

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البلدية

Université Saad Dahleb de Blida



Faculté des sciences de l'ingénieur

Département de génie mécanique

MEMOIRE DE MASTER

Option : Application Des Energies Renouvelables Dans L'habitat

A.E.R.H

**Rafrachissement passif par ventilation
naturelle**

Présenté par :

ISMAIL CHERIF

Promotrice :

Dr. RAZIKA KHARCHI

2014-2015

REMERCIEMENT

En premier lieu, je remercierai Dieu « الله » pour sa clémence et qui m'a donné le courage, la volonté et la santé pour réaliser ce modeste travail.

C'est un plaisir autant qu'un devoir d'exprimer mes gratitudees à tous les personnes ayant contribué, chacun à sa manière, pour le bon déroulement de ma formation.

*Mes vifs remerciements à ma promotrice **Dr. R. KHARCHI** d'avoir accepté de m'encadrer pour la réalisation de ce projet et de proposer ce sujet d'une valeur scientifique.*

DEDICACE

Tous en remerciant Dieu de m'avoir donné la santé et le courage de finir ce travail, je dédie le fruit de ce dernier à :

Mes très chères parents que dieu me les garde :

*A la lumière de mon chemin **Ma chère mère** pour sa gentillesse son affection, sa douceur et surtout ces encouragements.*

*Mon cher **Père** pour son encouragement sa patience, son aide continuel sur le long chemin de mes études.*

Mes chers frères et sœurs

Mes amies

A tous ceux qui mon aidés à réaliser ce modeste travail.

INTRODUCTION:

L'évolution des réglementations thermiques montre clairement une volonté de réduire les besoins en chauffage des bâtiments. Il en est de même pour les bâtiments passifs dont le concept est d'utiliser au maximum les apports solaires et les apports internes pour chauffer le bâtiment. Afin de se mettre en accord avec ces préceptes, les concepteurs s'orientent donc notamment vers un choix d'isolation performante et d'ouvertures au Sud.

Ces choix ont cependant pour conséquence un confort d'été souvent de faible qualité. En effet, le bâtiment fonctionne comme une bouteille thermos, ce qui convient tout à fait en hiver mais qui est incompatible avec les périodes chaudes de l'été : la chaleur peut difficilement être évacuée. Afin d'assurer des températures tolérables en été, ces bâtiments peuvent avoir recours à des systèmes de climatisation qui viennent augmenter leurs besoins en énergie et dégrader le bilan global malgré les bonnes performances en hiver.

On peut donc se demander comment concevoir des bâtiments avec de faibles besoins en chauffage qui permettent d'assurer un bon confort d'été sans nécessiter le recours à des systèmes de type climatisation, coûteux en énergie et néfastes pour l'environnement.

Cette prise en compte du confort d'été, pour qu'il soit obtenu sans surcoût d'énergie, doit se faire très en amont dans la conception et en accord avec les principes d'hiver. Comment instaurer des stratégies de rafraîchissement passif sans dégrader les principes de chauffage passif qui peuvent sembler incompatibles ?

De même que les stratégies de chauffage passif, celles de rafraîchissement sont à adapter en fonction du climat, de l'orientation, du type de bâtiment. Quelles adéquations peut-on mettre en avant entre les paramètres climatiques et formels, et les systèmes de rafraîchissement passif ?

Dans ce cadre, intervient notre travail « **Rafrachissement passif par ventilation naturelle** » qui a été achevé à l'aide d'un bouquet de logiciels de modélisation et de simulation :

- **METEONORM**: Données climatiques (vent, températures, rayonnement...)
- **METEOCALC** : Ordonné les données climatiques pour être reconnue par Pleiades.
- **ALCYONE** : Dessin et architecture de l'habitat.
- **PLEIADES** : Application servant d'interface avec Comfie.
- **COMFIE** : Noyau de calcul de Pleiades.

INTRODUCTION

Ce travail s'est décomposé en quatre chapitres:

Le premier chapitre a permis à travers un large état de l'art, de définir et présenter le rafraichissement passif et les différents techniques de rafraichissement, une étude bibliographique concernant ce domaine ainsi que les recherche réalisés jusqu'à maintenant.

Le second chapitre a porté sur l'étude de site et ces caractéristiques climatiques. Une description du plan utilisé, des matériaux composant les parois (mur intérieur, mur extérieur, planchers bas et haut) et le vitrage sont données.

Le troisième chapitre a porté sur l'application de l'outil informatique utilisé pour la simulation de bâtiments et la réalisation du bilan. Toutes les étapes de calcul et d'introduction des données sont développées.

Le quatrième chapitre est consacré aux résultats après simulation, et a l'analyses de ces derniers, une discussions sur les facteurs de confort thermique du bâtiment est considérée.

A la fin, on terminera notre étude par une conclusion générale où on englobera ce qu'on doit retenir de ce travail.

Résumé

La ventilation naturelle a été et restera toujours un enjeu majeur dans le bâtiment, du fait de sa fonction primordiale qui est d'assurer le renouvellement d'air et le rafraîchissement des espaces intérieurs. À cet égard, l'homme a eu recours, à travers l'histoire, à une multitude de dispositifs passifs pour ventiler son habitation.

Face à la problématique de surconsommation et de gaspillage d'énergie, en l'occurrence dans le bâtiment, et à la demande croissante de logements neufs en Algérie, la recherche de nouvelles solutions passives et durables capables d'améliorer et de contrôler la ventilation naturelle dans l'habitat collectif, dans le but d'assurer le confort thermique des habitants est une priorité pour ne pas dire une nécessité. C'est dans cette optique que nous avons inscrit notre travail de recherche dont la finalité principale est d'apporter une modeste contribution à la recherche autour de cette problématique si riche qui est celle de la ventilation naturelle. .

Afin de vérifier notre hypothèse, des simulations thermiques dynamiques STD ont été faites selon différents scénarios. Ceux-ci sont basés, sur la typologie des deux maisons qui ont servi de modèle (classique, performante), la configuration spatiale de la maison performante ainsi que sa relation avec les logements et les différents contextes climatiques en Algérie (les données climatiques utilisées sont celles d'Alger (Soudania). L'objectif principal de ces simulations est d'évaluer, dans différentes situations, le comportement de taux de renouvellement d'air pour mettre en exergue son apport dans la ventilation naturelle et son impact sur le confort thermique des habitants à l'intérieur des logements dans l'habitat en Algérie.

Mots clés : ventilation naturelle, renouvellement d'air, confort thermique.

Abstract

Natural ventilation has been and will remain a major challenge in the building, due to its primary function which is to ensure the renewal of air and cooling of interior spaces. In this respect, the man has used, throughout history, a multitude of passive devices to ventilate the dwelling.

Faced with the problem of over-consumption and waste of energy, namely in the building, and the increasing demand for new housing in Algeria, looking for new passive and sustainable solutions that enhance and control the natural ventilation in collective housing, in order to ensure the thermal comfort of the residents is a priority if not a necessity. It is in this light that we recorded our research whose main purpose is to make a modest contribution to research around this issue that is so rich that of natural ventilation. .

To test our hypothesis, STD dynamic thermal simulations were made under different scenarios. These are based on the typology of two houses that served as models (classic, performance), the spatial configuration of the Advanced House and its relationship with the housing and different climatic contexts in Algeria (climate data used are those of Algiers (Soudania). The main objective of these simulations is to evaluate, in different situations, the air exchange rate behavior to highlight its contribution to natural ventilation and its impact on thermal comfort residents inside the housing in the habitat in Algeria.

Keywords: *natural ventilation, air renewal, thermal comfort.*

Table des matières

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

CHAPITRE I : INTRODUCTION ET ETAT D'ART

I.1.Le rafraîchissement passif	3
I.2. L'avènement de la climatisation.....	4
I.3. Les principes de rafraichissements	5
I.3.1. Les principes physiques.....	5
I.4. Les actions de rafraîchissement	6
I.4.1. Minimiser les apports de chaleur.....	7
I.4.2. Evacuer le chaud.....	7
I.4.3. Apporter du frais.....	8
I.4.4. Ventilation naturelle	8
I.5. Les systèmes de rafraichissement passif.....	9
I.5.1. Minimiser les apports de chaleur.....	9
I.5.2. Apporter de la masse thermique	12
I.5.3. Ventiler	13
I.5.4. Humidifier	15
I.5.5. Végétation	16
I.6. Ventilation nocturne	20
I.6.1. La gestion des flux	21
I.6.2. Les objectifs de la gestion	21
I.6.3. Entrée d'air	24
I.6.4. Extraction De l'air	24
I.6.5. Les moteurs de la ventilation naturelle	25
I.7. L'état de l'Art	27

CHAPITRE II : DESCRIPTION DE L'HABITAT ETUDIEE

II.1. La situation géographique de la ville de Soudania	32
II.2. Présentation du modèle étudié	33

II.3.Détails des parois de l'enveloppe de l'habitat étudié et calcul des résistances thermiques	35
II.4. Données climatiques	37

CHAPITRE III : MODELISATION ET SIMULATION

INTRODUCTION	43
III.1. Présentation des modélisations réalisées	44
III.1.1. Logiciels testés	44
III.1.2. Présentation générale de l'outil de simulation «PLEIADES + COMFIE »	44
III.2. Bâtiment modélisé et son comportement de référence	47
III.3. Température de consigne	49
III.3.1. Consigne de chauffage	49
III.3.2. Consigne de rafraichissement	50
III.3.3. Scénario de ventilation	
III.3.3.1 Les taux de renouvellement d'air	51
III.3.4. Les scénarios d'occupation	61
III.3.4.1. Zone de confort (Séjour + les chambres)	61
III.3.4.2. Zone Buanderie + Garage + sdb+WC	62
III.3.4.3. Scénario de la puissance dissipée	62

CHAPITRE IV : INTERPRETATION DES RESULTATS ET DISCUSSION

INTRODUCTION	64
IV.1. Simulation de l'habitat classique	64
IV.2. Simulation de l'habitat performante	70
IV.3. Synthèse énergétique des résultats de simulation	74

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau II.1: caractéristiques du mur extérieur.....	35
Tableau II.2: caractéristiques du mur intérieur.....	36
Tableau II.3: caractéristiques du plancher Bas.....	36
Tableau II.4: caractéristiques de la toiture rampante.....	37
Tableau II.5 : données climatiques.....	39

Chapitre III

Tableau III.1 : scénario de consigne de thermostat de chauffage	50
Tableau III.2 : scénario de consigne de thermostat de rafraîchissement.....	51
Tableau III.3 : scénario de ventilation d'été.....	55
Tableau III.4 : scénarios d'occupation	56
Tableau III.5 : scénario Zone Buanderie + Garage + sdb+wc	56
Tableau III.6 : scénario de la puissance dissipée zone de confort.....	57
Tableau III.7 : scénario de la puissance dissipée Zone II (buanderie + garage + sdb + wc)...	57

Chapitre VI

Tableau IV.1 : Composition du mur extérieur.....	61
Tableau IV.2 : Composition du mur intérieur.....	61
Tableau IV.3 : Composition du plancher bas.....	62
Tableau IV.4 : Caractéristique de la fenêtre en simple vitrage.....	62
Tableau IV.5 : Récapitulatif des résultats (sans consignes : été).....	63
Tableau IV.6 : Récapitulatif des résultats (avec consignes : été).....	64
Tableau IV.7 : Besoins de chauffage et de climatisation.....	66

Tableau IV.8 : Résistances thermique de l'enveloppe et type de vitrage	67
Tableau IV.9 : Caractéristiques de la fenêtre double vitrage utilisée.....	67
Tableau IV.10 : Récapitulatif des résultats (sans consignes : été).....	68
Tableau IV.11 : Récapitulatif des résultats (avec consignes : été).....	69
Tableau IV.12 : Tableau récapitulatif, comparatif des puissances et besoins Energétiques des trois habitations.....	71

Liste des figures :

Chapitre I :

Figure I.1 Cheminée solaire.....	4
Figure I.2 Course du soleil selon la saison.....	9
Figure I.3 Echanges radiatifs au niveau d'un vitrage.....	11
Figure I.4 Principes de conception pour permettre une ventilation naturelle du bâtiment.....	13
Figure I.5 Puits canadien – puits provençal	14
Figure I.6 Diagramme de l'air humide.....	15
Figure I.7.Toiture végétalisée.....	17
Figure I.8. Façade végétalisée.....	19
Figure I.9 : gestion des flux.....	21
Figure I.10 : le mode piston d'une ventilation naturelle.....	22
Figure I.11 : le mode mélange d'une ventilation naturelle.....	23
Figure I.12: les courts-circuits d'une ventilation naturelle.....	23
Figure I.13. Influence du positionnement des ouvertures.....	24
Figure I.14: Pression des vents sur un bâtiment.....	25
Figure I.15 : le gradient thermique entre l'intérieur et l'extérieur.....	26

Chapitre II

Figure II.1 : la situation géographique de Souidania.....	32
Figure II.2 : vue d'extérieure en 3D de la maison étudiée.....	33
Figure II.3 : Plan de masse de la maison étudiée	34
Figure II.4 : une coupe A-A de la maison étudiée.....	34
Figure II.5 : carte des stations météorologiques.....	38
Figure II.6 : valeurs mensuels de la durée d'insolations.....	40
Figure II.7 : valeurs mensuels de précipitations.....	40

Figure II.8 : valeurs mensuels de rayonnement.....	40
Figure II.9 : valeurs annuels de rayonnement.....	41
Figure II.10 : valeurs annuels de température.....	42

Chapitre III

Figure III.1 : interface de pléiade.....	47
Figure III.2 : Le plan en 3D sur ALCYONE	47
Figure III.3 : Le plan en 2 D sur ALCYONE	48
Figure III.4: Les fenêtres	48
Figure III.5 : La porte de fenêtre	49
Figure III.6 : Les portes	49
Figure III.7: ventilation naturelle.....	52
Figure III.8 : Diagramme psychrométrique.....	52
Figure III.9 : Diagramme de l'air	53

Chapitre VI

Figure. IV-1 : Etapes de simulations : Simulations.....	60
Figure IV.2 Tableau IV.6 : Récapitulatif des résultats (avec consignes : été).....	64
Figure IV.3 : Besoins en climatisation (avec consignes ; Eté).....	65
Figure IV.4: évolution des températures (avec consignes ; été)	65
Figure IV.5 : Proportions des déperditions énergétiques	66
Figure IV.6 : évolution des températures (sans consignes : été).....	68
Figure IV.7 : Besoins en climatisation (avec consignes ; Eté).....	70
Figure IV.8 : comparaison des besoins en climatisation entre les deux habitats	72
Figure IV.9 : besoins et puissances des zones de confort pour les deux habitats.....	73

I- GENERALITES

I.1. Le rafraîchissement passif :

Nombreux systèmes de rafraîchissement passif existent, certains très anciens, issus de l'habitat vernaculaire, d'autres issus de recherches récentes. Quels systèmes sont les plus efficaces et les plus favorables en termes de confort d'été en rapport aux coûts des systèmes ? Comment choisir une stratégie de rafraîchissement passif ? Quels couplages privilégier ?

Par ailleurs, l'émergence d'une dynamique visant à réduire les consommations dans le secteur du bâtiment s'est traduite par l'apparition d'une nouvelle génération de bâtiments. Ce désir de rationalisation énergétique et d'optimisation se traduit de la part des professionnels par la nécessité d'utiliser des outils d'estimation des performances à tous les stades de la conception. Si de nombreux outils de simulation numérique sont aujourd'hui disponibles sur le marché, peu ont spécifiquement été conçus pour cette nouvelle génération de bâtiments [1]. Une rupture technologique est en effet nécessaire et elle doit s'accompagner d'une rupture au niveau de la façon de simuler les bâtiments.

Les outils de simulation existants ont été développés pour des bâtiments classiques qui consomment beaucoup plus d'énergie que les objectifs fixés, c'est pourquoi il faut revoir les méthodes de simulation employées, les modèles utilisés mais aussi se poser des questions sur l'outil le mieux adapté pour répondre aux besoins en terme de simulation [2].

Les logiciels de simulation thermique dynamique couramment utilisés par les bureaux d'étude prennent-ils tous en compte le confort d'été et permettent-ils de modéliser les différents systèmes de rafraîchissement passif ? Sinon, est-il possible d'approcher une modélisation des systèmes ?

Ce **PFE** a donc pour base l'ensemble de ces questions au cœur du débat actuel qui permettront d'orienter la démarche. La problématique que je me suis posée est alors la suivante : Comment évaluer l'impact d'une solution de rafraîchissement passif sur le comportement thermique d'un bâtiment grâce aux outils de modélisation thermique dynamique avec pour but d'améliorer le confort d'été sans avoir recours à la climatisation ?

I.2. L'avènement de la climatisation :

Que ce soit dans la civilisation grecque ou romaine, les bâtiments fonctionnaient en adéquation et en harmonie avec la nature. L'absence d'électricité et de systèmes modernes nécessitait une adaptation au climat et la mise en place de stratégies pour vivre malgré les aléas du climat [3].

De même, dans les pays chauds mais sans facilité électrique, où des températures bien plus élevées que sous nos latitudes sont observées, la chaleur dans les bâtiments est plus ou moins maîtrisée sans nécessité d'un système indépendant. L'habitat vernaculaire est généralement un bon exemple d'adaptation de la construction de bâtiments au climat. Un confort relatif est obtenu, un peu moins stable que celui procuré par des systèmes de climatisation mais plus en accord avec les conditions extérieures.

L'utilisation de la ventilation naturelle existe depuis les temps les plus reculés, notamment dans les pays chauds du moyen orient et d'Afrique du Nord. **Les moucharabiehs de l'Afrique du Nord, les Yazd Iranien.**

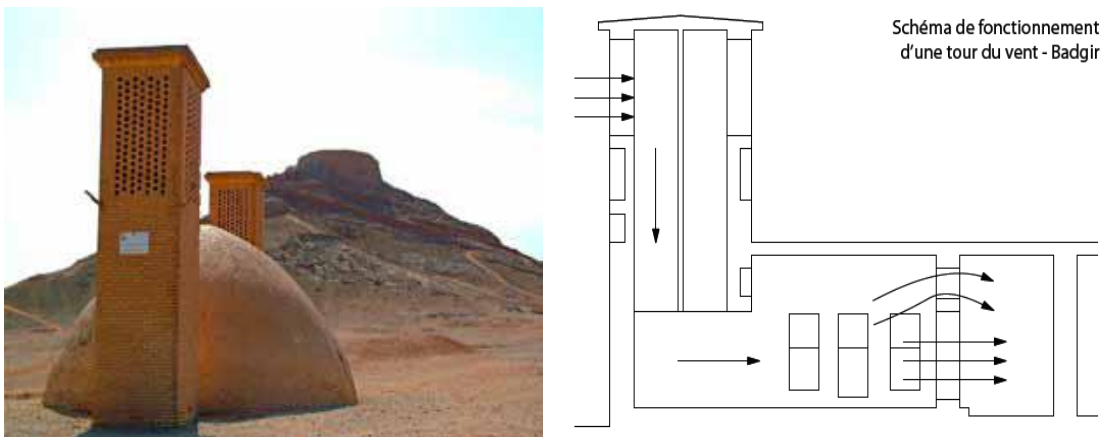


Figure I.1. Cheminée solaire

La photo ci-dessus représente un Bagdir, un « attrape-vent » en farsi. Ces tours de ventilation issues de l'habitat vernaculaire sont présentes dans de nombreuses régions sèches et arides d'Orient. Ces tours peuvent avoir deux fonctions complémentaires, c'est pourquoi elles sont au nombre de deux dans un même bâtiment [4]. Elles permettent d'une part de capter l'air plus rapide en hauteur et moins chargé de sable qui est amené au sous-sol pour y être rafraîchi puis insufflé dans le bâtiment. D'autre part, par effet de tirage thermique, l'air chaud peut être évacué. Ce système est un exemple montrant les capacités d'adaptation de l'homme à son climat avec des principes simples et sans utilisation d'électricité, c'est-à-dire passif.

Les climatiseurs permettent également d'apporter des conditions de confort, mais ils créent des conditions thermiques dans les bâtiments standardisées et uniformisées ; ce sont des systèmes mécaniques dont le fonctionnement est prévu indépendamment de la conception globale du projet.

I.3. Les principes de rafraîchissements :

Avant de présenter les systèmes permettant de rafraîchir un bâtiment de manière passive, il est nécessaire de rappeler les principes physiques et actions qui le permettent.

I.3.1. Les principes physiques :

Il est tout d'abord nécessaire de revenir aux principes physiques qui régissent les transferts de chaleur. Il est en effet important de bien les connaître afin de savoir comment les éviter pour privilégier un rafraîchissement du bâtiment.

Un transfert thermique, appelé plus communément chaleur, est en réalité un transfert d'énergie microscopique désordonnée. Cela correspond à un transfert d'agitation thermique entre particules, au gré des chocs aléatoires qui se produisent à l'échelle microscopique.

L'exemple le plus courant de situation mettant en jeu un transfert thermique est le système constitué de deux corps en contact et ayant des températures différentes. Le corps le plus chaud cède de l'énergie sous forme de chaleur au corps le plus froid afin de parvenir à un équilibre. Il y a transfert thermique entre les deux corps.

Dans cette recherche d'équilibre thermique, le corps chaud cède de l'énergie au corps froid ; il y a donc échange de chaleur et non de fraîcheur. Le rafraîchissement passif est donc basé sur une limitation des échanges thermiques entre l'air chaud extérieur qui vise à réchauffer l'air intérieur plus frais pendant la journée [5].

Il peut également se produire des transferts thermiques vers un système dont la température reste constante, par exemple dans le cas d'un changement d'état physique. Un besoin d'énergie pour réaliser un changement d'état peut alors rafraîchir l'air ambiant. Différents types de transferts thermiques se distinguent.

Le transfert par conduction a lieu dans toute matière présentant une répartition de température non uniforme (gradient de température) ou au contact direct d'un corps plus chaud ou plus froid. Le flux de chaleur se transmet de proche en proche, par contact des molécules.

Le transfert par convection a lieu lorsqu'un fluide en mouvement côtoie un corps inerte à une température différente. Les échanges sont d'autant plus importants que l'écart de température entre les deux est grand. Le transfert d'énergie s'accompagne de mouvement de molécules dans un fluide (liquide ou gaz). Deux types de transfert par convection sont à distinguer :

- Convection naturelle (ou libre) : l'échange de chaleur est responsable du mouvement. Le transfert thermique provoque le mouvement.

- Convection forcée : un dispositif mécanique entraîne les molécules vers le dispositif chauffant. Le mouvement favorise le transfert thermique.

Le transfert par rayonnement a lieu par propagation d'un rayonnement infrarouge dans le vide ou dans tout matériau transparent à ce rayonnement. L'intensité du transfert dépend de la température du corps et de l'émissivité du matériau.

Le transfert par changement d'état a lieu notamment lors du passage d'un matériau d'un état à un autre. Ce changement d'état nécessite un apport d'énergie appelée chaleur latente qui est prise sous forme de chaleur sensible à l'air, qui voit donc sa température diminuer.

Le transfert d'énergie par chaleur se réalise généralement par une combinaison de plusieurs modes. C'est le cas du verre d'une vitre chauffée par le rayonnement solaire, le transfert étant combiné avec une convection naturelle de l'air, derrière la vitre d'une pièce [6].

I.4. Les actions de rafraîchissement :

Nous avons donc présenté les différents principes physiques permettant un transfert de chaleur. Lorsque des corps sont à des températures différentes, l'équilibre se fait toujours en faveur du corps le plus froid. C'est en effet le corps chaud qui transmet de l'énergie au corps froid pour atteindre un équilibre. Il n'existe donc pas réellement de principes physiques de rafraîchissement. Il s'agit en réalité d'éviter les transferts de chaleur puisque les transferts de fraîcheur n'existent pas au sens physique du terme. Nous allons donc mettre en avant trois actions de base qui permettent d'éviter ces transferts de chaleur et les analyser d'un point de vue physique.

I.4.1. Minimiser les apports de chaleur :

Tout d'abord, il est nécessaire de limiter les apports de chaleur, aussi bien les apports de chaleur internes qu'externes. Dans les bâtiments performants, les apports de chaleur sont difficiles à évacuer ; il est donc encore plus important de les limiter.

Les apports internes proviennent en premier lieu des habitants. Leur métabolisme est en effet une source d'apports de chaleur. Il est variable en fonction de l'activité de l'occupant. Les apports internes proviennent également des équipements électriques. La majeure partie de l'électricité consommée est rejetée sous forme de chaleur, mis à part par exemple l'énergie lumineuse d'une lampe. Il semble donc nécessaire d'adapter nos comportements vis-à-vis des équipements électriques et de privilégier des classes A afin de limiter les consommations. Malgré les efforts qui peuvent être réalisés, il sera difficile de réduire significativement ces apports de chaleur.

Il s'agit alors de réduire les apports externes. Ces apports sont les apports solaires directs ou diffus qui pénètrent dans le bâtiment par les vitrages et les parois. Les apports solaires directs doivent être notamment limités au niveau des ouvertures. Les rayons du soleil qui tapent sur le vitrage correspondent en fait à l'effet de serre. Afin de limiter cet apport direct, on peut d'une part agir sur le type de vitrage qui aura une transmission des rayons lumineux plus ou moins importante. D'autre part, des protections solaires doivent être mises en place afin d'éviter tout simplement cet effet de serre, même si des apports diffus seront tout de même possibles. Au niveau des parois, un travail d'isolation peut également être réalisé pour limiter les apports par conduction à travers la paroi [7]. Il faut également veiller à ne pas faire pénétrer l'air chaud de l'extérieur ; un travail sur les stratégies de ventilation est en effet à réaliser. Une bonne étanchéité à l'air est également importante.

Ces apports sont donc des apports par rayonnement, combinés ensuite à de la convection à l'intérieur du bâtiment. Il faut donc bloquer ce rayonnement.

I.4.2. Evacuer le chaud :

Comme nous avons pu le voir, des apports de chaleur dans le bâtiment sont inévitables, en premier lieu car un bâtiment a pour vocation d'être occupé et que les occupants dégagent de la chaleur. Des solutions pour évacuer la chaleur sont alors à mettre en place. Une stratégie de ventilation semble assez adéquate pour répondre à ce besoin puisqu'elle permettrait

d'évacuer l'air chaud. Il est alors nécessaire de ne pas apporter de l'air chaud pour le remplacer, mais plutôt d'apporter du frais.

Il faut alors apporter de l'air plus frais et favoriser les échanges par convection. L'air plus frais va se réchauffer au contact de l'air intérieur plus chaud. Le mouvement ainsi induit permettra l'évacuation de cet air tiède jusqu'à obtenir une température satisfaisante.

I.4.3. Apporter du frais :

L'apport de fraîcheur est également un des principes de base du rafraîchissement passif. Cela permet de refroidir directement la pièce. Au sens physique du terme, il ne s'agit pas d'un apport de fraîcheur mais d'une prise de chaleur. Comme lors des changements d'état, de l'énergie est nécessaire et elle est donc prise sous forme de chaleur dans l'air ambiant. Par ailleurs, nous verrons que l'air peut être rafraîchi en lien avec l'humidité de la pièce. L'évapotranspiration des plantes est également une source de fraîcheur. Les mécanismes seront détaillés plus loin. La masse thermique permet également d'apporter du frais en déphasant et amortissant la chaleur extérieure [8].

I.4.4. Ventilation naturelle :

D'une façon générale, la ventilation est utilisée pour maintenir un niveau acceptable de qualité de l'air intérieur (ventilation hygiénique) et rafraîchir (sur ventilation ou ventilation pour le rafraîchissement), afin de réduire ou annuler les besoins de climatisation active.

Dans les immeubles de bureaux, à cause des apports internes et solaires, les débits de renouvellement d'air nécessaire au rafraîchissement sont en général beaucoup plus élevés que ceux nécessaires à la ventilation hygiénique [9]. En conséquence, si la ventilation pour le rafraîchissement est effectuée mécaniquement et à mauvaise science, la consommation additionnelle due aux ventilateurs peut parfois dépasser la réduction de consommations de refroidissement engendrée.

L'utilisation de ventilateurs efficaces pour le renouvellement d'air hygiénique engendre des consommations relativement faibles (2-3kWh/m².an), alors que l'utilisation de la ventilation naturelle peut être en hiver, source d'inconfort et de pertes énergétiques, à cause de l'impossibilité de réchauffer l'air entrant et des difficultés de réguler correctement des débits si faibles.

I.5. Les systèmes de rafraîchissement passif :

Une présentation des systèmes pouvant être utilisés dans le cadre du rafraîchissement passif est ici réalisée. La liste n'est sûrement pas exhaustive mais le but était de s'attacher à avoir une vision la plus large possible, à la fois au niveau temporel et spatial.

I.5.1. Minimiser les apports de chaleur :

✓ Protections solaires : brise-soleil, masques architecturaux et stores :

Les brise-soleil, ainsi que les masques architecturaux (casquette, flanc), ont pour but de bloquer les rayons du soleil en été, mais de les laisser atteindre le vitrage en hiver. Leur dimensionnement se fait grâce à des diagrammes solaires qui décrivent la course du soleil au cours de la journée et pour toute l'année.

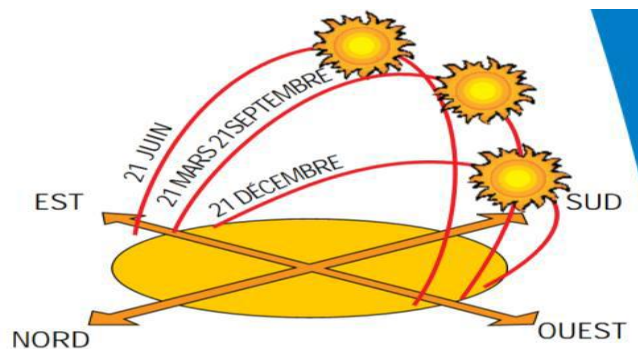


Figure I.2. Course du soleil selon la saison

On obtient en effet la hauteur angulaire du soleil à partir de laquelle on veut bloquer le rayonnement solaire direct et cela permet de dimensionner les masques architecturaux ou brise-soleil. Des brise-soleil orientables existent également ; ils permettent d'adapter l'orientation des lames à la course du soleil. Ils nécessitent cependant l'intervention de l'utilisateur. Ils sont plus efficaces en façade Sud ; il faut également veiller à utiliser un matériau ne stockant pas trop la chaleur pour les réaliser [10].

Le rayonnement solaire direct est donc bloqué ; le rayonnement solaire diffus atteint tout de même les vitrages. La mise en place de stores permet également de bloquer le rayonnement direct. Il faut veiller à les positionner à l'extérieur pour ne pas faire pénétrer le flux de chaleur à l'intérieur. Le matériau choisi pour les stores, comme pour les brise-soleil, ne doit pas emmagasiner trop de chaleur.

✓ Diminution des apports internes :

Avec l'essor de la technologie et des besoins électriques (éclairage, électroménager,...), les apports de chaleur internes ont fortement augmenté. Les appareils transforment en effet quasiment toute l'énergie qu'ils consomment en chaleur. Les postes informatiques sont également de vraies sources de chaleur. Les occupants constituent évidemment une autre source d'apports internes par leur métabolisme [11].

Dans les bâtiments performants, les apports internes représentent une part importante des apports de chaleur. Afin d'améliorer le confort d'été, il conviendrait donc de les réduire. On ne peut agir sur les occupants puisqu'ils sont à la base du besoin de confort ; on peut cependant essayer de réduire les apports de chaleur issus des appareils consommant de l'électricité. Un travail peut être réalisé au niveau de l'éclairage en ayant recours à des lampes à basse consommation.

✓ Isolation :

Les matériaux isolants reconnus en tant que tels sont apparus avec les crises pétrolières des années 70. Une grande campagne d'isolation a alors permis la large diffusion des laines minérales.

Dans les bâtiments performants d'aujourd'hui, l'isolation joue un rôle très important notamment pour le confort d'hiver car la chaleur reste à l'intérieur. Cela semble donc incompatible avec le confort d'été ; l'isolation joue cependant un rôle. En effet, l'isolation permet tout de même de diminuer les apports de chaleur par les parois, mais pour cela elle doit être mise en œuvre par l'extérieur et être couplée à de la ventilation et de l'inertie.

Si l'isolation est à l'intérieur, le chaud peut rentrer mais reste stocké à l'intérieur car il ne peut plus ressortir. L'isolation par l'extérieur limite également les ponts thermiques et permet de conserver l'inertie des murs [12].

De nombreux produits isolants existent aujourd'hui, aussi bien au niveau de leur composant (laines minérales, laines végétales, isolants minces,..) que de leur conditionnement (vrac, panneaux, rouleaux,...) et de leur épaisseur.

Le caractère isolant d'un matériau se traduit par le coefficient de transmission surfacique U qui s'exprime en $W/m^2.K$. Il correspond à la chaleur transmise par mètre carré de matériau ou de paroi pour une différence de température de un degré de part et d'autre de l'élément. Plus ce coefficient U est faible, plus le matériau ou la paroi est performante.

✓ **Vitrages :**

Lorsque le flux solaire lumineux frappe une vitre, une partie est directement transmise à l'intérieur, une autre est réfléchiée vers l'extérieur et enfin une partie du rayonnement est absorbée par le vitrage. La nature du vitrage a une influence sur la transmission énergétique du rayonnement solaire selon les caractéristiques suivantes : le nombre de feuilles de verre, le facteur de transmission de chaque feuille, le facteur de réflexion ou d'absorption.

Le schéma ci-dessous représente les différents échanges radiatifs au niveau du vitrage.

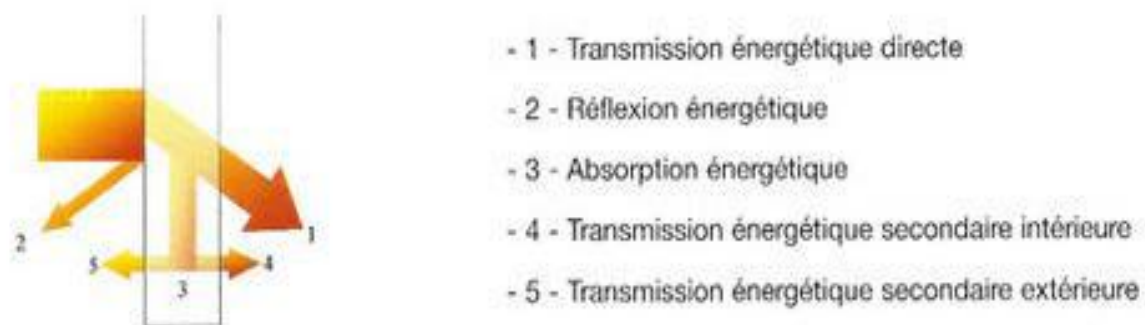


Figure I.3. Echanges radiatifs au niveau d'un vitrage

La maîtrise du flux entrant s'apprécie par le facteur solaire de la baie. C'est un coefficient définissant le rapport entre l'énergie solaire qui pénètre à l'intérieur d'un local par une fenêtre et l'énergie solaire incidente sur cette même surface.

Le facteur solaire (FS) correspond donc à la somme de la transmission énergétique directe et de la transmission énergétique secondaire intérieure.

Les menuiseries font l'objet de différents échanges de chaleur : les échanges radiatifs au niveau du vitrage vus précédemment, mais également les échanges par conduction en considérant le caractère isolant du vitrage et de la menuiserie. Il faut également considérer les ponts thermiques au niveau de la menuiserie.

Les bâtiments performants sont généralement très ouverts en façade Sud afin d'optimiser les apports de chaleur en hiver. En été, les surchauffes sont notamment dues à ces ouvertures [13].

Il existe aujourd'hui différents types de vitrages, notamment des vitrages performants pour le confort d'été qui présente des facteurs solaires assez faibles.

Le vitrage idéal serait en fait celui qui présenterait un facteur de transmission énergétique allant en diminuant lorsque l'énergie solaire incidente augmente. La mise en place de triple vitrage permet également d'augmenter le caractère isolant de la menuiserie.

I.5.2 Apporter de la masse thermique :

✓ Inertie :

La fraîcheur estivale des maisons anciennes aux épais murs de pierre n'est pas à prouver : le phénomène entrant en jeu ici est l'inertie des murs. La mise en place de masse thermique permet en effet de déphaser et d'amortir les apports de chaleur externes.

Différents paramètres entrent en compte pour quantifier l'inertie d'un matériau. Il ne doit d'abord pas être trop isolant pour que la chaleur à stocker puisse pénétrer dans le matériau, c'est-à-dire posséder une conductivité assez grande. Il doit également avoir une bonne capacité à accumuler la chaleur, c'est-à-dire une bonne capacité thermique et avoir une densité élevée pour stocker la chaleur dans une épaisseur de paroi minimale ; une forte masse volumique est donc souhaitée. L'inertie d'une paroi dépend aussi de la surface d'échange. Un mur de refend intérieur a deux fois plus de surface d'échange utile qu'une paroi en contact avec l'extérieur.

Deux notions physiques sont associées à l'inertie : l'effusivité d'une part qui traduit la capacité du matériau à absorber de l'énergie sans se réchauffer notablement ; la diffusivité d'autre part traduit la vitesse de propagation d'un flux de chaleur dans un matériau. Si la diffusivité est faible, le temps pour traverser le matériau est long ; il a donc une forte inertie.

L'interaction de l'inertie avec l'isolation est délicate comme nous l'avons évoqué plus haut : l'isolation doit être à l'extérieur pour bénéficier des bienfaits de l'inertie. Les revêtements, notamment les faux-plafonds, sont également à éviter sur les masses thermiques. Par ailleurs, le couplage avec la ventilation est important pour évacuer la chaleur émise à l'intérieur du bâtiment à l'issue du déphasage temporel [14].

✓ Matériaux à changement de phase :

Les matériaux à changement de phase peuvent être classés parmi les masses thermiques. C'est en effet sous cette appellation qu'ils sont vendus, leur action globale étant similaire à celle des masses thermiques.

Le principe des matériaux à changement de phase est basé sur un stockage de chaleur, c'est pourquoi ces systèmes peuvent être classés parmi les systèmes de masse thermique. Cependant ce stockage de chaleur n'est pas de la chaleur sensible comme pour l'inertie mais de la chaleur latente qui provient du changement de phase des matériaux

I.5.3. Ventiler :

✓ Ventilation :

La ventilation est un principe important dans le cadre du rafraîchissement passif. La ventilation résulte d'une surpression, c'est-à-dire une différence de pression entre deux points. Cette différence peut avoir deux types de causes : thermiques (l'air chaud plus léger s'élève, provoquant un appel d'air plus froid) et mécaniques (le vent crée des zones de surpression qui favorisent les mouvements d'air).

La ventilation est intéressante car d'une part, elle peut apporter du frais si l'air extérieur est plus froid que l'air intérieur ; d'autre part, elle permet un mouvement d'air qui joue sur le confort physiologique car il accroît les échanges thermiques entre le corps et l'air ambiant par convection et par évaporation de la sueur. La ventilation a également un rôle hygiénique vis-à-vis de la qualité de l'air intérieur.

Plusieurs systèmes de ventilation existent. Tout d'abord, la ventilation naturelle peut être efficace en ouvrant tout simplement les fenêtres ; ce système nécessite cependant une bonne conception du bâtiment qui doit permettre une ventilation traversant et une bonne position des ouvrants par rapport à la direction des vents dominants. Le tirage thermique peut également être mis en œuvre lorsque le bâtiment le permet.

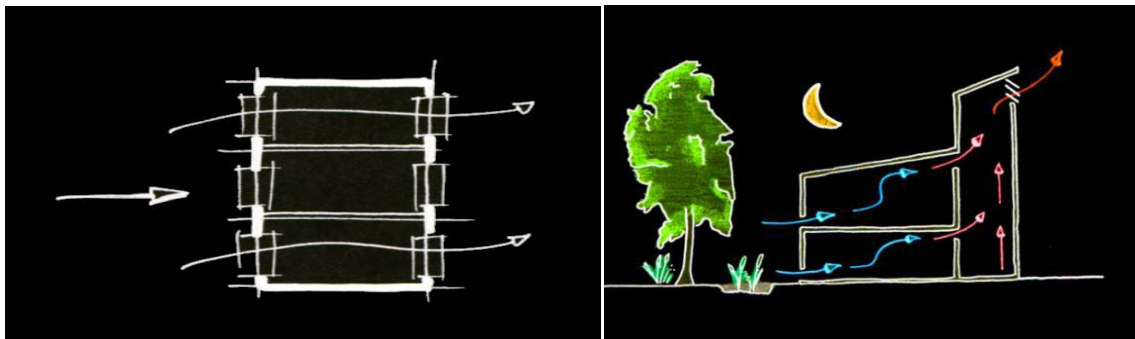


Figure I.4. Principes de conception pour permettre une ventilation naturelle du bâtiment

Si la conception du bâtiment ne permet de ventilation naturelle, la ventilation peut également être mécanique avec la mise en place d'un extracteur d'air dans les pièces humides

Une ventilation double flux permet à la fois d'extraire l'air vicié, mais également d'insuffler de l'air neuf [15].

Enfin, la ventilation peut être hybride, c'est-à-dire une combinaison de ventilation naturelle et de ventilation mécanique afin de palier à une faible efficacité de la ventilation naturelle.

Dans le cas d'une ventilation naturelle, l'utilisateur aura un rôle à jouer puisqu'il devra assurer une ouverture des fenêtres judicieuse afin de conserver un niveau de confort satisfaisant.

✓ Puits canadien – puits provençal :

A deux mètres sous terre, les variations de température sont faibles d'une saison à l'autre, nulles entre le jour et la nuit et ne dépendent pas du temps qu'il fait dehors. Il fait donc plus chaud qu'à l'extérieur en hiver et plus frais en été. L'air insufflé dans la maison peut donc être préchauffé ou pré rafraîchi. Dans de nombreuses cultures en climats chauds (puits provençal), comme en climats froids (puits canadien), on s'est servi de l'inertie du sol pour obtenir, à l'intérieur des bâtiments, des températures moins sensibles aux variations d'amplitude extérieures [16].

Afin de mettre en place un puits canadien, il faut donc installer des canalisations dans lesquelles l'air extérieur peut circuler et ainsi bénéficier de l'inertie de la terre pour se rafraîchir ou se réchauffer. Le dimensionnement de ses canalisations, du débit d'air à l'intérieur et leur profondeur sont à adapter à chaque bâtiment.

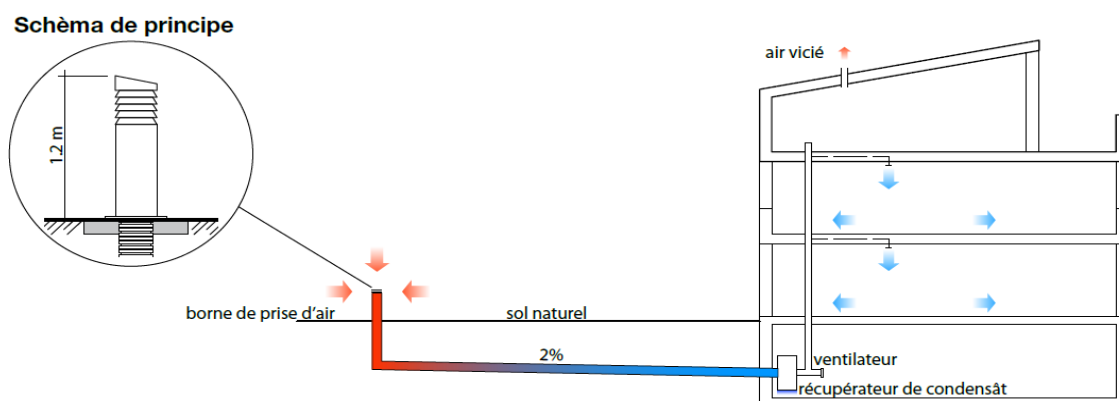


Figure I.5. Puits canadien – puits provençal

I. 5.4. Humidifier :

✓ Eau (bassin, toiture, murs (systèmes radiatifs)) :

L'eau a de nombreuses propriétés et certaines lui permettent d'être très active dans le cadre du rafraîchissement passif.

L'eau a tout d'abord des propriétés intéressantes au niveau de sa masse volumique et de sa capacité thermique. Elle a donc été utilisée pour créer des murs d'eau ou des toiture-bassins dans les années 70. Aujourd'hui un stockage des eaux de pluie sur le toit reprend ce principe. Il nécessite cependant un dimensionnement du bâtiment conséquent.

L'eau permet également un rafraîchissement de l'air comme c'est illustré sur le graphique ci-dessous.

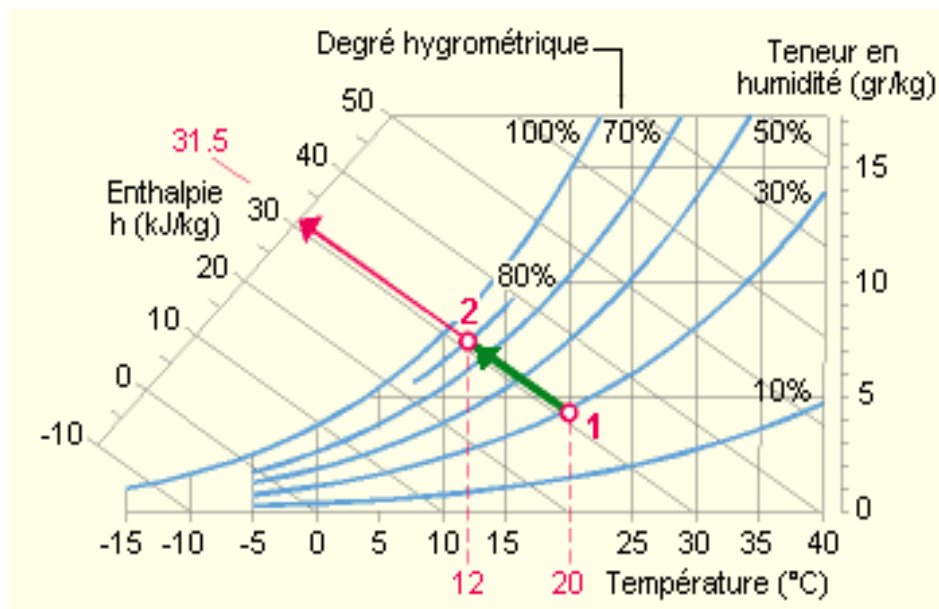


Figure I.6. Diagramme de l'air humide

On peut effectivement noter qu'une augmentation de l'humidité permet une baisse de température à enthalpie constante. La brumisation ou la présence d'un bassin à proximité du bâtiment permettent donc de rafraîchir l'air. Les humidificateurs à évaporation sont des systèmes basés sur ce principe. L'air passe à travers un rideau de gouttelettes d'eau par exemple qui s'évaporent dans l'air pulsé qui est ainsi rafraîchi. L'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau est extraite de l'air qui en conséquence se refroidit. Ce système gagne en efficacité avec l'augmentation de la température extérieure. Au-delà de 30°C, l'air peut se refroidir de plus de 10°C ce qui se traduit par un rendement de rafraîchissement très efficace.

I.5.5 Végétation :

La végétation possède également plusieurs propriétés lui permettant d'améliorer le confort d'été. D'une part, par l'ombre qu'elle peut apporter au bâtiment, elle permet de diminuer les apports par rayonnement solaire et ainsi constituer une protection solaire. D'autre part, la végétation à proximité du bâtiment permet également d'apporter de la fraîcheur par évapotranspiration. Les végétaux peuvent être attenants au bâtiment comme les treilles ou pergolas végétalisées, ou plus lointains comme les arbres de haute tige à feuilles caduques. Ces types de végétaux sont plus intéressants que des conifères qui resteront fournis toute l'année et limitent également les apports solaires en hiver.

L'évapotranspiration est un phénomène qui couple deux propriétés des végétaux. D'une part, on observe une évaporation au niveau du sol, d'autre part de la transpiration par les pores des feuilles des végétaux. Elle est difficilement mesurable.

✓ Toiture végétalisée:

La toiture végétalisée est un concept utilisant de la terre et des végétaux en remplacement de l'ardoise et de la tuile.

La construction de toitures végétalisées est traditionnelle dans plusieurs pays européens, notamment scandinaves.

Le mélange de terre et de végétaux enracinés sur les toits permet de réaliser une isolation phonique, une étanchéité à l'air et à l'eau, une résistance au vent et au feu, à l'aide de matériaux facilement disponibles.

L'intérêt des toitures végétalisées est particulièrement sensible en saison estivale. Elles permettent de diminuer l'absorption d'énergie solaire contribuant ainsi au maintien d'une température intérieure stable et plus fraîche.

En absorbant la chaleur, les toits verts réduisent la charge des appareils de refroidissement des bâtiments. Appliqués largement à l'échelle d'une ville, ils peuvent atténuer l'effet d'îlot thermique réduisant considérablement la température de la ville en été. En effet, leur impact sur la température intérieure d'un bâtiment est une réduction de l'ordre de 2°C. Au niveau économique, on peut considérer qu'une diminution de 1°C de la température de surface supprime environ 5% de la demande en électricité de climatisation.

Par ailleurs, cette toiture aurait une réelle influence sur le microclimat urbain grâce aux phénomènes d'évapotranspiration et de respiration végétale. (1m² de feuillage évapore plus de 0.5 litres d'eau par jour et 1 m² de gazon peut évaporer jusqu'à 2.5 litres d'eau par jour).

Au niveau de la membrane d'étanchéité, la différence de température entre une toiture classique et une toiture végétalisée va jusqu'à 30°C. L'été la végétation opère comme un rafraîchissement naturel et évite les alternances brusques de températures, prolongeant ainsi la durée de vie de l'étanchéité.

Ce type de toiture a aussi l'avantage d'être plus durable sur le long terme. Le matériau imperméabilisant ou l'étanchéité, résiste plus longtemps à l'abri des ultraviolets et des rayonnements solaires. Un goudron ou une membrane de toiture exposée au soleil peuvent atteindre une température de surface de 65°C alors que la membrane recouverte de végétaux demeure à une température de 15°C à 20°C.

Les inconvénients principaux de ce type de toiture reposent sur la nécessité structurelle pour soutenir le poids propre de la terre et végétation. Ceci apporte des coûts pouvant atteindre 5 fois le prix d'une toiture classique [17]

Détails types de composition de toiture végétalisée ³

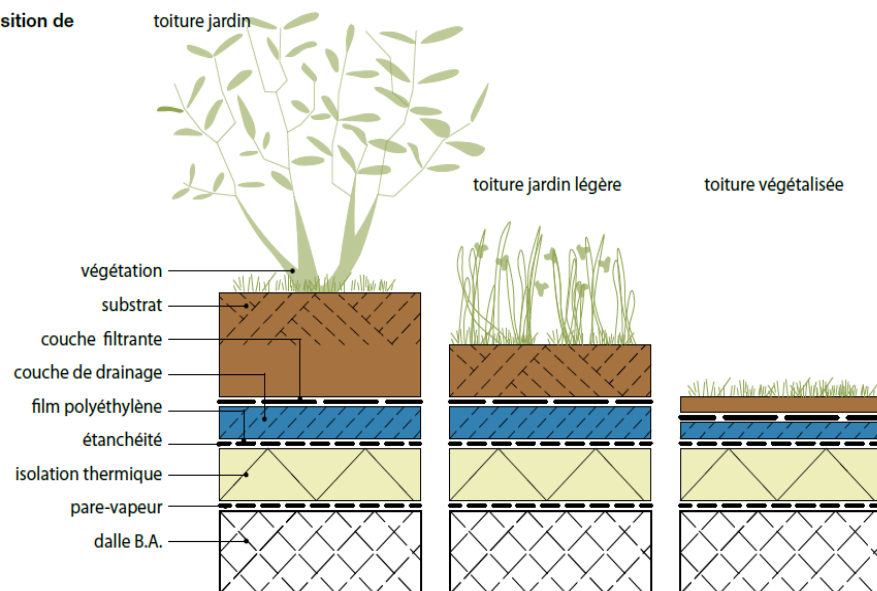


Figure I.7. Toiture végétalisée

✓ Façade végétalisée:

Le mur végétal est un écosystème vertical conçu comme un noyau écologique. C'est une paroi qui s'élève parallèlement aux murs du bâtiment à protéger. Selon son orientation et sa composition, le mur servira à la fois d'écran contre les vents dominants, contre les intempéries, le bruit, l'ensoleillement et la pollution atmosphérique.

Ce mur est constitué d'une structure solide verticale, servant de support, construite parallèlement à la façade de bâtiment. La structure permet de laisser un coussin d'air entre la façade du bâtiment et le mur végétalisée permettant ainsi de bien séparer le mur de la partie humide.

L'alimentation en eau et en matière nutritive se fait par un réseau situé en partie supérieure de la structure. La solution nutritive s'évacue le long du mur par gravité et s'infiltré dans le feutre par capillarité, de cette façon les racines ne prélèvent que ce dont elles ont besoin et ne sont pas noyées. L'eau de pluie peut très bien être utilisée à cet effet en comptant environ 200 litres/m² par an.

La couche végétale à l'effet d'un isolant thermique. Il permet une meilleure régulation thermique du bâtiment particulièrement en été, l'ensoleillement étant réduit. L'évapotranspiration de la végétation implantée contribue au rafraîchissement de l'air et à une régulation de l'hygrométrie.

Le coût de l'entretien peut être très important et compliqué si la surface est grande et si la hauteur de mur est importante. En effet, l'entretien est le même que pour toute surface plantée. Il faut tailler les végétaux pour contenir les plantes les plus envahissantes, vérifier le goutte à goutte et le minuteur pour l'alimentation d'eau, inspecter le tissu de support, apporter éventuellement de l'engrais et enfin laisser les végétaux morts, ou les enfouir dans les poches de terre, afin de maintenir le taux de matière organique [18].

Détails types de composition de
façade végétalisée



Figure I.8. Façade végétalisée

✓ **Terre crue :**

La terre crue est un matériau de construction utilisé pour son inertie. Il s'agit également d'un matériau qui peut se charger fortement en vapeur d'eau ; elle se condense lorsque le mur est froid (en libérant de la chaleur) pour se ré évaporer lorsque la température augmente. Cet aspect permet donc de faire de la terre crue un matériau doublement intéressant pour le rafraîchissement passif. Comme pour l'évapotranspiration, peu de données permettent de quantifier les échanges de chaleur.

I.6. Ventilation nocturne :

L'analyse de la fenêtre du point de vue thermique est très complexe [27]. Une fenêtre doit fournir un gain de chaleur maximal en hiver pendant le jour et la perte de la chaleur minimum le soir. De l'autre côté, la même fenêtre doit être protégée pour réduire le gain de chaleur par radiation solaire pendant le jour en été, mais qui autorise la dissipation thermique pendant la nuit.

Pour résoudre ce problème, l'occultation mobile peut être utilisée, où la fenêtre peut complètement être ombragée pendant l'été, mais aussi peut être exposée à la radiation solaire en hiver.

Le rôle de la ventilation est principalement associé aux heures de nuit. En périodes chaudes, les températures externes sont habituellement inférieures le soir que les températures internes, donc c'est possible d'utiliser l'air la nuit pour refroidir la structure du bâtiment.

Comme expliqué par **BALARAS en 1996**: « L'air de ventilation augmente les pertes de la chaleur convective des éléments de la masse et dissipent la chaleur restituée vers l'extérieur où la température est inférieure. »

La ventilation est déjà optimisée c'est-à-dire qu'elle suit le scénario d'occupation, la différence sera flagrante comme le démontre les études qui ont été faites par **CORBELA et CORNER en 2002** qui disent qu'à travers la ventilation nocturne, la consommation journalière de climatisation peut être réduite de cinq fois.

La ventilation nocturne de l'habitat permet donc de rafraîchir la structure du bâtiment et d'éviter ainsi des surchauffes durant la journée. Ce dernier doit donc permettre de profiter du potentiel de rafraîchissement lié à la ventilation nocturne.

Dans l'habitat, la possibilité de ventiler la nuit ne peut être envisagée que si l'environnement le permet. Ainsi, en zone bruyante (rue à fort trafic, voie ferrée, aéroport...), il n'est pas toujours possible d'ouvrir les fenêtres sans pénaliser le confort acoustique. De la même façon, lorsque le risque d'effraction existe, il est également impossible de maintenir les fenêtres ouvertes la nuit sauf si elles sont barreaudées. La multi exposition des façades permet d'obtenir des débits de renouvellement de l'air – et donc un rafraîchissement – plus importants dans le bâtiment.

Alors l'inertie thermique doit être associée à une ventilation nocturne considérable pour évacuer la chaleur dissipée à l'intérieur. De plus, avec la compensation entre gains et pertes, la température intérieure demeure constante. Rejoignant par cette révélation l'avis de plusieurs chercheurs sur l'effet de la ventilation nocturne comme **Van der Maas 1994 et Balaras 1996**.

I.6.1. La gestion des flux :

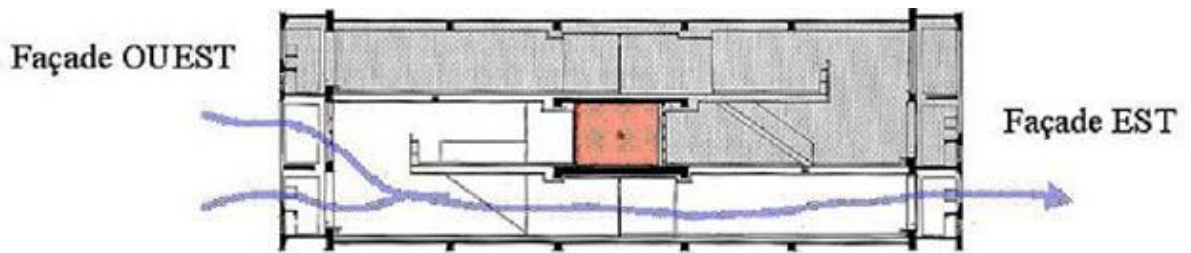


Figure I.9. gestion des flux

La gestion des flux est primordial dans un système de ventilation naturelle. Dès le dessin d'épure du bâtiment, les dispositions de cloisonnements intérieurs devront avoir été pensées pour favoriser le rôle de la ventilation naturelle. C'est au niveau de la répartition de l'air neuf que le rôle de chaque élément du bâti va s'affirmer.

Le propre de la ventilation naturelle est de balayer l'ensemble des pièces du bâtiment et ainsi se répartir, sans l'aide d'un brassage mécanique (*ventilateur*). Une physionomie architectural du bâtiment particulièrement étudiée devient indispensable.

Le brassage et la distribution spatiale de l'air neuf sont subordonnés à la réflexion menée sur la disposition des ouvertures sur les façades du bâtiment.

L'orientation du bâtiment et la conformité du cloisonnement permettent un balayage complet.

C'est souvent le vent qui sera le moteur principal et qui imposera à l'architecte tous les artifices permettant de favoriser le flux en créant des pressions et dépressions artificielles.

La taille du bâtiment, sa forme, les positions, géométries et dimensions des ouvertures, des débords de toiture (*etc...*) interfèrent sur les mouvements d'air créés dans les locaux.

Des sorties d'air plus grandes que les entrées, permettront par exemple de placer le bâtiment en sous-pression et d'obtenir ainsi une vitesse de l'air à l'intérieur supérieure à la vitesse à l'extérieur [19].

I.6.2. Les objectifs de la gestion:

- Assurer un débit adéquat, suffisant mais pas inconfortable. En l'absence de vent, ou par faible différence de température entre l'intérieur et l'extérieur, les forces naturelles peuvent se révéler insuffisantes pour assurer un débit d'air important. Il sera alors intéressant de disposer d'un ventilateur d'appoint pour renforcer l'extraction. Ce ventilateur doit fonctionner seulement en appoint pour limiter la consommation d'énergie. Un ventilateur de type hélicoïdal sera tout indiqué pour ce type d'application, sa consommation étant d'environ 0.15 Wh/m³.
- Éviter de trop refroidir le bâtiment.
- Permettre la pérennité de l'équipement (*fermeture en cas de vent violent, pluie, etc.*).

- Un contrôle manuel des entrées d'air est souvent efficace en journée, mais la gestion des évacuations centralisées sera de préférence automatisée pour l'adapter aux conditions météo et aux demandes des différents locaux. Des sondes de présence, de température, une station météo, pourront selon les cas être utilisés en assistance.
- Un fonctionnement de nuit impose l'automatisation complète (*La règle générale en cas d'automatisation est de laisser à l'occupant - "formé" et connaissant le système - la possibilité d'y déroger selon sa propre sensation de confort ou sa préférence*) [20].

Remarque:

Les défauts d'étanchéité doivent être pris en compte pour éviter de créer à posteriori des problèmes de condensation et de moisissures. L'étanchéité de l'enveloppe peut prendre autant d'importance que pour les autres systèmes de ventilation à la différence notable que les flux sont basses pression dans les systèmes de ventilation naturelle.

Une analyse fine des phénomènes de convection montre différents modes de répartition du flux avec des efficacités assez différentes:

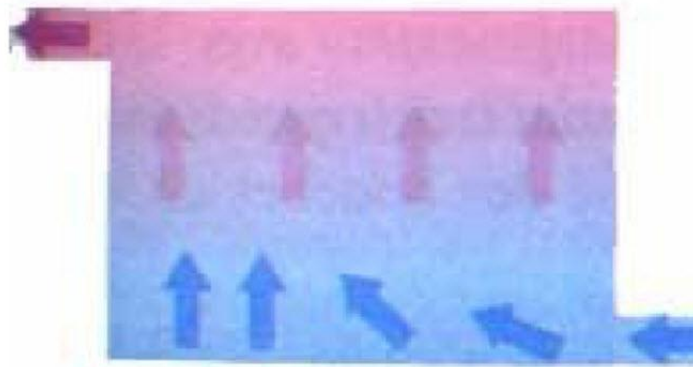


Figure I.10. le mode piston d'une ventilation naturelle

Le mode "**piston**" est le plus rentable en termes de quantité d'air distribué : Il correspond à un déplacement de l'air vicié par l'air frais. De l'air un peu plus frais que l'air ambiant est amené dans la pièce par des bouches en partie basse. L'air frais se répartit sur toute la surface basse de la pièce. La chaleur dégagée par les occupants et les autres sources de chaleur, entraîne l'air vers le haut entraînant les polluants. Si le plafond est assez haut, l'air frais arrive à hauteur du visage des occupants.

L'inconvénient d'un tel système est un ressenti possible d'une trop grande différence de température entre les pieds et la tête.

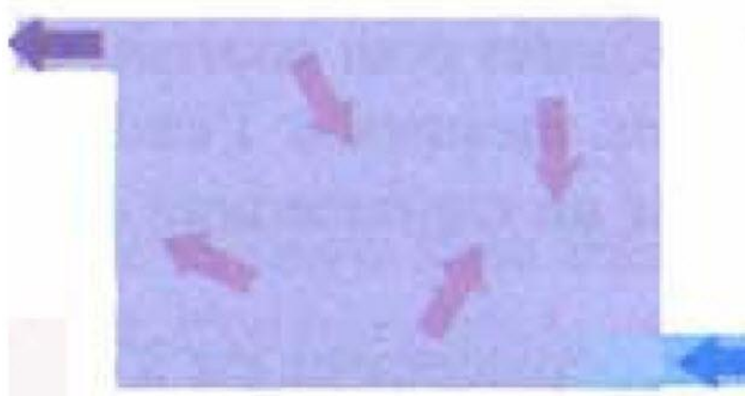


Figure I.11 .le mode mélange d'une ventilation naturelle

Le mode "**mélange**" permet d'obtenir une homogénéité parfaite dans la pièce. Ce système dépend alors de la vitesse à laquelle l'air entre dans la pièce. Il doit arriver à une vitesse relativement élevée par des grilles ou des diffuseurs, pour qu'il se distribue dans l'ensemble du volume de la pièce.

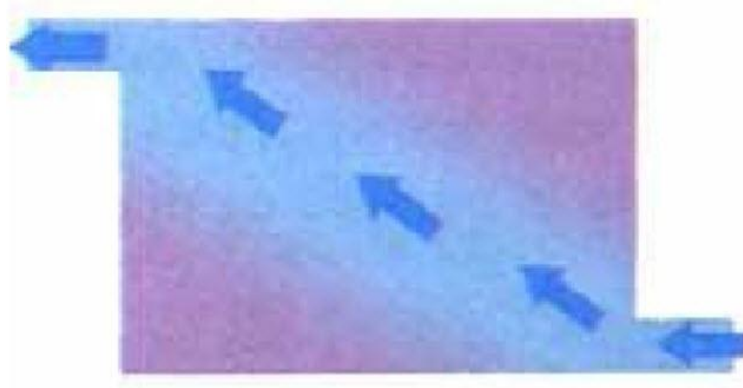


Figure I.12.les courts-circuits d'une ventilation naturelle

Il faut éviter **les courts-circuits**, correspondant à des zones non ventilées, dites "mortes". Ce phénomène s'explique la plupart du temps par des bouches d'entrées et de sorties trop proches les unes des autres.

I.6.3. Entrée d'air :

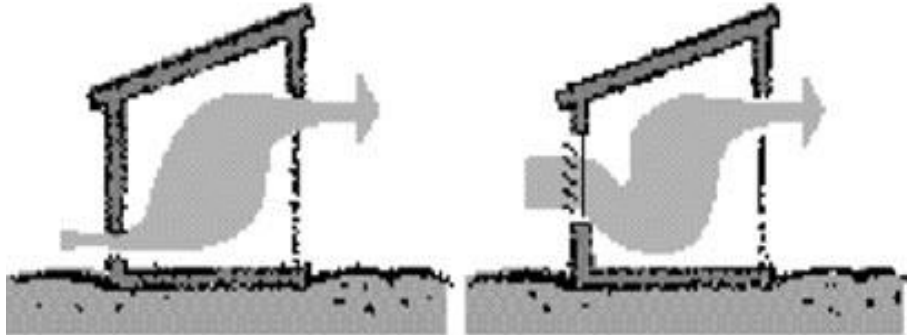


Figure I.13. Influence du positionnement des ouvertures

(Source : contrat européen THERMIE "MEDBUILD", "Integration of renewable energies in the Mediterranean building")

Elles sont installées généralement en façade, via des grilles qui filtrent l'air, limitent le bruit et le risque d'intrusion. Leurs dimensions et leur impact visuel sont importants et nécessitent calcul et intégration. La surface des entrées généralement préconisée est égale à environ 1% de la surface du local pour permettre un renouvellement efficace.

Une entrée d'air située en position basse est plus efficace : pour cela, on aura recours soit à des entrées proches du plancher, soit à des systèmes permettant de rabattre l'air vers le bas.

I.6.4. Extraction De L'air:

On peut distinguer les extractions décentralisées par local ou groupe de locaux et centralisées à l'échelle du bâtiment.

- ✓ **Décentralisées:** les extractions peuvent être des gaines de grandes dimensions, éventuellement cachées par un faux-plafond (partiel pour conserver l'inertie accessible), ou des cheminées regroupant les flux en provenance de plusieurs locaux.
- ✓ **Centralisées:** les extractions sont de larges cheminées, des atria ou certaines doubles peaux. Elles ont un impact sur la structure du bâtiment.

Une évacuation d'air centralisée est probablement moins contraignante que le placement de nombreuses cheminées, mais son contrôle est plus délicat .

I.6.5. Les Moteurs de la ventilation naturelle :

✓ LE VENT

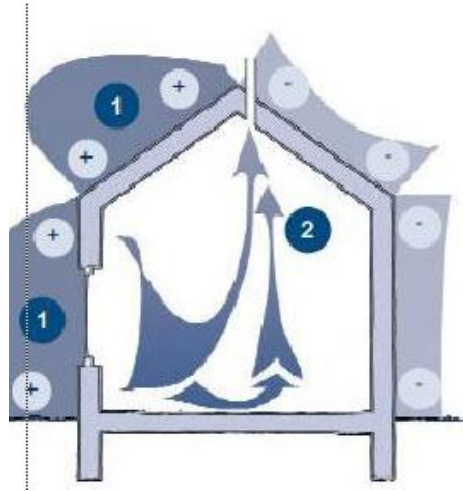


Figure I.14: Pression des vents sur un bâtiment

(Source : *energie.wallonie.be*)

Le flux d'air, fait apparaître une pression sur l'extérieur du mur côté_au vent (*face au vent*), tandis qu'une dépression s'installe au droit du mur sous le vent (*derrière l'obstacle*).

L'air pénètre par les ouvertures de la façade face au vent et ressort dans la zone de dépression en conduit sur toiture ou par les ouvertures de la façade dos au vent.

Si le bâtiment se présente avec un angle de 45° par rapport au vent, les surpressions et dépressions sont maximales et favorisent la ventilation.

En été et en demi-saison, il y a des risques de défaut de renouvellement de l'air si la température de l'air extérieur est supérieure à celle de l'air intérieur.

En hiver, le vent produit des mouvements d'air inconfortables et des déperditions de chaleur importantes par des débits parfois supérieurs à **1vol/h**.

Il est possible de déterminer l'effet du vent pour toutes les surfaces extérieures du bâtiment, en calculant les pressions.

Dans le cas particulier de la simple exposition, *Tareb en 2004*, montre que la ventilation naturelle dépend fortement du vent moyen et qu'elle n'est pas très efficace si l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur demeure limité (*cas des périodes chaudes*). Mais au niveau des règles de conception, *Pacer en 1996*, détermine qu'avec des fenêtres correctement dimensionnées, une pièce de 6 à 7 m de profondeur peut être ventilée de façon satisfaisante.

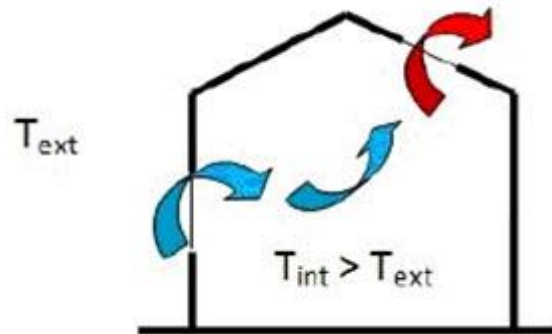
✓ *LE GRADIENT THERMIQUE :*

Figure I.15 : le gradient thermique entre l'intérieur et l'extérieur

L'air des différentes zones de l'habitat n'est pas à chaque endroit à la même température.

La masse volumique de l'air est liée à sa température, par conséquent, deux masses d'air à des températures différentes induiront des pressions différentes.

La pression exercée par l'air froid extérieur plus dense, est supérieure à celle de l'air chaud intérieur moins dense.

La pression de l'air au pied du bâtiment est également plus importante qu'au niveau de la toiture par différence de pression atmosphérique. Un phénomène d'équilibre de ces pressions provoquera donc un mouvement naturel de l'air.

Remarque:

La mise en mouvement de l'air suppose que la température extérieure soit inférieure à la température intérieure. Ce moteur du déplacement d'air est nommé "tirage thermique" ou "thermosiphon" ou "convexion".

Il est d'autant plus efficace que l'écart de température (pression) entre les masses d'air est important et que la hauteur entre l'entrée d'air froid et la sortie d'air chaud sera importante.

I.7. L'état de l'art :

Plusieurs chercheurs se sont intéressés à cette technique en utilisant différentes méthodes et en étudiant différents paramètres qui peuvent contribuer au rafraichissement passif.

La grande majorité des études, essentiellement menées dans l'habitat tertiaire, ont mis en évidence la corrélation entre le niveau insuffisant de ventilation et l'accroissement du risque d'apparition de symptômes et perception d'une mauvaise qualité de l'air.

Les études réalisées sur le rafraichissement passif en Algérie sont généralement incluses dans les études de l'efficacité énergétique ; ces derniers sont nombreux ; on cite quelques unes :

Dr R.KHARCHI « Etude énergétique de chauffage, rafraichissement et eau chaude sanitaire d'une maison type en ALGERIE »

Ce travail consiste à étudier le comportement thermique et énergétique d'une maison construite avec des matériaux locaux et selon les normes algériennes de construction.

Une bonne isolation de l'enveloppe ainsi que le double vitrage sont appliqués sur l'habitat étudié.

La méthode des degrés jours est utilisée pour l'analyse de la demande énergétique en chauffage et en rafraichissement. La demande en eau chaude sanitaire est évaluée selon la méthode analytique.

Melle MEDJELEKH DALEL ; « Impact de l'inertie thermique sur le Confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment (cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma) » ; Mémoire de magister en architecture bioclimatique ; 2006 Université de Constantine.

Cette recherche présente une opportunité d'évaluer les performances des techniques passives, sous les conditions climatiques de Guelma. Son côté technique et son approche de rendement thermique ne doit pas faire oublier qu'aujourd'hui le confort est une notion importante qui se traduit par la mise en valeur de critères liés au cycle de vie du bâtiment et des matériaux.

L'étude pose le problème de la conception non étudiée de l'enveloppe (l'inertie) des maisons du point de vue dimensionnement (épaisseur) et le choix inadapté des matériaux de construction utilisés, sous nos climats. Ce ci conduit en fait à l'inconfort et par conséquent la consommation irrationnelle de l'énergie (électricité, gaz) à l'intérieur des habitations.

Une investigation menée sur une maison de l'époque coloniale à Guelma afin d'estimer le rôle de l'inertie sur le confort hygrothermique. En plus, une villa contemporaine choisie en comparaison pour évaluer l'impact de l'inertie thermique sur la consommation énergétique des bâtiments. Parallèlement une simulation à l'aide d'un logiciel informatique TRNSYS (version 14.1) effectuée pour valider les résultats de l'investigation, et permet de tester divers paramètres qui peuvent aboutir à des meilleures conditions.

**Magdalena MALEK ; « La Belgique, un paradis fiscal de la maison passive »
Mémoire de Fin d'Etudes Master en Sciences et Gestion de l'Environnement 2009
Université Libre de Bruxelles.**

Ce mémoire a pour objectif d'établir la situation des avantages au niveau de la Belgique. La complexité due au système institutionnel belge ainsi que les différences entre les prix de l'immobilier par endroit, les impôts fonciers, les taxes et éco-primes provinciales et communales ne permettent pas de distinguer quelle est la région qui favorise le plus les investissements en faveur de l'efficacité énergétique et la réalisation de maisons « basse énergie » ou passives.

Une recherche a été menée dans certains pays limitrophes afin de comparer les aides financières et de déterminer si la Belgique peut être considéré comme un « paradis fiscal pour l'investissement passif ».

Ce mémoire s'est attaché à rechercher l'endroit le plus avantageux (le paradis fiscal de la maison passive ?) mais il n'est pas possible de dire exactement quel pays/région offre la situation la plus avantageuse, surtout que celle-ci (i) dépend de la situation des ménages, (ii) change substantiellement d'une « région » (département ou Land) ou d'une commune à l'autre et (iii) que toutes ces aides sont constamment modifiées.

Benjamin PARIS; « Gestion optimale des échanges énergétiques dans un habitat individuel » ; Thèse mastère spécialisé ; énergies renouvelables et leurs systèmes de production ; 2006 ; Ecole nationale supérieur d'arts et métiers (France).

Il s'agit d'étudier les performances des bâtiments d'un point de vue énergétique, ainsi que l'intégration des énergies renouvelables. Dans ce cadre, la thèse professionnelle a pour sujet la création de modèles d'enveloppes différentes pour des habitats individuels, et d'étudier leurs performances et leurs comportements, en s'appuyant sur un logiciel de modélisation et de simulation nommé Pléiades+Comfie.

En complément de cette étude, le logiciel « SoftGéothermie » a pour but de répondre aux souhaits des professionnels de caractériser le fonctionnement d'une installation géothermique intégrant une pompe à chaleur, de quantifier ses apports, ainsi que ses retombées économiques et environnementales.

Nazila Kahina HANNACHI-BELKADI ; « Développement d'une méthodologie d'assistance au commissionnement des bâtiments à faible consommation d'énergie » ; Thèse de doctorat en Génie Civil ; 2008 ; Université Paris Est.

Cette recherche consiste à développer une méthodologie et des outils qui visent à améliorer la qualité du processus de conception en s'appuyant sur les travaux du CSTB sur le commissionnement. Ce processus qualité doit permettre d'évaluer régulièrement les différents choix réalisés par les différents acteurs en considérant le bâtiment comme un système complexe composé de sous-systèmes (enveloppe, chauffage, ventilation, etc.), de gérer les imprévus, de minimiser les pertes d'information et de rappeler les objectifs tout au long du cycle de vie du bâtiment.

François RUELLE ; « La standard « maison passive » en Belgique : potentialités et obstacles » ; mémoire de Master en Sciences et Gestion de l'Environnement ; 2008 ; Université Libre de Bruxelles Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire.

Ce mémoire présente les principes fondamentaux de concept « maisons passives », d'évaluer son potentiel et de déterminer les obstacles éventuels à son développement. Il parcourt différents concepts d'habitations et en présente les principes et nuances : les maisons « écologiques », « bioclimatiques », « basse-énergie », « passives », à « zéro énergie » et à « énergie positive » sont ainsi abordées, en insistant sur le concept de maison passive et en présentant les caractéristiques fondamentales. Ensuite le contexte et les enjeux dans le Monde, en Europe et en Belgique.

A la fin il détermine les obstacles principaux au développement des constructions à (très) basse énergie. Ceux-ci sont répertoriés et rassemblés en 3 catégories principales : les obstacles « communicationnels », « psychologiques » et « pratiques » [9].

Stéphane THIERS ; « Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive » ; Thèse Doctorat Spécialité "Énergétique" ; 2008 ; école nationale supérieure des mines de Paris.

Le travail réalisé est passé par la caractérisation des bâtiments à énergie positive, par leur modélisation, puis par l'évaluation de leurs performances à travers la simulation de bâtiments existants ou en phase de conception.

Dans cette étude, plusieurs choix ont été réalisés pour fixer précisément les hypothèses, notamment la nature des technologies les plus adaptées à la réalisation de bâtiments à énergie positive, mais aussi les outils de calcul et d'aide à la conception qui ont été utilisés par la suite. Elle a fait ressortir, en complément des aspects traités antérieurement, les besoins de modélisation en matière de ventilation performante, et en matière de production d'électricité et de chaleur par micro-cogénération.

Elle a porté sur l'amélioration de l'outil de calcul par l'intégration au modèle de bâtiment, d'un système de chauffage aéraulique couplé à un ballon de stockage et à une unité de micro-cogénération. Cette phase a nécessité la mise en œuvre d'un banc d'essai pour la caractérisation du comportement d'une unité de micro-cogénération à bois et la modélisation d'un ensemble de circuits d'eau couplant les différents éléments.

En complément de cette étude, l'utilisation de l'outil pour la simulation de bâtiments et la réalisation de bilans. Trois cas de figures ont été étudiés : deux maisons jumelles passives, une maison individuelle réhabilitée, un bâtiment de logement collectif rénové, chacun s'appuyant sur un bâtiment existant, amélioré en vue de rendre son bilan énergétique positif. Les simulations ont permis d'en déduire les bilans énergétiques et environnementaux correspondants.

Jean-Marc Zraggen ; « Bâtiments résidentiels locatifs à haute performance énergétique: objectifs et réalités » ; Thèse doctorat en sciences, mention interdisciplinaire ; 2010 ; Université de GENÈVE faculté des sciences.

Ce travail apporte des éléments de réponse à des questions sur l'efficacité énergétique et leur coût ainsi que la performance de ces bâtiments par rapport aux constructions traditionnelles par une analyse approfondie d'un complexe de logements Minergie situé dans le quartier du Pommier à Genève. Nous avons instrumenté en profondeur un des bâtiments et mesuré pendant quatre ans tous les flux énergétiques ainsi que les conditions météorologiques in-situ.

Une analyse énergétique et économique des solutions d'efficacité énergétique mises en œuvre dans ces bâtiments a été réalisée. Ces résultats ont ensuite été mis en perspective avec

une analyse de plusieurs indicateurs pertinents menée sur une dizaine de bâtiments similaires de construction traditionnelle.

Ce travail est organisé en deux parties. La première partie analyse en profondeur la performance énergétique et économique d'un des trois bâtiments du complexe du Pommier. Puis, dans la seconde partie, ces résultats sont mis en perspective par rapport à la performance de neuf autres bâtiments de logements de taille similaire

II.1. La situation géographique de la ville de Souidania :

La maison étudiée est située à Alger dans la commune de Souidania dont les coordonnées géographiques sont les suivantes: Latitude 36,833 36° 49'N ; Longitude 3 3° 0'E.



Figure II.1 : la situation géographique de Souidania

II.2. Présentation du modèle étudié :

Une maison individuelle composée de trois chambres, un séjour, une buanderie et un garage, elle est construite avec des matériaux locaux (figure).

Le volume de chaque pièce est :

Chambre1 = 45.1 m³ Séjour = 179.7 m³

Chambre2 = 43.1 m³ Buanderie = 24 m³

Chambre3 = 35.8 m³ Garage = 61.4 m³

WC = 6.3 m³ SDB = 26.6 m³

La surface totale est environ 100 m²



Figure II.2 : vue d'extérieure en 3D de la maison étudiée

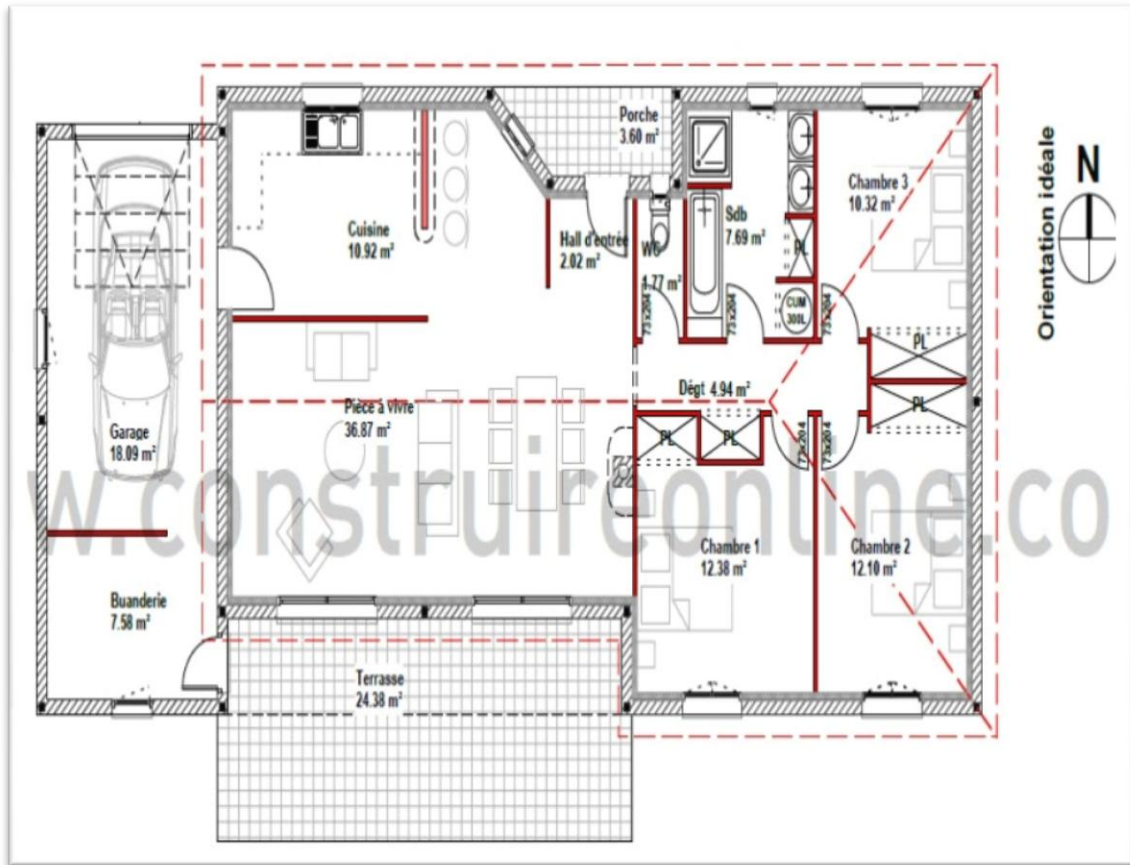


Figure II.3 : Plan de masse de la maison étudiée

Coupe A-A

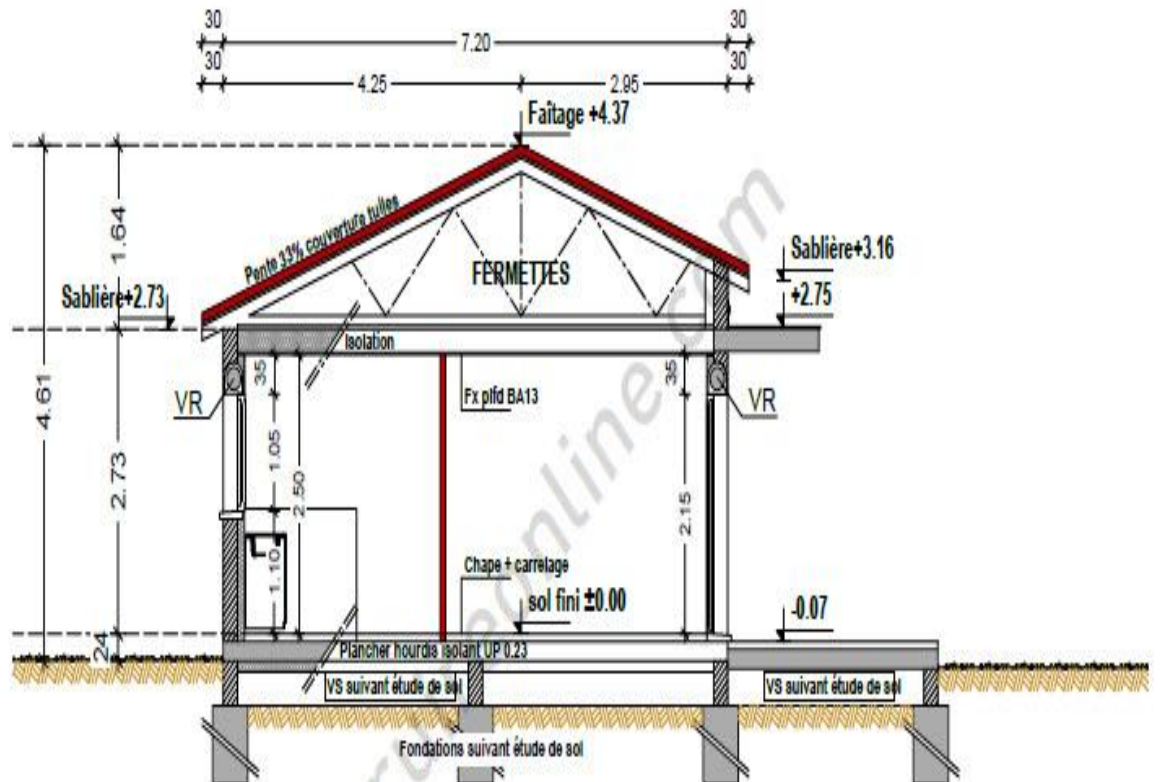


Figure II.4 : une coupe A-A de la maison étudiée

II.3.Détails des parois de l'enveloppe de l'habitat étudié et calcul des résistances thermiques :

Les parois constituant l'enveloppe de l'habitat sont détaillées comme suit, sous forme de tableaux et les résistances thermiques respectives sont calculées.

Les coefficients de transmission thermique U sont déduits par la suite pour chaque paroi

Les caractéristiques des parois du local sont les suivantes :

Tableau II.1: caractéristiques du mur extérieur

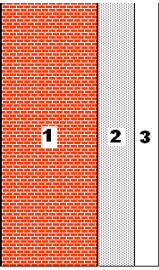
Désignation et représentation	Couche	Épaisseur [m]	λ [W/m.°C]	R [m ² . °C/W]
	1/he			0,06
	Enduit extérieur	0,01	1,15	0,01
	Brique creuse de 10	0,10	0,48	0,21
	Polystyrène expansée	0,08	0,04	2,05
	Brique creuse de 10 c	0,10	0,48	0,21
	Placoplâtre BA13	0,013	0,32	0,04
	1/hi			0,110
				R = 2,69

Tableau II.2: caractéristiques du mur intérieur

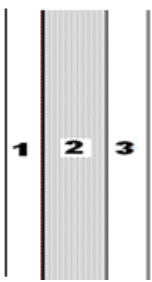
Désignation et représentation	Couche	Epaisseur [m]	λ [W/m.°C]	R [m ² . °C/W]
Mur intérieur 	1/he			0,110
	Placoplatre BA13	0,013	0,32	0,04
	Laine de roche	0,08	0,04	1,95
	Placoplatre BA13	0,013	0,32	0,04
	1/hi			0,110
				R = 2.25

Tableau II.3: caractéristiques du plancher Bas

Désignation et représentation	Couche	Epaisseur [m]	λ [W/m. °C]	R [m ² . °C/W]
Plancher Bas	1/hi			0,06
	Polystyrène expansée	0,08	0,04	2.05
	Hourdis en béton de 16	0,16	1,23	0,13
	béton lourd	0,04	1.75	0,02
	Mortier	0,04	1.75	0.03
	Carrelage	0,01	1.70	0,01
				R=2.3

Tableau II.4: caractéristiques de la toiture rampante

Désignation et représentation	Couche	Epaisseur [m]	λ [W/m. °C]	R [m ² . °C/W]
Toiture rampante	1/he			0,06
	Terre cuite	0.01	1.15	0.01
	Lame d'air	0.0115	0.09	0.16
	Laine de chanvre	0,20	0.04	5.13
	Placoplatre BA13	0,013	0.31	0.04
	1/hi			0.110
				R = 5.34

II.4. Données climatiques :

Les données climatiques sont aussi caractérisées par leur fiabilité. La notion de source de la base de données climatique utilisée est cruciale. De nombreuses bases de données par pays existent. Parmi les sources de données internationales considérées comme fiables, on peut citer **IWEC (International Weather for Energy Calculations)** ou **SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment)**. La base de données suisse METEONORM, basée sur 8 000 stations réparties sur la planète, représente une bonne compilation de données météo.

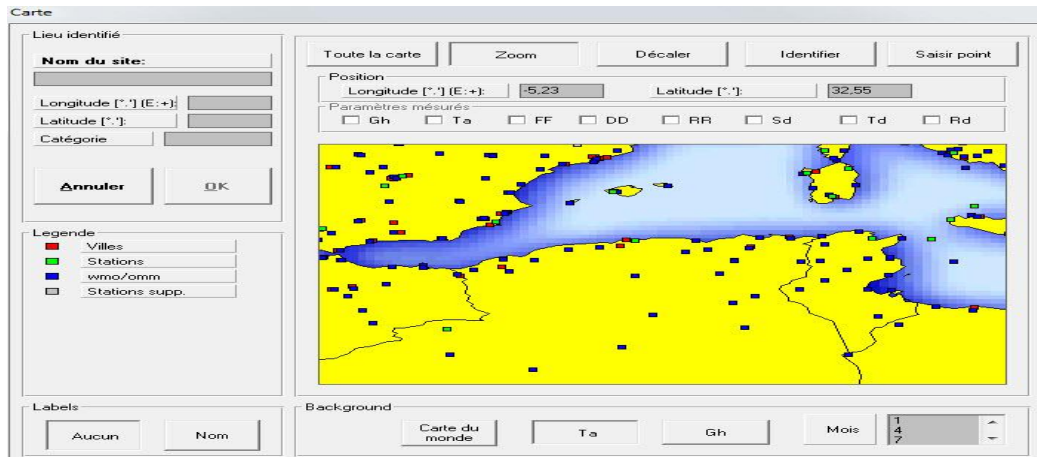


Figure II.5 : carte des stations météorologiques

Le plus souvent, les sources de données météo se distingueront plus par la façon dont le rayonnement solaire est modélisé que par les DJU (Degrés Jour Unifiés). Ces derniers présentent en effet généralement une bonne homogénéité entre les divers formats de données [20].

Les données sont disponibles sous forme de séries horaires, quotidiennes, mensuelles et annuelles et présentent diverses statistiques utiles pour caractériser le climat. Les données climatiques peuvent être présentées sous diverses formes dont les plus classiques sont :

- Tableau
- Histogramme
- Diagramme chronologique (graphique) / Courbes de fréquences cumulées.

Tableau II.5 : données climatiques

Mois	Ta	Ta min	Ta dmin	Ta dmax	Ta max	RH
Janv.	9,6	-1,8	4,0	15,4	22,0	84
Fév.	10,7	-1,0	4,2	16,7	24,3	81
Mars	12,4	0,3	5,6	18,9	27,2	78
Avr.	14,8	1,9	7,6	20,8	27,2	75
Mai	18,0	5,5	11,7	23,5	29,9	74
Juin	21,6	9,5	14,7	26,7	31,7	70
Juil.	24,6	13,6	18,0	30,4	37,9	69
Août	24,9	14,6	18,5	30,5	36,2	71
Sept.	22,4	10,8	16,1	27,6	34,4	75
Oct.	18,4	7,3	12,2	24,1	31,6	77
Nov.	14,1	1,6	8,4	19,5	28,0	80
Déc.	10,6	-0,3	4,7	16,4	22,9	84
Année	16,8					76

Mois	H_Gh	SDm	SDd	SD astr.	RR	RD	FF	DD
Janv.	65	142	4,6	9,8	80	9	1,4	248
Fév.	85	154	5,5	10,7	82	8	1,2	270
Mars	127	195	6,3	11,8	73	7	1,1	270
Avr.	161	221	7,4	13,0	61	6	1,7	270
Mai	196	277	8,9	14,0	40	5	1,7	270
Juin	204	303	10,1	14,5	17	3	2,0	68
Juil.	227	350	11,3	14,3	5	2	1,8	68
Août	193	324	10,5	13,4	7	2	1,6	68
Sept.	153	254	8,5	12,3	34	3	1,7	68
Oct.	107	213	6,9	11,1	76	6	1,0	270
Nov.	71	169	5,6	10,0	96	7	1,5	270
Déc.	65	143	4,6	9,5	115	9	1,3	270
Année	1651	2744	7,4		686	67	1,5	291

Légende:

Ta:	Temp. de l'air	RH:	Humidité relative
Ta min:	10 a. minimum (approx.)	Ta max:	10 a. maximum (approx.)
Ta dmin:	Moyenne minimum journ. Ta	Ta dmax:	Moyenne maximum journ. Ta
SD:	Durée d'insolation	RR:	Précipitations
RD:	Jours avec precipitation	FF:	Vitesse du vent
SD astr.:	Durée d'insolation, astronomique	DD:	Direction du vent
H_Gh:	Irradiation du rayonnement global horizontal		

Température en [°C]
 Vitesse du vent en [m/s]
 Durée d'insolation en [h/jour]
 Rayonnement en [kWh/m²]
 Paramètres mesurés = Gh, Ta, FF, DD, RR, Td

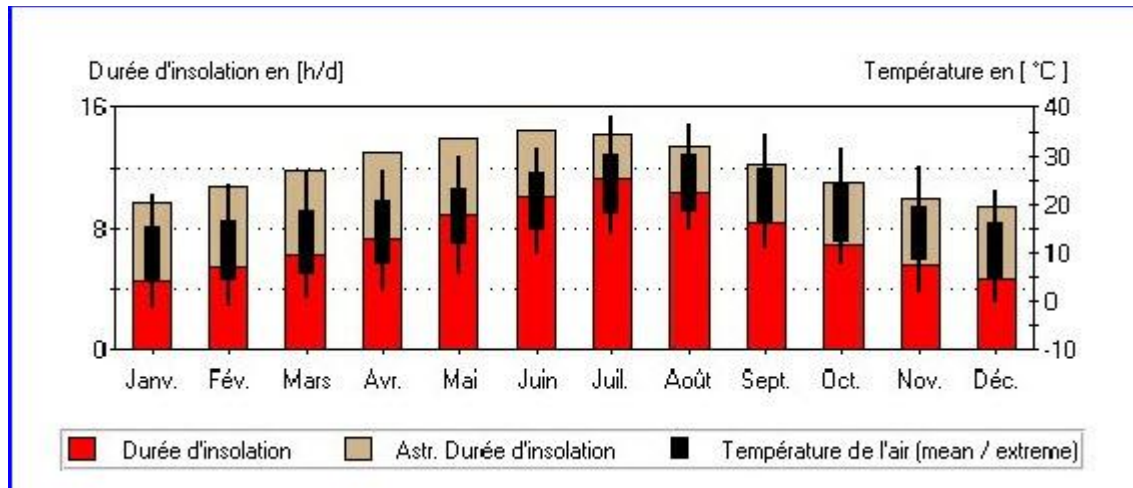


Figure II.6 : valeurs mensuelles de la durée d'insolations.



Figure II.7 : valeurs mensuelles de précipitations

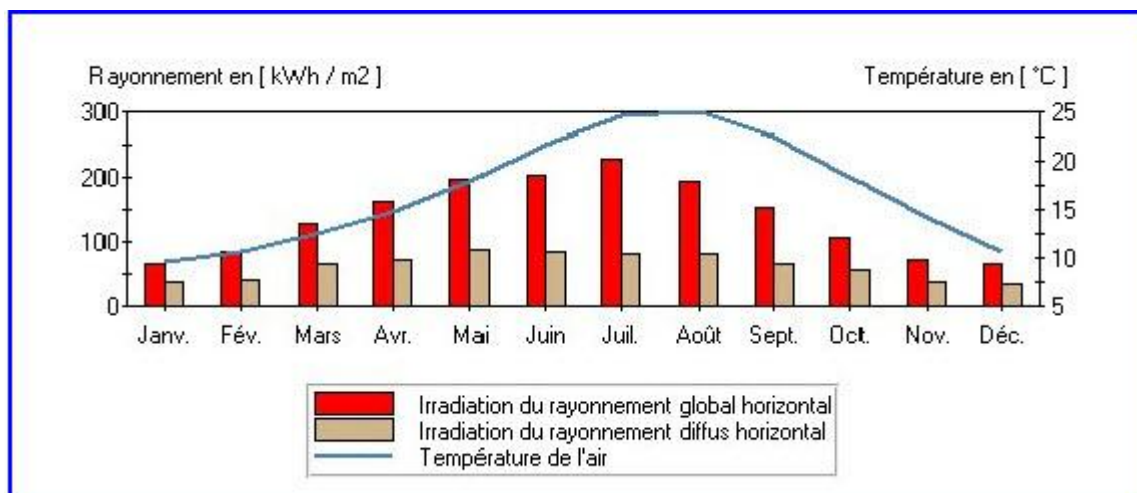


Figure II.8 : valeurs mensuelles de rayonnement

Moyennes journ. du rayonnement global

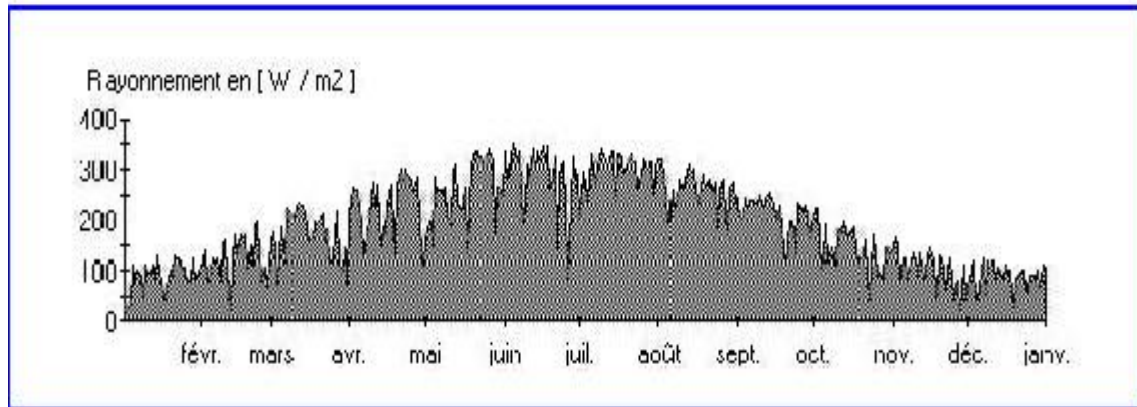


Figure II.9 : valeurs annuelles de rayonnement

Valeurs journ. de la température (moyenne, min. et max.)

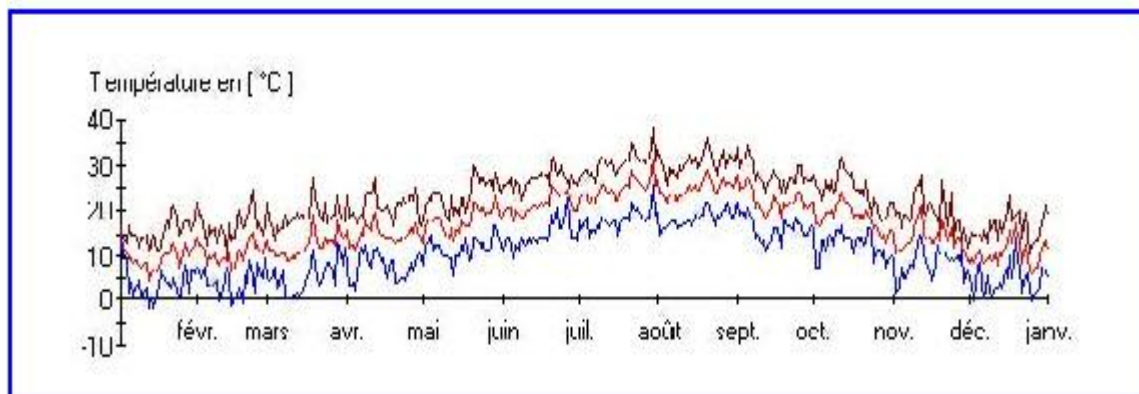


Figure II.10 : valeurs annuelles de température.

Afin de limiter les coûts d'acquisition de ce type de données, on utilise couramment le logiciel METEOCALC qui permet de reconstituer ces informations à partir des synthèses mensuelles fournies par Météo France. Cette méthodologie a été retenue pour approcher le contexte climatique moyen représentatif de la période actuelle 1999 – 2008.

Détermination des données météorologiques Il n'y a pas de conception dite bioclimatique sans une connaissance rigoureuse des données climatiques locales du projet considéré. Le degré de caractérisation locale d'un climat peut varier en subtilité, selon le zonage climatique et le nombre de stations de mesures disponibles dans un pays donné.

Il s'agit de bien connaître l'évolution des données classiques de température sèche de l'air, de l'humidité et donc des variables associées importantes comme la température humide ou la température de rosée, la vitesse et direction du vent, le rayonnement solaire direct et diffus et la

pluviométrie. De plus, indirectement défini par les variables décrites ci-dessus, la température du sol au contact du bâtiment est également une condition limite importante à estimer correctement. Enfin, en parallèle des données de rayonnement solaire, les données de luminosité extérieure sont également importantes pour évaluer l'éclairage naturel dans les locaux.

Introduction

*"Le confort est un enjeu.
Moins un enjeu de convoitise
pour ceux qui aspirent au confort,
qu'un enjeu dans une société prise
entre une civilisation de l'être
et une civilisation de l'avoir."*

L'épuisement annoncé des ressources d'énergie d'origine fossile et plus préoccupant encore le réchauffement climatique de la planète du aux gaz à effet de serre ont conduit la communauté internationale à promouvoir des politiques de développement durable. Le protocole de Kyoto sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre va dans ce sens. Dans ce contexte, le secteur du bâtiment, très énergétivore, mobilise des programmes de recherche importants visant à réduire son impact environnemental dans le cadre d'une politique de développement durable. Au niveau européen, des labels définissent des cahiers des charges pour la construction de bâtiments à haute performance énergétique. A moyen terme il est possible d'envisager la réalisation de bâtiments à énergie positive, c'est à dire qui sur un bilan annuel produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment.

L'étude thermique des bâtiments a longtemps reposé sur une modélisation statique des phénomènes. Dans un contexte énergétique mondial tendu, la réalisation de bâtiments énergétiquement performants est un enjeu majeur des prochaines décennies, pour réussir à relâcher la pression qui pèse sur l'énergie et le climat. Or, le comportement thermique du bâtiment met en jeu de nombreux phénomènes physiques dynamiques dont certains effets, négligeables dans un bâtiment traditionnel, deviennent déterminants dans un bâtiment très isolé. C'est pourquoi, la simulation thermique dynamique est aujourd'hui un outil incontournable pour la recherche, le développement et la conception de bâtiments peu consommateurs d'énergie.

Dans ce chapitre, nous allons présenter le logiciel d'étude, faire un modèle du logement, rentrer le fichier de donnée météorologique, intégrer le concept proposé et les scénarios de fonctionnements.

Les outils de simulations énergétiques permettent la simulation du comportement thermique d'un bâtiment, en lien éventuel avec les questions de confort acoustique et d'éclairage.

De tels outils calculent les besoins énergétiques nécessaires au maintien du confort thermique (chauffage, rafraîchissement), voire l'ensemble des besoins énergétiques. Au-delà

de l'aspect énergétique, certains logiciels évaluent les impacts environnementaux liés au bâtiment sur la totalité de son cycle de vie.

III.1. Présentation des modélisations réalisées :

La base de réflexion de ce travail de fin d'études a été la modélisation de systèmes de rafraîchissement sur un bâtiment d'étude. Il a donc fallu faire le choix des logiciels testés, du bâtiment à modéliser et des critères d'évaluation des systèmes.

III.1.1. Logiciels testés :

Le choix des logiciels testés devait se faire parmi les logiciels couramment utilisés par les bureaux d'études et les architectes. Un des objectifs de ce travail de fin d'études était en effet d'évaluer les capacités de ce type de logiciels.

Le choix des logiciels s'est donc porté vers **Pleiades+Comfie** et **TRNSYS**, deux logiciels permettant d'effectuer des calculs dynamiques. Ils n'utilisent pas directement des équations de la mécanique des flux, mais des équations simplifiées qui permettent de réduire considérablement les temps de calcul.

Pleiades+Comfie est un logiciel qui a été développé à la fin des années 80 par l'école des Mines de Paris par *Peu portier* et *Blanc Sommer eux* pour faire face aux besoins de modélisation. L'interface utilisateur a été réalisée par la société *Gefosat*, et aujourd'hui mise à jour en suivant l'évolution du logiciel par la même société renommée ***Izuba Energies***. Pleiades correspond en fait à l'interface utilisateur et Comfie au moteur de calcul. Nous utiliserons parfois au cours de ce rapport simplement l'appellation Pleiades pour le logiciel mais il s'agira bien évidemment de Pleiades + Comfie. C'est un logiciel assez répandu puisqu'en 2009, 700 licences étaient délivrées.

Notons également que ces deux logiciels sont mis à jour régulièrement, notamment avec l'insertion de nouveaux modules. Le développement de ces logiciels ne se fait généralement que lorsque des thésards peuvent y travailler ou lorsque des investisseurs privés peuvent financer la recherche.

Pleiades + Comfie est intégré à un ensemble de logiciel interfacé complet facilitant la saisie rapide de toutes les caractéristiques du bâtiment, de ses équipements et de ses scénarios de fonctionnement, d'une part, et chaîné à un calcul d'analyse de cycle de vie du bâtiment, d'autre part.

III.1.2. Présentation générale de l'outil de simulation « le logiciel PLEIADES + COMFIE » :

➤ Pourquoi la simulation thermique dynamique ?

La simulation thermique dynamique simule au pas de temps horaire le métabolisme du bâtiment en fonction de la météo, de l'occupation des locaux,...

Au final, on accède aux températures, aux besoins de chauffage/climatisation, aux apports solaires...heure par heure dans les différentes zones prédéfinies du bâtiment. La STD permet de prendre en compte l'inertie thermique du bâtiment, les ponts thermiques, le comportement des usagers, la stratégie de régulation et de mener les études de sensibilités afférentes. La STD permet donc d'identifier et de quantifier l'impact des différentes fuites énergétiques (ponts thermiques, infiltration, ventilation...) afin de valider les concepts et solutions techniques retenues.

➤ Une analyse pertinente

Une STD est nécessaire en phase de conception d'un projet de construction, afin de valider les objectifs de faible consommation. Elle l'est aussi dans l'existant quand il s'agit d'établir une stratégie de rénovation. Dans ce dernier cas, on réalise une série de STD pour tester différentes solutions techniques à tout niveau (enveloppe, ventilation, chauffage, vitrage, équipement...) [21].

On peut trouver l'optimum entre performances et retour sur investissement, et établir une stratégie de rénovation énergétique permettant d'atteindre la performance énergétique avec un temps de retour minimal.

➤ Pleiades + Comfie

Le logiciel Pleiades + Comfie est développé par le Centre d'énergétique de l'Ecole des Mines de Paris, il intègre plusieurs bibliothèques de données thermiques sur les matériaux et les éléments constructifs, les menuiseries, les états de surface, les albédos et les écrans végétaux.

Le logiciel comprend aussi des bibliothèques de modes de gestion du bâtiment étudié selon un scénario horaire pour une semaine-type (occupation, apports internes, températures de consigne de chauffage ou de climatisation, gestion des occultations).

Chaque ouverture vitrée peut être affectée d'un masque intégré à la construction (évent, brise-soleil etc.). Les masques lointains (relief, autres bâtiments), les obstacles à

l'ensoleillement à proximité de chaque paroi (arbre, masques architecturaux) sont également pris en compte.

Le logiciel de simulation thermique utilisé par IZUBA Energies, Pléiade Comfie, nécessite, comme données d'entrées météorologiques, les valeurs horaires des températures et du rayonnement [22].

➤ L'interface Pléiades+ Comfie

Les ventilations extérieures sont définies pour chaque zone par un scénario hebdomadaire et horaire. Il est également possible de prendre en compte différents types de ventilation interne entre les pièces : ouverture de porte avec indication de la fréquence d'ouverture ou d'une régulation, orifices de ventilation, ventilation mécanique inter zones, mur Trombe.

Les zones peuvent être à évolution libre (température flottante), ou bien thermo-statées (avec une consigne de chauffage et une consigne de climatisation hebdomadaire et horaire). Dans ce dernier cas les puissances de chauffe et de rafraîchissement nécessaires pour maintenir la température souhaitée sont calculées à chaque pas de la simulation. Pour chaque zone, il est aussi possible de définir la puissance de l'équipement de chauffage et de refroidissement, l'efficacité de l'échangeur récupérateur (en ventilation double flux) et la position du thermostat (qui peut être dans une autre zone).

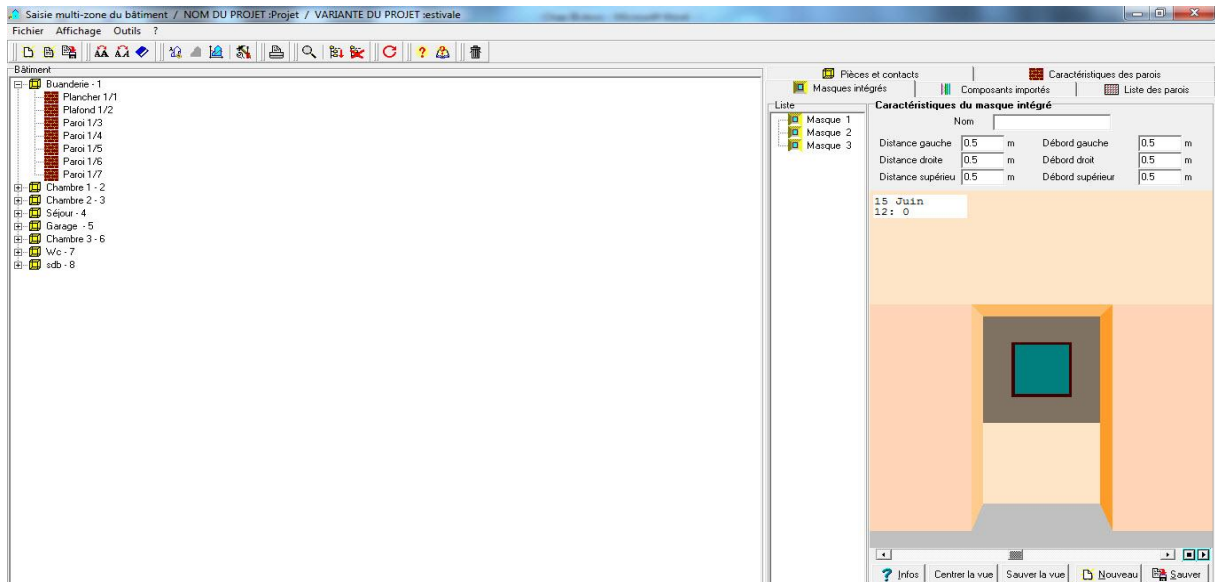


Figure III.1 : interface de pléiade

III.2. Bâtiment modélisé et son comportement de référence :

On travaille sur l'optimisation du fonctionnement et le concept d'une maison pour des familles dont l'évolution de la maison serait conjointe à celle de la taille de la famille (5 personnes).

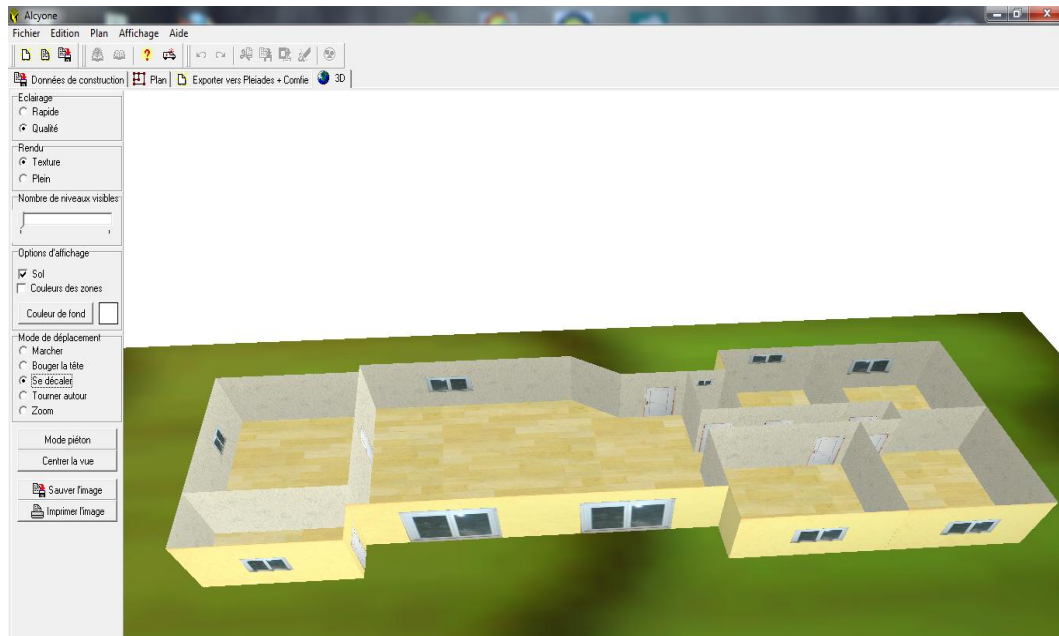


Figure III.2 : Le plan en 3D sur ALCYONE

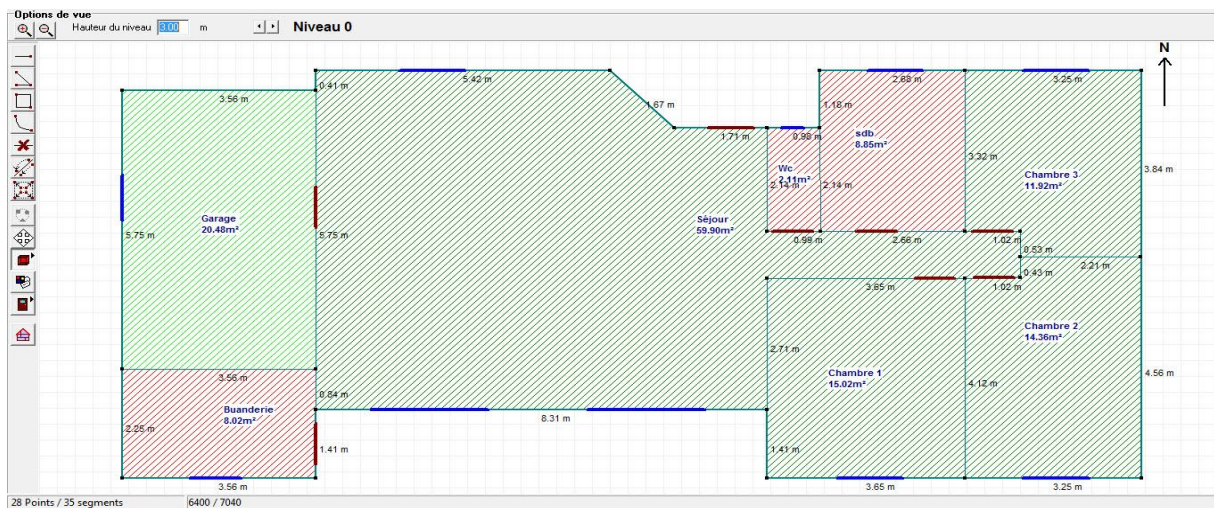


Figure III.3 : Le plan en 2 D sur ALCYONE

Trois zones ont été définies : le séjour et les 3 chambres considérées comme la zone de confort (La cuisine se trouve dans le séjour et elle n'est pas séparée par des parois), la salle de bain, WC, garage et buanderie. Ce découpage permet d'associer à chaque zone une température de consigne, un scénario d'occupation, une puissance dissipée et un scénario de ventilation.

Afin de rendre cette maison performante, les choix constructifs suivants ont été faits (chapitre II)

Pour les menuiseries, nous avons fait le choix d'une menuiserie performants avec les caractéristiques suivantes :

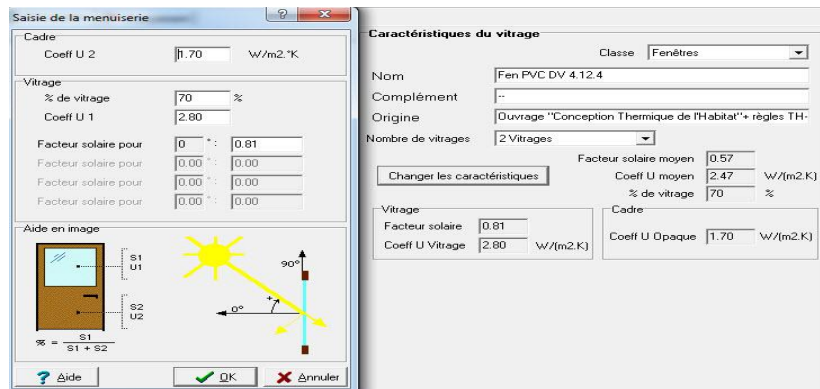


Figure III.4 : Les fenêtres

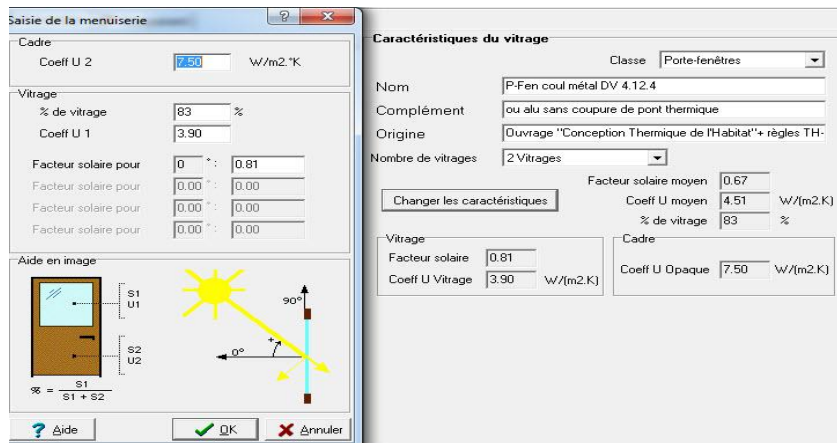


Figure III.5 : La porte de fenêtre

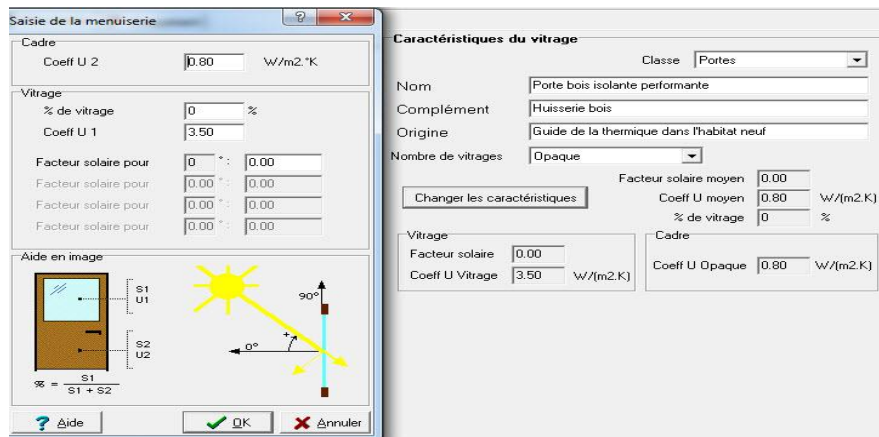


Figure III.6 : Les portes

Les ouvertures sur la façade sud correspondant à 76 % des ouvertures.

III.3. Température de consigne :

III.3.1. Consigne de chauffage :

La température de consigne de chauffage correspond à la température minimale acceptable dans le bâtiment : elle a été fixée à 20°C

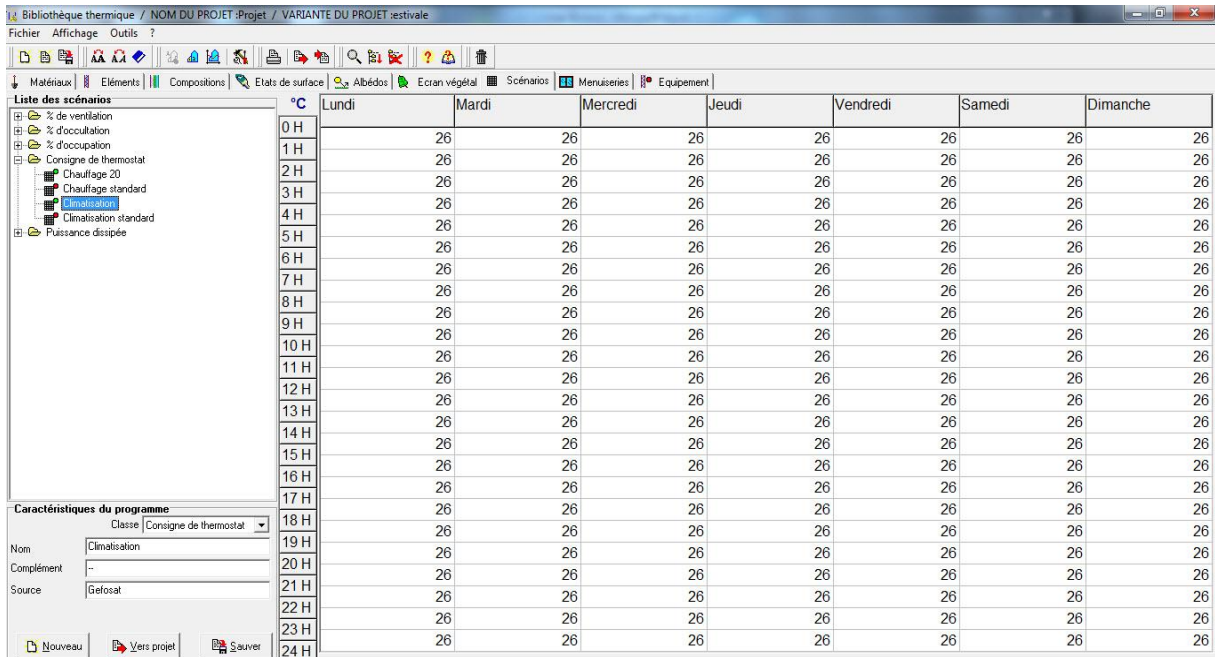
Tableau III.1 : scénario de consigne de thermostat de chauffage

Bibliothèque thermique / NOM DU PROJET.Projet / VARIANTE DU PROJET.estivale							
Fichier Affichage Outils ?							
Matériaux Eléments Compositions Etats de surface Albédo Ecran végétal Scénarios Menuiseries Equipement							
°C	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H		20	20	20	20	20	20
1 H		20	20	20	20	20	20
2 H		20	20	20	20	20	20
3 H		20	20	20	20	20	20
4 H		20	20	20	20	20	20
5 H		20	20	20	20	20	20
6 H		20	20	20	20	20	20
7 H		20	20	20	20	20	20
8 H		20	20	20	20	20	20
9 H		20	20	20	20	20	20
10 H		20	20	20	20	20	20
11 H		20	20	20	20	20	20
12 H		20	20	20	20	20	20
13 H		20	20	20	20	20	20
14 H		20	20	20	20	20	20
15 H		20	20	20	20	20	20
16 H		20	20	20	20	20	20
17 H		20	20	20	20	20	20
18 H		20	20	20	20	20	20
19 H		20	20	20	20	20	20
20 H		20	20	20	20	20	20
21 H		20	20	20	20	20	20
22 H		20	20	20	20	20	20
23 H		20	20	20	20	20	20
24 H		20	20	20	20	20	20

III.3.2. Consigne de rafraîchissement :

La température de consigne de rafraîchissement correspond à la température maximale acceptable : elle a été fixée à 26°C

Tableau III.2 : scénario de consigne de thermostat de rafraîchissement



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

III.3.3. Scénario de ventilation :

La ventilation naturelle est une stratégie passive, sans moyen mécanique, de maintenir un environnement intérieur confortable. Un des moyens déjà utilisés auparavant dans l'architecture traditionnelle exploitée sous plusieurs formes et sur plusieurs plans. Les systèmes de ventilation doivent satisfaire des exigences d'hygiène, de confort, de respect de l'environnement et d'économie d'énergie.

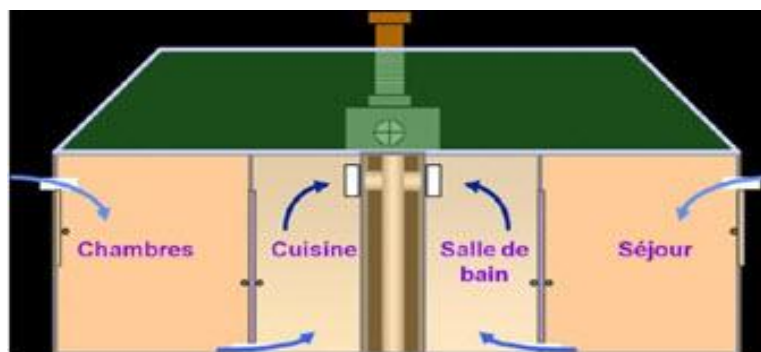


Figure III.7 : ventilation naturelle.

III.3.3.1 Les taux de renouvellement d'air :

Il existe plusieurs références dans le monde en termes de normes relatives à la ventilation des logements, et plus particulièrement aux taux de renouvellement d'air (extraction et admission), qui est la priorité principale des textes de loi qui régissent la ventilation des édifices de par le monde. Mais ces dernières années, avec les enjeux de l'efficacité énergétique et de la durabilité, de nouveaux paramètres sont pris en considération. Ainsi, chaque pays adapte ces normes à son contexte (économique, politique...). Nous allons survoler succinctement quelques lois qui constituent des références en la matière.

❖ La réglementation française :

La réglementation française a connu plusieurs évolutions à travers le temps depuis l'arrêté de 1964, mais l'arrêté du 24 mars 1982 reste toutefois la référence en termes de ventilation dans les logements en France et introduit la notion de débit d'extraction selon le nombre de pièces, dont l'article 01 stipule que :

- ✓ L'aération des logements doit pouvoir être générale et permanente au moins pendant la période où la température extérieure oblige à maintenir les fenêtres fermées.
- ✓ La circulation de l'air doit pouvoir se faire principalement par entrée d'air dans les pièces principales et sortie dans les pièces de service.
- ✓ L'air doit pouvoir circuler librement des pièces principales vers les pièces de service : le système de ventilation doit respecter le principe du balayage de l'air.

❖ Contexte international :

La réglementation en vigueur en France fortement marquée par la préoccupation d'économie d'énergie a conduit à des débits de renouvellement d'air bien inférieurs à ceux qui sont fixés dans d'autres pays comparables. Par ailleurs, ces exigences sont traditionnellement fondées sur la seule occupation des locaux et les pollutions liées à cette occupation.

L'évolution de l'ASHRAE (62.2 P) est significative quant à la prise en compte renforcée des pollutions liées au bâti. En logement, elle préconise, en effet, un double calcul du taux de renouvellement (n).

$$n \text{ (m3/h)} = 27 \times \text{nombre de personnes} + 0,36 \times \text{surface du logement} \text{ (ARENE, 2012)}$$

Sur cette base, on constate que le taux de renouvellement d'air est plus grand pour les grands logements que pour les petits.

France		GB		USA		Belgique	
RSDT 78		CIBSE		ASHRAE		NBN D50 001	
T1	T5	T1	T5	T1	T5	T1	T5
0,55	0,45	1	0,5	0,45	0,8	1,4	0,9

Taux de renouvellement d'air (vol/h) en logement (ARENE, 2012)

❖ **Contexte Algérien :**

En Algérie, la seule référence normative en matière de ventilation naturelle dans les logements est le document technique réglementaire **DTR C3.31** intitulé " **la ventilation naturelle dans les locaux à usage d'habitation** ". Il s'inscrit dans la mise en application de la **loi 99-09** du 28 juillet, relative à la maîtrise d'énergie dans le secteur du bâtiment concrétisée par la promulgation le 24 avril 2000 d'un décret exécutif **n°2000-90** portant sur la réglementation thermique dans les bâtiments neufs.

Ce **DTR** s'inscrit dans une série de trois DTR qui ont été élaborés par le Centre National de la Recherche de l'Industrie du Bâtiment (**CNERIB**) dans le but d'offrir aux professionnels du bâtiment, notamment les architectes, des guides pour approcher les objectifs de l'efficacité énergétique dans le bâtiment en Algérie.

Le **DTR C3.31** n'est destiné qu'aux constructions à usage d'habitation et a pour objet :

- ✓ Fournir les principes généraux à adopter lors de la conception des installations de ventilation naturelle.
- ✓ Fixer les méthodes de calcul permettant le dimensionnement de ces installations.
- ✓ Son contenu ne concerne pas les conduits de fumée d'évacuation des produits de combustion des appareils à gaz ainsi que les systèmes de désenfumages.



DTR C3.31

En plus du **DTR 3.31** Le **CNERIB** a élaboré deux autres DTR :

Le **DTR C 3-2** qui établit les règles de calcul des déperditions calorifiques d'hiver pour les bâtiments à usage d'habitation.

Le **DTR C 3 -4** relatifs aux règles de calcul des apports calorifiques d'été pour les bâtiments à usage d'habitation. Dans les 3 DTR, il existe des normes liées d'une manière directe ou indirecte avec la ventilation naturelle dans les logements.

À l'image de l'arrêté du 24 mars 1982 en France, le **DTR C3.31** fixe les débits d'air à extraire de chaque espace de services suivant le nombre des pièces, et nous relevons une similitude entre les chiffres donnés par les deux textes réglementaires. L'influence du modèle français dans le calcul des débits est très apparente dans le DTR C3.31, et cela malgré la présence de spécificités climatiques propre à l'Algérie telles que celles du climat semi-aride.

Débits extraits exprimés en m ³ /h				
Nombre de pièces principales du logement	Cuisine	Salle de bains ou de douches commune ou non avec cabinets d'aisances	Autre salle d'eau	Cabinet
				unique
1	75	15	15	15
2	90	15	15	15
3	105	30	15	15
4	120	30	15	30
5 et plus	135	30	15	30

Taux de renouvellement d'air (m³//h) en logement (CNERIB, 2006)

Dans les caractéristiques générales du système de ventilation énoncées dans ce DTR, il est recommandé que :

La ventilation doit pouvoir être permanente au moins pendant la période où la température extérieure oblige à maintenir les ouvrants fermés.

- Elle doit être :
 - ✓ Générale, le même air doit pouvoir servir à ventiler successivement plusieurs pièces contiguës, ou séparées seulement par des circulations.
 - ✓ Réduites en cas de nécessité (non-occupation des pièces par exemple).

Un enjeu de confort thermique

Le confort est un paramètre qui ne peut pas être quantifié directement, mais peut être apprécié à travers des indicateurs liés aux caractéristiques physiques de l'air ambiant dans une pièce d'habitation, et ce en fixant des seuils qui assurent un certain confort physiologique de l'homme. Ainsi, le confort thermique dépend principalement de la combinaison de plusieurs paramètres dynamiques : de l'humidité relative, de la qualité de l'air, de la vitesse et de la température de l'air ambiant et de la température de surfaces internes des parois.

Vitesse de l'air et confort thermique

L'expérience a montré que le mouvement de l'air, que ce soit un vent naturel ou généré par un ventilateur, a un impact direct sur le taux de refroidissement, celui-ci est proportionnel à la vitesse de l'air, car elle accélère les échanges de chaleur par convection et augmente l'évaporation à la surface de la peau.

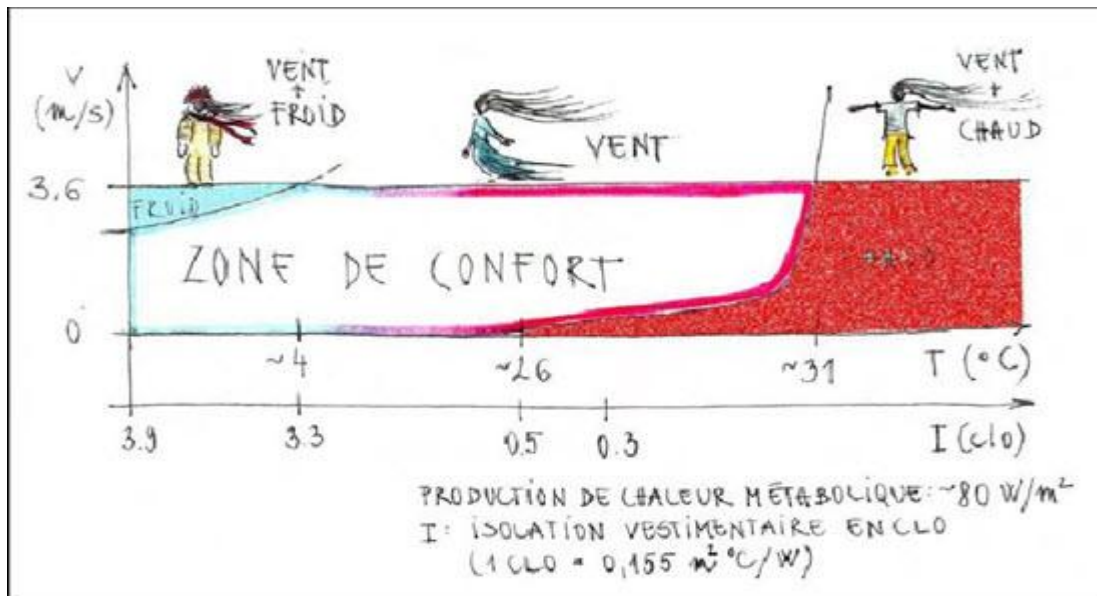
Dans différentes conditions, chaque plage de vitesses de l'air correspond à une réaction subjective de la part de l'homme (Szokolay, et al. 1997) :

- **0,25 m/s** inaperçu.
- **0,25-0,50** agréable.
- **0,50 à 1,00** circulation d'air ressentie.
- **1,00 à 1,50** courants d'air.
- **1,50** courant d'air désagréable.

Toutefois, ces réactions dépendent de la température de l'air ainsi que du niveau d'activité (taux du métabolisme **MET**) et de l'habillement (coefficient **CLO**).

La **figure 36** illustre la position de la zone de confort en fonction de la vitesse de l'air, de la température ambiante et du coefficient **CLO** avec un niveau d'activité fixé à **MET= 80 W/m²** (Szucs, et al, 2007).

Ainsi, on remarque qu'à une température avoisinante les **29°C** et avec un **CLO** de l'ordre de **0.1**, une vitesse de l'air de **3m/s** peut s'avérer agréable, car elle accélère le rafraîchissement ce qui compense l'inconfort lié à cette température quand la vitesse de l'air est faible (**> 1m/s**).



Zone de confort en fonction de la vitesse de l'air et de la température coefficient CLO
(Szucs, et al. 2007)

Cependant, hormis l'inconfort thermique, il faut prendre en considération les gênes mécaniques qui sont liées au type d'activité, ainsi une vitesse de l'air qui dépasse les 1,5m/s peut soulever des feuilles dans des espaces de bureaux, par conséquent la notion du confort aérothermique est complexe, et implique divers paramètres variables.

➤ **Principes de base**

Nous allons nous arrêter sur les trois principes de base de la mécanique des fluides suivants : le principe de continuité, le théorème de Bernoulli et l'effet thermosiphon. Dans le but de pouvoir par la suite de comprendre les différents phénomènes de l'écoulement d'air en architecture.

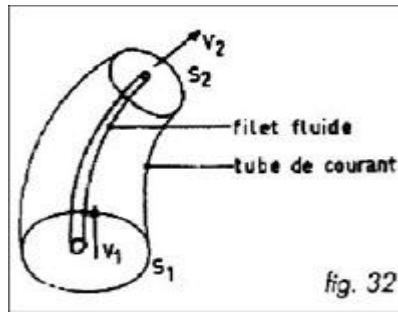
✓ **Principe de continuité**

Dans l'étude des écoulements d'air en architecture, la variation de la masse volumique de l'air est négligeable ainsi l'air est considéré comme un fluide incompressible (masse volumique ρ constante) (Chatelet, et al, 1994)

Ce qui implique que quand :

un écoulement d'air se déplace sous forme d'un tube de courant constitué d'un ensemble de filets de fluide, ce dernier se conserve suivant le **principe de continuité**, qui s'exprime par le maintien du débit volumique D_v constant tel que, si V est la vitesse et S est la section du tube du courant:

$$D_v = V_1 \cdot S_1 = V_2 \cdot S_2 = V \cdot S = \text{Cst} \quad (\text{Chatelet, et al., 1994})$$



Principe de continuité (Chatelet, et al. 1994)

✓ **Théorème de Bernoulli**

Selon le théorème de Bernoulli, l'énergie se conserve dans un fluide en mouvement, ce qui a donné l'équation finale suivante (écoulement de l'air sans frottement) (Chatelet, et al., 1994).

$$\rho \cdot (V^2 / 2) + p + \rho \cdot g \cdot z = Cst$$

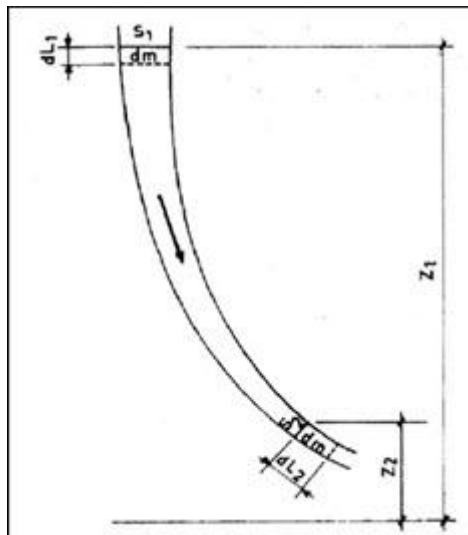
- ρ : masse volumique en kg/m³,

- V : vitesse de l'air en m/s

- g : gravité terrestre, 9,81 m/s²

- z : hauteur en mètre

- p : pression en pascal



Théorème de Bernoulli (Chatelet, et al., 1994)

On retrouve dans l'ordre des termes : l'énergie cinétique, l'énergie de pression et l'énergie potentielle. La somme des trois est une constante que l'on nomme **la charge d'un fluide**. Dans le cas où on considère qu'il y a frottement, alors :

$$\rho \cdot (V_1^2/2) + p_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 = \rho \cdot (V_2^2/2) + p_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + J \text{ (Chatelet, et al., 1994)}$$

J étant la perte de charge.

On retrouve deux sortes de pertes de charges : les pertes de charges linéiques (peu fréquentes dans le bâtiment) et les pertes de charges singulières (ouverture en chicane, rétrécissement des ouvertures, moucharabieh...) (Chatelet, et al. 1994).

✓ **Influence de la Vitesse de l'air sur la zone confort thermique**

Aucun mouvement d'air minimum n'est nécessaire pour assurer le confort thermique lorsque les températures se situent dans la zone de confort. La température opératoire peut, par contre, être augmentée jusqu'à 3 °C au-dessus de la zone de confort si la vitesse de l'air est accrue au-dessus de 0,2 m/s, cette dernière ne devrait pas excéder 0,8 m/s. Il est préférable que la vitesse et la direction de l'air soient contrôlées par l'occupant (Allard, 1998).

La figure « **Zone de confort en fonction de la vitesse de l'air** » montre que plus la vitesse de l'air est importante, plus la limite supérieure de la courbe d'iso-confort augmente vers des températures plus importantes, autrement dit, elle aide l'occupant à accepter un couplage Température d'air /Températures de surfaces plus élevé.

Plus la vitesse d'air augmente, plus les températures supportées augmentent. Il faut cependant observer que ce phénomène s'interrompt à 32°C pour la température d'air et à 30°C pour les températures de surfaces. Au-delà de ces températures, le soufflage d'air a d'abord un effet neutre puis aggrave *la sensation d'inconfort* (« *effet de sèche-cheveux* ») (Izard, 2006).

- **Calcul des débits d'air nécessaires :**

Une personne typique transpire environ 72 g d'eau par heure [23].

$$\text{Débit nécessaire} = \frac{72}{R_{int} - R_{ext}}$$

Les masses volumiques de l'air intérieur sont calculé à partir des volumes spécifiques de chaque cas.

Pour les pressions, on a pris une pression moyenne pour chaque saison.

Pour les différents calculs on prend le Diagramme psychométrique au-dessous

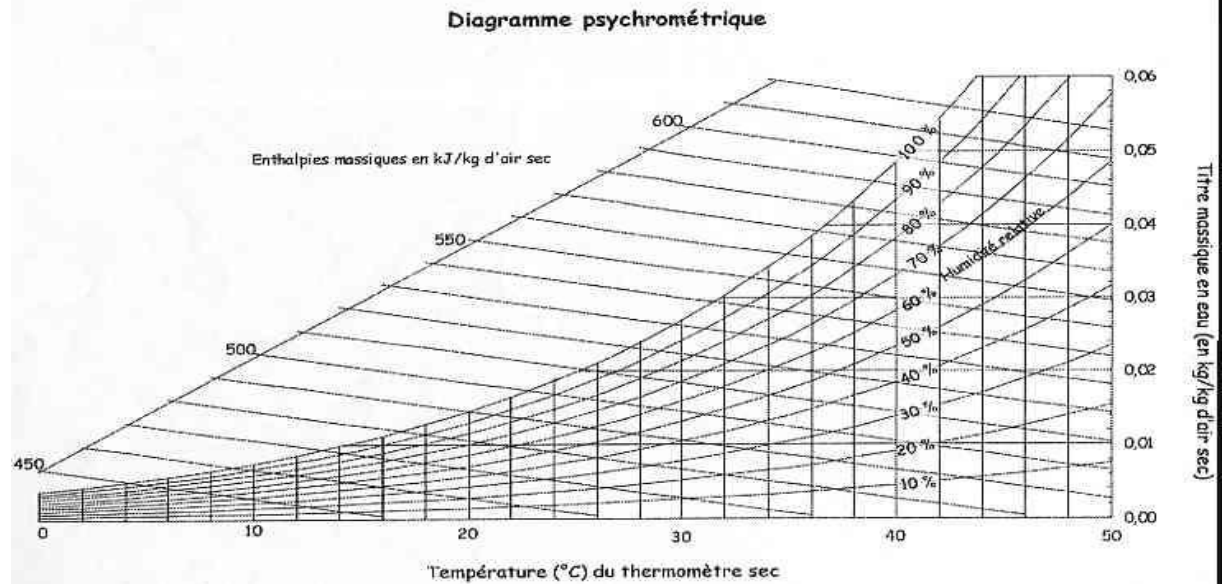


Figure III.8 : Diagramme psychrométrique

Définir le débit Minimal de la zone de confort (Chambres + Séjour):

On peut définir les humidités absolues pour calculer la gamme de débits nécessaire dans les deux périodes de l'année :

- a) *Période hivernal :*
- b) Les conditions de base extérieures :

Température sèche de l'air extérieure : $T_{\text{ext}} = 9.6^{\circ}\text{C}$.

L'humidité relative : $\phi = 84 \%$.

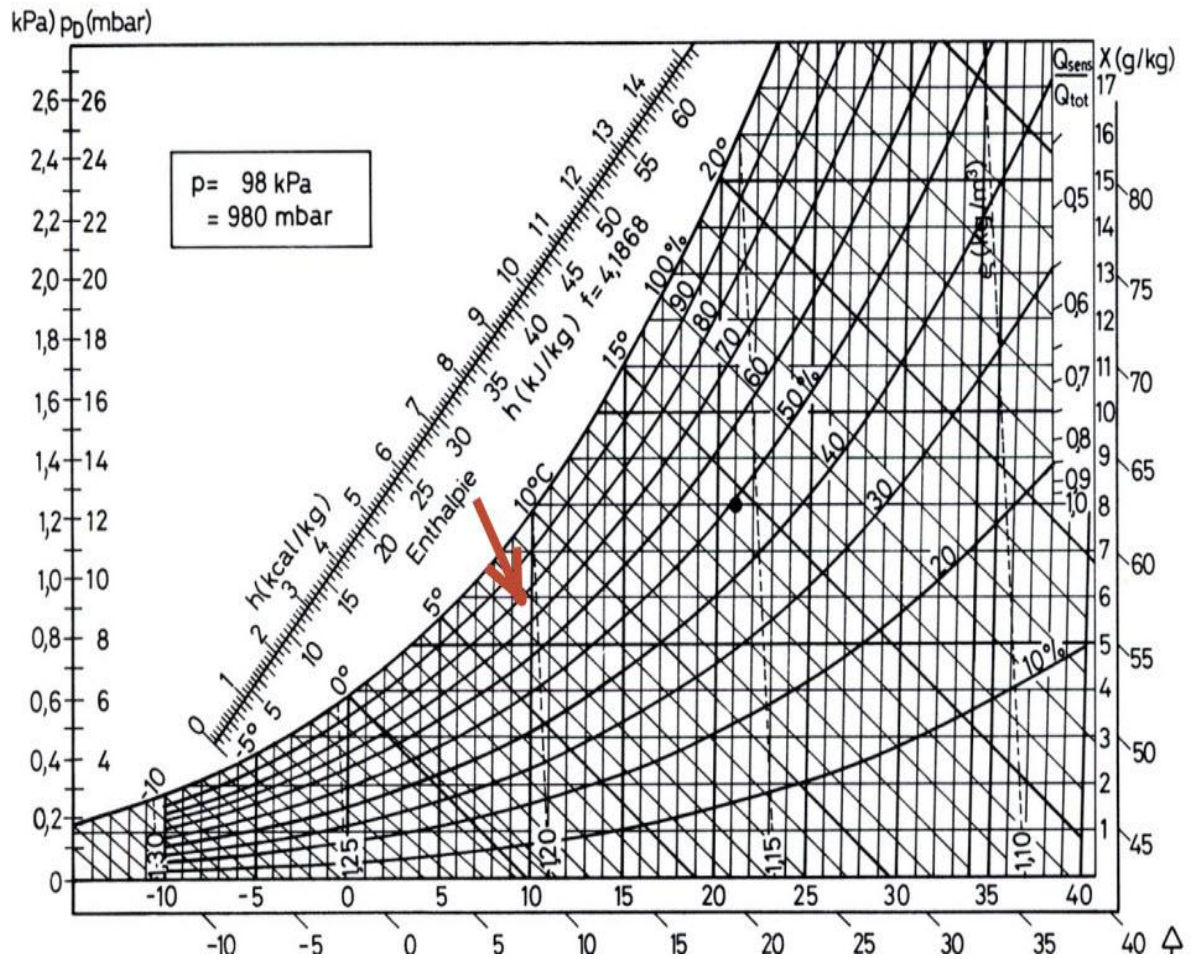


Figure III.9 : Diagramme de l'air

L'humidité absolue

$$R_{ext} = 6 \text{ g /kg}$$

Les conditions de base intérieures :

Température sèche de l'air intérieur $T_{int} = 20 \text{ °C}$

L'humidité relative : $\phi = 50\%$

$$R_{int} = 8.22 \text{ g/kg}$$

$$Q_m = \frac{72}{8.22 - 6} = 32.43 \text{ kg/h}$$

$$Q_m = 32.43 \text{ kg/h.}$$

La masse volumique de l'air : $\rho = \frac{Qm}{Qv} \implies Qv = \frac{Qm}{\rho}$

Avec $\rho = 1.18 \text{kg/m}^3$

On trouve

$$Qv = 27.48 \text{ m}^3/\text{h}$$

On a 5 personnes donc le débit total sera égale à

$$Qv t = 137.4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Si le volume de la zone de confort (séjour + chambre 1 + chambre 2 + chambre 3) est égal à $v = 272.9 \text{m}^3$

En volume total le débit va être égal à

$$0.50 \text{ vol/h}$$

Ventilation d'été

Pour le débit de ventilation d'été, une étude faite par Dr.R.Kharchi et Dr. K.Imessad intitulé « *PASSIVE COOLING OF HOUSING BY NATURAL VENTILATION* » sur la maison prototype de centre de recherche **CNERIB**.

L'étude montre que si les fenêtres sont complètement ouvertes le débit de ventilation sera :

$$0.80 \text{ vol/h}$$

Tableau III.3 : scénario de ventilation d'été

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H							
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	50	50	50	50	100	100	50
8 H	50	50	50	50	100	100	50
9 H	50	50	50	50	100	100	50
10 H	50	50	50	50	100	100	50
11 H	50	50	50	50	100	100	50
12 H	50	50	50	50	100	100	50
13 H	50	50	50	50	100	100	50
14 H	50	50	50	50	100	100	50
15 H	50	50	50	50	100	100	50
16 H	50	50	50	50	100	100	50
17 H	50	50	50	50	100	100	50
18 H	50	50	50	50	100	100	50
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

III.3.4. Les scénarios d'occupation :

III.3.4.1. Zone de confort (Séjour + les chambres) :

Nous avons supposé que la maison était occupée par une famille de 5 personnes. Les déjeuners sont pris à la maison pendant la toute semaine sauf le vendredi.

De 7 h à 11h du matin la maison sera occupée par 2 personnes, Les chambres sont occupées la nuit, le week-end (vendredi) la maison serais vide à partir de 9 h de matin jusqu'au 18h.

Tableau III.4 : scénarios d'occupation

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H							
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	40	40	40	40	100	100	40
8 H	40	40	40	40	100	100	40
9 H	40	40	40	40	0	100	40
10 H	40	40	40	40	0	100	40
11 H	40	40	40	40	0	100	40
12 H	40	40	40	40	0	100	40
13 H	100	100	100	100	0	100	100
14 H	40	40	40	40	0	100	40
15 H	40	40	40	40	0	100	40
16 H	40	40	40	40	0	100	40
17 H	80	80	80	80	0	100	80
18 H	80	80	80	80	0	100	80
19 H	80	80	80	80	0	100	80
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

III.3.4.2. Zone Buanderie + Garage + sdb+WC :

Dans la partie des scenarios les deux zones 1 et 2 sont considérées comme une seule zone et elle sera occupée durant le jour par une personne au minimum.

Tableau III.5 : scénario Zone Buanderie + Garage + sdb+wc

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H							
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							
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

III.3.4.3. Scénario de la puissance dissipée :

Zone de confort :

- 6 lampes (33 w pour chacune)
- 2 TV 2 démo
- 2 Pc

La somme de la puissance est estimée à 850 W.

Tableau III.6 : scénario de la puissance dissipée zone de confort

Watts	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H							
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	400	400	0
11 H	0	0	0	0	400	400	0
12 H	0	0	0	0	400	400	0
13 H	200	200	200	200	400	400	200
14 H	200	200	200	200	400	400	200
15 H	200	200	200	200	400	400	200
16 H	200	200	200	200	400	400	200
17 H	200	200	200	200	400	400	200
18 H	100	100	100	100	100	100	100
19 H	850	850	850	850	850	850	100
20 H	850	850	850	850	850	100	100
21 H	850	850	850	850	850	100	100
22 H	850	850	850	850	850	100	100
23 H	850	850	850	850	850	100	100
24 H	0	0	0	0	0	0	0

Zone II (buanderie + sdb + wc)

Une lampe est considérée allumée chaque heure

À la buanderie une machine à laver (200 W) est en marche chaque vendredi (9h – 12h) plus une lampe.

Tableau III.7 : scénario de la puissance dissipée Zone II (buanderie + garage + sdb + wc)

Watts	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	0	0	0	0	0	0	0
1 H	66	66	66	66	66	66	66
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	66	66	66	66	66	66	66
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	66	66	66	66	66	66	66
6 H	0	0	0	0	0	0	0
7 H	66	66	66	66	66	66	66
8 H	0	0	0	0	0	0	0
9 H	66	66	66	66	233	66	66
10 H	0	0	0	0	233	0	0
11 H	66	66	66	66	233	66	66
12 H	0	0	0	0	0	0	0
13 H	66	66	66	66	66	66	66
14 H	0	0	0	0	0	0	0
15 H	66	66	66	66	66	66	66
16 H	0	0	0	0	0	0	0
17 H	66	66	66	66	66	66	66
18 H	0	0	0	0	0	0	0
19 H	66	66	66	66	66	66	66
20 H	0	0	0	0	0	0	0
21 H	66	66	66	66	66	66	66
22 H	0	0	0	0	0	0	0
23 H	66	66	66	66	66	66	66
24 H	0	0	0	0	0	0	0

INTRODUCTION :

Pour bien voir les variations de température de la zone de confort, on illustrera nos simulations par des graphes, et pour connaître les besoins énergétiques en climatisation on lance une simulation sans les consignes de thermostat et une deuxième avec ces même consignes .

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

- Etape 1 :

En premier lieu on va appliquer l'ensemble des scénarios sur notre maison mais sans enveloppe thermique, c'est à dire maison non isolé (on va la nommé maison classique).

- Etape 2 :

Dans le but de connaître le gain d'énergie due a cette enveloppe (y compris le double vitrage) exposé dans le chapitre quatre, on lance des simulations avec cette isolation pour pouvoir compare les résultats obtenues avec ceux de l'étape 1.

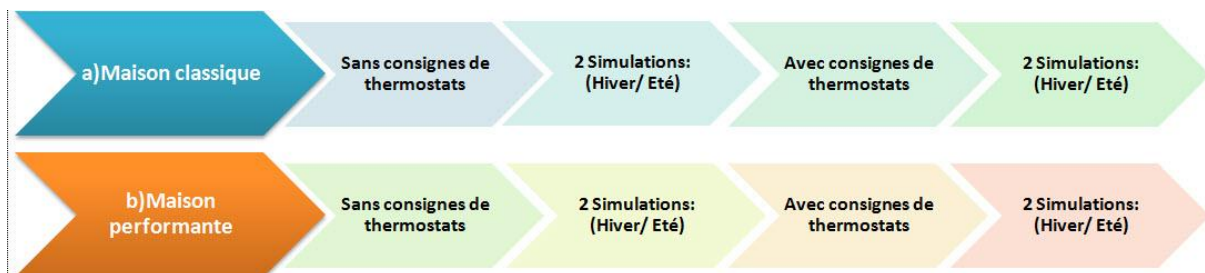


Figure. IV-1 : Etapes de simulations : Simulations

IV.1. Simulation de l'habitat classique :

En réalité cette maison qu'on a nommé classique est la même maison HPE qu'on est entrain d'étudié seulement la composition des murs et plancher haut qui change sans oublier le vitrage (Sans enveloppe thermique et sans le double vitrage) ce qui va nous ramené a une habitation banale qu'on a eu l'habitude de construire.

Tableau IV.1 : Composition du mur extérieur

Caractéristiques de la composition

Classe

Nom

Complément

Origine

Composants	T	cm	kg/m ²	λ	R	
Enduit extérieur	M	1.0	17	1.15	0.01	Extérieur ↓ Intérieur
Brique creuse de 10 cm	E	10.0	69	0.48	0.21	
Polystyrène expansé	M	4.0	1	0.04	1.03	
Brique creuse de 10 cm	E	10.0	69	0.48	0.21	
Placoplatre BA 13	E	1.3	10	0.32	0.04	
Total		26.3	166		1.50	

Tableau IV.2 : Composition du mur intérieur

Caractéristiques de la composition

Classe

Nom

Complément

Origine

Composants	T	cm	kg/m ²	λ	R	
Placoplatre BA 13	E	1.3	10	0.32	0.04	Extérieur ↓ Intérieur
Placoplatre BA 13	E	1.3	10	0.32	0.04	
Brique creuse de 10 cm	E	10.0	69	0.48	0.21	
Placoplatre BA 13	E	1.3	10	0.32	0.04	
Placoplatre BA 13	E	1.3	10	0.32	0.04	
Total		15.2	109		0.37	

Tableau IV.3 : Composition du plancher bas

Caractéristiques de la composition

Classe

Nom

Complément

Origine

Composants	T	cm	kg/m ²	λ	R
Béton lourd	M	4.0	92	1.75	0.02
Hourdis de 16 en béton	E	16.0	208	1.23	0.13
Béton lourd	M	4.0	92	1.75	0.02
Mortier	M	4.0	80	1.15	0.03
Carrelage	M	1.0	23	1.70	0.01
Total		29.0	495		0.21

Extérieur

↓

Intérieur

Tableau IV.4 : Caractéristique de la fenêtre en simple vitrage

Caractéristiques du vitrage

Classe

Nom

Complément

Origine

Nombre de vitrages

Facteur solaire moyen

Changer les caractéristiques

Coeff U moyen W/(m².K)

% de vitrage %

Vitrage		Cadre	
Facteur solaire	<input type="text" value="0.90"/>	Coeff U Opaque	<input type="text" value="3.00"/> W/(m ² .K)
Coeff U Vitrage	<input type="text" value="5.05"/> W/(m ² .K)		

a) Simulation sans consignes de thermostat

➤ **Simulation pour l'été :**

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

Tableau IV.5 : Récapitulatif des résultats (sans consignes : été)

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text" value="Projet / maison classique sans consigne été"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 1 +Chambre 2+Séjour+Chambre 3	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	4.78 °C	19.86 °C	37.78 °C
Buanderie +wc+sdh	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	4.24 °C	19.15 °C	36.96 °C
Garage	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	3.41 °C	17.61 °C	35.84 °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		
chambre 1 +Chambre 2+Séjour+Chambre 3	0.00 kWh/m3	49.71 (1/10°C)	49.87 %	53.08 %	0.00 %		
Buanderie +wc+sdh	0.00 kWh/m3	49.49 (1/10°C)	44.76 %	53.11 %	0.00 %		
Garage	0.00 kWh/m3	45.67 (1/10°C)	42.12 %	0.00 %	0.00 %		

Le graphe ci dessous montre l'évolution de la température extérieure et celle de la zone de confort pendant l'été :

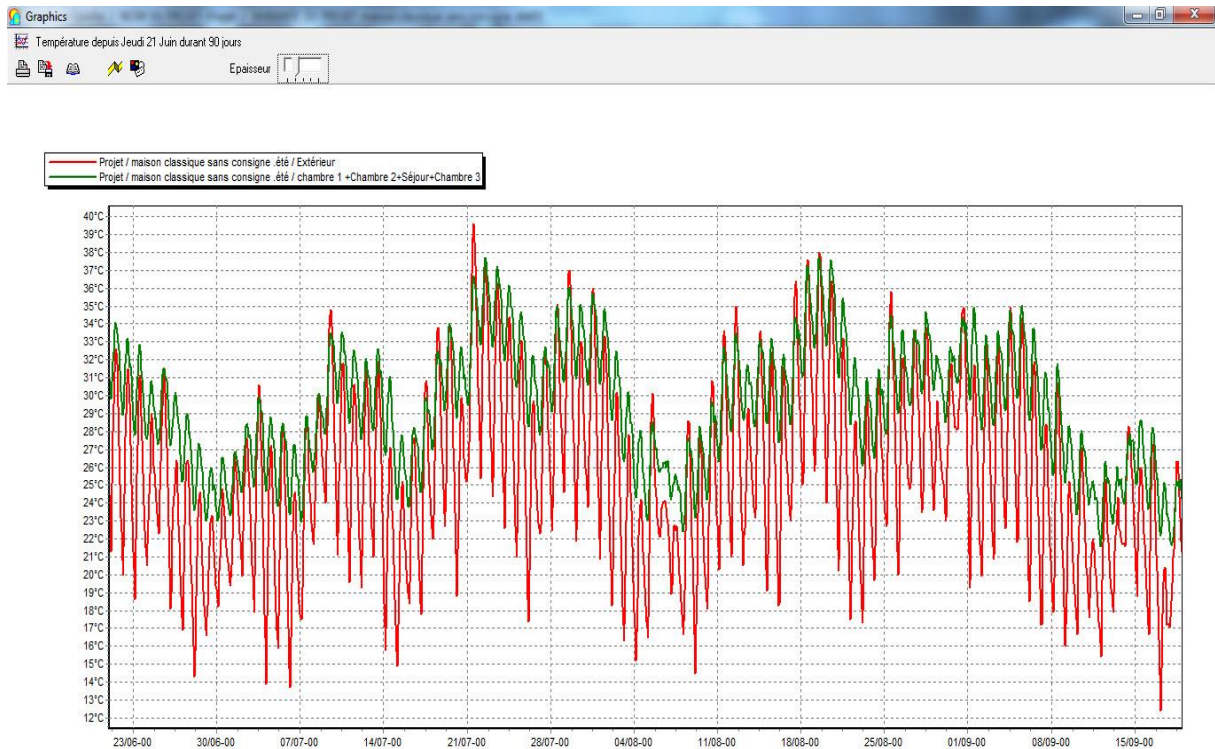


Figure IV.2: évolution des températures (sans consignes ; été)

b) Simulation avec consignes de thermostat :

➤ **Simulation pour l'été :**

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

Tableau IV.6 : Récapitulatif des résultats (avec consignes : été)

Résumer							
projet sélectionné: <input type="text" value="Projet / maison classique avec consigne .été"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T* Min	T* Moyenne	T* Max
Année							
chambre 1 +Chambre 2+Séjour+Chambre 3	10836 kWh	3348 kWh	6868 W	5782 W	20.00 °C	22.15 °C	26.05 °C
Buanderie +wc+odb	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	7.64 °C	19.71 °C	34.53 °C
Garage	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	5.01 °C	17.90 °C	34.57 °C
Total	10836 kWh	3348 kWh	6868 W	5782 W			
Zones	Besoins Chaud+Froid	Moyenne Surchauffe Max	Amplification de T*Ext	Taux d'inconfort	Part de besoin nets		
chambre 1 +Chambre 2+Séjour+Chambre 3		51.97 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	14.89 %	0.00 %		61.28 %
Buanderie +wc+odb		0.00 kWh/m3	38.05 (1/10°C)	42.24 %	43.01 %		0.00 %
Garage		0.00 kWh/m3	36.78 (1/10°C)	40.08 %	0.00 %		0.00 %

Les graphes si dessous montrent l'évolution de la température de la zone de confort avec les besoins énergétiques nécessaires:

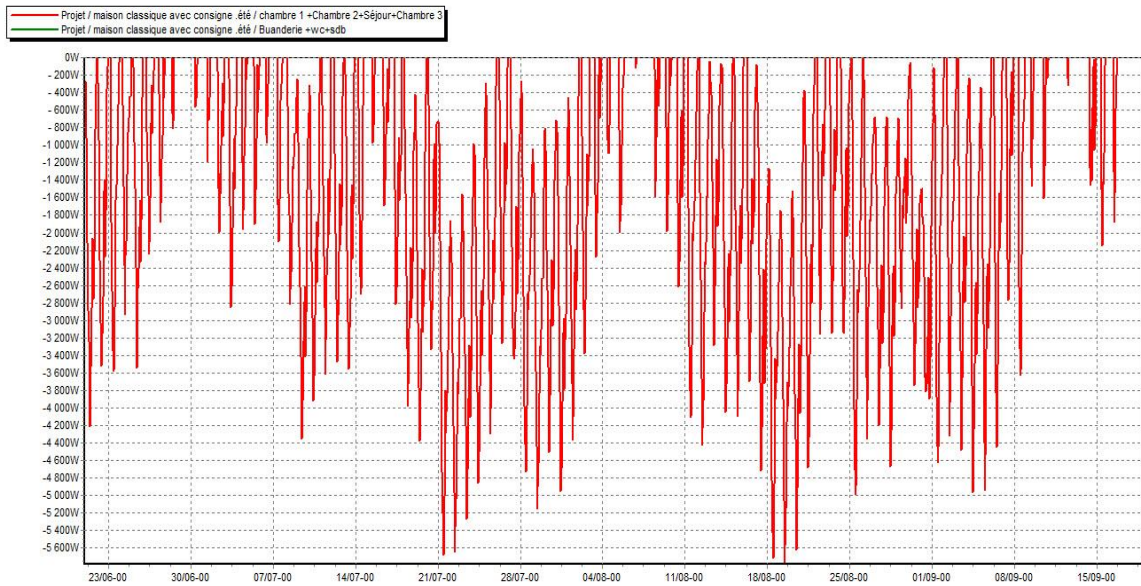


Figure IV.3 : Besoins en climatisation (avec consignes ; Eté)

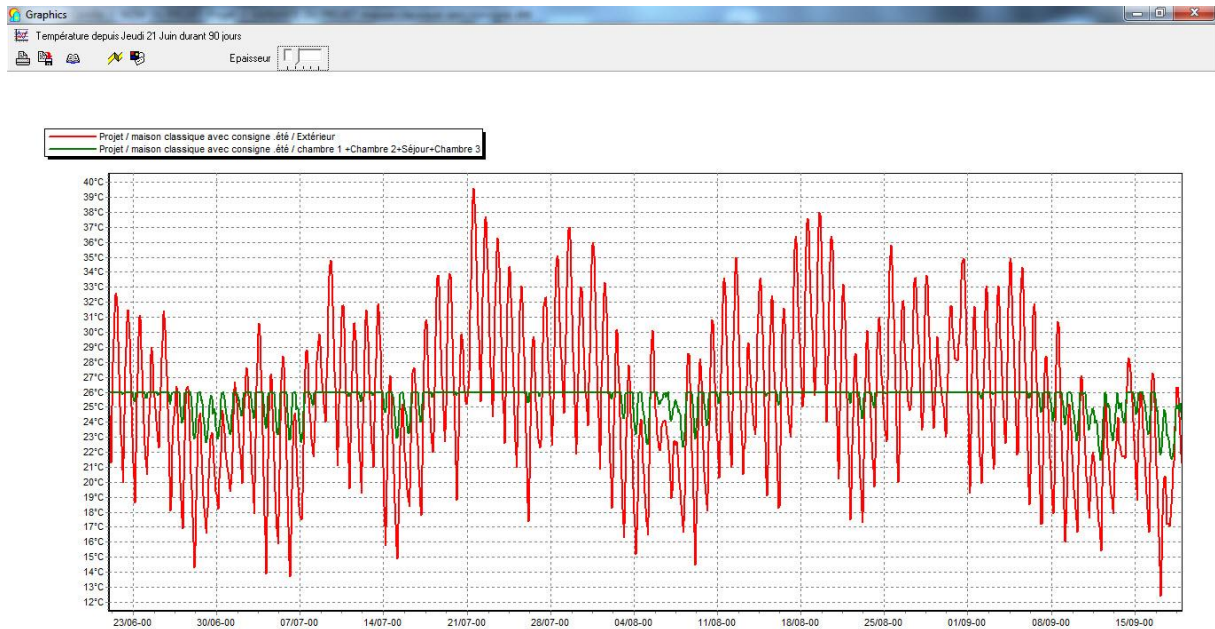


Figure IV.4 : évolution des températures (avec consignes ; été)

Résultats de simulation de maison classique :

- ✓ Selon les résultats qu'on a obtenus dans cette étape, les besoins énergétiques de l'année entière sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau IV.7 : Besoins de chauffage et de climatisation

Besoins (kWh)	été
Besoins en climatisation	3348
Besoins en chauffage	10836

IV.2. Simulation de l'habitat performante :

Pour réduire la consommation d'énergie d'un bâtiment et alléger sa facture il faut améliorer son isolation et sa ventilation. Il faut assurer un confort thermique qui permettra un réchauffement facilité en hiver et un air frais en été. Il faut aussi réaliser des économies d'énergie en réduisant les pertes de chaleur. D'après une étude de l'**ADEME**, les déperditions se font par le plafond (jusqu'à 30% pour les logements sous la toiture), les murs (25%), les vitrages (13%), les sols (7%) et les ponts thermiques (5%). Mais il ne faut pas oublier le renouvellement d'air (ventilation) qui est responsable des 20% de pertes restantes.

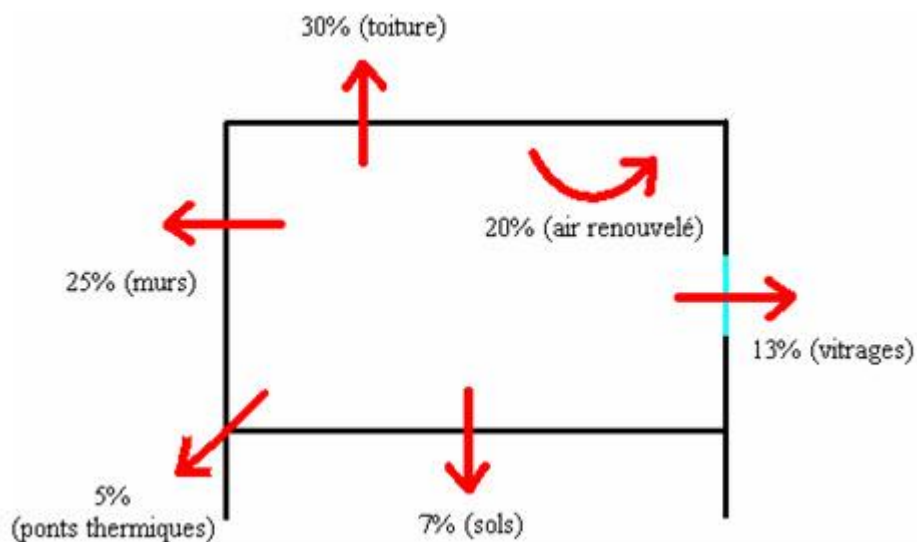


Figure IV.5 : Proportions des déperditions énergétiques

Tableau IV.8 : Résistances thermique de l'enveloppe et type de vitrage

Type de maison	Resistance thermique toiture [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]	Resistance thermique mur extérieur [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]	Vitrage
Maison classique	0.64	1.5	SV
Maison performante	5.34	2.52	PVC DV (4-12-4)

Tableau IV.9 : Caractéristiques de la fenêtre double vitrage utilisée

Caractéristiques du vitrage

Classe: Fenêtres

Nom: Fen PVC DV 4.12.4

Complément: --

Origine: Ouvrage "Conception Thermique de l'Habitat" + règles TH-

Nombre de vitrages: 2 Vitrages

Facteur solaire moyen: 0.57

Coef U moyen: 2.47 W/(m2.K)

% de vitrage: 70 %

Changer les caractéristiques

Vitrage

Facteur solaire: 0.81

Coef U Vitrage: 2.80 W/(m2.K)

Cadre

Coef U Opaque: 1.70 W/(m2.K)

➤ **Simulation pour l'été :**

- **Cas sans consigne de thermostat de rafraichissement :**

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

Tableau IV.10 : Récapitulatif des résultats (sans consignes : été)

Résumer

Projet sélectionné :

Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauffage	Puiss. Clim.	T* Min	T* Moyenne	T* Max
Année							
chambre 1 +Chambre 2+Séjour+Chambre 3	4311 kWh	2462 kWh	3811 W	3452 W	20.00 °C	22.53 °C	26.11 °C
Buanderie +wc+sdb	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	12.34 °C	21.20 °C	31.06 °C
Garage	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	8.72 °C	18.95 °C	31.96 °C
Total	4311 kWh	2462 kWh	3811 W	3452 W			
Zones	Besoins Chaud+Froid	Moyenne Surchauffe Max	Amplification de T*Ext	Taux d'inconfort	Part de besoin nets		
chambre 1 +Chambre 2+Séjour+Chambre 3		24.82 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	12.50 %	0.00 %	42.05 %	
Buanderie +wc+sdb		0.00 kWh/m3	21.92 (1/10°C)	24.61 %	21.40 %	0.00 %	
Garage		0.00 kWh/m3	24.29 (1/10°C)	26.37 %	0.00 %	0.00 %	

Les graphes si dessous montrent l'évolution de la température :

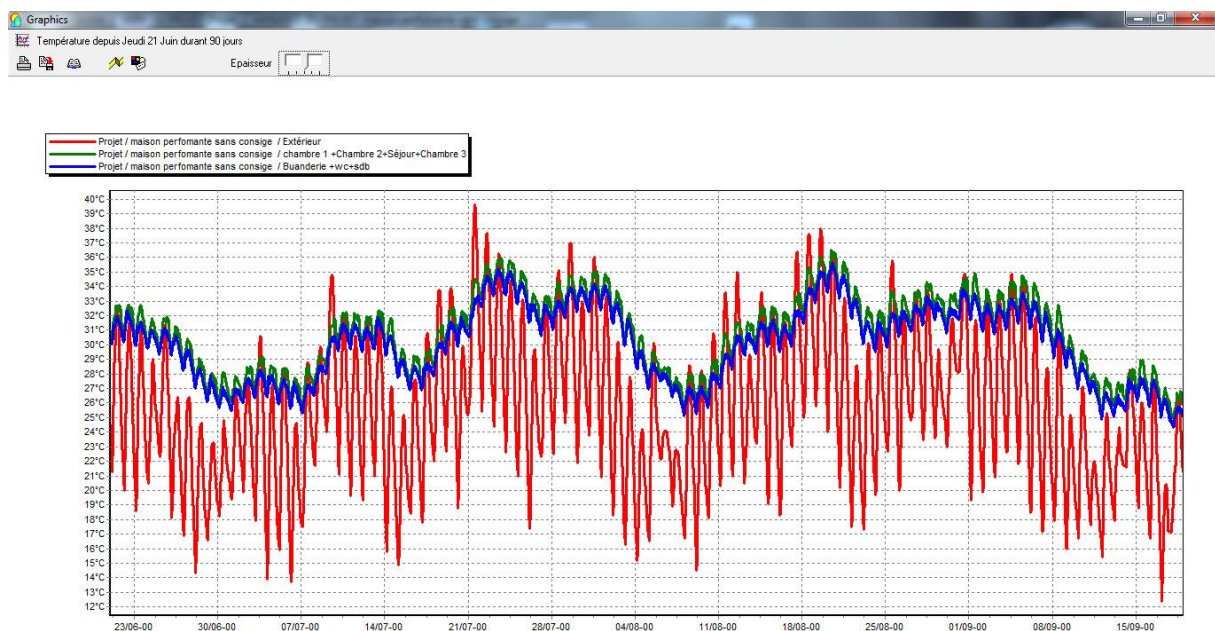


Figure IV.6: évolution des températures (sans consignes : été)

- **Cas avec consigne de thermostat de rafraîchissement :**

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

Tableau IV.11 : Récapitulatif des résultats (avec consignes : été)

Résumer

Projet sélectionné :

Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 1 +Chambre 2+Séjour+Chambre 3	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	7.17 °C	21.55 °C	36.49 °C
Buanderie +wc+sdb	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	6.62 °C	20.70 °C	35.62 °C
Garage	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	5.04 °C	18.64 °C	34.46 °C
Zones	Besoins Chaud+Froid	Moyenne Surchauffe Max	Amplification de T° Ext	Taux d'inconfort	Part de besoin nets		
chambre 1 +Chambre 2+Séjour+Chambre 3	0.00 kWh/m3	51.13 (1/10°C)	30.44 %	44.94 %	0.00 %		
Buanderie +wc+sdb	0.00 kWh/m3	46.65 (1/10°C)	25.46 %	46.79 %	0.00 %		
Garage	0.00 kWh/m3	40.94 (1/10°C)	27.23 %	0.00 %	0.00 %		

Les graphes si dessous montrent l'évolution de la température de la zone de confort avec les besoins énergétiques nécessaires :

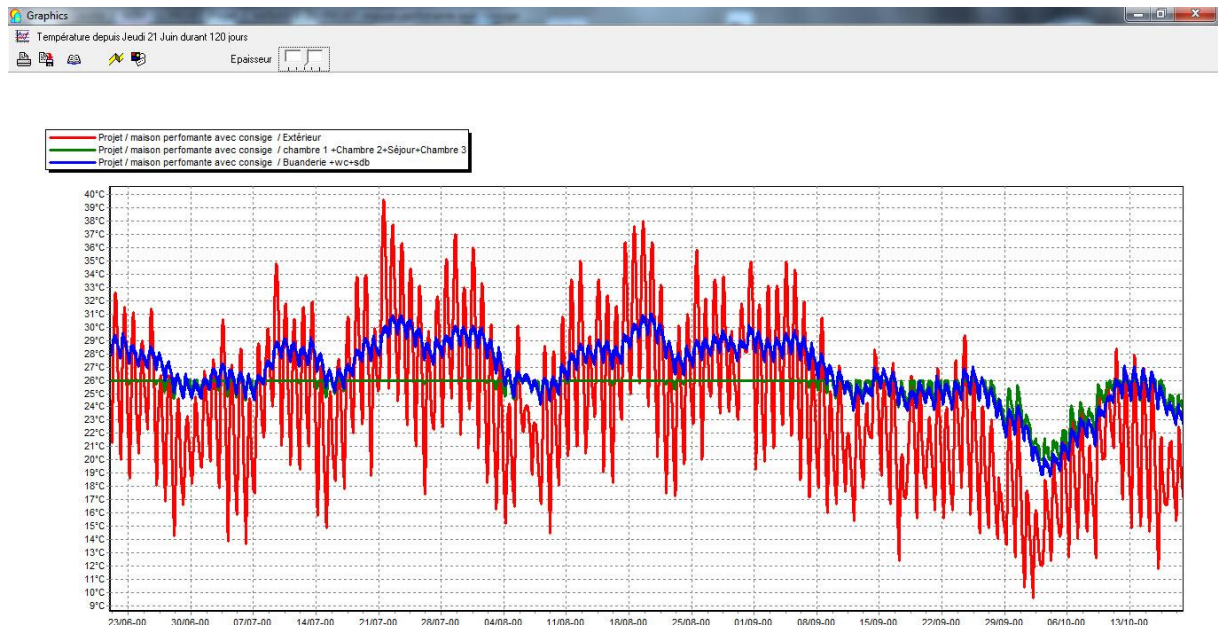


Figure IV.6 : évolution des températures (avec consignes : Eté)

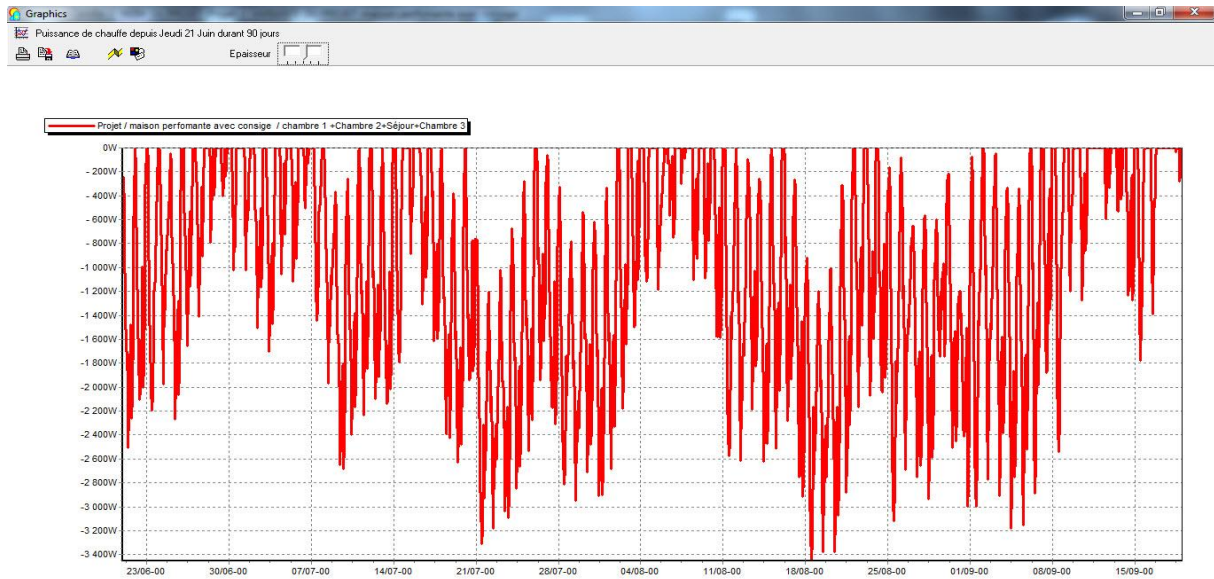


Figure IV.7 : Besoins en climatisation (avec consignes ; Eté)

IV.3. Synthèse énergétique des résultats de simulation :

➤ Comparaison entre maison classique et maison performante :

Notre analyse va contenir des comparaisons entre les résultats obtenus des simulations, de la découle l'étude des facteurs de confort thermique de notre habitat performante, on ajoutera une approximation pour réduire les dépenses énergétiques. Nous étudierons en particulier les besoins de climatisation, qui représente l'un des principales sorties de Pléiades+Comfie, dont voici les détails des résultats :

Le tableau suivant englobe les résultats qu'on a reçus dans toutes les étapes, les besoins ainsi que les puissances énergétiques de l'année entière :

Tableau IV.12 : Tableau récapitulatif, comparatif des puissances et besoins énergétiques des trois habitations

Grandeurs	Habitat classique	Habitat performante
Puissance de climatisation (W)	5782	3811
Besoin en climatisation (kWh)	10836	4311

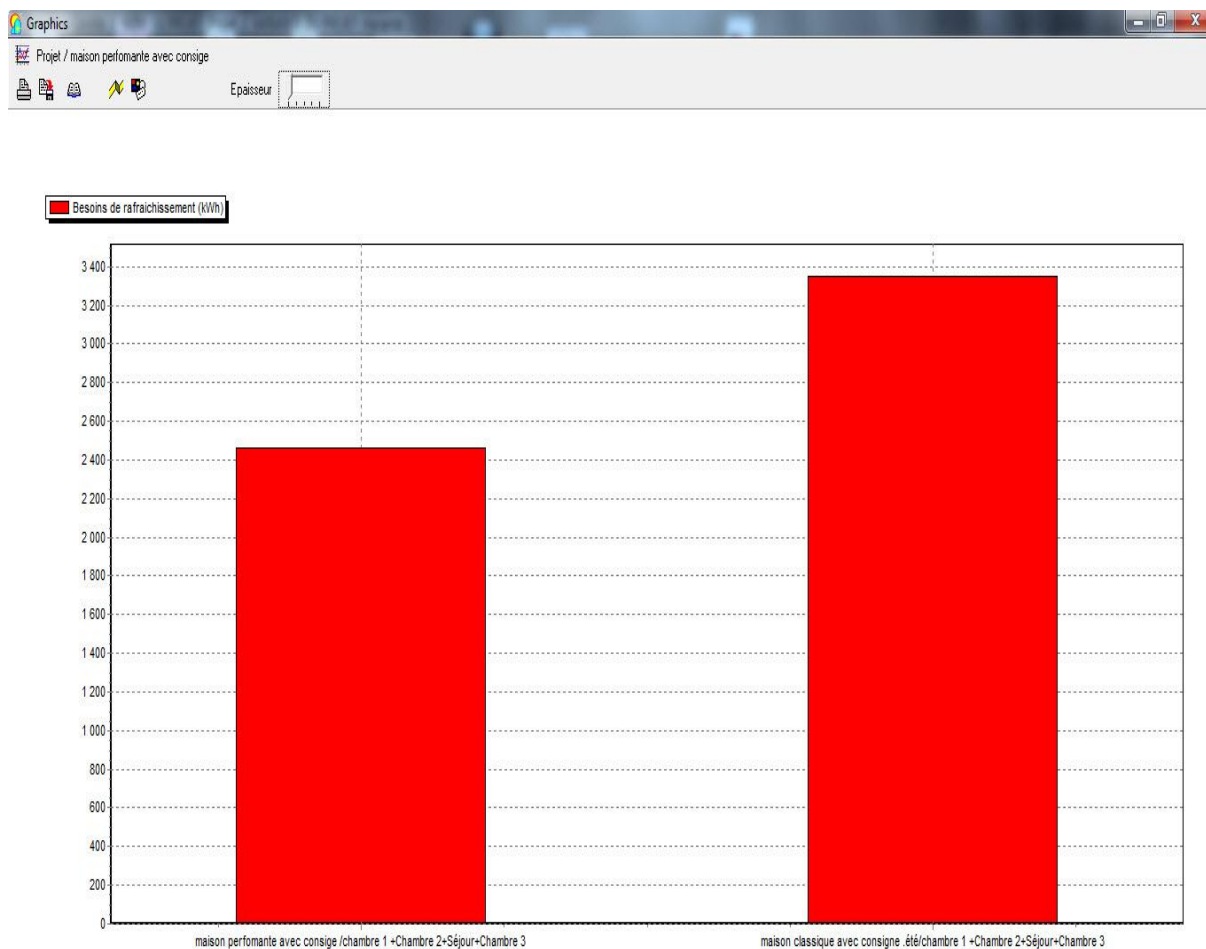


Figure IV.8 : comparaison des besoins en climatisation entre les deux habitats

Les performances de l'enveloppe thermique de la maison performante sont perceptibles, puisque les besoins en climatisation sont égaux à : **4311 kWh** contre **10836 kWh** pour la maison classique. Il s'agit clairement d'une immense pénétration de la chaleur extérieure vers la zone de confort.

La protection contre cette chaleur extérieure est sensible, en conséquence les besoins en climatisation sont pratiquement trois fois moindres pour la maison performante

L'observation des variations des températures de la zone de confort avec celle de l'extérieur jour/nuit est elle aussi très instructive en ce qui concerne l'impact de l'inertie thermique du bâtiment.

En effet, de fortes variations de température jour/nuit apparaissent pour l'inertie faible (habitat classique), ce qui a pour conséquence de pénaliser le confort à l'intérieur de l'habitat.

Par contre, les inerties fortes et très fortes sont convenables à amortir ces fluctuations de température.

L'inertie thermique assure l'équilibre hygrothermique. En été, elle permet de lisser les flux thermiques et les températures extrêmes. En hiver, elle évite les chutes trop brutales de la température et met bien en évidence la gestion optimale des apports de chaleur. Mais elle doit être combinée avec les refroidissements naturels pour le bon comportement thermique.

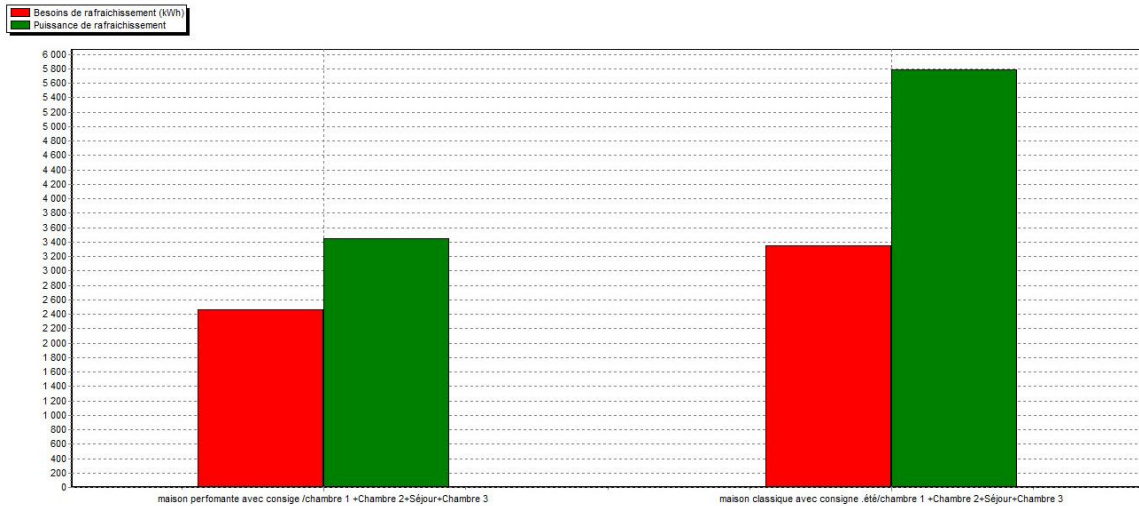


Figure IV.9 : besoins et puissances des zones de confort pour les deux habitats

Conclusion générale

La ventilation naturelle passive est un nouveau potentiel en faveur de l'architecte. Elle donne aux concepts strictement architecturaux, une suprématie sur la machine et la technologie et permet à l'architecte de reprendre sa place d'acteur principal dans la conception d'un projet.

L'usage de la masse thermique du bâtiment consiste à exploiter les matériaux à haute densité d'une construction tels que les murs, dalles de plancher et structure afin de régulariser les températures intérieures sur un cycle journalier. Puisque les matériaux à haute densité ont la propriété d'absorber la chaleur excessive de l'air ambiant, leur utilisation permet de diminuer les périodes de températures extrêmes et conséquemment, les besoins en climatisation en termes de puissance et charge. Dans certaines conditions climatiques ou pour certaines périodes de l'année, la ventilation nocturne peut contribuer à maximiser l'effet de la climatisation passive par la masse thermique. Lorsque la température extérieure baisse suffisamment, la ventilation nocturne permet d'abaisser la température des espaces intérieurs, d'augmenter le flux thermique masse-air et de transférer la chaleur vers l'extérieur. La masse thermique ainsi refroidie agit le lendemain comme un climatiseur naturel (*Guimont 2002*). L'usage de la masse thermique et de la ventilation nocturne du bâtiment doivent être considéré dans tout projet ventilé et climatisé naturellement. Mais cela n'est pas suffisant, reste la climatisation pour assurer la différence du besoin en froid, on peut utiliser dans ce cas soit le puits canadien pour rester toujours dans le passif.

J'ai pris conscience de l'importance du travail de bibliographie qui permet d'avoir une vision assez globale du sujet, de connaître les travaux déjà réalisés et ainsi de pouvoir orienter mon travail. J'ai rencontrées certaines difficultés à voir ce que je pouvais apporter avec ce travail. J'avais parfois l'impression que beaucoup de choses avaient été dites et qu'à mon niveau, avec les outils assez sommaires qui étaient à ma disposition, je ne pourrais pas réaliser des études complémentaires à celles existantes. J'ai lu un certain nombre de thèses et devais donc revoir mes ambitions à la baisse, même si j'aurais aimé parfois aller plus loin.

Bibliographie

- [1] : **AHMAD M.**, *Nouveaux composants actifs pour la gestion énergétique de l'enveloppe légère des bâtiments*, Thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble, 2004, 255p.
- [2] : **ALE (Agence Locale de l'Energie)**, *Confort d'été : Solutions innovantes et retours d'expériences*, 2007, 19p.
- [3] : **ALLARD F.**, *Natural ventilation in buildings, a design handbook*, Ed. James and James, 1998, 356p. ARENE PACA, *Confort d'été en Provence Alpes Côte d'Azur*, publié par l'ARENE, 1998, 50p.
- [4] : **BELARBI R., SPERANDIO M., ALLARD F.**, *Evaluation des bâtiments munis de systèmes de rafraîchissement passif. Application au cas de l'évaporation adiabatique*, Revue générale de thermique, Université de la Rochelle, 1996, pp. 547-561
- [5] : **BOURDOUKAN P., WURTZ E., SPERANDIO M., JOUBERT P.**, *Global efficiency of direct flow vacuum collectors in autonomous solar dessicant cooling : simulation and experimental results*, Proceedings : Building Simulation, 2007, pp.342-347
- [6] : **BREESCH H., BOSSAER A., JANSSENS A.**, *Passive cooling in a low-energy ofce building*, Solar Energy, 2004, pp. 682-696
- [7] : **BRUN A., SPITZ C., WURTZ E.**, *Analyse du comportement de différents codes de calcul dans le cas de bâtiments à haute efficacité énergétique*, LOCIE, CEA INES, IXe Colloque Interuniversitaire Franco- Québécois sur la Thermique des Systèmes à Lille, 2009, 6p.
- [8] : **CHABERT F., FALGARI J.**, *L'inertie thermique dans le bâtiment*, Formation HQE, ENSAL, 2004 CHAUVIN A., *Dissémination des principes de rafraîchissement passif nocturne à destination des architectes et des concepteurs*, TFE de l'ENTPE, Lyon, 2003, 86p.
- [9] : **DERRADJI M., SAHNOUNET T.**, *Conception et modélisation de système de ventilation et de rafraîchissement naturel pour les régions à climat chaud*, Sciences et Technologie D n°27, juin 2008, pp.9-16
- [10] : **BREESCH H., BOSSAER A., JANSSENS A.**, *Passive cooling in a low-energy ofce building*, Solar Energy, 2004, pp. 682-696
- [11] : **B. Givoni**, 'Effectiveness of Mass and Night Ventilation in Lowering the Indoor Daytime Temperatures. Part I: 1993 Experimental periods', Energy and Buildings, Vol. 28, N°1, pp. 25 – 32, 1998.
- [12] : **DUNSTER B., SIMMONS C., GILBERT B.**, *The Zedbook*, Ed. Taylor et Francis, 2008, 260p.
- [13] : **FAURE X.**, *Optimisation d'enveloppe hybride pour bâtiment à haute performance énergétique*, Thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble, 2007, 233p.
- [14] : **FILFLI S.**, *Optimisation des bâtiments / système pour minimiser les consommations dues à la climatisation*, Thèse de doctorat de l'Ecole des Mines de Paris, 2006, 200p.
- [15] : **FERNANDEZ P., LAVIGNE P.**, *Concevoir des bâtiments bioclimatiques - Fondements et méthodes*, Ed. Le Moniteur, 2009, 430p.

[16] : **D. Medjelakh* et S. Abdou** , *Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment*, *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 11 N°3 (2008) 329 – 341

[17] : **WRIGHT D.**, *Manuel d'architecture naturelle*, Ed. Parenthèses, 1978, 249p

[18] : **VITTE T., NOVACQ A., BRAU J.**, *Etude d'un bâtiment basse énergie ; développement et application du principe de rafraîchissement solaire*, INSA Lyon, 2004, 10p.

[19] : **ENSAL - RENEK 2011** - *Ventilation naturelle dans l'habitat* 38p

[20] : **DUMBLIAUSKAITE M., SEOUD K.**, *Conception d'une station météorologique bioclimatiques à Rennes*, Rapport ENPC, 2007, 61p.

[21] : **PEUPORTIER Bruno**, **Validation of COMFIE**, **Rapport C.E.C., Université de Stuttgart (I.T.W.)**, 1989

[22] : **Manuel du logiciel Pleiades+Comfie ; Avril 2000.**

[23] **SEMMAR Djaafar**, *Rapport de l'approbation des plans d'exécution et vérification des calculs thermiques : Projet 30 Log HPE de Tamanrasset ; 09/2010.*

