'échangeur. Cet effet est mis à profit pour augmenter temporairement la performance des échangeurs thermiques air-sol en humidifiant le sol par arrosage.

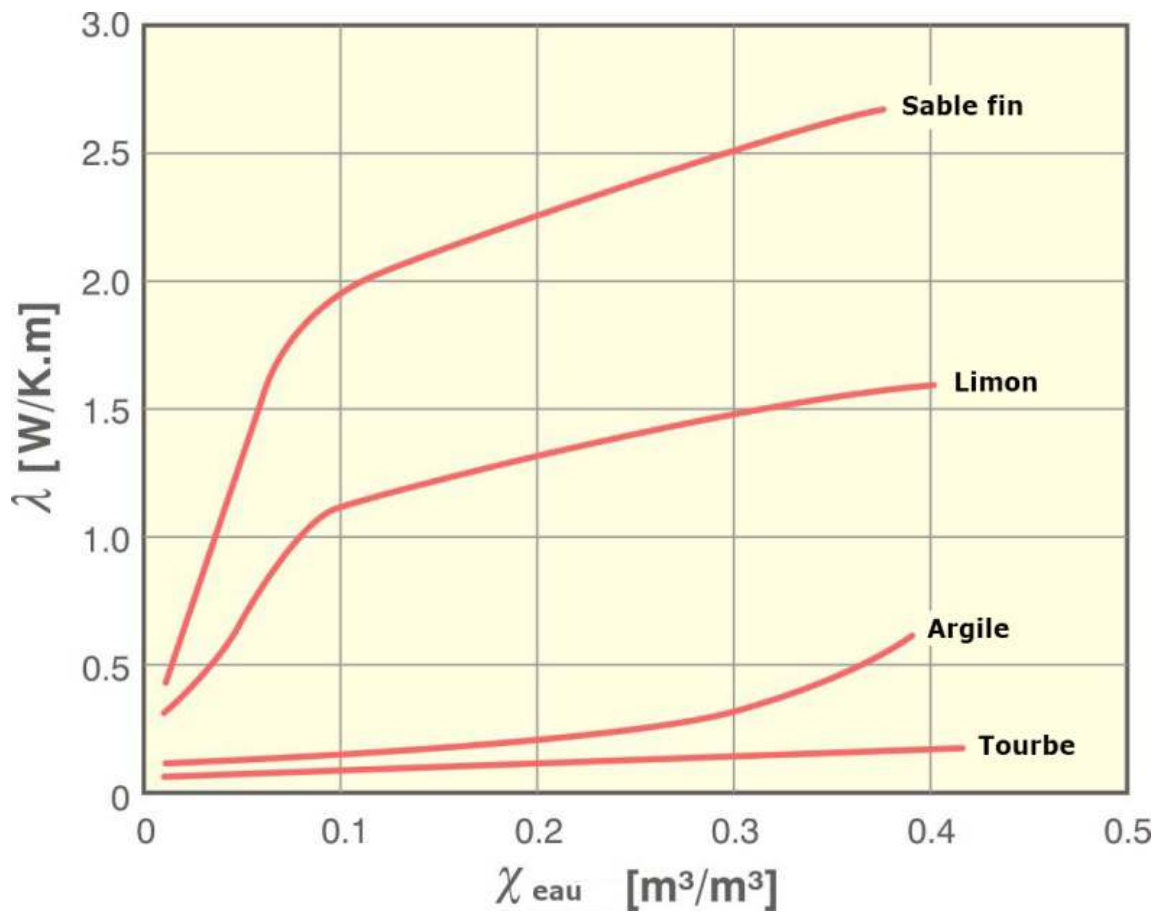


Figure 33: conductivité thermique des quelque types desol en fonction de la teneur en eau

#### V-1-4-Disposition des tubes :

Afin de minimiser les pertes de charge au sein du conduit et de faciliter son entretien, il est conseillé de limiter le nombre de coudes. Deux dispositions sont majoritairement utilisées lorsque le puits ne comporte qu'un seul tube

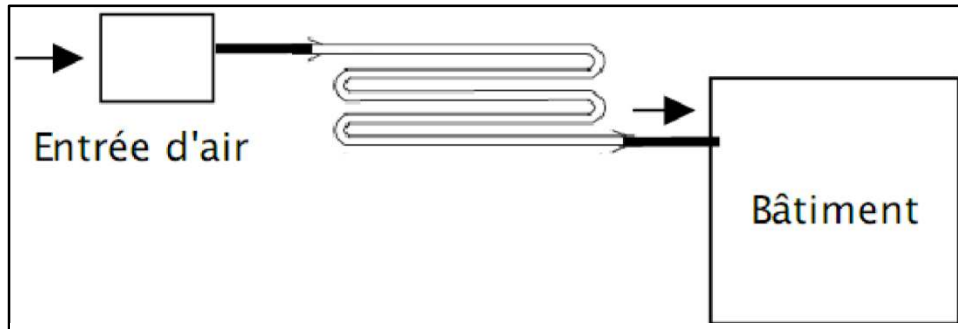


Figure 34:Disposition des tubes en méandres

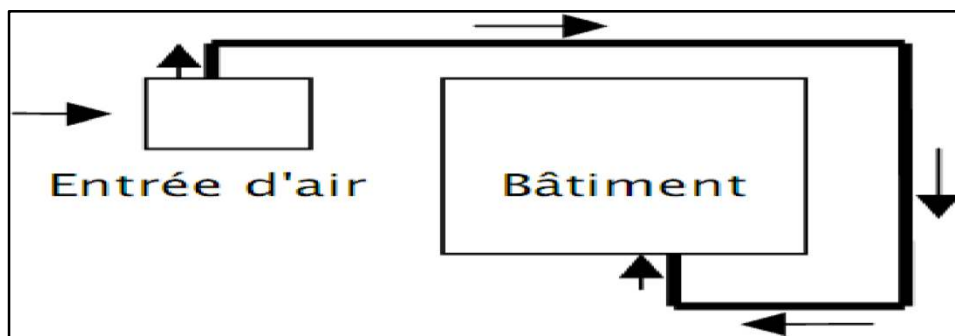


Figure 35:Disposition des tubes en boucle (circulaire)

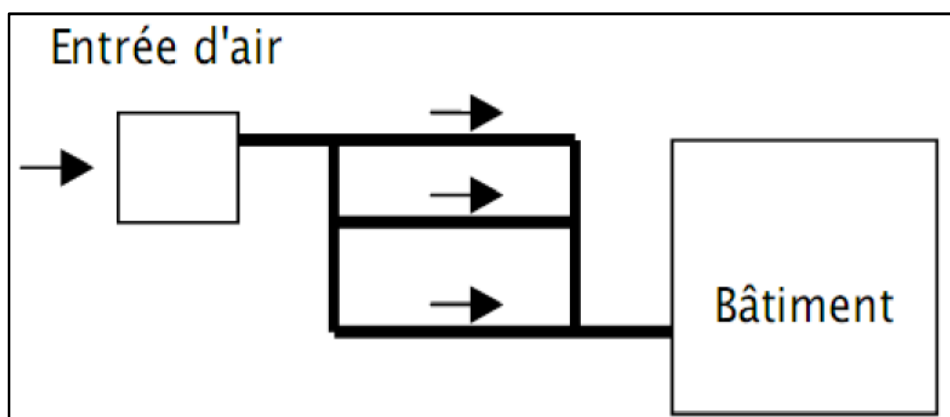


Figure 36:Disposition des tubes en boucle de tichelmann

Emplacement du puits canadien :

Trois manières d'installation de l'échangeur air-sol sont possibles :

1- Sous le bâtiment

2- Dans les fouilles du bâtiment

3- Dans le terrain

Techniquement, ces variantes sont équivalentes, la différence se situe au niveau des coûts de terrassement, la deuxième variante étant la plus intéressante financièrement, aucun terrassement supplémentaire n'étant à réaliser. Lors de la mise en place des tuyaux, il faut éviter au maximum les coudes et angles créant des pertes de charge. De plus un écart entre les tuyaux parallèles d'au moins 0,8m doit être conservé.[13]

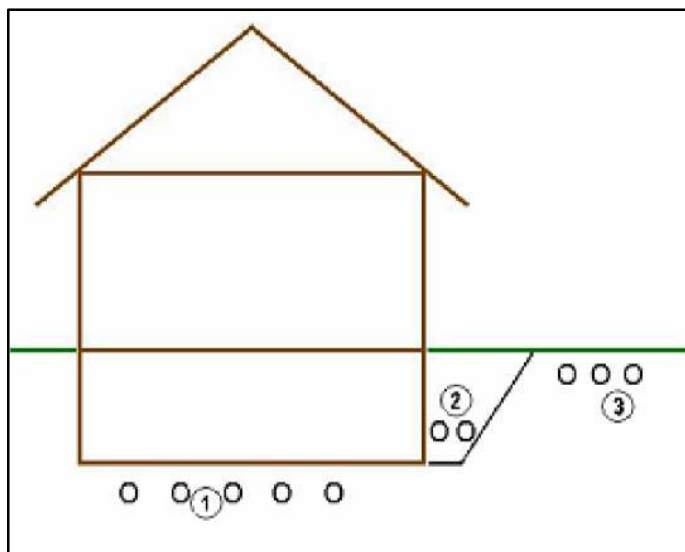


Figure 37:Emplacement des tubes

**Avantages d'échangeur air- sol :** Frais en été

\*Consomme peu d'énergie

\*Coût du matériel très faible

\*Apporte de l'air pur

\* Évite la climatisation

**Inconvénients d'échangeur air- sol :** \*Apporte de l'air  
\*Inutile à la mi- saison

\*Peut apporter des micro-organismes  
ou du radon dans la maison

\*Technique de pose relativement  
délicate

\* Coût de terrassement important

\* Entretien délicat

### **V-2-1-Dimensionnement du puits canadien :**

Le dimensionnement d'un puits canadien est assez délicat du fait du nombre de paramètres à optimiser : longueur, diamètre et nombre de tubes, profondeur d'enfouissement, distance entre les tubes, débit de ventilation. La notice de dimensionnement présentée ici a pour but de proposer des critères objectifs pour le choix de ces différentes caractéristiques.

Le calcul d'un puits canadien est fonction de plusieurs paramètres. Voici les principaux :

- La place disponible pour l'enfouissement du tuyau
- Le volume de la maison
- Le débit nécessaire en hiver et en été
- Le choix de la ventilation de la maison (VMC, aération naturelle, ...)
- L'architecture (bioclimatique, matériaux, isolation, serre, ...)
- La nature du sol (Sablonneux, argileux, nappe phréatique,...)
- La localisation géographique.

### **V-2-2-Les paramètres de dimensionnement d'un échangeur air/sol :**

#### **A) Débit d'air :**

Ce paramètre simultanément sur l'échange convectif entre l'air et la canalisation et sur la puissance thermique apportée au bâtiment, il est utile de définir le taux de renouvellement d'air (ACH), qui indique le nombre de fois en une heure ou la totalité du volume d'air d'un espace est renouvelé.

$$ACH = \frac{Q_v \cdot 3600}{\text{le volume total de la pièce}} \quad [\text{vol/h}]$$

$Q_v$ : quantité de chaleur

#### **B) Renouvellement d'air**

Une personne a besoin en moyenne de 30 m<sup>3</sup>/h d'air neuf, pour notre cas on a 5 personnes se qui fait un volume de 150 m<sup>3</sup> a changé chaque une heure

Le volume de la maison est de 581.002 m<sup>3</sup>, soit un renouvellement d'air du volume total dans 3h52min, ce qui donne un renouvellement d'air de 0.042 m<sup>3</sup>/s

### A) Le flux thermique dans le tube

$$\Phi = \frac{T_s - T_{air}}{R} [\text{W/m}^2]$$

$T_s$  : température du sol

$T_{air}$  : température de l'air<sub>1</sub>

$R$  : résistance thermique, elle est donné par

$$R = \frac{1}{2\pi} \times \left[ \frac{1}{r_1 h_1} + \frac{1}{r_2 h_2} + \frac{1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \right]$$

$r_1$  : rayon interne

$r_2$  : rayon externe

$h_1$  : convection entre tube/air

$h_2$  : convection entre tube/terre

$\lambda$  : conduction du tube

### B) Longueur théorique du tube

Ainsi le flux est connu, on pourra alors calculer la longueur de notre échangeur par les formules suivantes :

$$Q = \Phi \times S_L [\text{W}]$$

$Q$  : quantité de chaleur total, et c'est notre besoin en chauffage /climatisation exprimé en watt

$S_L$  : surface d'échange dans le tube, elle est égale a :

$$S_L = \pi \times d \times L [\text{m}^2]$$

$d$  : diamètre de tube en [m]

$L$  : longueur de tube en [m]

La relation final de la longueur est donnée par :

$$L = \frac{Q}{\pi \times d \times \varnothing} [M]$$

### V-2-3-Hypothèse et Calcul :

Intérêt du puits	Débit d'aire [m <sup>3</sup> /h]	Vitesse d'aire [m/s]	Horaire de ventilation	Situation des tubes
Refroidir et préchauffer	150	2	Permanant	Un tube à côté de la maison

Tableau 25: description du puits canadien

### Composition du sol

Nature du sol	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [w/m <sup>2</sup> k]	Cp [j/kg k]	Nappe d'eau
Terre argileuse	1500	1.5	2085	Pas de nappe

Tableau 26: caractéristique du sol

### Choix des tubes :

Un tuyau de préférence en fonte ou en PVC (le plus utilisé). Le fait de son épaisseur très mince et qu'il soit lisse à l'intérieur, favorise l'échange thermique. Les rugosités créent des turbulences et perturbent cet échange. [14]

Matériau	$\lambda$ [w/m <sup>2</sup> k]	Cp [j/kg k]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Rugosité K [mm]	Nombre tube	Vitesse d'aire [m/s]	Diamètre Du tube
PVC	0.23	1000	1350	0.007	1	2	125mm

Tableau 27: caractéristique du conduit

La géométrie de pose :

Les performances de cet échangeur seront variables selon la géométrie de la pose des tubes, c'est-à-dire selon le trajet parcouru, sa longueur, son nombre de coude et leur angle, sa proximité de la maison, la position du ventilateur. En effet cela va influencer directement les échanges thermiques mais également les pertes de charge.[14]

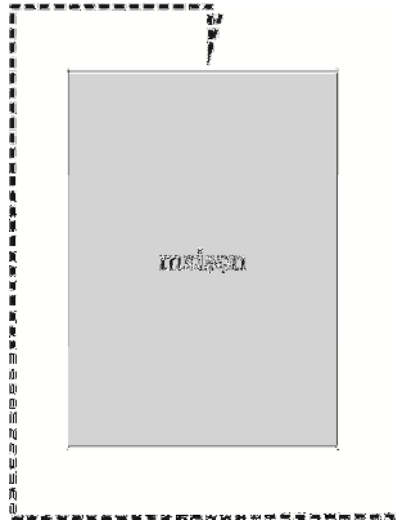


Figure 38: géométrie de pose du conduit

La configuration de la pose de la figure :38Prend en considération la possibilité quand la place manque autour de la maison.

#### V-2-4- Calcule de la longueur théorique du conduit

Le calcule est effectuer sur une feuille Exceltéléchargeable. Les données entrées sont proposé dans les tableaux25, 26,27 les résultats sont les suivants [15] :

<b>1) La Maison</b>			
RDC	110 m <sup>2</sup>	Hauteur	3,06 m
1er étage	79,87 m <sup>2</sup>	Hauteur	3,06 m
	Soit un volume de		<b>581,002 m<sup>3</sup></b>

## 2) Renouvellement de l'air

Renouveler un volume d'air toutes les	3,87 heure(s)	soit	0,042 m <sup>3</sup> /s		
Diamètre extérieur de la gaine	0,125 m	soit	0,105 m de diamètre intérieur		
Épaisseur de la gaine	0,010 m	Soit rayon EXT	0,063 m et rayon Int	0,053 m	
Section de la gaine	0,0087 m <sup>2</sup>				
Vitesse de l'air dans la gaine	2,000 m/s				

## 3) Paramètres pris en compte

Température d'entrée	32 °c				
Température de sortie	26 °c				
Température moyenne du sol	19 °c	soit	12 °c d'écart demandé ou maximum		
Conductivité du tuyau	0,23 W/M/K				
Capacité Calorifique Massif de l'air	1020 J/Kg/K				
Hydrométrie moyenne	70 %				

## Constantes

masse de la vapeur d'eau sous 1013mbar	1 Kg/m <sup>3</sup>
Masse volumique de l'air sous 1013 mbar (à50%	1,25 Kg/m <sup>3</sup>
conductivité thermique de l'air	0,0262 W/m/K
conductivité thermique de l'eau	0,556 W/m/K
Viscosité de l'air	0,000018 Kg/m.s
Conductivité de la terre à10% d'eau	1,5 W/m/K
Nombre de Reynolds (Re)	14583,33333
Nombre de Prandtl (Pr)	0,158938964



Calcule de la conductivité en fonction de l'hydromedrie			
Conductivité de l'air à	70% d'hydrometrie	0,11552	W/m/K
Conductivité air/tuyau		25,9871	W/m/K
Conductivité terre/tuyau		283,457	w/m/k
Résistivité total		0,24629	
Pouvoir d'échange du Flux dans le tuyau		52,784	w/m3
<b>Longueur théorique du tuyau</b>		<b>29,32 m</b>	

La longueur théorique du tuyau pour un volume de 581m<sup>3</sup> renouvelé chaque 3h52min, soit un débit de 150m<sup>3</sup>/h, diamètre de 125mm la longueur est égale à 29.32m, ce résultat va nous permettre de simuler par la suite l'échangeur sous un autre logiciel intitulé GAEA (Interprétation graphique des échangeurs géothermiques) pour voir la variation de la température et la puissance de ventilation.

#### V-2-5-Simulation de l'échangeur air/sol avec GAEA [16] :

On intègre tous les paramètres qu'on a sites dans les étapes précédentes qui sont résumé comme suit :

- la longueur du conduit : 39.32m
- le diamètre du conduit : 125mm
- le nombre des tubes : un seul tube
- Profondeur d'enfouissement : 2m
- Distance par rapport au bâtiment : 1m
- Masse volumique du sol : 1500kg/m<sup>3</sup>
- Capacité calorifique du sol : 2.09kj/kg k

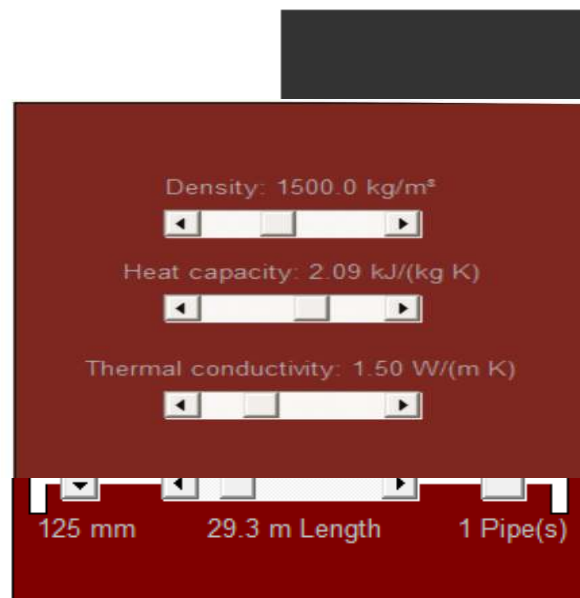


Figure 39: paramètre intégrer sous GAEA

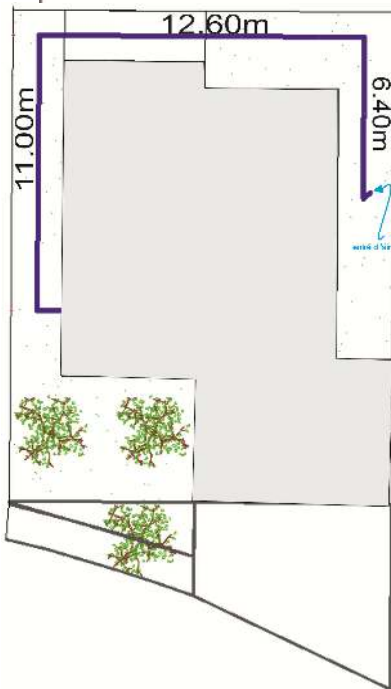
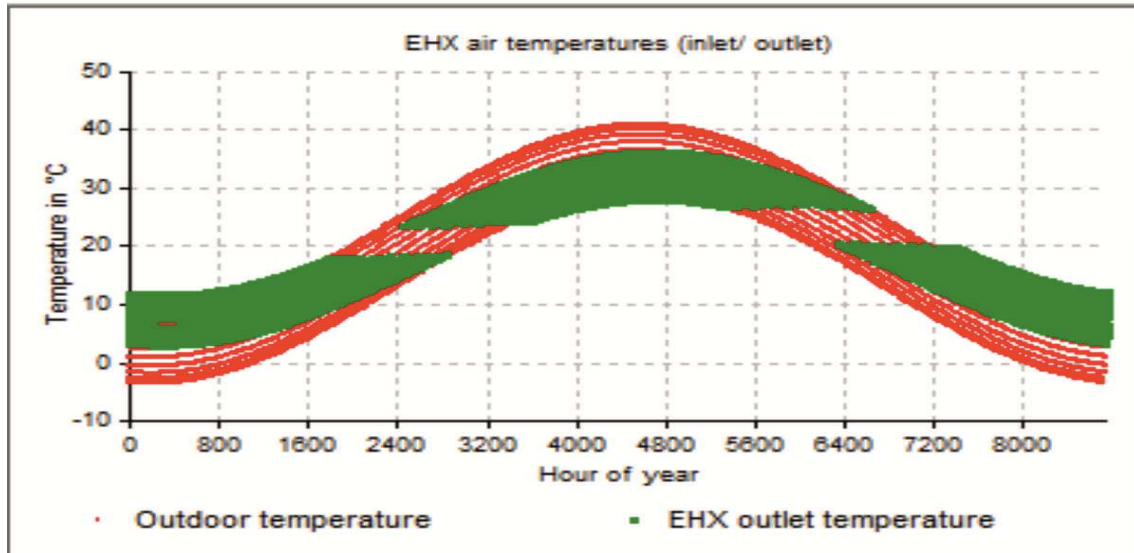
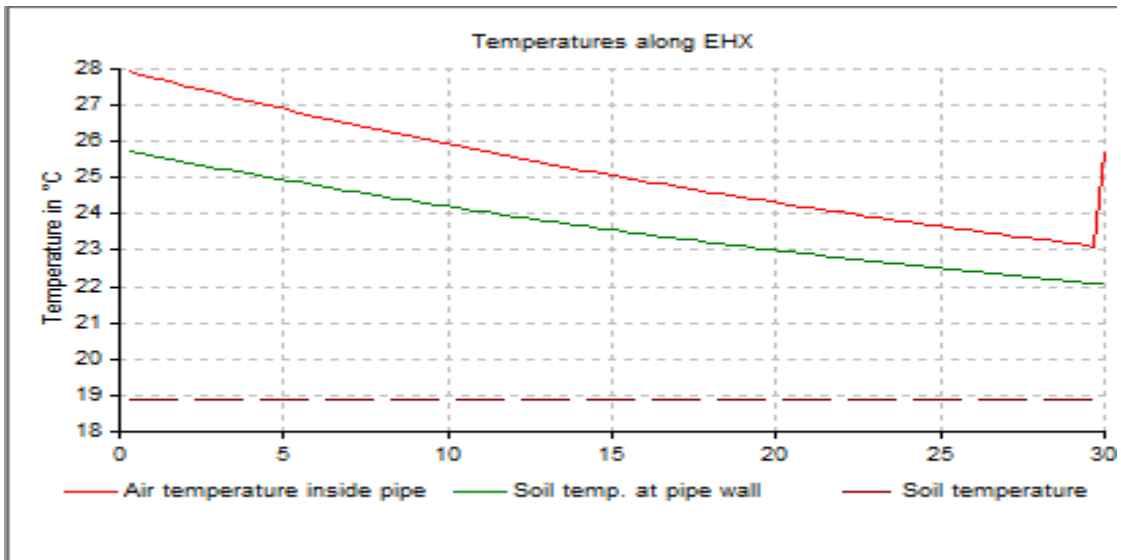


Figure 40: géométrie de pose

Figure 41: variation de température à la sortie du conduit

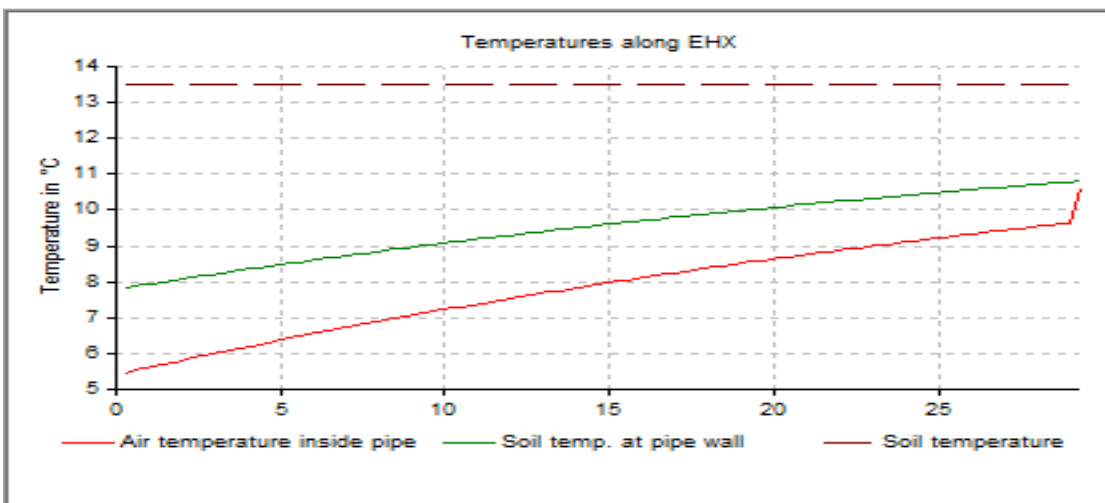
La figure ci-dessus représente un graphique issu de la simulation via le logiciel GAEA qui montre l'écart de température entre la température extérieure et la température de l'air à la sortie du conduit, on remarque que le puits peut nous apporter un gain de température considérable. Avec des coupures quand la température externe est comprise entre 19°C et 22°C



La figure ci-dessous illustre l'augmentation de la température de l'air dans le conduit de son entrée à la sortie, et la température à la surface extérieure du conduit, on remarque que les gains de chaleur dans une journée type en hiver peut nous assurer un préchauffage mais il n'atteint pas la température désiré

Figure 43: variation de la température à l'intérieur du conduit pour journée d'été

La figure ci-dessus illustre la diminution de la température de l'air dans le tube de son entrée à la sortie pour une journée en été on remarquera que pour le rafraîchissement le puits peut



satisfaire nos besoin avec une température de sortie de 23°C.

La simulation sous GAEA, nous a permis de voir les variations de la température, et de prédire le gain de chaleur/climatisation de 6830kwh/an

### **V-2-6-Conclusion**

Dans ce chapitre on a pu avoir approximation du dimensionnement du puits canadien, et une approximation du gain en énergie qui est de 6830kwh/an, on conclue par dire que le puits canadien ne satisfais pas nos besoin en chauffage / climatisation qui sont de 8404 kWh/an mais les réduits de manière considérable

## **Conclusion générale :**

L'énergie est primordiale pour le développement économique et social, mais sa production et sa consommation peuvent avoir une incidence considérable sur l'environnement. La géothermie est une ressource largement répandue, dans la valorisation présente le double intérêt d'exploiter une importante source d'énergie renouvelable et de contribuer aux efforts entrepris pour faire face aux changements climatiques et inconfort thermique.

L'objectif de ce travail de recherche, est de quantifier les besoins en chauffage et climatisation d'un habitat individuel de type r+1, intégrer une source d'énergie renouvelable qui est dans notre cas le puits canadien, ce dernier a pour but de minimiser la consommation énergétique de la maison, en revanche son dimensionnement reste toujours très délicat selon le cas d'étude pour cela on commence par évaluer les besoins en énergie de notre maison avec un logiciel de simulation PLEIADES+COMFIE, après ceci on propose des hypothèses concernant la nature du conduit, la nature du sol, la profondeur d'enfouissement. Une simulation sous le logiciel GAEA (Interprétation graphique des échangeurs géothermiques) pour avoir des résultats sur le fonctionnement de notre puits canadien.

L'étude menée nous a permis de simuler un modèle, le plus simple qui traduit l'évolution de la température de l'air en fonction des principaux paramètres.

## BIBLIOGRAPHIE

[1] : **Guide pédagogique, L'énergie**, Observatoire régional de l'environnement de Bourgogne, (2005).

[2] : **Confort thermique à l'intérieur d'un établissement**, Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, (2004).

[3] <http://www.geothermie-perspectives.fr/05-geothermie/index.html>. (05/06/2011).

[4] P. Hollmuller, **Utilisation des échangeurs air-sol pour le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments. Mesures in situ, modélisation analytique, simulation numérique et analyse systémique**, Thèse de doctorat, université de Genève, (2002).

[5] Stéphane THIERS, **Utilisation des échangeurs air-sol pour le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments**. La thèse de doctorat de Stéphane THIERS (2008)

[6] N. Moumimi, H. Benfatah, N. Hatraf, A. Moummiet S. Youcef Ali, **Le rafraîchissement par la géothermie : étude théorique et expérimentale dans le site de Biskra**, Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°3. 2010.

[7] T. SALOMON, R. MIKOLASEK, B. PEUPORTIER, S. THIERS, Y. JAUTARD et A. TROMBE, **Dimensionnement du puits climatique, Analyse, modélisation, validation d'un modèle de simulation dynamique pour les puits canadiens ou provençaux**, Rapport ADEME, Région Languedoc Roussillon, (2003).

[8] Stéphane Thiers, **Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive**, Thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure des mines de Paris, (2008).

[9] Daghboucheayoub Med el arbi, **Conception d'un éco quartier dans la ville de Tipaza**, Thèse d'ingénieur, département d'architecture de Blida, (2014)

[10] Météonorme version 5.1x fr

[11] PLEIADES+COMFIE version 2.3

[12] ALYCONE version 2.3

[13]Badreddine DOUNANE Boubakeur HATHAT,**Analyse et fonctionnement d'un échangeur air/sol**, thèse de master, université de Ouargla (2011)

[14]Younes kartachi,ÉVALUATION NUMÉRIQUE DES SYSTÈMES DE CHAUFFAGE ET DE RAFRAÎCHISSEMENT À L'AIDE DE L'OUTIL DE SIMULATION DYNAMIQUE SIMBAD, université la rochelle,(2006)

[15]<http://monpuit.est-ici.org/>

[16] Logiciel de simulation GAEA, (Interprétation graphique des échangeurs géothermiques)

[www.econet.ulg.ac.be/urba](http://www.econet.ulg.ac.be/urba)

<http://www.bruxellesenvironnement.be/>

<http://www.energieplus-lesite.be>

<http://www.architecte-delhaye.be/>

## TABLE DES MATIERS

### CHAPITRE I

I-1- INTRODUCTION.....	11
I-2-Problématique : .....	12
I-3-Etat de l'art .....	13
I-3-1-Introduction : .....	13
I-3-2-Le confort thermique : .....	13
I-3-3-la performance énergétique : .....	14
I-3-4-Les enveloppes des bâtiments : .....	14
I-3-5- l'isolation thermique : .....	14
I-3-6-Les ponts thermiques : .....	15
I-3-7-Principe du rafraîchissement par la géothermie (échangeur enterré) : .....	15
I-3-7-1-Travaux expérimentaux réalisés : .....	16
I-3-7-1-1-Modèle de Hollmuller .....	16
I-3-7-1-3-Essais et travail expérimental réalisés au site de l'Université de Biskra.....	17
I-3-7-1-4-Essais et instrumentations réalisés par l'INSA de Toulouse France.....	20
I-3-7-1-5-Modélisation thermique d'un échangeur air-sol pour le rafraîchissement d'un bâtiment.....	22
I-4-Conclusion : .....	24

### CHPITRE II

II-1-Introduction.....	26
II-2-Situation géographique .....	26
II-3-Caractéristique climatique du site : .....	27
II-3-1Diagramme climatique : .....	27
II-3-2-Courbe des températures.....	28
II-4-Présentation du projet d'étude .....	28
II-4-Paramètre dimensionnelle du bâtiment étudié : .....	32
II-5-Composition des murs et plancher : .....	33
II-6-Les fenêtres en double vitrage : .....	36
II-7-Conclusion .....	36

### CHAPITRE III

III-1-Introduction : .....	38
III-2-L'INTERFACE PLEIADES : .....	39
III-3- L'INTERFACE ALYCONE .....	39



III-4-Description Des Systèmes Constructifs Et Condition aux limites sous PLEIADES+COMFIE.....	42
III-5-Les zones thermiques et les scenarios utilisés dans les logements.....	44
III-5-1-Environnement et fonctionnement de la maison .....	44
III-5-2- Scénario de consigne thermostat .....	44
III-5-3-Scenario d'occupation .....	45
III-5-4-Scenario de puissance dissipée : .....	47
III-5-5-Scénario de ventilation .....	49
III-6-Conclusion .....	50
CHAPITRE IV	
IV-1-Introduction .....	52
IV-2-Etape de l'acquisition des résultats .....	52
IV-2-1-Simulations sans consigne.....	53
IV-2-2-Simulation avec consigne de thermostat : .....	55
IV-2-2-1-La puissance de chauffage : .....	57
IV-2-2-2-La puissance de climatisation : .....	59
IV-3-Conclusion.....	60
CHAPITRE V	
V-1-Echangeur air-sol (le puits Canadian) : .....	62
V-1-1- introduction:.....	62
V-1-2-Caractéristique des différents composants de l'échangeur air/sol.....	62
V-1-3- Principaux paramètres de dimensionnement : .....	63
V-1-3-1-Le débit d'air total : .....	63
V-1-3-2- Le nombre et le diamètre des tubes : .....	63
V-1-3-3-La vitesse de l'air dans les tubes : .....	63
V-1-3-4-La longueur des tubes : .....	64
V-1-3-5-La distance entre tubes : .....	64
V-1-3-6-La profondeur d'enfouissement des tubes : .....	64
V-1-3-7-La nature du sol et son taux d'humidité : .....	64
V-1-4-Disposition des tubes : .....	66
V-2-1-Dimensionnement du puits canadien : .....	68
V-2-2-Les paramètres de dimensionnement d'un échangeur air/sol : .....	68
A) Débit d'air : .....	68
B) Renouvellement d'air .....	68
V-2-3-Hypothèse et Calcule : .....	70

V-2-4-Calcul de la longueur théorique du conduit .....	71
V-2-5-Simulation de l'échangeur air/sol avec GAIA.....	73
V-2-6-Conclusion .....	76
Conclusion générale : .....	77