

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES**

Laboratoire d'habitats bioclimatiques et énergies renouvelables

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

**Etude des performances thermiques de logements HPE
Cas d'étude : Mostaganem et El oued**

Proposé et encadré par :
Dr. SAMI MECHERI SABRINA

Réalisé par :
**BENELHOCINE FARAH
BOUAMAMA FATMA ZOHRA**

Année universitaire 2019/2020

*« Et ma réussite ne dépend que d'Allah, En Lui je place
ma confiance, et c'est vers Lui que je reviens repentant »*

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...
Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,
L'amour, le respect, la reconnaissance...
Aussi, c'est tout simplement que*

Dédicace

Je dédie se travail...

A l'âme de mon cher frère FARES,

Qui malheureusement n'a pas eu l'occasion d'être présent, Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que tu as consenti pour mon instruction et mon bien être.

Que Dieu apporte paix et miséricorde a ton âme.

Je t'aime mon frère.

A ma mère et mon père, SETTAH Nefissa et BENELHOCINE Nesreddine, Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

A mon cher frère HACHEMI,

Mon conseiller, pour ses encouragements opportuns et son précieux aide je te souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, te protège et te garde.

A mon petit neveu FARES, mon petit cœur.

A mes aimables cousines NESRINE et YASMINE et tous les membres de ma famille.

A tous mes amis fidèles Et une spéciale dédicace à mon binôme ZOLA pour sa disponibilité, sa patience et sa motivation tout au long de la recherche.

A tous les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail à tous ceux que j'ai omis de citer.

Merci à vous tous.

BENELHOCINE Farah

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soit les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A ma chère mère, pour sa présence à mes côtés, son amour, ses encouragements et ses sacrifices.

A mon très cher père, pour son soutien, son affection, ses conseils précieux tout au long de mes études, et la confiance qu'il m'a accordée.

Quoi que je fasse ou je dise, je ne saurai point les remercier comme il se doit.

*A mes très chères sœurs HADJER et ZINEB et mon cher frère BILEL
Puisse dieu vous donne santé, bonheur, courage, et surtout réussite.*

Sans oublier mon binôme FARAH pour son soutien moral, sa patience et ça compréhension tout au long de ce projet

BOUAMAMA Fatma Zohra

Remerciement

Un grand merci à Dieu de nous avoir donné le courage et la patience et qui a éclairé notre chemin.

Nous tenons à remercier tout ce qui à participer de loin ou de près à aboutir ce travaille et plus particulièrement notre promotrice et maitre de stage Dr SAMI MECHELI Maître de recherche au centre de développement des énergies renouvelables qui nous a accompagniez jusqu'à ce qu'on a vu le bout de ce projet et pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion

On adresse aussi notre sincères remerciements à nos chers professeurs et principalement Pr ABDELKADER HAMID et Pr DJAFFAR SEMMAR, et particulièrement Mme OUKACI, toutes les personnes et intervenants qui par leurs paroles, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions durant notre cursus universitaire et notre recherche.

On adresse également nos vifs remerciements aux membres des jurys pour avoir bien acceptée d'examiner notre travail

MERCI A VOUS TOUS

Table des matières

Dédicace	iii
Remerciement.....	v
Résumé	xiii
Introduction générale :	1
Chapitre I : généralités et revue bibliographique	4
1.1 Introduction	4
1.2 L'état de l'art :	4
1.3 Généralités :	10
1.4 Conclusion	41
Chapitre II : présentation du logement	42
2.1 Introduction	42
2.2 Présentation des sites :	42
2.3 Description du projet	46
2.4 Enveloppe du logement	49
2.5 Calcule de bilan thermique des logements :	52
2.6 Conclusion	56
Chapitre III : logiciels et étapes de simulation	57
3.1 Introduction	57
3.2 Présentation générale de l'outil « le logiciel PLEIADES + COMFIE »	57
3.3 La saisie de bâtiment	57
3.4 Les tâches faites sous alcyone :	60
3.5 Description des systèmes constructifs sous PLEIADE+COMFIE	64
3.6 Les zones thermiques et les scénarios utilisés dans les logements	67
3.7 Environnement et Fonctionnement de la maison	67
3.8 Scénarios d'occupation	67
3.9 Puissance dissipée.....	69
3.10 Scénarios d'occultation	72
3.11 Scénarios de ventilation	73
3.12 Consigne de thermostat.....	75
3.13 Conclusion :	76

Chapitre IV : discussions et interprétations des résultats	77
4.1 Introduction	77
4.2 Cas d'El oued.....	77
4.3 Cas de Mostaganem.....	85
Conclusion générale	90
Références :	92

Liste des figures :

Figure 1.1 : Modèle 3D du bâtiment de base et zonage du premier et du deuxième étage

Figure 1.2 : habitat bioclimatique

Figure 1.3 : implantation du site

Figure 1.4 : la course du soleil

Figure 1.5 : volumétrie et compacité

Figure 1.6 : captage du rayonnement solaire en saison estivale et hivernale

Figure 1.7 : distribution intérieure du bâtiment

Figure 1.8 : déperdition thermique d'un bâtiment

Figure 1.9 : mur avec isolation intérieure

Figure 1.10 : isolation extérieure

Figure 1.11 : bloc a isolation intégrée

Figure 1.12 : emplacement des ponts thermique

Figure 1.13 : pont thermique d'angle

Figure 1.14 : isolation intérieure

Figure 1.15 : isolation extérieure

Figure 1.16 : Rupture de pont thermique

Figure 1.17 : planelle isolant

Figure 1.18 : pont thermique du plancher haut

Figure 1.19 : principe d'un climatiseur

Figure 1.20 : Illustration de l'association travail – chaleur

Figure 1.21 : Effet de la température ambiante sur la température de l'air intérieur

Figure 1.22 : influence des parois froides sur la température ressentie

Figure 2.1 : situation géographique d'el oued

Figure 2.2 : précipitation de la wilaya d'el oued

Figure 2.3 : rayonnement diffus et rayonnement globale de la wilaya d'El oued

Figure 2.4 : la wilaya de Mostaganem

Figure 2.5 : courbe de température de Mostaganem

Figure 2.6 : tableau climatique de Mostaganem

Figure 2.7 : diagramme ombrothermique de Mostaganem

Figure 2.8 : plan du rez-de-chaussée de l'appartement 1

Figure 2.9 : plan du 1^{er} étage de l'appartement 1

Figure 2.10 : plan du rez-de-chaussée Mostaganem

Figure 2.11 : plan du 1^{er} étage (Mostaganem)

Figure 2.12 : Fenêtre double vitrages en aluminium.

Figure 3.1 : création de fichier météorologique (El oued)

Figure 3.2 : création de fichier météorologique (Mostaganem)

Figure 3.3 : identification de la station météorologique sous Pleiades (EL OUED)

Figure 3.4 : identification de la station météorologique sous Pleiades (MOSTAGANEM)

Figure 3.5 : Insertion des éléments constructifs sous Alcyone (EL OUED)

Figure 3.6 : Insertion des éléments constructifs sous Alcyone(MOSTAGANEM)

Figure 3.7 : plan du RDC (el oued) sur alcyone

Figure 3.8 : plan du 1 er étage (el oued)

Figure 3.9 : plan de RDC (Mostaganem) sur alcyone

Figure 3.10 : plan du 1 er étage sur alcyone (Mostaganem)

Figure 3.11 : composition du mur extérieur de 10 cm

Figure 3.12 : composition mur intérieure (el oued)

Figure 3.13 : composition du plancher (el oued)

Figure 3.14 : composition de la toiture (el oued)

Figure 3.15 : plancher terrasse (Mostaganem)

Figure 3.16 : parois extérieure et intérieure (Mostaganem)

Figure 3.17 : scenario d'occupation de 6 personnes (el oued)

Figure 3.18 : scénario d'occupation de 5 personnes (par appartement) (Mostaganem)

Figure 3.19 : scenario puissance dissipé du séjour (el oued)

Figure 3.20 : scénario de puissance dissipé du chambre séjour (Mostaganem)

Figure 3.21 : scenario d'occultation du volet jour (deux wilaya)

Figure 3.22 : scenario d'occultation du volet nuit (deux wilaya)

Figure 3.23 : scenario de ventilation été (deux wilaya)

Figure 3.25 : scenario de thermostat (chauffage les deux wilaya)

Figure 3.26 : scenario de thermostat climatisation (les deux wilaya)

Figure 4.1 : Evolution de la température de la semaine la plus froide de l'année

Figure 4.2 : Evolution de la température de la semaine la plus chaude de l'année

Figure 4.3 : variation des températures (semaine la plus chaude) avec ventilation nocturne

Figure 4.4 : Evolution de la puissance de chauffage

Figure 4.5 : Evolution de la puissance de climatisation

Figure 4.6 : Evolution de la température de la semaine la plus froide de l'année

Figure 4.7 : Evolution de la température de la semaine la plus chaude de l'année

Figure 4.8 : Variation des températures (la semaine la plus chaude) avec ventilation nocturne

Figure 4.9 : Evolution de la puissance de chauffage

Figure 4.10 : Evolution de la puissance de climatisation

Liste des tableaux :

Tableau 1.1 : exemples judicieux de matériaux

Tableau 1.2 : quelques isolants et leurs avantages

Tableau 1.3 : métabolisme de l'être humain en fonction d'activité

Tableau 1.4 : quantité maximale de vapeur d'eau en fonction de température de l'air

Tableau 1.5 : qualité de la diffusion de l'air dans différentes situations

Tableau 1.6 : vitesse du vent à l'échelle de beaufort

Tableau 2.1 : caractéristiques des parois du bâtiment (El oued)

Tableau 2.2 : caractéristiques du plancher terrasse (Mostaganem)

Tableau 2.3 : caractéristiques des parois verticales (Mostaganem)

Tableau 2.4 : calcul de déperditions de l'appartement R+1

Tableau 2.5 : Déperditions par transmission du R+1

Tableau 2.6 : calcul de déperditions de l'appartement R+3

Tableau 2.7 : Déperditions par transmission dans l'appartement R+3

Liste des abréviations :

- ✓ **PNME : Programme National pour la Maîtrise de l'Énergie**
- ✓ **HPE : Haute Performance Énergétique.**
- ✓ **ECO-BAT : Bâtiment Ecologique**
- ✓ **PHPP : Passive House Planning Package**
- ✓ **L'INES : Institut National de l'Énergie Solaire**
- ✓ **ECS : Eau chaude sanitaire**
- ✓ **RETA : RÉglementation Thermique Algérienne**
- ✓ **GPE : Garantir la performance énergétique**
- ✓ **SBEIDCO : Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries**
- ✓ **UAE : United Arab Emirates (Émirats arabes unis)**
- ✓ **ITE : isolation thermique par l'extérieur**
- ✓ **ITI : Isolation thermique par l'intérieur**
- ✓ **VMC : Ventilation Mécanique Contrôlée**
- ✓ **QAI : qualité d'air intérieure**
- ✓ **BBC : bâtiment basse consommation**
- ✓ **THPE : Très Haute Performance Énergétique**
- ✓ **TP : Température des parois**
- ✓ **HR : L'humidité relative de l'air**
- ✓ **STD : Simulation Thermique Dynamique**
- ✓ **SED : simulation énergétique dynamique**
- ✓ **DTR : document technique réglementaire**

Symbole :

- ✓ **La consommation énergétique : kWh/m²**
- ✓ **Consommation d'énergie : kWh**
- ✓ **S : surface (m²)**
- ✓ **C_f : compacité (sans unité)**
- ✓ **V : volume (m³)**
- ✓ **φ_x : la densité du flux de chaleur**
- ✓ **λ : est la conductivité thermique du matériau traversé par le flux de chaleur, en W/m/K**
- ✓ **dT : la variation de température de chaque côté de ce matériau, en kelvin ;**
- ✓ **dx : l'épaisseur du matériau traversé par ce flux de chaleur, en mètre.**
- ✓ **Clo : Unité de résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement, 1 clo = 0,155 W/m²/K**
- ✓ **°F : fahrenheit, unité de température, °F=1.8°C +32**
- ✓ **°C : Celsius, unité de température**
- ✓ **m/s : Unité Vitesse du vent**
- ✓ **Km/h : Unité vitesse du vent**
- ✓ **mm : précipitation**
- ✓ **m².K/W : Résistance**
- ✓ **W/m.K : $\lambda = 1/R$**
- ✓ **K : coefficient de transmission surfacique de chaque partie [W/m². °C]**
- ✓ **(DT) déperditions par transmission du volume i [W/°C]**
- ✓ **(DR) déperditions par renouvellement d'air du volume i [W/°C]**
- ✓ **(Ds) déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur [W/°C]**
- ✓ **(Dli)i déperditions à travers les liaisons [W/°C]**
- ✓ **(Dlnc) déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés [W/°C]**
- ✓ **Q_v débit spécifique de ventilation [m³/h]**
- ✓ **Q_s débit supplémentaire repairs infiltrations dues au vent [**
- ✓ **V_h volume habitable [m³]**
- ✓ **Q_vréf débit extrait de référence [m³/h]**
- ✓ **W : puissance dissipée**
- ✓ **Q_vmax : Débit extrait maximal de référence [m³/h]**
- ✓ **Q_vmin : Débit extrait minimal de référence [m³/h]**
- ✓ **P_{pi} : (sous différence de pression) est la perméabilité à l'air de la paroi [m³/h]**
- ✓ **E_{vi} : le coefficient d'exposition au vent affecté à la paroi**
- ✓ **P_{oj} : différence de pression) est la perméabilité à l'air de l'ouvrant**
- ✓ **A_j : la surface de l'ouvrant**

Résumé

Le secteur de bâtiment représente non seulement un gisement important d'économie d'énergie, mais également une occasion de protéger l'environnement. Dans ce contexte, la conception et la réalisation de bâtiments à haute performance énergétique s'impose comme une évidence a la maîtrise des consommations énergétique de secteur de bâtiment.

Le présent document étudie les conditions climatiques intérieures de deux bâtiments passives (Mostaganem et El Oued) durant l'année visant à améliorer leur comportement thermique. La modélisation thermique dynamique des bâtiments est réalisée à l'aide de l'outil de simulation Pléiades+Comfie qui est un logiciel complet de simulation pour l'écoconception des bâtiments et des quartiers.

Différentes stratégies de conception ont été analysées telles que l'orientation du bâtiments, l'utilisation des matériaux de construction performants, les horaires d'occupation différenciés et une ventilation nocturne, afin de fournir les résultats d'efficacité énergétique les plus élevés possibles.

Abstract

The building sector represents not only an important source of energy savings, but also an opportunity to protect the environment. In this context, the design and construction of high energy performance buildings is an obvious way to control energy consumption in the building sector.

This document studies the indoor climatic conditions of two passive buildings (Mostaganem et El Oued) during the year in order to improve their thermal behaviour. The dynamic thermal modelling of the buildings is carried out using the simulation tool Pléiades+Comfie which is a complete simulation software for the eco-design of buildings and neighborhoods.

Different design strategies have been analyzed such as building orientation, use of high-performance building materials, differentiated occupancy schedules and night-time ventilation, in order to provide the highest possible energy-efficiency results.

قطاع البناء لا يمثل مصدرًا مهمًا لتوفير الطاقة فحسب، بل يمثل أيضًا فرصة لحماية البيئة. في هذا السياق، يعد تصميم وإنشاء المباني عالية الأداء طريقة واضحة للتحكم في استهلاك الطاقة في قطاع البناء. تدرس هذه الوثيقة الظروف المناخية الداخلية لمبنيين غير فاعلين (مستغانم والوادي) خلال العام من أجل تحسين سلوكهم الحراري. يتم تنفيذ النمذجة الحرارية الديناميكية للمباني باستخدام أداة المحاكاة Pléiade + Comfie وهي عبارة عن برنامج محاكاة كامل للتصميم الإيكولوجي للمباني والأحياء. تم تحليل استراتيجيات تصميم مختلفة مثل توجيه المبنى، واستخدام مواد بناء عالية الأداء، وجدول إشغال متباينة، وتهوية ليلية، من أجل توفير أعلى نتائج ممكنة لكفاءة الطاقة.

Introduction générale :

La crise écologique signifie que la terre est mal habitée...l'architecture est un choix historique qui vise à rendre le monde habitable par l'homme. « *Fin des années soixante, la problématique écologique prend une nouvelle forme et une nouvelle ampleur. Il devient évident que le développement industriel, la croissance économique et le productivisme génèrent des nuisances : la pollution rejetée dans l'air et dans les eaux ; la déforestation et la désertification; les menaces contre la conservation des sols, de la flore et des espèces sauvages¹* », les perturbations climatiques, les pluies acides, le réchauffement de la planète «
Devant cette problématique, les autorités mondiales, les décideurs sont de plus en plus sensibles à l'importance de l'amélioration et la compréhension objective de cette crise et sont de plus en plus conscients de l'importance à attribuer au changement climatique et biologique.

A cause de la crise énergétique, le choc pétrolier...il a été adopté à la conférence de Stockholm, les principes de base du développement durable où la sauvegarde des ressources naturelles était l'objet d'une programmation et d'une gestion appropriées et vigilantes. L'homme s'intéresse de plus en plus aux consommations énergétiques et la maîtrise de l'énergie repose sur l'utilisation rationnelle de celle-ci notamment dans les espaces habités.

Actuellement, l'architecture bioclimatique insiste sur l'optimisation de la relation de l'habitation avec le climat, et cherche à assurer des ambiances confortables soit un équilibre entre la conception et la construction, son milieu (climat, environnement, ...) ainsi que les modes de vie des habitants

En Algérie, le secteur résidentiel et tertiaire se trouve parmi les secteurs les plus énergivores, avec une consommation de 41% de l'énergie finale. Le niveau de consommation de ce secteur constitue l'un des soucis majeurs exprimés dans le cadre du modèle de consommation énergétique algérienne.

Le développement et l'expansion industrielle, ainsi que l'augmentation rapide de la population ont entraîné un accroissement important de la demande énergétique. Pour la satisfaire, à long terme, l'utilisation des sources d'énergie d'origine fossile conduira d'une part à une surexploitation de ces ressources et à une dégradation de l'environnement, d'autre part. L'utilisation de source d'énergie non nuisible à l'environnement, comme l'énergie solaire est nécessaire et indispensable dans certains cas.

En quatre décennies d'indépendance, le souci de construire rapidement et en grande quantité 'Pour faire face à la crise croissante du logement, on a dû trouver des solutions rapides et pas très coûteuses. Des modèles étrangers se sont généralisés sur tout le territoire algérien,

¹ De Herde, André. Liébard, Alain, Traité d'Architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable, Editions du Moniteur, Paris, France, 2005.P :315

inappropriés, au contexte culturel, social et climatique du pays'. Cette expérience est continue avec le programme quinquennal 2005-2009 qui prévoit un million de logements.

Alors pour éviter de s'exposer aux différents problèmes (accès aux ressources, émissions de gaz à effet de serre, changement climatique), on doit commander une réflexion à propos de l'évolution de la situation énergétique du secteur du bâtiment, qui doit se préparer à modifier son rapport aux consommations énergétiques. Pour cela, l'Algérie met en œuvre un programme de réalisation de logements à haute performance énergétique (HPE), dénommé ECO-BAT. Ce programme est concédé comme une opération pilote, qui présente une opportunité de diffusion à l'échelle nationale des pratiques conceptuelles soucieuses en amont de la maîtrise des consommations d'énergie.

Garantir la performance énergétique (GPE) est une exigence qui s'impose de plus en plus, tant en neuf qu'en amélioration, tant en logement qu'en tertiaire. La mise en œuvre de la GPE passe par des outils nouveaux et efficaces. L'un de ces outils, tout à fait incontournable, est le logiciel de simulation énergétique. Son utilisation est indispensable, que l'on vise une garantie de performance intrinsèque ou une garantie de résultats énergétiques. La simulation énergétique offre des possibilités intéressantes pour éclaircir les décisions de l'architecte de maximiser la performance énergétique d'un bâtiment. L'étude et la simulation de climatisation permet de réduire les besoins énergétiques et de créer un climat de bien être à l'intérieur des logements avec des températures agréables et une humidité contrôlée.

En effet, un tel outil permet de modéliser le fonctionnement énergétique du bâtiment et d'évaluer ses consommations. Pour un bâtiment neuf, il permet d'optimiser la conception aux différentes étapes. Pour un bâtiment existant, il permet de bâtir des scénarios d'amélioration et d'étudier les actions d'amélioration de la performance énergétique Et de mettre en place une garantie de la performance réelle.

Le concept de simulation thermique dynamique est plutôt utilisé dans le domaine du bâtiment, par opposition aux nombreuses méthodes de calcul simplifié employées depuis les années 70 qui ne prenaient pas en compte ou très mal la dynamique des évolutions.

La simulation thermique dynamique permet d'estimer les besoins thermiques (énergie utile en chaud et froid) du bâtiment en exploitation en tenant compte de l'enveloppe du bâtiment et de son inertie, des divers apports thermiques, du comportement des occupants et du climat local.

Avec l'accroissement des exigences de performance énergétique et environnementale sur les nouveaux bâtiments, la STD est de plus en plus intégrée au processus de conception des bâtiments. Elle peut aussi être mise en œuvre dans le cas de rénovation. D'autre part, les bailleurs sociaux, les collectivités territoriales et d'autres organisations peuvent exiger qu'une simulation thermique dynamique soit intégrée à la conception de bâtiments. Par exemple, les simulations thermiques dynamiques sont très utilisées en climat méditerranéen, où le confort d'été doit être aussi bien pris en compte. Ainsi, la démarche bâtiments durables méditerranéens exige une simulation thermique dynamique pour ses niveaux les plus élevés.

Problématique :

Un des principaux objectifs dans le domaine de la thermique du bâtiment est de minimiser au maximum les dépenses énergétiques et particulièrement assurer un confort thermique pour l'occupants du bâtiment.

Notre travail s'inscrit dans une optique globale de recherche sur l'amélioration de l'aspect qualitatif, notamment le confort thermique dans les bâtiments publics et particulièrement les bâtiments d'enseignements. A travers cette recherche, nous allons essayer de répondre aux préoccupations suivantes :

- Quelles sont les stratégies de conception à adopter, les dispositifs architecturaux à utiliser pour assurer le confort thermique à l'intérieur du bâtiment ?
- De quelle manière interviennent les aspects passifs, climatiques dans l'amélioration du confort et des performances énergétiques des bâtiments ?

Le but de ce projet de fin d'étude est de faire une simulation du comportement thermique de deux bâtiments dans deux lieux différents (**Mostaganem et el oued**) et de discuter les résultats de la simulation.

Organisation de mémoire de fin d'étude :

Le premier chapitre : est consacré pour l'état d l'art et pour présenter des notions importantes, dont l'objectif est de construire un support théorique et sélectionner les connaissances élémentaires et indicateurs qui vont servir à l'analyse

Le deuxième chapitre : contient la présentation des deux logements et évidemment les sites sur les quelles en travaille, on évalue évidemment le calcul de bilan thermique et les déperditions thermiques des deux appartements

Le troisième chapitre : expose les étapes de simulation faites et contient une présentation du logiciel dans le quelle on a fait la simulation avec.

Dans le quatrième chapitre : nous traitons les résultats obtenus et nous présenterons les synthèses et certaines recommandations par rapport à notre profession

Chapitre I : généralités et revue bibliographique

1.1 Introduction

Avant d'entreprendre la simulation thermique dynamique dans notre cas d'étude, il nous a paru utile d'analyser certaines expériences, en faisant appel à plusieurs paramètres relatifs à ce dispositif. Ce genre d'étude vise à améliorer la compréhension objective qui garantit une bonne conduite de la recherche à travers la lecture des exemples spécifiques et diversifiés.

Pour cela on a cité plusieurs études qui a été faite ces dernières années et on a parlé un peu de ce qu'ils on fait comme étude et les méthodes suivies pour alimenter une réflexion approfondie sur la simulation des bâtiments et acquérir des idées sur le développement de la recherche dans le domaine de l'habitat

1.2 L'état de l'art :

1.2.1 Les travaux consultés à travers le Monde

A travers le monde parmi les travaux les plus récents que nous allons citer **W.A.Friessa et al [1]** Ils passent dans leur article en revue principalement les recherches menées aux Émirats arabes unis sur l'efficacité des mesures d'enveloppe passive des bâtiments qui réduisent la consommation d'énergie.

- L'ajout d'une cour centrale peut réduire les apports solaires et améliore la ventilation naturelle
- La transmission de la chaleur à travers les enceintes opaques des bâtiments s'est avérée être un mécanisme de perte d'énergie important
- Toutes les études examinées indiquent des améliorations par l'ajout d'une isolation ou l'augmentation de l'épaisseur de l'isolation

Les résultats confirment l'importance des facteurs suivants pour les structures optimisées sur le plan énergétique : l'orientation du bâtiment, l'isolation thermique (qui peut générer plus de 20 % d'économies d'énergie, en particulier dans le contexte résidentiel), le type de vitrage et l'orientation appropriés dans les immeubles de bureaux hautement vitrés (jusqu'à 55 % d'économies d'énergie signalées), les niveaux d'éclairage et l'éblouissement excessifs, et la ventilation naturelle, qui peut réduire la consommation d'énergie d'un niveau élevé signalé de 30 % dans les villas jusqu'à 79 % dans un immeuble de bureaux de grande hauteur utilisant une ventilation en mode mixte.

S.S. Chandel et al [2] ont étudié et d'examiné les codes, les normes, les réglementations et les initiatives en matière d'efficacité énergétique dans différents pays afin d'identifier une stratégie efficace pour des mesures d'efficacité énergétique applicables aux réglementations de construction en Inde

Il s'avère que de la structure obligatoire de la réglementation et la stratégie d'application permettent de réaliser l'évaluation et la révision des codes, d'améliorer la qualité des codes et d'augmenter le taux de réussite

Une telle analyse nécessite des données sur l'indice énergétique des matériaux de construction, la consommation d'énergie opérationnelle, la consommation d'énergie de démolition, la durée de vie du bâtiment, les conditions climatiques et le comportement social.

Des études spécifiques au site dans différents pays avec des régions thématiques ciblées permettent de suivre les domaines de recherche afin de fournir des informations supplémentaires sur la consommation d'énergie.

Stella Tsoka [3] examine dans son article les conditions climatiques intérieures d'un bâtiment sportif du stade Michel Walter de Strasbourg dans des conditions estivales typiques et extrêmes. Différentes stratégies de conception ont été analysées, telles que les protections solaires, l'utilisation de la végétation, les horaires d'occupation différenciés et la ventilation nocturne.

La modélisation thermique dynamique a été faite avec Pleiades après introduire toutes les paramètres descriptifs du bâtiment (surface, composition des parois, plan, nombre d'heures d'occupations durant la journée, température...)

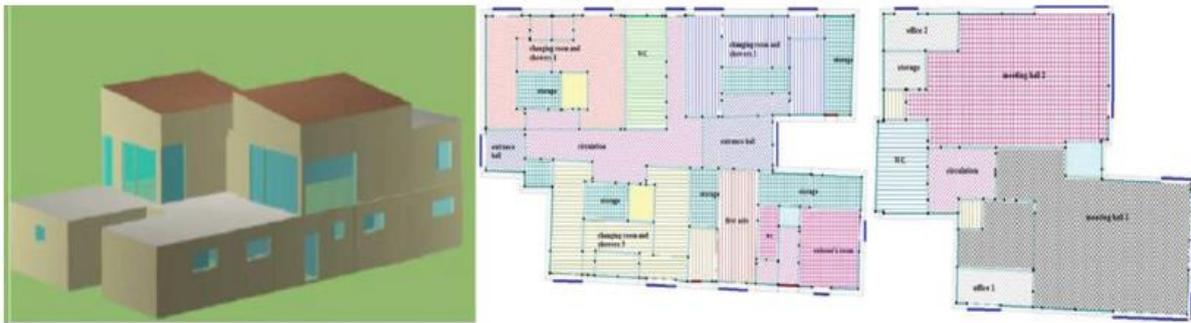


Figure 1.1 : Modèle 3D du bâtiment de base et zonage du premier et du deuxième étage [3]

Les résultats obtenus sont

- Des protections solaires sont inclus dans le deuxième scénario à cause des gains solaires.
- Les dispositifs d'ombrage devraient toujours être mis en œuvre en tant qu'éléments architecturaux.
- L'ombrage supplémentaire des arbres et la ventilation naturelle peuvent également améliorer l'environnement thermique intérieur des zones du bâtiment.
- La ventilation nocturne mécanique contribue à la réalisation d'un environnement thermique intérieur confortable.

L'analyse a montré que, malgré le fait que le bâtiment soit situé dans une Europe continentale caractérisée par des températures douces, la chaleur est maintenue plus longtemps en été.

En Indonésie **Rahmi Andarini [4]** et dans son article, les résultats de la simulation thermique d'immeubles de bureaux à Jakarta présentés à l'aide de l'outil de simulation et de visualisation de DesignBuilder², montrent que pour la conception de nouveaux bureaux, l'optimisation de l'enveloppe du bâtiment la consommation annuelle d'énergie a diminué de 43 %. Pour le

² DesignBuilder : Un moteur de simulation thermique dynamique basé sur Energy Plus.

bâtiment rénové, la mise en place d'un éclairage de travail réduira la consommation d'énergie de 25 %. De plus, l'application d'un éclairage de travail avec un scénario améliorant permettra une réduction potentielle supplémentaire de 30 %.

Le travail de **BRUN Adrien et al [5]** fait l'étude sur la simulation des bâtiments à haute performance énergétique (HPEⁱ) ils se sont intéressés à la comparaison de réponses et d'indices que fournissaient 5 outils représentatifs du panel Français : EnergyPlus, TrnSys, CoDyBa, Pleiade et PHPP. Le bâtiment se situe sur le Technopole du Bourget du Lac qui fait partie de la plateforme de construction de bâtiments de recherche de l'INES (Institut National de l'Energie Solaire)

Paramètres du bâtiment :

- Ventilation naturelle
- Echangeur double flux
- Les surfaces vitrées sont de type doubles vitrages basse émissivité avec lame d'argon
- Scénario d'occupation correspond à une famille de 4 personnes ayant

L'observation de deux extraits de simulation a montré une réelle concordance dans la dynamique d'évolution des températures d'air et des puissances de chauffage maximum quels que soient les outils utilisés.

En France G.Krauss et al [6] présentent la démarche de conception d'une maison individuelle à énergie positive à l'aide du logiciel Trnsys³, le projet vise à la conception d'une maison dont le bilan énergétique est positif. Les systèmes de conditionnement d'air, de production d'ECSⁱⁱ et d'électricité sont intégrés dans le modèle global.

Les résultats sont les suivantes

- Les besoins de chauffage obtenus sont bien en dessous de l'objectif
- Des nombre d'heures de surchauffes capté sur la zone de cuisine et buanderie
- La consommation électrique totale annuelle de la maison est inférieure à la production des capteurs photovoltaïques.

La modélisation de la maison sous le logiciel TRNSYS a permis de réaliser une optimisation complète et intéressante de l'enveloppe.

En Afrique au Cameroun **A. Kemajou et al [7]** la particularité de leur étude est que, par rapport aux habitations modernes en parpaings creux agglomérés de la zone chaude elle intègre une composante socioculturelle tenant compte des matériaux qui entrent dans les habitudes de construction de la population

Les résultats de ces simulations ont montré qu'en fonction des climats, le bois et la brique de terre sont meilleurs par rapport au parpaing de ciment, car l'habitat traditionnel représente parfois une réponse directe aux contraintes climatiques.

³ TRNSYS : un logiciel de simulation destiné principalement aux domaines des énergies renouvelables et du bâtiment.

L'analyse des résultats montre aussi que l'on peut obtenir un bon niveau de confort thermique, avec les matériaux locaux en améliorant un choix de la forme de l'habitat, son orientation et les dimensions des ouvertures

Il ressort que le confort thermique peut être atteint par un choix judicieux des matériaux de construction et une bonne politique architecturale de construction

Au Maghreb **N. Fezzioui et al [8]** ont présenté article qui fait une analyse de la maison a patio dans les quatre pays (Maroc, Algérie, Tunisie et la Lybie) sur le plan thermique le logiciel TRNSYS, le concept est de faire l'étude sur des villes situées dans différents situations géographiques et climats et d'évaluer le degré d'adaptation climatique de ce type de construction sur la région magrébine par comparaison entre une habitation moderne et une habitation a patio. Les résultats de la simulation montrent que la maison à patio reste plus efficace pour pallier le problème de la chaleur pour les climats chauds.

1.2.2 Les travaux examinés en Algérie

En Algérie on recense plusieurs travaux dans l'habitat ; on cite entre autres : A Oum El Bouaghi **M. Bacheche et Y. Bouchahm [9]** ont fait l'étude de la conception des fenêtres à faible demande énergétique dans les immeubles de bureaux en Algérie, L'étude a défini les facteurs les plus importants dans le processus d'optimisation de la fenêtre. Dans un climat semi-aride, l'orientation de la fenêtre s'est avérée être le paramètre le plus important. Dans le climat méditerranéen, les paramètres relatifs au vitrage se sont avérés être les plus importants. Alors que l'ombrage était le paramètre le plus important dans le climat dominé par le refroidissement.

Pour tous les climats et dans toutes les directions, il a été constaté qu'un taux de vitrage plus faible est le plus efficace. Dans le cas d'un climat semi-aride, le taux de vitrage le plus efficace est de 40 à 50 %. L'étude a établi des lignes directrices que les concepteurs et les opérateurs peuvent utiliser dans trois grandes régions climatiques d'Algérie et dans des climats similaires.

K. Imessad et al [10] ou ils présentent un logiciel appelé RETA, Développé par le Centre de développement des énergies renouvelables, qui propose des règlements et également l'estimations des gains d'énergie résultant de la mise en conformité du bâtiment à usage de bureau afin de faciliter l'intégration des exigences de la réglementation thermique algérienne dans les projets de construction.

Les études examinées confirment non seulement que les mesures de l'enveloppe du bâtiment ont le potentiel de réduire considérablement l'empreinte énergétique des bâtiments quelques soit l'environnement ou l'étude a été faite mais aussi la conformité entre les différents outils de simulation existants

A. Saddok, B. Djebri [11], dans leur article met en exergue la corrélation entre les typologies de plan à coursive et de plan à corridor central et le confort thermique des usagers dans le contexte climatique d'une ville algérienne à climat méditerranéen tempéré (Tizi-Ouzou).

Basée sur une campagne de mesures, l'étude a permis une évaluation objective des principaux paramètres physiques du confort thermique sans recours au conditionnement mécanique des

locaux. Par ailleurs, une enquête par questionnaire a permis de mener une évaluation subjective de l'ambiance thermique et de déterminer les principaux facteurs d'inconfort. L'analyse bioclimatique a permis de déceler les principaux défauts liés à la conception de ces bâtiments et de mener une étude comparative entre les deux typologies. Les résultats obtenus révèlent des carences en matière de confort thermique et confirment l'impact de la typologie du bâtiment sur le confort thermique des usagers.

S. Semahi et al [12] ont fait sortir un outil qui aidera tout concepteur dans les zones arides et semi arides a réalisé un bâtiment à haute performance énergétique. Les Paramètres considérés et les éléments architecturaux dans les phases en amont de la conception architecturale, sont les suivants :

Conditions environnementales :

- La situation géographique du terrain (altitude, latitude, longitude, topographie).
- L'orientation du terrain et les interférences du site (autres constructions, végétation).
- Les conditions climatiques.
- La direction et vitesse des vents dominants.
- La direction de la construction (orientation des façades).
- Les ombres extérieures liées à l'enveloppe.

Aspects généraux du bâtiment :

- La volumétrie externe et la morphologie.
- L'orientation des façades concernant le terrain et les points cardinaux.
- Les surfaces externes opaques et vitrées exposée à la radiation solaire.
- Les surfaces externes ouvertes à la ventilation.
- Le niveau de masque sur les façades dû à des dispositifs intégrés (dispositifs architecturaux).
- Les matériaux de construction basiques.

La réalisation des objectifs d'économie d'énergie et de réduction des gaz à effet de serre passe par la conception, la réalisation de bâtiments à haute performance énergétique et le maintien de cette performance dans le temps (gestion).

S. Sami Mecheri et al [13], ont mené une étude énergétique d'un logement individuel type F3 Duplex sur le site de Béchar effectuée avec le logiciel 'Pléiades + Comfie' dans le cadre du projet Eco-Bat, ils ont joué sur beaucoup de paramètres tels que : l'orientation ; l'isolation, les matériaux de constructions et le vitrage. Pour atteindre un confort thermique suffisant et qu'il soit un habitat passive HPE.

Cette étude a permis d'introduire l'étude énergétique ou thermique d'un model virtuel et découvrir l'impact des facteurs internes et externes, ainsi que les corrections des erreurs au cours de la réalisation. Aussi les besoins estimés par la simulation nous ont permis la recommandation d'installer un système de climatisation passif, et cela pour garder un confort thermique durant la période d'été.

S.M.A Bekkouche, et al [14] présentent dans leur article l'impact de l'inertie thermique de la pierre sur l'efficacité de l'isolation thermique intérieure et extérieure et propose des modèles

mathématiques permettant d'évaluer les performances énergétiques du bâtiment sans et avec isolation thermique

Les résultats obtenus

- L'isolant joue le rôle d'une barrière thermique.
- Durant une période froide, les pertes thermiques sont freinées par l'isolation. Elle valorise efficacement les apports du confort thermique.
- En hiver, les températures des surfaces intérieures des murs exposés restent les plus froides.
- Il ne faut pas surtout bâtir des logements avec la pierre à Ghardaïa. La forte raison c'est que les murs en pierres possèdent une grande capacité d'absorption, d'emmagasiner ou de stockage calorifique.

Les études examinées ici confirment non seulement que les mesures de l'enveloppe du bâtiment ont le potentiel de réduire considérablement l'empreinte énergétique des bâtiments quelques soit l'environnement ou l'étude a été faite mais aussi la conformité entre les différents outils de simulation existants.

1.3 Généralités :

On ne peut concevoir un bâtiment à Alger ou à Blida comme à Tamanrasset ou à Adrar de la même façon, et cela est référé à plusieurs facteurs climatiques et géographique pour un confort thermique durable qui est souvent négligé en matière d'habitation en Algérie

Pour comprendre ce contexte il faut tout au début présenter quelques notions sur le confort thermique, efficacité énergétique et la conception bioclimatique en générale

1.3.1 L'architecture bioclimatique :

Le secteur du bâtiment est aujourd'hui l'un des premiers postes de consommation énergétique et l'un des principaux responsables des émissions de gaz à effet de serre

Pour ces raisons, de nombreux efforts de recherche portent sur l'efficacité énergétique des bâtiments et plus précisément sur la réduction de leur consommation énergétique

L'architecture bioclimatique est un mode de conception architecturale qui consiste à concevoir et construire une habitation, alliant respect de l'environnement et économie de l'énergie pour le confort de ses occupants. Ça consiste à valoriser les conditions climatiques favorables en fonction des besoins tout en se protégeant des éléments indésirables afin d'obtenir un confort thermique tout au long de l'année et de minimiser les dépenses énergétiques



Pourquoi opter pour l'architecture bioclimatique ? *Figure 1.2 : habitat bioclimatique [15]*

Par le biais de moyens architecturaux avancés, l'architecture bioclimatique se base sur la réduction des besoins de l'habitat en chauffage et en climatisation pour qu'ils puissent être, totalement ou à grande partie, satisfaits par les rayonnements solaires et la circulation naturelle de l'air sur le site.

En plus de la réduction en consommation énergétique, l'architecture bioclimatique favorise l'éclairage naturel, contrôle l'humidité et vise le maintien de températures agréables à l'intérieur, afin d'assurer un maximum de confort pour les occupants.

Afin de bâtir une construction qui remplit toutes ces fonctions, le concepteur réalise des études approfondies sur le site en prenant en considération la météo, la géographie du lieu, le climat, les risques naturels et le mode de vie des habitants. Cette approche architecturale basée sur l'intégration de ces différents paramètres, permet de capter un maximum d'énergie solaire et éolienne disponible sur le site, de la conserver de manière respectueuse de l'environnement et d'optimiser sa diffusion et sa consommation en évitant toute cause de déperdition.

L'architecture bioclimatique s'appuie sur 5 pilier essentiel

- L'implantation et l'orientation
- L'architecture et la forme
- La distribution intérieure
- Le choix des matériaux
- Le confort d'été (avec un zoom sur les toitures végétalisées)

1.3.1.1 L'implantation et l'orientation :

1.3.1.1.1 Implantation et le sol :

L'implantation peut se définir comme l'opération consistant à reporter l'assise d'un ouvrage sur le sol

Pour planter correctement un ouvrage, il faut d'abord obtenir en plus des plans de situation, de masse et de fondations, un plan topographique précis, définissant le site puis mettre en place un piquetage. Dès que l'importance de l'ouvrage est significative, il ne faut guère hésiter à confier l'opération à un spécialiste, c'est à dire à un géomètre. Un système de piquetage consiste à déterminer et à établir un système bien défini de lignes, de distances et de plans permettant de disposer d'un réseau approprié pour obtenir la position et le niveau exact des ouvrages et d'éléments d'ouvrage.

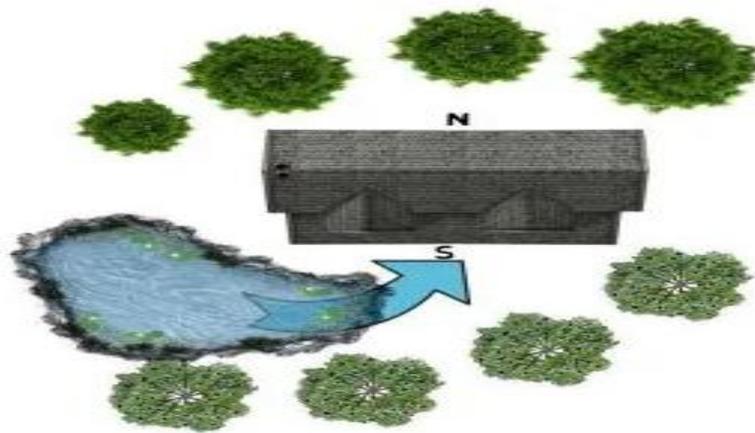


Figure 1.3 : implantation du site [16]

En effet, on peut créer un microclimat sur mesure pour améliorer les interactions entre l'extérieur et l'intérieur de l'habitat et ce de plusieurs façons :

- On peut planter des arbres persistants au nord, à l'Est ou à l'ouest afin de se protéger toute l'année des vents dominants et des arbres à feuilles caduques au sud qui laisseront passer le rayonnement lumineux l'hiver.
- En jouant sur l'emplacement de la végétation, on peut au contraire canaliser le flux d'air pour rafraîchir la maison l'été.
- Végétaliser un balcon, un jardin apportera de l'ombre et de l'humidité, ce qui fera baisser naturellement la température
- Un bassin ou plan d'eau, permettent de réduire l'exposition solaire directe afin d'éviter le chauffage des surfaces extérieures.

Au-delà, les écrans végétaux améliorent le refroidissement naturel par la canalisation de la brise de sud-est en été dans les climats tropicaux et touchent l'aspect psychologique dans un espace.

1.3.1.1.2 Orientation du bâtiment :

Avant chaque construction il y'a une étape importante liée à l'emplacement du chantier - faire une orientation du bâtiment. Cette étape va transformer le bâtiment sur le côté le plus approprié pour les locataires auront les meilleures conditions possibles pour vivre même si le temps à l'extérieur est mauvais

L'objectif est de récupérer au maximum les apports solaires passifs en hiver et de les réduire en été pour respecter le confort d'été. L'orientation d'habitation doit tenir compte l'ensoleillement afin de bénéficier aux maximum de l'ensoleillement. Une orientation optimisée pour un meilleur gain. D'ailleurs, elle doit permettre un maximum d'apports solaires et une exposition aux vents minimale ;

Sachant que sous nos latitudes (Algérie) :

En hiver, c'est la façade sud qui reçoit le plus de rayonnements solaires ;

En été ce sont celles des façades ouest, est et la toiture,

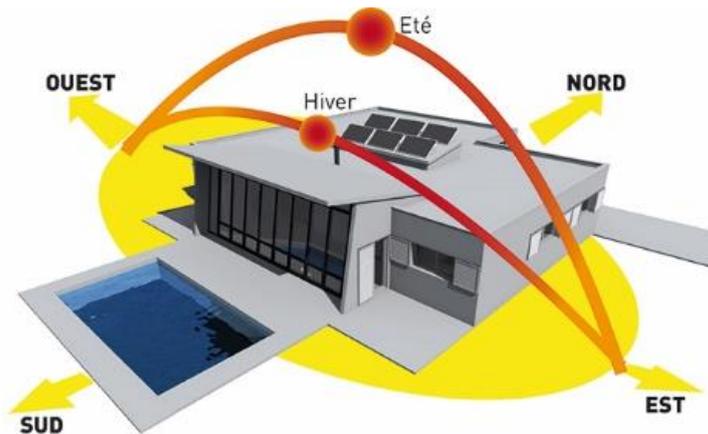


Figure 1.4 : la course du soleil [17]

Il vous faudra donc :

Développer la surface de la façade sud ; Idéalement, il faudrait qu'au moins 60% des surfaces vitrées soient orientées vers le sud. Prévoyez des débords de toiture pour éviter l'ensoleillement direct des pièces et protéger les murs de l'exposition directe du soleil en été avec une avancée de toiture d'au moins 50cm ou l'installation de stores pour protéger la façade [20].

Réduire la surface des façades est, ouest et de la toiture. Les fenêtres de toit doivent être performantes en thermique tant pour l'hiver que pour l'été, munies d'occultations extérieures, car ce sont elles qui reçoivent le plus de chaleur

Mieux vaut éviter les expositions directes est et ouest qui suivent la courbe du soleil qui occasionne le plus souvent des « surchauffes » et un inconfort visuel. Au Nord, Il faudra limiter les ouvertures afin de minimiser les déperditions thermiques du bâtiment. De manière générale il est conseillé de respecter un ratio de surface vitrée d'environ 20 % de la surface habitable, répartie comme suit : 50 % au sud, 20 à 30 % à l'Est, 20% à l'ouest et 0 à 10% au nord.

Cette règle est très importante car la bonne maîtrise des apports solaires peut représenter un gain gratuit de 15 à 20 % de besoins d'énergie (réduction de la consommation). [19]

1.3.1.2 L'architecture et la forme :

Plus la surface des parois en contact avec l'extérieur et avec le sol est réduite, plus les économies en énergie et en investissement sont importantes. Pour un même volume et une même surface, une habitation compacte consomme moins d'énergie qu'une habitation qui ne

l'est pas, Le but est donc d'avoir le moins de surface en contact avec l'extérieur pour la plus grande surface habitable. Ce rapport s'appelle le facteur de compacité. Plus ce facteur est faible, plus la construction est thermiquement performante. Au-delà de la compacité, la simplicité de la forme est essentielle.

1.3.1.2.1 Compacité :

La **compacité** d'un **bâtiment** est le rapport de la surface des parois en contact avec une zone non chauffée, appelée paroi déperditive, par le volume chauffé. La règle est qu'à volume chauffé égal, plus un bâtiment est compact, plus la surface des parois déperditives est faible. Aussi, privilégier un bâtiment compact permet-il de réduire, d'une part, les déperditions par les parois extérieures et, d'autre part, la quantité de matériaux nécessaires à leur construction

La compacité exprime le rapport entre la surface de l'enveloppe et le volume interne chauffé. On comprend donc que la compacité puisse donner rapidement une indication non seulement sur les performances thermiques du projet (les surfaces extérieures étant considérées comme de potentielles surfaces d'échanges thermiques), mais aussi sa dimension économique (le moins de matière pour le plus de volume intérieur et de surface habitable).

Cet indicateur exprime la valeur de la surface d'échange de l'enveloppe du projet, toiture rapportée, à la surface totale des planchers. Il permet donc de définir si une construction est compacte ou non. Pour un volume habitable équivalent, la configuration la plus efficace thermiquement sera logiquement celle ayant une enveloppe minimum, limitant ainsi les déperditions thermiques.

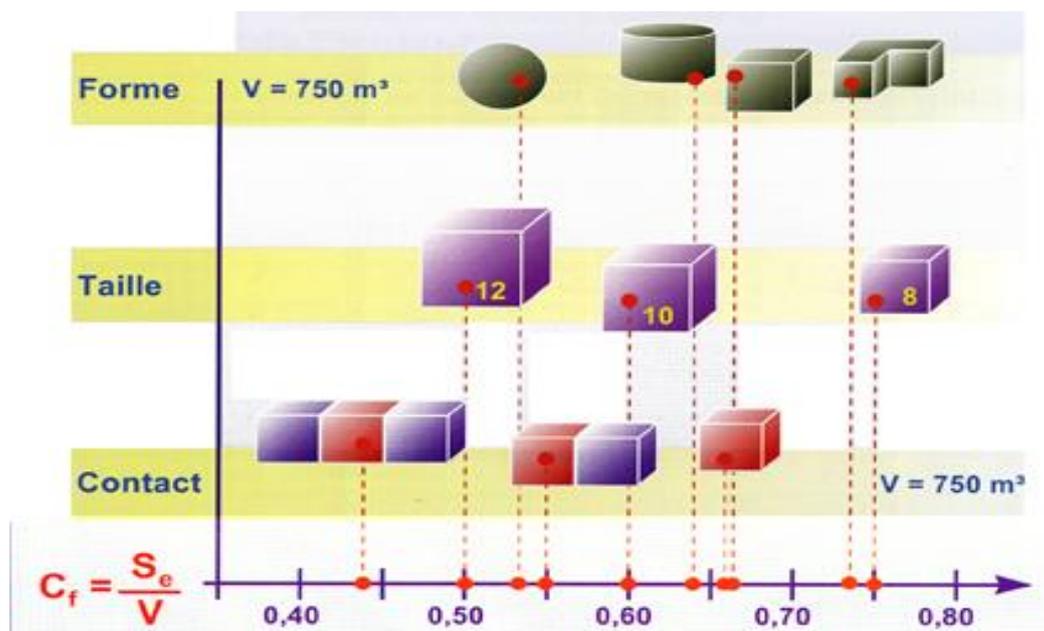


Figure 1.5 : volumétrie et compacité [19]

Pour autant, la compacité est un paramètre qui reste théorique et donc à ne pas considérer au pied de la lettre. En effet, celle-ci aboutirait à une uniformisation de la production architecturale qui se déclinerait uniquement autour du cube qui est la forme présentant un optimum satisfaisant entre volume intérieur/développé des façades et facilité de construction. De plus, des formes compactes ne sont peut-être pas adaptées dans des climats chauds ou pour une utilisation uniquement estivale. Enfin, certains projets utilisant des parois performantes thermiquement peuvent bénéficier de plus de liberté vis-à-vis de la compacité : « Le mode de

calcul des déperditions de référence, qui repose sur l'association des surfaces unitaires des parois avec le coefficient le coefficient K_g (coefficient K global) de référence, libère l'architecte de la contrainte de la forme « thermiquement optimale ». [...] Plus le niveau de l'isolation est poussé, plus l'architecte peut jouer librement avec l'enveloppe. » S. Charbonnier, C. Parant, A. Pouget, Guide de la thermique dans l'habitat neuf. [45]

Notons également que la compacité ne permet pas de caractériser la récupération des apports solaires sur une façade bien orientée. Ainsi, un projet ayant un coefficient de compacité moins bon qu'un autre mais développant une façade Sud plus importante pourra avoir une meilleure performance énergétique globale.

Dans le cas des maisons individuelles, on rencontre souvent le cas des garages intégrés dans le volume global de la maison. Au premier abord, on estime que le bâtiment est compact. En fait il n'en est rien, au contraire, ce local non chauffé, crée un espace froid qui s'imbrique dans le volume chauffé et dégrade considérablement le coefficient de forme, sans compter les difficultés constructives pour traiter ces parois séparatives. On proposera donc un garage accolé ou non solidaire de la maison, situations préférables pour la santé (gaz d'échappements de véhicules).

1.3.1.3 La distribution intérieure :

L'orientation des façades et la répartition des différentes pièces permet de bénéficier des apports du soleil d'hiver mais aussi de protéger du soleil en été et en mi- saison.

Le soleil, en hiver, va venir frapper la maison sur sa face sud-est le matin, plein sud en milieu de journée et sud-ouest le soir. La façade sud de la maison sera donc plus chaude que la façade nord, toujours à l'ombre. Les pièces situées au sud de la maison seront donc plus faciles à chauffer naturellement que les pièces du nord. Cette constatation doit guider dans l'implantation des pièces

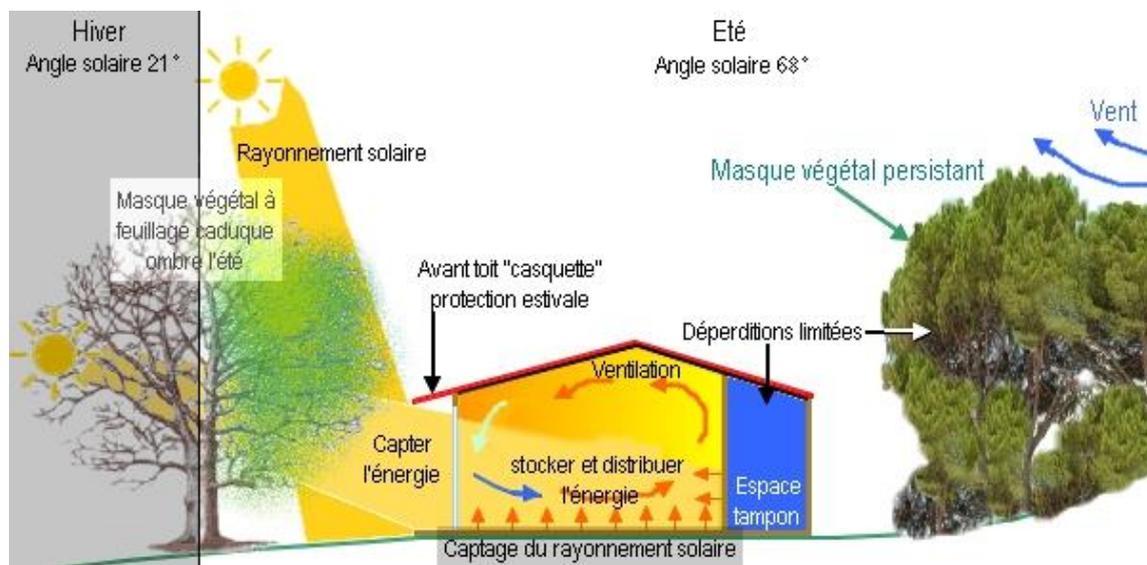


Figure 1.6 : captage du rayonnement solaire en saison estivale et hivernale [20]



En été, le soleil se lève au Nord Est et se couche au Sud-Ouest, montant très haut (68° au solstice d'été) [21]. Cette fois ci, ce sont la toiture, les façades Est (le matin) et Ouest (le soir) qui sont le plus irradiées. Quant à la façade Sud, elle reste fortement irradiée mais l'angle d'incidence des rayons lumineux est élevé. Il convient donc de protéger les surfaces vitrées orientées Sud via des protections solaires horizontales dimensionnées pour bloquer le rayonnement solaire en été.

Figure 1.7 : distribution intérieure du bâtiment [20]

1.3.1.4 Le choix des matériaux :

En construction, il existe de nombreux matériaux qui peuvent répondre aux besoins d'une conception bioclimatique. Les surfaces vitrées ne sont pas les seuls éléments à chauffer un intérieur : les matériaux du logement, s'ils sont bien choisis, permettent également d'emmagasiner la chaleur des rayons du soleil. Pour cela, il est indispensable de choisir des matériaux d'architecture bioclimatique lourds à forte inertie.

1.3.1.4.1 Inertie thermique :

Lors des hausses de températures, un logement peut accumuler de la chaleur pour ensuite la restituer à l'intérieur même de ses murs. On parle alors d'inertie thermique. Plus cette inertie est importante, plus le bâtiment va se réchauffer puis lentement refroidir. Ainsi, l'inertie permet un certain décalage par rapport aux températures extérieures. L'intérieur du bâtiment reste frais quand il fait chaud dehors, puis va progressivement se réchauffer grâce à la chaleur absorbée pendant la journée alors que les températures, elles, vont refroidir à l'extérieur. La chaleur va alors être restituée à l'intérieur du bâtiment pendant plusieurs heures et ce, même si aucun système de chauffage n'est actif

1.3.1.4.2 Exemples de matériaux :

Tableau 1.1 : exemples judicieux de matériaux [22]

matériau	Description	Avantages
Brique monomur	Brique en terre cuite d'une largeur faisant entre 30 et 37 cm , soit presque le double d'une brique classique	<ul style="list-style-type: none">• Isole naturellement sans isolant• Laisse respirer les murs• Permet d'éviter les problèmes d'humidité ou de moisissures
liège	Matériau issu d'une substance naturelle que l'on retrouve sur le chêne-liège	<ul style="list-style-type: none">• Isole aussi bien au niveau thermique que phonique• Peut être utilisé comme isolation extérieure
Panneaux en fibre de bois	Panneaux fabriqués à partir de déchets de scieries qui sont ensuite agglomérés	<ul style="list-style-type: none">• Sont étanches à l'air et perméables à la vapeur d'eau• Peuvent être utilisés en complément du liège en isolation extérieure
Terre cuite non émaillée	Revêtement de sol naturel	<ul style="list-style-type: none">• Stocke et diffuse très bien la chaleur

1.3.1.5 Le confort d'été :

A température élevée égale, on peut avoir une sensation de confort si l'air est sec (facilité de l'évaporation de la sueur), s'il est mis en mouvement (ventilateur, courant d'air) ou si la température des parois est plus faible que celle de l'air (meilleur rayonnement du corps vers ces parois). La notion de bien-être thermique reste bien sûr liée à chaque individu mais quelques paramètres mesurables peuvent être pris en compte :

- La température intérieure de l'air qui ne devra pas excéder 26 C°,
- Une humidité de l'air inférieure à 80%,
- Des parois fraîches.

Quelques bonnes habitudes peuvent suffire à conserver la fraîcheur à l'intérieur des logements

➤ Limiter les apports de chaleur externes :

- Dès que le soleil éclaire les fenêtres, baisser volets ou stores.
- Dès que la température extérieure dépasse celle du logement, fermer aussi les fenêtres.
- Créer une circulation d'air le soir en ouvrant les fenêtres sur deux façades différentes et/ou en ouvrant les fenêtres de l'étage créant ainsi un effet cheminé efficace.
- Intégrer un ventilateur de plafond qui favorisera un brassage lent et régulier de l'air et ne le faire fonctionner qu'en cas d'occupation de la pièce.

➤ **Limiter les apports internes :**

Les appareils électroménagers (réfrigérateurs et congélateurs surtout) et l'éclairage produisent de la chaleur. S'équiper d'appareils économes et de lampes basse consommation limite les apports de chaleur tout en diminuant la facture d'électricité. Par exemple, une lessive pendant la journée équivaut au fonctionnement d'un radiateur électrique pendant une heure et demi ! Enfin, réduire l'usage des équipements de cuisson (le four surtout) limitera les quantités de chaleur à évacuer.

En construction, intégrer le confort d'été

Avec des constructions de plus en plus isolées et donc une chaleur que l'on aura du mal à évacuer l'été, il apparaît primordial de traiter le confort d'été dès la phase conception.

➤ **Agir sur l'environnement proche de l'habitation :**

En limitant les dallages ou zones goudronnées qui accumulent la chaleur en journée et la restituent le soir et en privilégiant au contraire les pelouses, les arbres à feuilles caduques, on agira ainsi sur l'environnement de la maison en maintenant une température extérieure plus mesurée.

Une autre solution consiste à intégrer une toiture ou façade végétalisée pour rafraîchir l'air ambiant par évapotranspiration.

➤ **Agir sur le vitrage :**

2/3 des apports en chaleur en été se font par les vitrages. Il conviendra donc :

- De limiter la surface vitrée : 15 % à 20% de la surface habitable.
- De réserver les baies vitrées ou grandes fenêtres au sud (étant donné la hauteur du soleil l'été, il est facile de s'en protéger par une casquette).
- De limiter les grandes ouvertures à l'ouest, sous peine de créer des surchauffes dès le début d'après-midi car on cumulera à la fois une température élevée à cette période et un ensoleillement de la façade et des vitrages (sinon prévoir une protection avec végétation à feuilles caduques).
- D'éviter les fenêtres de toit ou à défaut les positionner au nord ou à l'est.
- En cas de véranda, la prévoir encastrée dans l'habitat sans toiture vitrée.
- Prévoir une casquette solaire au sud qui fera ombrage sur les vitrages que ce soit sous forme de pergola, casquette photovoltaïque ou autre protection solaire.

1.3.2 Thermique du bâtiment :

La thermique du bâtiment est une discipline de la thermique visant à étudier les besoins énergétiques des bâtiments. Elle aborde essentiellement les notions **d'isolation thermique** et de **ventilation** pour limiter les échanges thermiques avec l'extérieur, de **fourniture d'énergie** pour le chauffage et de production d'eau chaude sanitaire.

La totalité des parties d'un bâtiment est soumise aux transferts thermiques, qui sont des échanges de chaleur entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur. La connaissance et la maîtrise de ces transferts thermiques permet une gestion de la facture énergétique d'un bâtiment. La diminution de ces échanges thermiques sert à maintenir une température tempérée à l'intérieur du bâtiment en y apportant le moins d'énergie envisageable. Elle permet aussi d'orienter la conception du bâtiment dans un cadre réglementaire tout en visant un compromis entre coût énergétique et confort.

La thermique du bâtiment s'intéresse aussi à l'impact écologique en considérant l'impact sur l'environnement de l'énergie ayant apporté le chauffage : chauffage central fioul, gaz, bois, chauffage électrique, etc.

Un étude complète nécessite de distinguer les sources de chaleur internes et externes au bâtiment, c'est-à-dire les parties actives, des parties passives comme les surfaces extérieures, les vitres, la toiture par exemple.

➤ **Consommation énergétique d'un bâtiment :**

On nomme consommation énergétique du bâtiment ou l'indice énergétique égal à la consommation totale d'énergie du bâtiment indispensable au chauffage divisée par la surface chauffée

$$\text{indice energetique} = \frac{\text{consommation d'energie}}{\text{surface de reference energetique}} \quad [23]$$

- La consommation d'énergie est exprimée en kilowattheures (**kWh**), elle comptabilise les besoins de chauffage du bâtiment, et les besoins pour la production d'eau chaude sanitaire ;
- La surface de références énergétique est exprimée en mètres carrés (m²).
- La consommation énergétique, ou indice énergétique, est par conséquent une énergie par une surface exprimée en kilowattheures par mètre carré (kWh/m²)

➤ **Enveloppe thermique du bâtiment :**

L'enveloppe thermique d'un bâtiment est l'enveloppe qui sépare le volume chauffé de l'environnement extérieur. C'est au travers de cette enveloppe que passe la chaleur.

- Conduction : le mur chauffe par conduction et perd de la chaleur vers l'extérieur.
- Convection : le vent accélère l'échange thermique en local sur le mur par convection.
- Rayonnement : le Soleil chauffe le mur par rayonnement.

Le Soleil réchauffe le toit par rayonnement.

- Conduction : la chaleur du soleil est transmise à travers le toit au reste de la structure du bâtiment.
- Convection : le vent refroidit le toit avec un vent frais. Le Soleil, le vent, et la vitre elle-même participent aux échanges de chaleur.
- Convection : le vent refroidit la vitre par convection.
- Rayonnement : le Soleil chauffe l'intérieur de la pièce à travers la surface transparente. L'intérieur de la pièce lui-même perd une partie de son énergie par rayonnement vers l'extérieur.

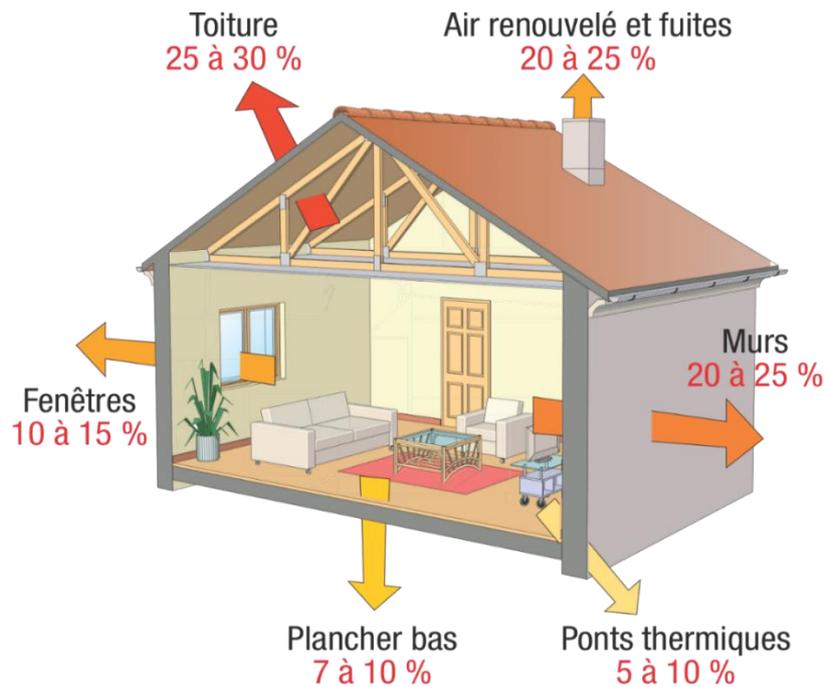


Figure 1.8 : déperdition thermique d'un bâtiment [24]

➤ **Diffusion de la chaleur dans le bâtiment :**

Radiateur : son principe repose sur l'émission d'un rayonnement thermique. L'eau chaude porte les ailettes du radiateur à une température supérieure à celle de la pièce. Ces ailettes émettent ensuite un rayonnement, principalement dans l'infrarouge, qui en première approximation peut être étudié comme celui du corps noir.

Conduction quand la chaleur s'évacue par les parois du radiateur en contact avec un autre corps (mur, personne, ameublement).

Convection quand l'air extérieur en contact avec le radiateur se réchauffe.

1.3.2.1 Chauffage

Les installations de chauffage sont classifiées d'après les caractéristiques suivantes :

- L'emplacement du générateur de chaleur (chauffage central).
- Le type d'énergie (chauffage au charbon, au gaz, au fuel, électrique, solaire, par pompe à chaleur).
- Le fluide caloporteur (chauffage à eau chaude, à eau surchauffée, à vapeur, à air chaud).
- Le mode d'émission de chaleur (chauffage par convection, rayonnement ou combine).

1.3.2.1.1 Chauffage centrales

Le chauffage central est l'appellation donnée à une installation de chauffage avec chaudière(s) fioul ou gaz distribuant un réseau bitube alimentant des radiateurs, voire des planchers chauffants dans la maison ou les différents appartements de l'immeuble.

1.3.2.1.1.1 Avantages des chauffages centraux :

- Le nombre de foyer et des conduites de fumée est diminué.
- Pollution atmosphérique moins importante.
- Les transports de combustible et de cendres dans les habitations sont supprimés.
- Le rendement de la combustion est élevé.
- Volume occupé par les corps de chauffe est réduit.
- Maintenance minimale.

1.3.2.1.1.2 Inconvénients :

- Les frais d'installations, d'entretien et de conduite sont élevés.
- Difficulté de répartition des frais de chauffage entre les appartements.

1.3.2.1.2 Chauffage à eau chaudes

Ce type de chauffage utilise l'eau chaude comme fluide caloporteur. Et On distingue deux modes de chauffage à eau chaude :

a) les chauffages à circulation accélérée.

b) les chauffages à circulation naturelle (thermosiphon).

1.3.2.1.3 Chauffage passif

Le chauffage passif consiste à utiliser le rayonnement solaire, le choix des matériaux et l'orientation des parois de l'enveloppe thermique pour chauffer directement le bâtiment par le rayonnement solaire sans transformation énergétique. À l'heure actuelle, et compte tenu des besoins hivernaux des pays tempérés, le chauffage passif n'est pas suffisant pour couvrir l'intégralité des besoins de chauffage.

Le chauffage passif sert généralement à faire diminuer les besoins. Un dispositif de chauffage actif est par conséquent utilisé en parallèle

1.3.2.2 Isolation thermique

L'isolation thermique sert à désigner la totalité des méthodes utilisées pour limiter les transferts de chaleur entre un milieu chaud et un milieu froid. On retrouve de l'isolation thermique dans :

- Le bâtiment (diminution des besoins énergétiques des habitations) ;
- L'industrie (protection contre de grandes sources de chaleur) ;
- L'automobile

La loi de Fourier donne la propagation de la chaleur selon un axe x : [23]

$$\varphi_x = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Où :

- φ_x Est la densité du flux de chaleur, en W/m² ;
- λ est la conductivité thermique du matériau traversé par le flux de chaleur, en W/m/K ;

- dT est la variation de température de chaque côté de ce matériau, en kelvin ;
- dx est l'épaisseur du matériau traversé par ce flux de chaleur, en mètre.

Le paramètre propre au matériau servant à limiter les échanges de chaleur est la **conductivité thermique** donc plus elle est faible moins y'auras des déperditions et plus le matériau sera isolant

L'isolation dans le bâtiment est un point important de la thermique du bâtiment elle sert à diminuer les échanges de chaleur entre l'intérieur du bâtiment et l'environnement extérieur, et ainsi diminuer les besoins de chauffage et, le cas échéant, de climatisation. Cette isolation doit être pensée suivant les contraintes climatiques du lieu où se situe le bâtiment. L'isolation thermique est le principe de base de la maison passive. Elle emprisonne la chaleur à l'intérieur en hiver et garde la maison fraîche en été.

La lutte contre le gaspillage d'énergie passe par l'isolation thermique des bâtiments chauffés, elle fait l'objet d'une réglementation précise datant de plus d'une trentaine d'années. L'isolation des nouveaux logements est obligatoire mais c'est aussi un moyen efficace de diminuer les dépenses de chauffage et de climatisation (elle fonctionne aussi en été !) tout en perfectionnant le confort.

On considère généralement une maison comme un récipient percé de différentes sortes de trous:

- Portes et fenêtres,
- Ventilation,
- Combles plafonds,
- Murs extérieurs.

1.3.2.2.1 Les méthodes d'isolation des murs

Il existe 3 principes pour réaliser l'isolation thermique d'un mur, ils changent par l'usage projeté de l'habitation :

1.3.2.2.1.1 L'isolation intérieure

Cette solution, la plus commune, est aussi la plus facile à mettre en œuvre.

L'isolation intérieure sera choisie pour les cas de rénovations dans les appartements (car il est complexe d'intervenir sur l'extérieur du bâtiment) et pour les résidences secondaires. Dans ce dernier cas, l'occupation intermittente ne permet pas de chauffer durablement la masse thermique des murs. L'isolation intérieure laisse par conséquent le mur hors de la zone isolée et permet une montée en chauffe rapide adaptée à un usage temporaire.

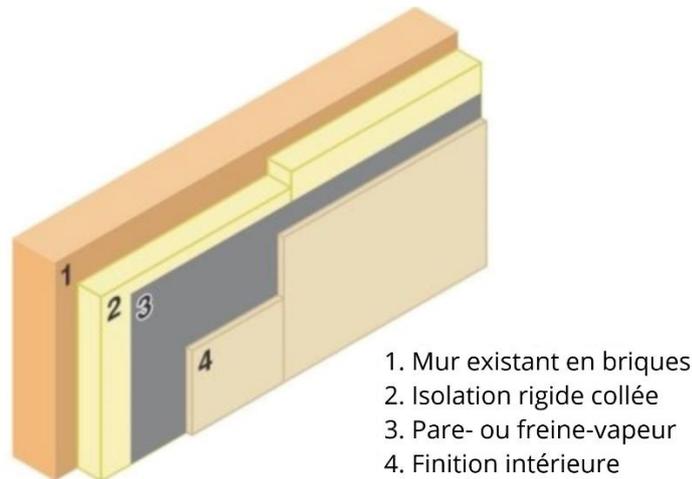
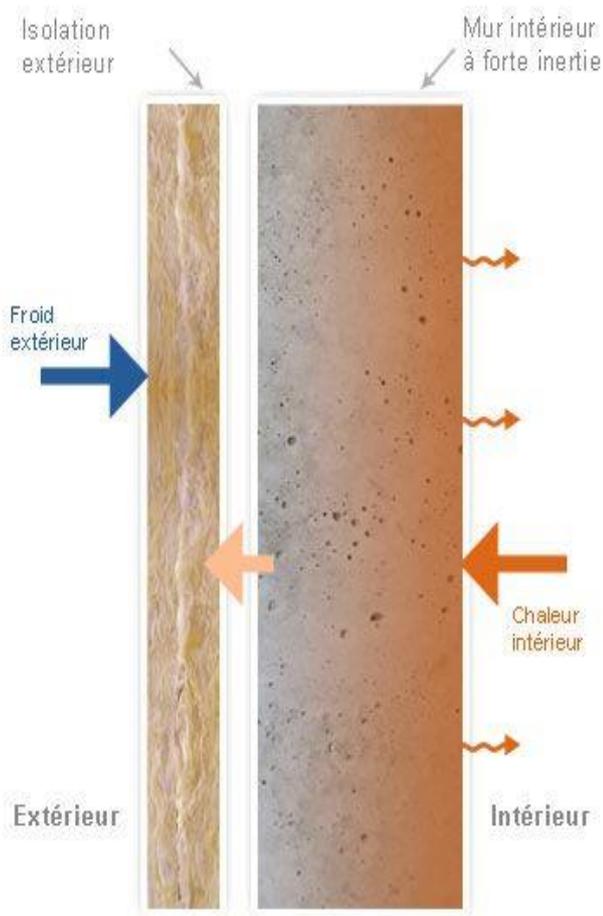


Figure 1.9 : mur avec isolation intérieure [25]

Elle a l'avantage (qui est aussi un inconvénient occasionnellement) de ne pas présenter d'inertie thermique. La contrepartie de l'isolation intérieure est une réduction de l'espace intérieur et la présence de nombreux ponts thermiques restant à traiter. La qualité d'une isolation intérieure peut diminuer avec le temps (tassement des laines derrière les plaques de plâtre, trous de souris dans le polystyrène, etc.)

1.3.2.2.1.2 L'isolation extérieure



Cette solution, fréquemment plus coûteuse nécessite le plus souvent une épaisseur d'isolant plus faible.

L'isolation extérieure est plus adaptée à l'isolation des résidences principales. Elle sert à conserver la masse thermique du mur au sein de l'enveloppe isolée. L'habitation, chauffée en continu, monte en température lentement dans toute sa masse mais se refroidit faiblement quand elle est inoccupée.

L'isolation extérieure est par contre complexe à mettre en œuvre sur certains édifices anciens (pierre apparente, façades ouvragées) et nécessite presque toujours l'intervention de professionnels qualifiés. On choisira cette dernière solution si les dépenses de chauffage sont importantes car l'isolation obtenue est forte. Une isolation extérieure est intéressante car elle n'empiète pas sur le domaine habitable. Son épaisseur, par conséquent son efficacité, ne peut guère dépasser 15 cm mais elle supprime aisément les ponts thermiques (abouts de planchers, ...) sauf au niveau des fondations. Une épaisseur de 10 cm d'un isolant extérieur équivaut à 20 à 25 cm du même isolant intérieur

Figure 1.10 : isolation extérieure [26]

[27]. On l'utilise essentiellement en rénovation.

1.3.2.2.1.3 L'isolation intégrée au matériau porteur,

Cette solution utilise des matériaux qui intègrent un isolant dans leur structure : béton cellulaire, brique de chanvre, brique de terre cuite avec âme isolante...).

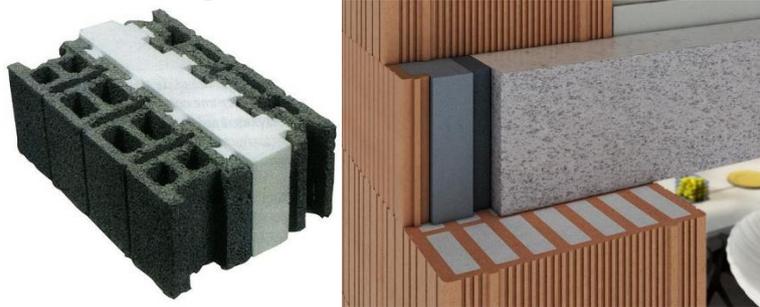


Figure 1.11 : bloc a isolation intégrée [28]

L'isolation intégrée est le plus souvent utilisée en construction neuve. Cette solution est performante et durable. Le coût d'un mur monolithe de béton cellulaire ou de briques monomur est sensiblement le même que celui d'un parpaing additionné d'un isolant et d'une plaque de plâtre

Par plancher on entend le sol sur lequel on circule : dalle en béton, ou plancher sur solives. Le plafond d'un niveau correspond bien entendu au plancher de l'étage supérieur. L'isolation thermique des planchers est importante pour le confort (en gardant les pieds au chaud) et pour l'économie d'énergie dans le cas d'une dalle chauffante.

1.3.2.2.1.4 Isolation du plancher

L'isolation des planchers combat deux causes de déperditions thermiques :

- Pertes vers l'étage inférieur non chauffé (sous-sol, vide sanitaire, terre-plein...),
- Pertes par ponts thermiques (voir cette section).

Du fait que l'air chaud a tendance à s'accumuler au plafond et que la différence de température entre sous-sol et volume habitable est moindre en hiver qu'entre l'extérieur et volume habitable, l'épaisseur de l'isolation indispensable est plus faible (de l'ordre de 6 cm en plancher comparé à 10 à 20 cm dans les combles) [23].

Pour isoler un plancher on peut :

- Soit isoler la sous-face de ce dernier en fixant des panneaux isolants au plafond du niveau inférieur ou en utilisant une dalle avec hourdis isolants,
- Soit réaliser une chape isolante (béton avec granulats isolants), une dalle flottante sur polystyrène expansé à haute densité (cas de la dalle chauffante), un plancher sur lambourdes scindées par de la laine de verre...

Comme l'air chaud monte par convection, la température est plus élevée au plafond et il est par conséquent logique de placer une couche d'isolant plus épaisse dans les combles que sur les murs. Sous le toit les entrées d'air doivent être plus particulièrement traitées car il n'y a pas d'étanchéité des murs. La couche d'isolant doit être protégée contre les intrusions de la fouine, en fermant avec un grillage solidement fixé l'espace entre les chevrons au niveau de la sablière.

Plusieurs solutions sont envisageables pour l'isolation sous le toit, selon la résistance thermique souhaitée et de l'espace disponible :

- Peu d'espace et isolation faible — film réfléchissant fixé sous les chevrons, coûteux et de faible efficacité en pratique,
- Peu d'espace et isolation moyenne — rouleaux de laine de verre ou de laine de chanvre agrafés entre les chevrons, de mise en œuvre délicate car l'espacement entre chevrons est rarement régulier,
- Espace disponible et isolation forte : double épaisseur de panneaux de laine de roche ou de verre ou encore de laine de chanvre fixés à l'intérieur d'une structure en caissons, entre les pannes. La structure supporte aussi les plaques de plâtre, des panneaux d'aggloméré, de la frise de pin...

L'isolation est mise en place après la pose des conduits de fumée et des fenêtres de toit. Prévoir le passage des gaines de ventilation, des câbles de télévision, des gaines électriques...

1.3.2.2 Principaux isolants thermiques

Les principaux isolants thermiques utilisés pour l'isolation des murs et sous-pentes sont, par ordre croissant de conductivité thermique :

Tableau 1.2 : quelques isolants et leurs avantages [23]

Isolant	Avantages
la mousse de polyuréthane	excellent isolant, cher, elle est moins stable dans le temps que ses concurrents,
la laine de verre	bon marché, stable, irritante pour la peau lors de la pose, elle est proposée en panneaux ou en rouleaux
la laine de roche	Comparable à la laine de verre mais moins désagréable à poser, elle ne fond pas au contact de la flamme.
la perlite	Roche d'origine volcanique, Matériau isolant qui ne nécessite aucun entretien. Elle est donc idéale pour combler des parois inaccessibles
Les mousses de polymère : <ul style="list-style-type: none"> • Polystyrène expansé • polystyrène extrudé 	<ul style="list-style-type: none"> • Léger, rigide, fragile, facile à découper, il doit être protégé des rongeurs, ne nécessite pas de pare-vapeur. Existe en plaques incompressibles pour l'isolation des dalles flottantes.
la fibre de bois	moins bon isolant que les précédents et moins bon marché, mais plus écologique, utilisée en vrac et bourrée entre deux cloisons.
le chanvre	le béton de chanvre, la brique de chanvre
ouate de cellulose	fabriqué à partir de journaux recyclés, bon déphasage, prix équivalent aux laines minérales
l'air emprisonné	dans les fils d'un vêtement, des fibres non

	tissées, les plumes ou poils d'un animal, un double vitrage..
--	---

Pour les applications à hautes températures, on utilise généralement des isolants céramiques. On trouve dans le commerce divers produits (pas toujours nouveaux) présentés comme ayant des résistances thermiques particulièrement supérieures aux isolants listés ci-dessus. Leur efficacité ou durabilité n'est le plus souvent pas prouvée, pour un prix fréquemment particulièrement élevé

L'isolation d'un bâtiment doit être envisagée via :

- Son coefficient d'isolation,
- Son déphasage thermique ; c'est-à-dire la capacité des matériaux composant l'enveloppe de l'habitation à ralentir les changements de température (inertie thermique, utile par exemple pour stocker des calories solaires le jour et les redistribuer lentement la nuit).

Cette inertie est en rapport avec la masse des matériaux. Elle existe même pour la laine de verre, qui à haute densité aura une inertie plus grande qu'à basse densité. Quoi de plus logique en principe mais pensons-y lors de la construction ou de la rénovation d'une habitation (hors habitat bioclimatique qui valorise fortement l'inertie thermique). Pour ce qui est des murs, l'inertie pose généralement moins de problèmes (en particulier dans le cas d'une isolation par l'extérieur) que dans le cas de l'isolation des combles. Pour les combles, comme la couverture ne freine que peu le transfert de chaleur, l'inertie des matériaux isolants est par conséquent bien plus importante.

1.3.2.3 Pont thermique

Les ponts thermiques sont des points de jonction où l'isolation n'est pas continue et qui provoquent des pertes de chaleur. Bête noire du poseur de l'isolant, les ponts thermiques pèsent d'autant plus dans le pourcentage de déperditions de la maison que celle-ci est bien isolée.

Toute singularité dans une paroi forme un pont thermique et surtout :

- Entre deux parois verticales (angle constitué par deux murs ou entre un mur extérieur et un mur intérieur)
- Entre une paroi horizontale et une paroi verticale (à la jonction d'un mur et d'un plancher)
- Au droit des joints lors de la pose des fenêtres

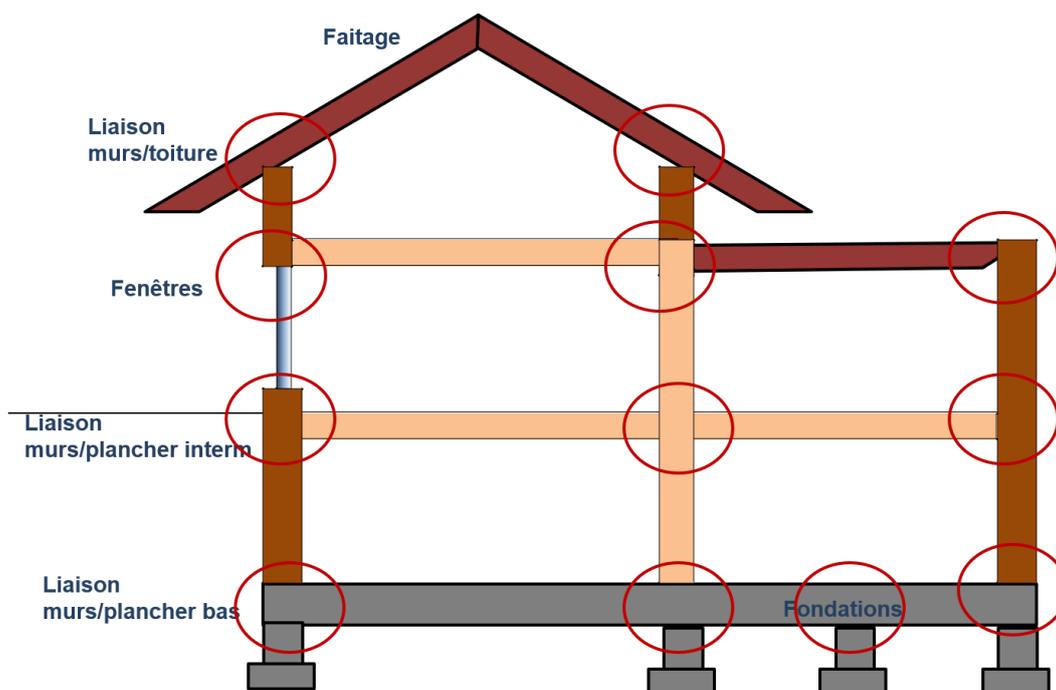


Figure 1.12 : emplacement des ponts thermique [29]

Il y a un pont thermique dès qu'il y a une discontinuité entre des matériaux et des parois de structure. Les ponts thermiques principaux d'un bâtiment se situent aux jonctions des façades et planchers, façades et refends, façades et toitures, façades et planchers bas. Ainsi qu'à tous les percements (portes, fenêtres, loggias...). Ce sont les ponts thermiques structuraux. Ces ponts thermiques sont plus ou moins importants selon la constitution des parois (isolées ou non).

Pour remédier aux ponts thermiques au niveau de la conception, il est essentiel de choisir des méthodes de construction et des matériaux réduisant au maximum les déperditions par les parois et intégrant les pertes les plus réduites envisageables au niveau des jointures de ces parois. En règle générale, il faut une excellente isolation du plancher.

1.3.2.3.1 Conséquences des ponts thermique

1) Déperdition thermique

Les ponts thermiques sont une cause principale des déperditions thermiques des bâtiments. Ces pertes de chaleur nécessitent une quantité de chauffage supplémentaire et donc une consommation énergétique plus élevée. De plus, si on ne tient pas compte des déperditions dues aux ponts thermiques, l'installation de chauffage peut être sous-dimensionnée.

2) Problèmes d'humidité

Avec la nouvelle directive sur la performance énergétique des bâtiments, les bâtiments sont de plus en plus imperméables et étanches à l'air. Ils respirent de moins en moins. Les ponts thermiques provoquent une différence de température entre l'air ambiant et la surface du plancher. Cette différence de température entraîne un risque de condensation en surface, auquel cas les parois s'humidifient.

Si les bâtiments ne sont pas bien ventilés, le renouvellement de l'air étant limité, les parois restent humides. En conséquence, des moisissures peuvent apparaître, créant un aspect inesthétique, des odeurs perceptibles et parfois le développement d'allergies chez des personnes vulnérables.

Il est possible de lutter contre l'humidité avec des appareils desséchant partiellement l'air, au prix toutefois d'un encombrement comparable à un radiateur et d'une consommation électrique qui s'inscrit dans une fourchette typique de 20 W à 900 W selon les besoins [30].

3) Détérioration des matériaux

L'humidité présente dans les matériaux peut entraîner une dégradation de la structure porteuse et des matériaux de doublage

Les remontées de l'eau dans les murs a de graves conséquences :

la dégradation des matériaux, notamment des joints dans les murs de pierre. Une fois endommagés, on assiste à un tassement des pierres par le bas, puis à une chute de la toiture car la base de la structure ne tient plus. Quant à la vitesse de propagation, elle serait fonction du débit d'eau dans le sous-sol.

4) Sensation de parois froide

La différence de température entre l'air de la pièce et les parois au niveau des ponts thermiques provoque des sensations de froid par absence de rayonnement (l'air n'assure qu'une convection), ce qui peut être inconfortable pour la personne sensible ou insuffisamment vêtue (sensation de froid malgré une température apparemment correcte, vents coulis...).

1.3.2.3.2 Solution pour le traitement les ponts thermique

Pour remédier aux ponts thermiques au niveau de la conception, il est primordial de choisir des méthodes de construction et des matériaux réduisant au maximum les déperditions par les parois et intégrant les pertes les plus réduites possibles au niveau des jointures de ces parois, mais l'isolation reste le facteur majeur pour traiter les ponts thermique et éliminer les déperdition, voici quelques solutions pour les traiter :

- Le choix des matériaux de construction et le recours à l'isolation répartie. Les matériaux à isolation répartie sont des matériaux qui remplissent à la fois la fonction de structure porteuse et d'isolation.
- L'isolation par l'extérieur. Elle permet de minimiser les ponts thermiques (surtout en collectif) pour les refends et les planchers intermédiaires. De plus ce procédé peut permettre de ne pas réduire l'inertie.
- L'utilisation de rupteur de ponts thermiques. Ils assurent la continuité verticale de l'isolation au niveau des liaisons entre dalles, refends ou balcons et la façade, ils permettent de réduire une grande partie des déperditions sur ces jonctions.
- La Finition : Les finitions jouent un rôle très important dans le traitement des ponts thermiques au même titre que la limitation des infiltrations d'air ou d'humidité. Les découpes notamment doivent être les plus propres possibles pour limiter les ponts thermiques linéiques. Les ponts thermiques structurels dépendent de nombreux facteurs et corps de métier. Ils nécessitent une bonne conception de l'isolation et une coordination précise des acteurs.

Selon la méthode d'isolation utilisée, on peut traiter plus ou moins les ponts thermiques mais on ne les supprime pas. Sur le schéma ci-contre est présenté un **pont thermique d'angle** (à la jonction entre deux murs extérieurs). Il n'y a pas de faiblesse d'isolation particulière mais il existe bel et bien une discontinuité. On parlera de pont thermique traité.

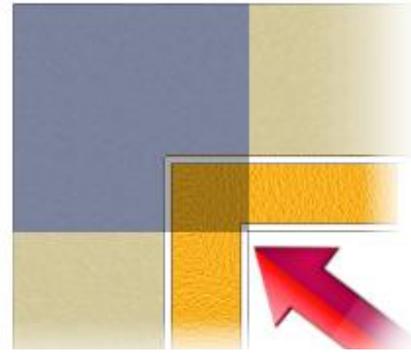


Figure 1.13 : pont thermique d'angle [30]

Cela illustre bien le fait que dans toute construction, des ponts thermiques sont présents, malgré l'isolation. Attention, cela ne veut pas dire qu'il faut s'en inquiéter, car un pont thermique bien traité, comme ci-contre, n'a pas de grande incidence sur la température intérieure ou la consommation.

Il ne faut pas confondre un pont thermique non traité avec une infiltration d'air, le premier laisse passer la chaleur parce qu'il n'y a pas ou trop peu d'isolant, la seconde est un passage qui permet à l'air de rentrer et de sortir, créant des courants d'air et donc, indirectement, des déperditions d'énergie.

➤ **Les ponts thermiques de liaison des planchers intermédiaires**

Au niveau des **planchers intermédiaires**, le pont thermique classique est dû à un point faible du procédé d'isolation thermique par l'intérieur (ITI). La discontinuité de l'isolation laisse en effet la chaleur s'évacuer vers l'extérieur en passant par le plancher (voir ci-dessous). En isolation thermique par l'extérieur (ITE), le flux est bloqué grâce à la continuité de la plaque isolante. Le pont thermique est ainsi traité.

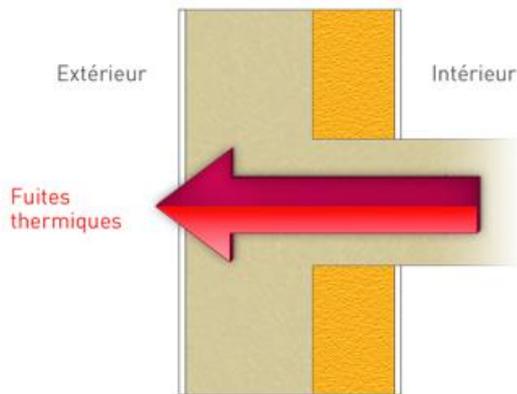


Figure 1.14 : isolation intérieure [30]

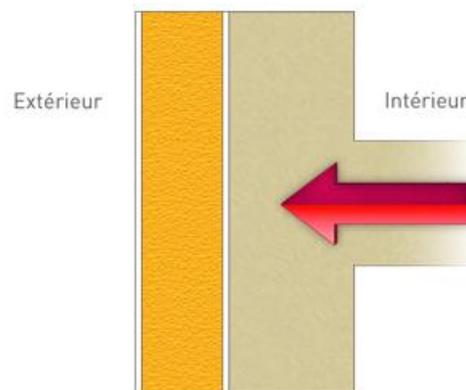


Figure 1.15 : isolation extérieure [30]

En isolation par l'intérieur, il est possible d'utiliser des rupteurs de pont thermique (élément isolant introduit dans la liaison entre le plancher et le mur) ou des planelles isolantes. L'isolation par l'extérieur est plus efficace que les rupteurs de ponts thermiques, eux-mêmes plus efficaces que les planelles isolantes.

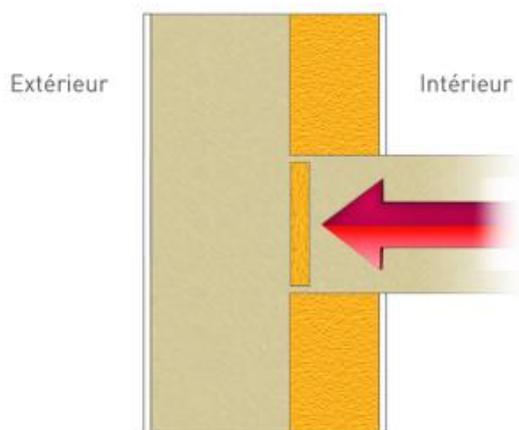


Figure 1.16 : Rupture de pont thermique [30]

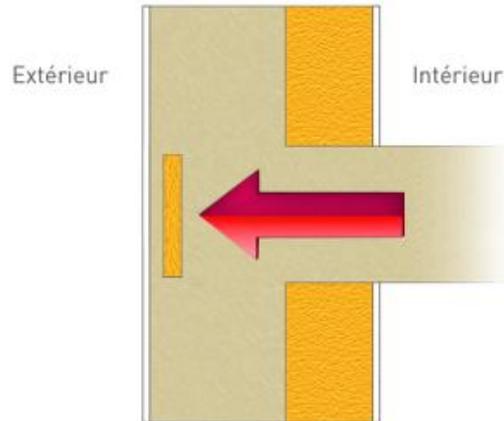


Figure 1.17 : planelle isolant [30]

➤ **Les ponts thermiques du plancher bas**

Le plancher bas du logement (le plancher qui est directement au-dessus du sol ou d'un espace non-chauffé) comporte lui-aussi certains ponts thermiques, à cause de la discontinuité entre l'isolation en sous-face du plancher bas et l'isolation du mur. Pour remédier à cela, il y a la possibilité de mettre en œuvre une chape flottante (une couche de mortier désolidarisée de la dalle en béton) et d'isoler en dessous et en périphérie de cette chape.

On peut également installer un rupteur de pont thermique comme pour le plancher intermédiaire. Ce qui concerne les planchers bas, l'isolation thermique par l'extérieur peut représenter un problème. Il n'existe pas de réelle solution pour traiter ce pont thermique.

➤ **Les ponts thermiques du plancher haut**

Le plancher haut (le plancher juste en dessous de la toiture ou d'un espace non-chauffé) est lui-aussi problématique. Si la maison est isolée par l'intérieur, la question ne se pose pas : il suffit d'isoler le plancher haut par l'intérieur, et les ponts thermiques sont traités. Si l'isolation est extérieure, c'est plus compliqué. Deux solutions sont envisageables. La première est d'isoler le plancher haut par l'extérieur et d'isoler aussi les appuis de toiture (acrotères). Cependant, c'est une solution rarement mise en œuvre, la plupart des maîtres d'ouvrage s'arrêtant à l'isolation du plancher et tolérant

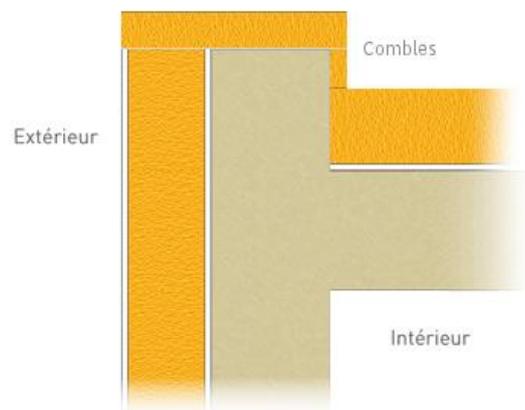


Figure 1.18 : pont thermique du plancher haut [30]

un pont thermique au niveau des appuis de toiture.

➤ **Les ponts thermiques intégrés**

La pose de l'isolation est souvent un casse-tête pour les constructeurs, car fixer l'isolant sans créer de pont thermique n'est pas si facile. Le choix de la méthode de fixation est décisif : auparavant, on utilisait des vis métalliques pour faire tenir les plaques d'isolation. Mais le métal de ces vis, très conducteur, crée un passage pour la chaleur. Ces ponts thermiques, appelés « intégrés » (ou « structurels ») car ils sont en lien avec la méthode d'isolation elle-même, pouvaient permettre de fortes déperditions. D'autres techniques ont donc été adoptées au fur et à mesure : au lieu du métal, on a préféré des fixations en plastique. Malgré tout, il faut encore prêter attention à la jonction des plaques isolantes. Le mauvais agencement des

plaques constitue en effet une discontinuité dans la résistance thermique et donc crée un pont thermique. Récemment développées, des techniques d'isolation par projection évitent les percements et font adhérer directement l'isolant à la paroi, réduisant donc au minimum les ponts thermiques intégrés.

➤ Les autres ponts thermiques

Certains ponts thermiques sont souvent oubliés : au pourtour des portes et des fenêtres, rares sont les maîtres d'ouvrage qui intègrent un isolant aux menuiseries. Les gaines et les conduits, s'ils sont mal intégrés, peuvent aussi être à l'origine de faiblesses de l'isolation. Ces ponts thermiques plus discrets n'en sont pas moins gênants. Ce qui est sûr, c'est qu'ils sont révélateurs de la qualité de la maîtrise d'œuvre.

1.3.2.4 Climatisation

La climatisation ou le conditionnement de l'air est la technique qui consiste à modifier, contrôler et réguler les conditions climatiques (température, humidité, niveau de poussières, etc.) d'un local pour des raisons de confort (bureaux, maisons individuelles) ou pour des raisons techniques (laboratoires médicaux, locaux de fabrication de composants électroniques, blocs opératoires, salles informatiques).

L'objectif de la climatisation est d'assurer, au sein des pièces équipées, une température confortable et agréable. En mode simple ou réversible, ce type d'installation est à même de proposer du froid, voire du chaud (dans le cas du système réversible).

Les principales caractéristiques modifiées, contrôlées ou régulées sont :

- Le degré de pollution de l'air ambiant (local à traiter) : renouvellement, soit par extraction forcée de l'air hors du local, soit par introduction forcée d'air neuf (air extérieur) dans le local, soit par renouvellement partiel de l'air ambiant pollué (adjonction d'un caisson de mélange),
- La température de l'air : modification suivant les saisons (chauffer ou refroidir),
- Le degré d'hygrométrie de l'air traité : humidification ou déshumidification,
- La teneur en poussières de l'air : traitement par filtration de l'air soufflé ou repris,
- Le maintien permanent des conditions intérieures (la régulation).

La climatisation relève principalement de la technique des pompes à chaleur et se trouve de plus en plus associé dans un même appareil, un "climatiseur réversible" (rafraîchissement l'été, chauffage l'hiver).

Le principe de la climatisation vise à garantir un certain nombre de points :

- Le rafraîchissement ou, a contrario, le réchauffement d'une ou plusieurs pièces ;
- La régularité du niveau hygrométrique ;
- La dépollution de l'air ambiant intérieur.

Les occupants des lieux, que ce soit une habitation, des bureaux ou un commerce, pourront, grâce à ce type d'installation, disposer d'un confort respiratoire et thermique de meilleure qualité. Le confort respiratoire sera notamment garanti par la présence de filtres dédiés, capables de retenir les particules de poussière, les acariens et autres polluants présents dans l'air ambiant.

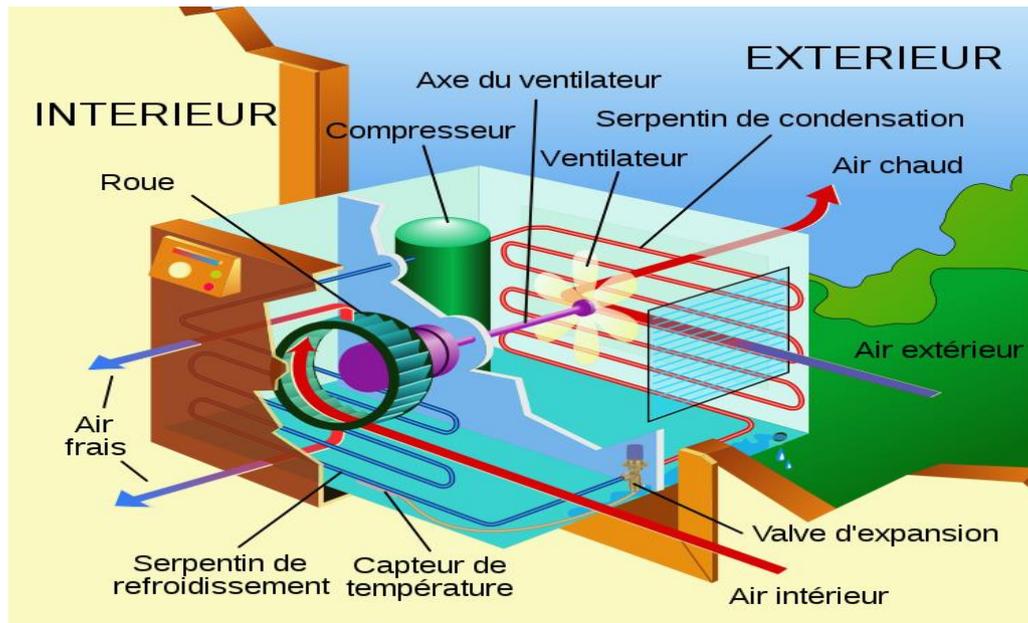


Figure 1.19 : principe d'un climatiseur [27]

A l'instar d'un réfrigérateur, dans la pratique, les systèmes de climatisation permettent de produire de l'air frais. L'air chaud, vicié, est capté par l'appareil puis rejeté à l'extérieur de la pièce tandis que l'air frais, purifié, est ventilé vers l'intérieur. Si l'appareil est doté de la technologie "réversible", il sera alors aussi, à l'instar de la pompe à chaleur, en mesure de produire de l'air chaud et éjectant alors l'air froid des locaux concernés.

La climatisation est un mode de confort thermique adapté quand la température extérieure est élevée. En été et en intersaisons, le besoin de climatisation est dû aux apports externes (solaire surtout) ainsi qu'aux apports interne (nombre important d'occupants, exemple salle de réunion, appareils électriques tels que l'éclairage, la micro-informatique, ...). La climatisation apporte le confort thermique d'été, d'intersaisons, mais également en hiver par utilisation du même dispositif pour chauffer les locaux. Le confort en hygrométrie est aussi pris en compte pour apporter une humidité ambiante contrôlée par les actions d'humidification et de déshumidification. Une climatisation est principalement une pompe à chaleur d'une taille adaptée à l'usage (comparable à un réfrigérateur pour climatiser une voiture, mais bien plus gros pour un bâtiment

1.3.2.4.1 La climatisation réversible

De l'air frais l'été et chaud l'hiver, voici le principal avantage de la climatisation réversible par rapport aux radiateurs électriques. Le choix entre une climatisation réversible et un chauffage électrique repose sur de nombreux critères, pratiques et économiques. Voici les avantages et les inconvénients de ce système 2-en-1.

➤ Installation

L'installation d'une climatisation réversible exige des travaux bien spécifiques, avec une unité intérieure placée à un endroit stratégique et une unité extérieure installée dehors. Ceci pèse lourd dans le choix entre une climatisation réversible et un chauffage électrique, car ces derniers ne nécessitent pas les mêmes travaux d'installation.

➤ Le rendement énergétique

En ce qui concerne le rendement énergétique, le choix entre climatisation réversible ou chauffage électrique est vite fait. En effet, le climatiseur réversible offre un bien meilleur rendement que les radiateurs électriques.

En hiver, la climatisation réversible fonctionne comme une pompe à chaleur, elle consomme donc beaucoup moins d'électricité que les radiateurs. Lorsque le modèle a été choisi avec une puissance adaptée à la surface de la maison, le rendement énergétique devient optimal.

1.3.2.4.2 Les systèmes de climatisation existants

a) Système monobloc :

Le climatiseur monobloc est un système de climatisation composé, comme son nom l'indique, d'un seul et **unique bloc**. L'ensemble du circuit frigorifique est contenu dans une même enveloppe. L'appareil capte la chaleur de l'air intérieur puis la rejette à l'extérieur par une gaine flexible d'évacuation. Il se compose comme tout système de climatisation de quatre éléments principaux : **le compresseur, le condenseur, le détendeur, l'évaporateur** et il fonctionne sur la base d'un cycle thermodynamique

Il existe 2 types de climatiseur monobloc :

Le climatiseur monobloc **mobile** : monté sur roulette, il se déplace facilement, mais il faut disposer d'une ouverture à proximité. C'est le moins cher des climatiseurs monoblocs.

Le climatiseur monobloc **mural** : s'encastre dans le bâti, dans un mur ou une fenêtre, il faut prévoir également une évacuation, plus cher mais plus performant.

b) Système split :

Un climatiseur split-system est un climatiseur dans lequel le soufflage frais est séparé en deux parties reliées entre elles par une liaison frigorifique servant à transporter les calories de l'unité intérieure à l'unité extérieure.

Le compresseur d'un climatiseur split-system est situé dans son unité extérieure, l'unité intérieure de taille plus réduite sert à diffuser l'air climatisé à la température choisie par l'utilisateur.

1.3.2.5 Ventilation

La ventilation dans le bâtiment permet le renouvellement et l'assainissement de l'air intérieur d'un local ou d'une construction. Le but est d'apporter suffisamment d'air frais ou d'air neuf hygiénique nécessaire aux individus et indispensable à la respiration du bâti. Deux types de ventilation existent : la ventilation naturelle et la ventilation mécanique.

1.3.2.5.1 La ventilation naturelle :

Fonctionne par le phénomène de convection naturelle due aux différences de températures qui ont pour effet de provoquer un tirage de l'air du bas vers le haut (air extérieur froid). Cette ventilation naturelle est possible en hiver, mais en été les flux d'air peuvent s'inverser et nous pouvons assister à un contre-tirage.

1.3.2.5.2 La ventilation mécanique contrôlée ou VMC :

Crée mécaniquement les flux d'air. Elle consiste à créer un mouvement d'air dynamique grâce à un extracteur ou un ventilateur au travers de conduits gaines. Différents types de VMC existent. La VMC = Ventilation Mécanique Contrôlée autoréglable, la VMC hygro-réglable, la VMC double-flux, ...

En habitation comme en tertiaire, la ventilation touche notre confort sanitaire au travers de la QAI (qualité d'air intérieure) et impacte sur les consommations d'énergie électrique. Il est indispensable de maintenir les débits d'air hygiénique minimum, réglementation oblige. Avec un bâtiment BBC de plus en plus isolé thermiquement, de plus en plus étanche (perméabilité à l'air), les déperditions par renouvellement d'air grandissent fortement par rapport aux déperditions surfaciques et prennent une part importante dans le bilan énergétique. D'où l'apparition de bouches auto-réglables, qui s'ouvrent uniquement en fonction du taux d'humidité représentant l'occupation des individus. D'où l'adoption de plus en plus fréquente en zones climatiquement froides de VMC double flux avec récupérateur d'énergie. D'autres économies d'énergie sont possibles car les systèmes de ventilation notamment en habitation fonctionnent en continu, 24/24h. Ainsi l'utilisation de solutions de ventilation à haute efficacité énergétique avec moteur microwatt à faible consommation électrique permettent d'atteindre la performance requise par la haute performance énergétique : BBC, RT 2012, THPE, label Effinergie, ...

A noter qu'à contrario, l'absence de ventilation entraînerait des risques pour l'hygiène et la santé tels que maux de tête et allergies respiratoires. Le bâti non ventilé souffrirait de moisissures et autres dégâts matériels. Soit un très mauvais calcul économique sur le long terme.

1.3.3 Confort thermique

Quel que soit l'environnement dans lequel il se trouve, l'Homme est une machine thermique qui doit maintenir sa température interne la plus constante possible grâce à des mécanismes de thermorégulation physiologique qui lui permettent de maintenir un bilan thermique équilibré.

Le confort thermique est traditionnellement lié à 6 paramètres :

1.3.3.1 Le métabolisme

L'être humain comme tous les animaux à sang chaud conserve une température interne pratiquement constante, malgré les variations importantes de son environnement. Ceci est possible grâce au métabolisme¹ qui extrait des aliments, l'énergie nécessaire à l'organisme. Cette énergie prend alors deux formes : **la chaleur** (pour maintenir la température du corps) et **le travail musculaire** (interne pour soutenir le squelette et externe pour transmettre des forces aux objets). La production thermique est permanente mais est toujours liée à l'activité physique de la personne. Plus le travail musculaire est intense et plus la production de chaleur est importante.

Tableau 1.3 : métabolisme de l'être humain en fonction d'activité [42]

Activité	Niveau d'activité (Nombre de fois le métabolisme basal)	Puissance moyenne pour une Personne (70 kg et 1,70 m) [W]
Sommeil	0,7	74
Couché, au repos	0.8	84
Assis, au repos	1	106
Assis, travail mental	1.1	116
debout au repos	1.2	127
Debout, activité légère (Achat, laboratoire, industrie Légère	1.6	169
Debout, activité moyenne (Vente, travail ménager, travail sur machine)	2	211
Debout, activité soutenue (travail de garage)	3	317
Marche 4 km/h	2.2	232
Course 10 km/h	7.6	800
Course 25 km/h	43	4500
Course 30 km/h	105	11000
Football	10.3	1080
Nage 1,6 km/h	5.4	570

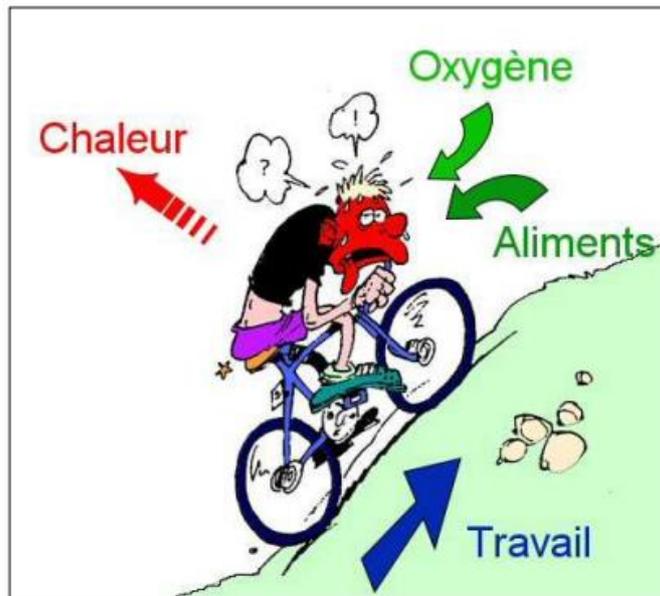


Figure 1.20 : Illustration de l'association travail – chaleur [42]

Le métabolisme est évalué indirectement, en mesurant le débit d'air respiré. Plus l'effort physique est intense et plus les muscles consomment d'oxygène apporté par la respiration. En fait, le travail musculaire ne représente qu'une toute petite part du métabolisme, l'énergie principale étant dégagée sous forme de chaleur. Un sportif très performant ne parvient même pas à produire 20 % de son métabolisme sous forme de travail externe. Une personne au repos, ne fournit aucun travail extérieur ; tout son métabolisme est converti en chaleur.

1.3.3.2 L'habillement

Qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement. L'habillement est un moyen de lutte contre les échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement. Il est considéré comme une résistance thermique permettant de limiter ces transferts de chaleur. L'unité de cette résistance est le **clo**, où $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ W/m}^2/\text{K}$ [42], correspondant à une tenue « classique » d'hiver. Une tenue en short, tee-shirt, caleçon, chaussettes et chaussures représente une isolation thermique de **0,33 clo**, tandis qu'une tenue en pantalon léger, chemise manches longues, veston demi-saison, caleçon, chaussettes et chaussures représente **1 clo** [40].

1.3.3.3 La température ambiante

La température ambiante est la température de l'air de tout objet ou environnement dans lequel l'équipement est stocké. L'adjectif "ambient" signifie "relatif à l'environnement immédiat". Parfois aussi appelée température ordinaire ou température de référence, cette valeur est importante pour la conception des systèmes et l'analyse thermique, elle est souvent comparée à la température ressentie comme sensation thermique par rapport à la température de confort. La norme de l'Organisation Mondiale de la Santé en matière de chaleur confortable est de $18 \text{ }^\circ\text{C}$ ($64 \text{ }^\circ\text{F}$) pour les adultes normaux et en bonne santé bien vêtus. Pour ceux qui ont des problèmes respiratoires ou des allergies, ils ne recommandent pas moins de $16 \text{ }^\circ\text{C}$, et pour les malades, les handicapés, les personnes très âgées ou très jeunes, un minimum de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ [44]

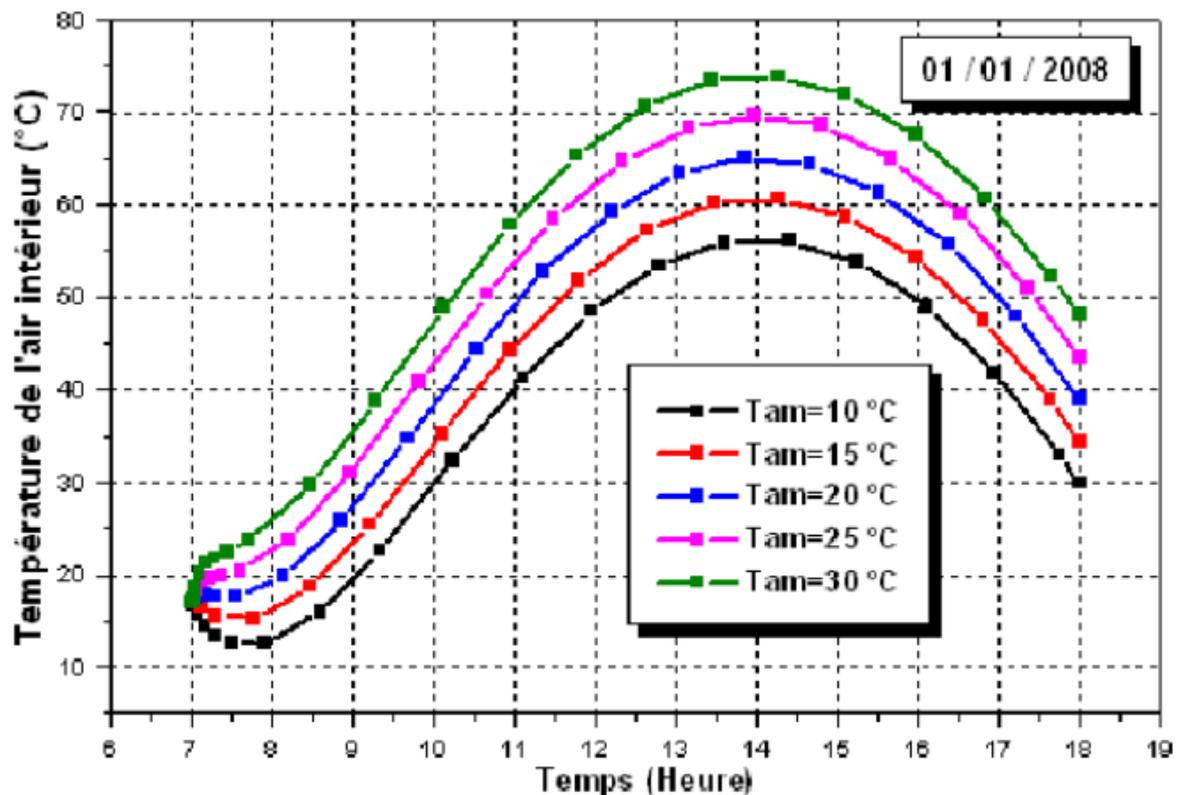


Figure 1.21 : Effet de la température ambiante sur la température de l'air intérieur [43]

La température ambiante est plutôt un paramètre qui caractérise le confort thermique qui est influencé par la température extérieure, l'isolation des parois et tout source de chaleur (humaines, équipements électriques, chauffage etc. ...)

1.3.3.4 La température moyenne des parois TP

La température des parois opaques ou transparentes intervient aussi dans la notion du confort thermique. Un simple vitrage, contrairement à un double avec couche de faible émissivité, émet un rayonnement froid qui crée une sensation d'inconfort en hiver. Un mur ou un sol froid émettent le même rayonnement désagréable

Nos sensations sont bien trompeuses et bien souvent, en hiver, nous avons froid alors que la température est correcte dans la maison (19-20°C).

Cette sensation de froid s'explique principalement par le phénomène de parois froides (entre aussi en jeu l'humidité et les courants d'air).

Ainsi la température ressentie par le corps n'est pas la température de l'air qui nous entoure, mais la moyenne entre la température de l'air nous entourant et la température des parois autour de nous.

Prenons l'exemple d'une habitation bien chauffée avec un air à 20°C.

Si les murs sont autour de 16°C (murs non isolés) alors le corps ressentira une température de 18°C.

D'où une sensation de l'inconfort, malgré une bonne température affichée par le thermomètre.

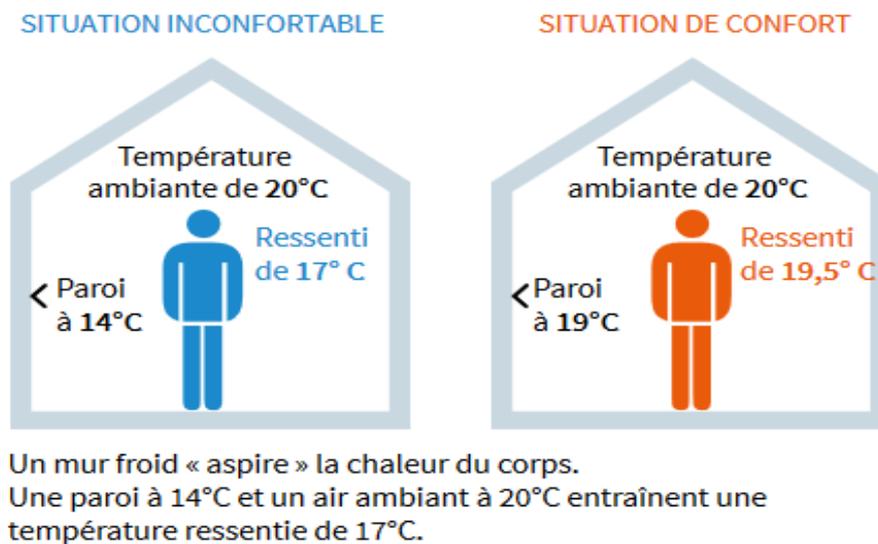


Figure 1.22 : influence des parois froides sur la température ressentie [32]

Pire encore, les fenêtres, même en double vitrage, sont toujours un point faible de l'isolation. Par exemple, une bonne fenêtre en double vitrage est aussi isolante que 5cm d'isolant.

Ainsi la fenêtre aura généralement une température de surface d'environ 17°C. Soit un ressenti de 18,5°C

1.3.3.5 L'humidité relative de l'air (HR)

L'humidité relative est le rapport de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air sur la quantité de vapeur d'eau maximale possible. C'est cette donnée que mesurent les météorologues. L'humidité relative s'exprime en pourcentage. 100 % correspond à un air saturé en vapeur d'eau (risque de nuage, pluie, brouillard, rosée ou givre), 0 % à un air parfaitement sec (cette valeur d'humidité relative n'est jamais atteinte dans la nature, pas même dans les déserts).

Plus l'air est chaud, plus il peut contenir d'eau sous forme vapeur. Inversement, quand l'air se refroidit la vapeur condense et forme des gouttelettes d'eau liquide : on dit que le seuil de la saturation augmente avec la température.

L'humidité relative d'une masse d'air varie donc avec la température de l'air. Lorsque la température augmente, en journée, l'humidité relative diminue, alors que le contenu en eau de la masse d'air - l'humidité absolue - reste inchangé.

Un taux d'humidité de 10 à 20 % correspond à un air très sec, trop sec pour le confort de l'organisme. Inversement, lorsque les températures chutent, en cours de nuit, l'humidité relative augmente et peut atteindre la saturation soit une humidité relative de 100 %.

A 30 °C, l'air peut contenir jusqu'à 30g/m³ d'eau sous forme de vapeur [31], soit 10 fois plus qu'à -5°C. Voilà qui explique en partie pourquoi les pluies sont bien plus abondantes dans les régions tropicales que dans les régions tempérées et qu'au cœur de l'Antarctique, les chutes de neige sont rares et peu intenses.

Tableau 1.4 : quantité maximale de vapeur d'eau en fonction de température de l'air [31]

Quantité maximale de vapeur d'eau contenue dans une particule d'air en fonction de la température								
Température de l'air	-10	-5	0	5	10	15	20	30
Quantité maximale de vapeur d'eau (en g/m ³)	2	3	4.5	6.5	9.6	13	17	30

D'après le tableau, à 30 °C une particule d'air dont l'humidité relative est de 50% contient 15g/m³ de vapeur d'eau, soit moitié moins que ce qu'elle pourrait contenir au maximum.

1.3.3.6 Vitesse de l'air

La **vitesse de l'air** (et plus précisément la vitesse relative de l'air par rapport à l'individu) est un paramètre à prendre en considération, car elle influence les échanges de chaleur par convection et augmente l'évaporation à la surface de la peau.

À l'intérieur des bâtiments, on considère généralement que l'impact sur le confort des occupants est négligeable tant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0,2 m/s.

À titre de comparaison : se promener à la vitesse de 1 km/h produit sur le corps un déplacement de l'air de 0,3 m/s [31].

Le mouvement de l'air abaisse la température du corps, facteur recherché en été, mais pouvant être gênant en hiver (courants d'air).

- Condition hivernale :

Tableau 1.5 : qualité de la diffusion de l'air dans différentes situations [31]

Vitesses résiduelles	Réactions	Situation
0 à 0.08 m/s	Plaintes quant à la stagnation de l'air.	Aucune
0.13 m/s	Situation idéale	Installation de grand confort
0.13 à 0.25 m/s	Situation agréable, mais à la limite du confort pour les personnes assises en permanence	Installation de confort
0.33 m/s	Inconfortables papier légers bougent sur les bureaux	Grandes surfaces et magasins
0.38 m/s	Limite supérieure pour les personnes se déplacement d'air important	Grandes surfaces et magasins
0.38 à 0.5 m/s	Sensation de déplacement d'air important	Installation industrielle et usines ou l'ouvrier est en mouvement

La fourniture d'air frais pour la ventilation d'un local n'entraîne en principe qu'un mouvement très faible de l'air.

➤ Conditions estivales :

Pour les températures de locaux comprises entre 21 et 24°C, un déplacement d'air à la vitesse de 0,5 à 1 m/s [31] donne une sensation rafraîchissante confortable à des personnes assises n'ayant que de faibles activités. Mais lorsqu'on fournit un travail musculaire dans des endroits chauds, des vitesses d'air de 1,25 à 2,5 m/s sont nécessaires pour apporter un soulagement. On produit parfois des vitesses plus élevées lorsque des hommes sont soumis pour de courtes périodes à une chaleur rayonnante intense. Ce mouvement d'air sera obtenu à l'aide de ventilateurs.

L'importance du mouvement d'air nécessité pour obtenir un effet rafraîchissant peut-être évaluée dans une certaine mesure par l'expérience personnelle des vitesses extérieures de l'air. La sensation de fraîcheur produite par un vent léger soufflant par une fenêtre par une chaude journée est familière à chacun. La vitesse généralement désignée par "brise légère" est de l'ordre de 2,5 m/s [31]. L'échelle de Beaufort des vents reproduite sur le tableau ci-dessous donne des vitesses des vents en km/h et en m/s

Tableau 1.6 : vitesse du vent à l'échelle de beaufort [31]

Force du vent à l'échelle beaufort n ⁰	Nature du vent	Vitesse en m/s	Vitesse km/h
0	Calme	-	-
1	Air légère	1.5	5.4
2	Brise légère	3	10.8
3	Brise douce	5	18
4	Brise modérée	7	25
5	Brise fraîche	9	32.4
6	Brise forte	11	39.6
7	Vent modéré	13	47
8	Vont frais	15	54
9	Vent fort	18	65
10	Grand vent	21	76
11	Tempête	28	100
12	ouragan	45	160

1.4 Conclusion

L'enveloppe bâtie n'est plus simplement considérée comme la frontière du domaine habitable, elle devient un élément souple chargé de transformer un climat extérieur fluctuant et inconfortable en un climat intérieur agréable.

Dans ce chapitre on a découvert les différentes notions de thermique des bâtiments et du confort thermique qui permet de comprendre le but et les objectifs de notre étude

2 Chapitre II : présentation du logement

2.1 Introduction

Dans le contexte de la garantie de performance énergétique, il est essentiel de pouvoir estimer de façon fiable les consommations prévisionnelles d'un bâtiment en exploitation.

Sur le marché, il existe depuis de nombreuses années des outils qui permettent d'effectuer des simulations thermiques, qui vont de simples feuilles de calcul à des outils très sophistiqués. La majorité de ces outils a été développée initialement pour calculer les besoins thermiques de chauffage et refroidissement d'un bâtiment, sur la base des caractéristiques de l'enveloppe.

Dans le cas où ce calcul est effectué sur des courts pas de temps (généralement une heure) et de façon « dynamique »¹, on parle communément de STD (Simulation Thermique Dynamique).

Une simulation énergétique dynamique d'un ensemble bâtiment – systèmes (SED) est une simulation effectuée par un ou plusieurs outils numériques, pour calculer la consommation énergétique annuelle du bâtiment et d'une éventuelle production locale d'énergie (photovoltaïque, cogénération, ...).

Contrairement à une « simple », appelée « simulation thermique dynamique » (STD), une SED doit permettre non seulement de calculer les différents besoins thermiques (chauffage, rafraîchissement, eau chaude sanitaire) qui caractérisent l'enveloppe du bâtiment, mais également de remonter aux consommations liées aux systèmes d'émission, gestion et régulation, distribution, stockage et génération, ainsi qu'aux systèmes d'éclairage artificiel et, éventuellement, aux autres équipements présents dans le bâtiment (bureautique, ascenseurs, éclairage de sécurité, extracteurs spécifiques, etc.).

2.2 Présentation des sites :

2.2.1 Présentation des wilayas

2.2.1.1 El oued

Plus de 85 % de la surface totale de l'Algérie est caractérisée par un climat chaud et sec [32], la ville d'el oued est retenue dans cette étude, avec un climat dominant type désertique. Il est caractérisé par de longues périodes de surchauffe où l'inconfort est fortement ressenti, Le logement doit, donc, être conçu selon les exigences d'été ; celles de l'hiver seront satisfaites en conséquence. Il est donc plus, approprié de viser la période de surchauffe pour déterminer les techniques de refroidissement passif qui aident à réduire les températures internes pour atteindre des ambiances confortables.

➤ **La situation géographique du site**

Notre site météorologique sera implanté à El Oued (Algérie), une ville avec une superficie de 54 573 km [27] situé au Sud-Est de l'Algérie, aux confins septentrionaux du Grand Erg Oriental, entre les 33° et 34° de latitude Nord, et les 6° et 8° de longitude Est [32], touchant les frontières tunisienne et libyenne. Cette immense étendue sablonneuse se trouve, d'une part, à mi-chemin entre la mer méditerranée au Nord et la limite méridionale du Grand-Erg Oriental au Sud, d'autre part, à égales distances entre le golfe de Gabès à l'Est et l'Atlas Saharien à l'Ouest [34].

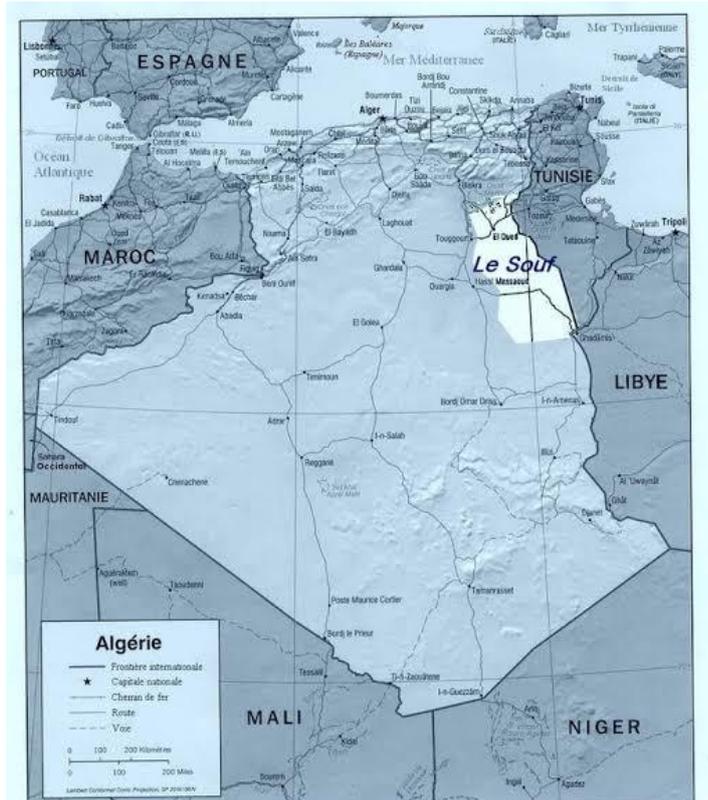


Figure 2.1 : situation géographique d'el oued [27]

➤ **Les caractéristiques du climat**

La ville appartient à la zone D [35] ; avec deux saisons principales (été et hiver). El oued possède un climat méditerranéen chaud avec un été sec selon la classification de koppen-Geiger. Sur l'année, la température moyenne à El oued est de 21.5° et les précipitations annuelles moyennes sont de 74 mm, le Rayonnement solaire direct qui peut atteindre 240 KW/m². En été, la température dépasse facilement les 40 °C et en hiver la température moyenne est de 10.7° [36].

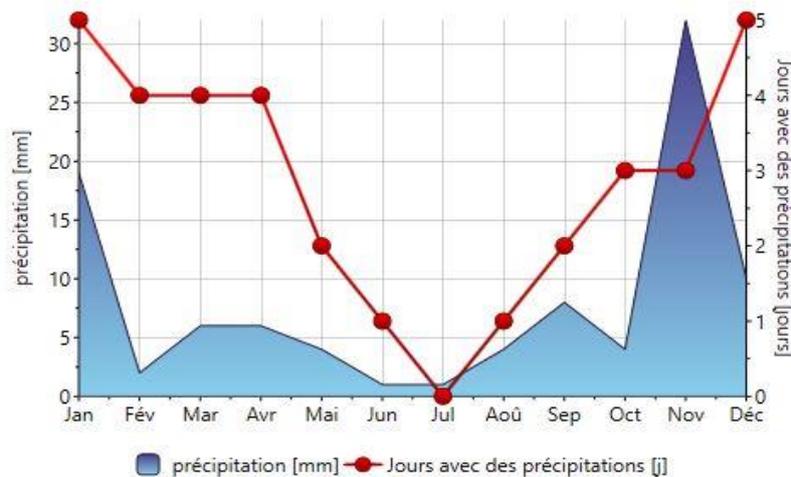


Figure 2.2 : précipitation de la wilaya d'el oued [37]

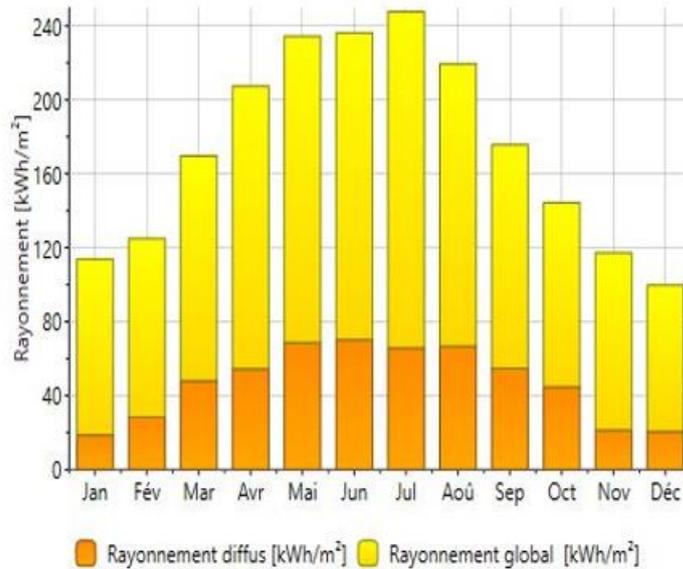


Figure 2.3 : rayonnement diffus et rayonnement globale de la wilaya d'El oued [37]

2.2.1.2 Mostaganem

Mostaganem est la 27ème wilaya dans l'administration territoriale Algérienne. Elle se trouve au Nord-Ouest de l'Algérie sur la méditerranée (Afrique du Nord), à 350 Km à l'Ouest d'Alger (La capitale) et à 80 Km à l'Est d'Oran (2ème ville d'Algérie) avec une superficie de 2 269 km² [38].

La wilaya de Mostaganem compte plus de 800 000 habitants (statistiques de 2008) et se compose de 32 communes, réparties sur 10 Dairas (sous-préfectures). Les wilayas limitrophes de Mostaganem : A l'Est la Wilaya de Chlef, au Sud-Est la Wilaya de Relizane, à l'Ouest la Wilaya d'Oran, au Sud-Ouest la Wilaya de Mascara.

La wilaya est dotée d'un littoral de 124 km, wilaya se caractérise par un climat semi-aride à hiver tempéré et une pluviométrie qui varie entre 350 mm sur le plateau et 400 mm sur les piémonts du Dahra [39].



Figure 2.4 : la wilaya de Mostaganem [40]

Les caractéristiques du climat

La ville appartient à 3 zones : B' pour le groupe de commune 1 (Ouled Maalah, Sidi Ali), B pour le groupe de commune 2 (Bougirrat, Oued El Kheir, Oued Safsaf, Mansourah, Nekmaria, Sirat, Sour, Souafliia, Tazghait, Touahria) et A pour groupe de communes 3 (toutes les communes autres que celles figurant aux groupes de communes 1 et 2) [35].

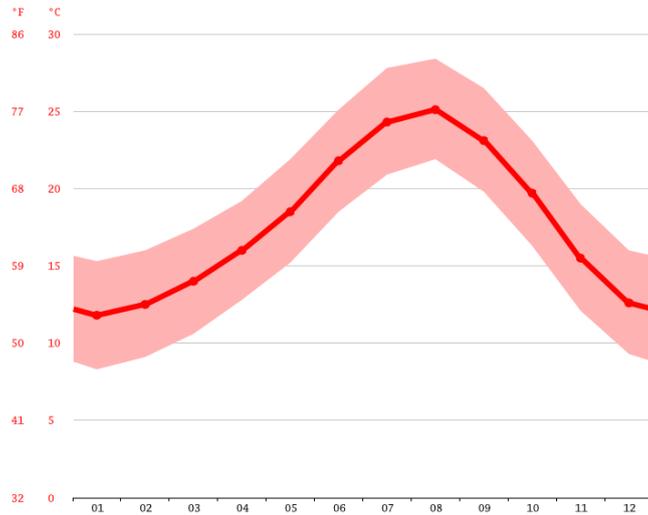


Figure 2.5 : courbe de température de Mostaganem [37]

A Mostaganem, les étés sont court, très chaud, lourd et aride ; les hivers sont long, frisquet et venteux ; et le climat est dégagé dans l'ensemble tout au long de l'année. Au cours de l'année, la température varie généralement de 8 °C à 31 °C et est rarement inférieure à 4 °C ou supérieure à 34 °C [41].

Pour les jours de précipitation, nous distinguons les jours avec pluie seulement, neige seulement ou un mélange des deux. En fonction de ce classement, la forme de précipitation la plus courante au cours de l'année est de la pluie seulement.

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	11.8	12.5	14	16	18.5	21.8	24.3	25.1	23.1	19.7	15.5	12.6
Température minimale moyenne (°C)	8.3	9.1	10.6	12.8	15.2	18.5	20.9	21.9	19.8	16.3	12.1	9.3
Température maximale (°C)	15.3	16	17.4	19.2	21.9	25.1	27.8	28.4	26.5	23.1	19	16
Température moyenne (°F)	53.2	54.5	57.2	60.8	65.3	71.2	75.7	77.2	73.6	67.5	59.9	54.7
Température minimale moyenne (°F)	46.9	48.4	51.1	55.0	59.4	65.3	69.6	71.4	67.6	61.3	53.8	48.7
Température maximale (°F)	59.5	60.8	63.3	66.6	71.4	77.2	82.0	83.1	79.7	73.6	66.2	60.8
Précipitations (mm)	50	34	33	26	28	5	1	3	13	34	60	60

Figure 2.6 : tableau climatique de Mostaganem [37]

Le code région est 7, les coordonnées géographiques de Wilaya de Mostaganem sont [37] :

- Latitude 36
- Longitude 0.33333.

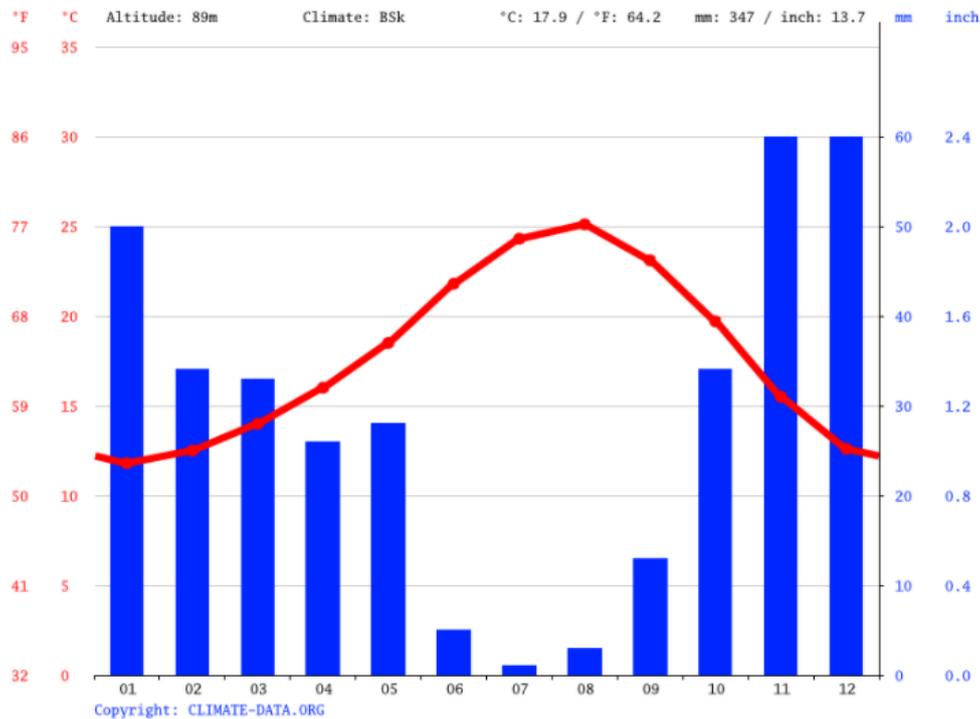


Figure 2.7 : diagramme ombrothermique de Mostaganem [37]

Le mois le plus sec est celui de Juillet avec seulement 1 mm, Le mois de Novembre, avec une moyenne de 60 mm, affiche les précipitations les plus importantes [37].

2.3 Description du projet

2.3.1 El oued :

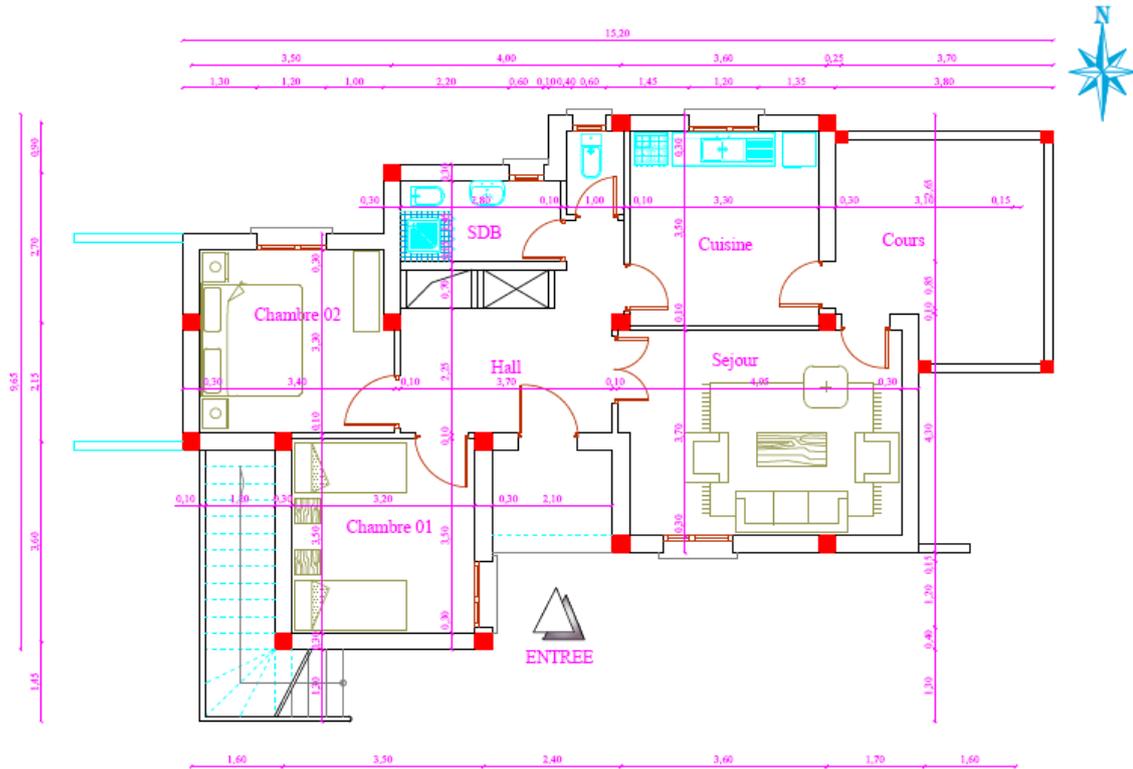
Dans le cadre du programme national pour la maîtrise de l'énergie (PNME) l'Algérie lance un projet de réalisation des logements à haute performance énergétique sur le territoire national ; d'où « réalisation d'un logement HPE a Oued Souf »

Ainsi et selon les contraintes morphologiques du terrain (deux îlots rectangulaires étroits 40m de largeur sur une longueur de 96,5m), l'organisation a donné forme à des enclos de quatre blocs de deux appartements (F3 au RDC et F2 à l'étage) desservis chacun par un escalier extérieur.

Le 1^{er} étage comporte une chambre, un séjour, Une cuisine, une terrasse, un hall

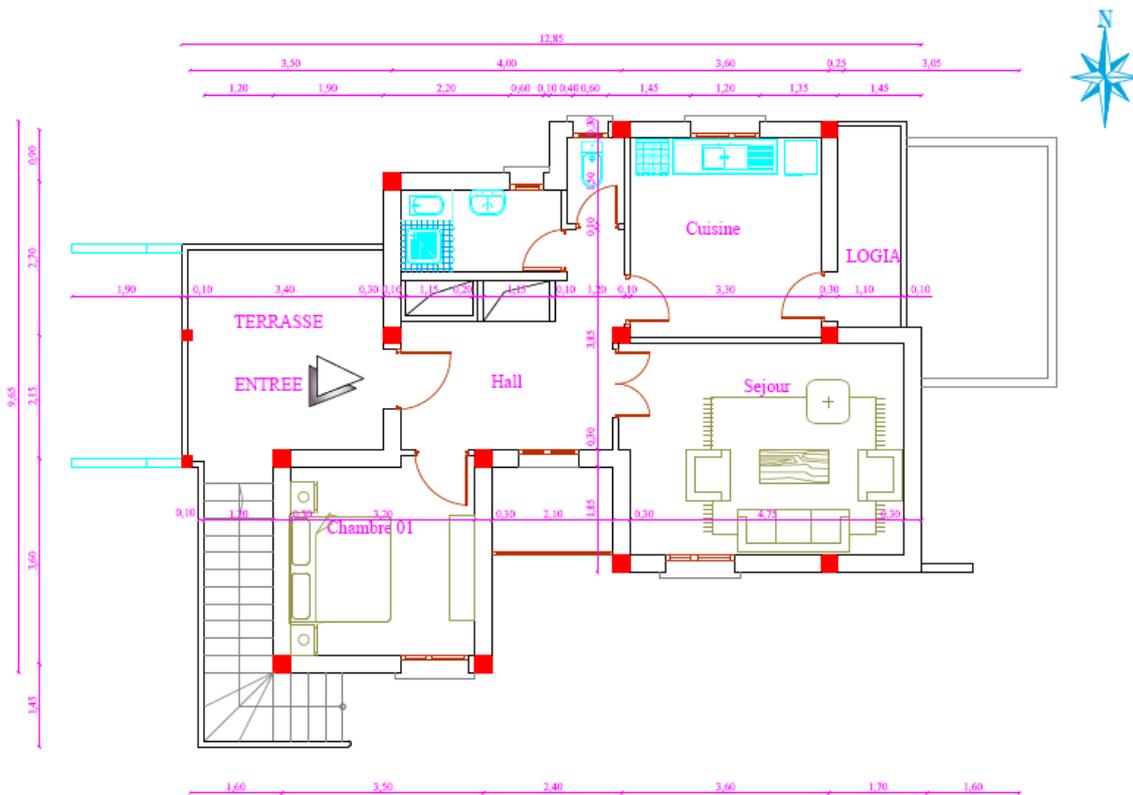
Le RDC comporte 2 chambres, une cuisine, un hall, un séjour, un SDB, et une cour

Les dessines de plan du rez-de-chaussée et du premier étage sont les suivants :



PLAN R.D.C ECH : 1/50

Figure 2.8: plan du rez-de-chaussée de l'appartement 1 el oued



PLAN 1ER ETAGE ECH : 1/50

Figure 2.9 : plan du 1 er étage de l'appartement 1 el oued

2.3.2 Mostaganem

Le bureau d'Etudes d'architecture et d'urbanisme « Mr FELLAH Nour-eddine » lance un projet de réalisation de 40/82 logements H.P.E a Tazgrait Mostaganem

On a un logement collectif de deux appartements identiques F3 en chaque appartement au RDC et F3 aussi à l'étage, desservis chacun par un escalier extérieur.

Les trois étages comportent en chaque appartement : 2 chambres, une cuisine, un hall, un séjour, un SDB, et une cour.

Le RDC comporte 2 chambres, une cuisine, un hall, un séjour, un SDB, et une cour.

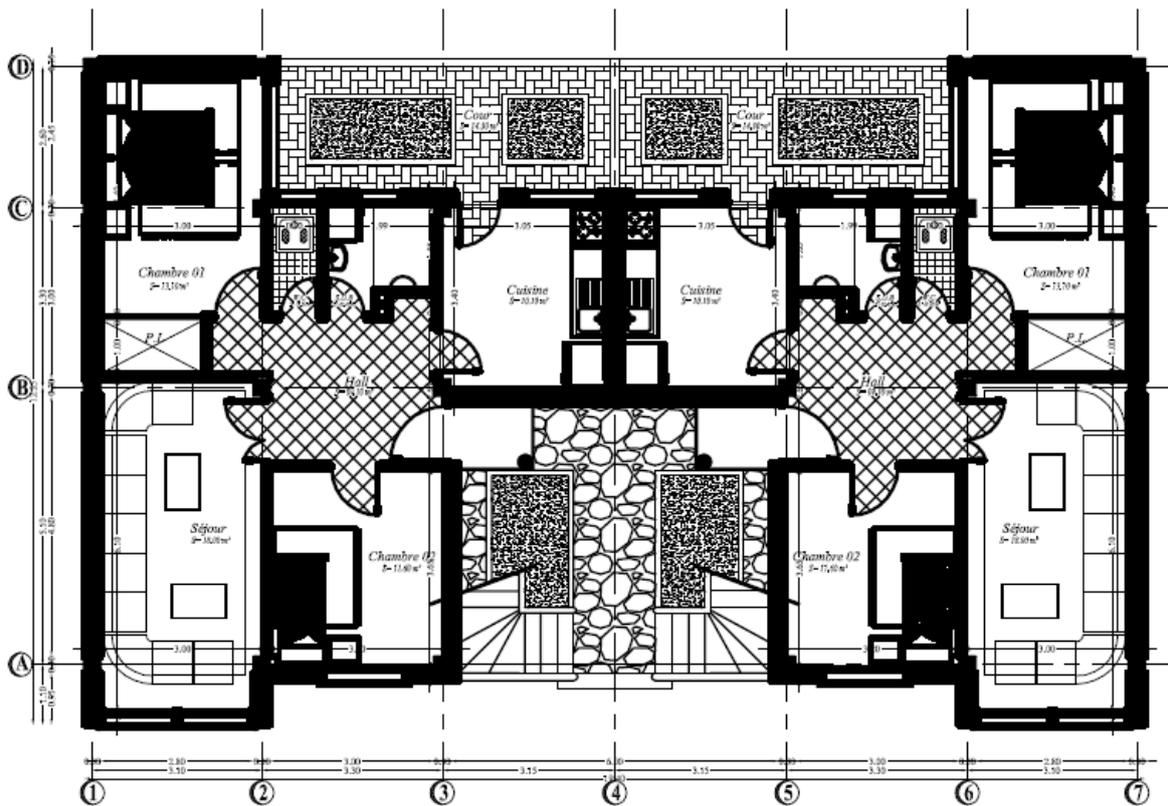


Figure 2.10 : plan du rez-de-chaussée Mostaganem

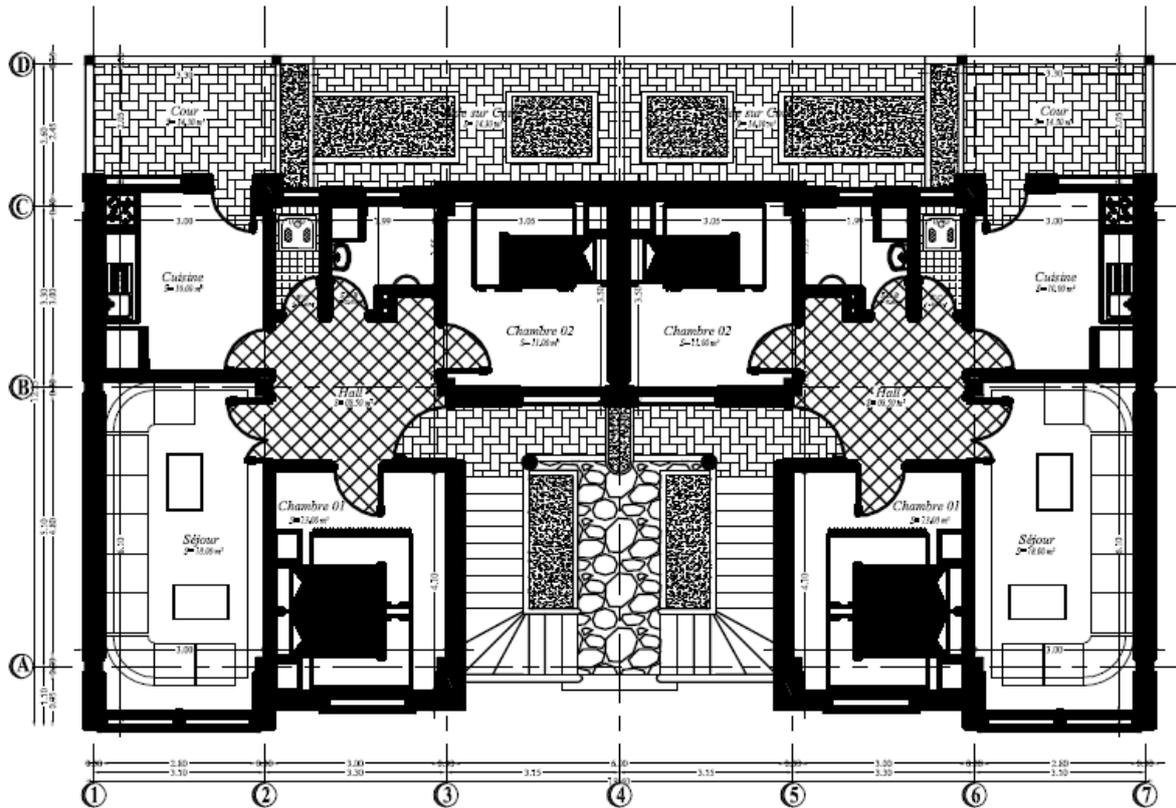


Figure 2.11 : plan du 1 er étage (Mostaganem)

2.4 Enveloppe du logement

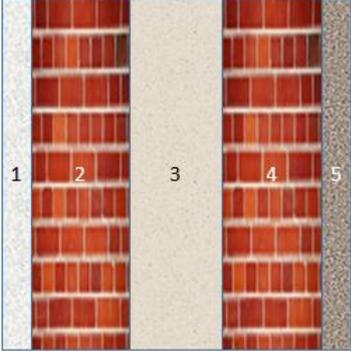
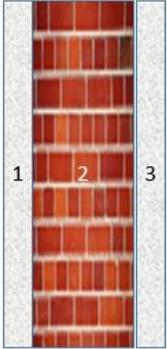
Pour minimiser les déperditions thermiques par transmission, la maison passive nécessite une enveloppe de bâtiment extrêmement étanche qui capte et retient l'énergie solaire, L'énergie solaire est ensuite utilisée pour générer de la chaleur, Dans ce projet on doit utiliser des matériaux de construction bien définie ainsi qu'une bonne isolation interne.

Dans la réalisation de ce projet certain paramètres sont respectées :

- L'orientation : qui joue un rôle très important pour minimiser les pertes de chaleur est d'orienter les façades avec une grande surface vitrée vers le sud-est. La disposition des chambres est particulièrement importante : de ce fait, les espaces de vie tels que la salle de séjour et la chambre des enfants devraient être orientés vers le sud.
- L'isolation : une bonne isolation intérieure dans les murs extérieurs et les planchers hauts. L'isolation est la clef de la maison passive, elle doit être appliquée sur toute l'enveloppe extérieure du bâtiment.
- Le vitrage : utilisant des fenêtres en aluminium doubles vitrages.
- Les matériaux de construction.

➤ Les caractéristiques des parois du local (el oued) :

Tableau 2.1 : caractéristiques des parois du bâtiment (El oued)

Désignation et représentation	composition	coef
<p>Mur extérieur</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Plâtre 2cm • Brique 10 cm • Polystyrène 5 cm • Brique 15 cm • Enduit du ciment 2cm 	<p>$K=0.21522 \text{ w/m}^2\text{°c}$</p>
<p>Mur intérieur</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Plâtre 2 cm • Brique 10 cm • Enduit gypse 2 cm 	<p>$K=2.07815 \text{ w/m}^2\text{°c}$</p>
<p>Plancher intermediaire</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Carrelage • Béton 5 cm • Hourdi 20 cm • Plâtre 2 cm 	<p>$K=2.70279 \text{ w/m}^2\text{°c}$</p>
<p>Toiture</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Feutre et asphalte • Béton 5 cm • Hourdi 20 cm • plâtre 2 cm 	<p>$K=1.89150 \text{ w/m}^2\text{°c}$</p>

➤ Constitution des parois horizontales et verticales du logement de Mostaganem

Tableau 2.2 : caractéristiques du plancher terrasse (Mostaganem)

Désignation	Epaisseur	λ W/m.K	Résistance $m^2.K/W$
Enduit plâtre	2 cm	0.35	0.057
Hourdie	16cm	1.2	0.13
Polystyrène expansé	8cm	0.038	2.1
Béton plein avec étanchéité	5cm	1.75	0.028

Tableau 2.3 : caractéristiques des parois verticales (Mostaganem)

Désignation	Epaisseur	λ W/m.K	Résistance $m^2.K/W$
Enduit plâtre	2 cm	0.35	0.057
Brique creuse	10 cm	0.48	0.2
Polystyrène expansé	8cm	0.038	2.1
Brique creuse	10 cm	0.48	0.2
Enduit ciment	2cm	1.15	.017

2.4.1 Les fenêtres en double vitrage

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



Figure 2.12 : Fenêtre double vitrages en aluminium [46].

2.5 Calcul de bilan thermique des logements :

2.5.1 El oued

➤ Calcul des déperditions de référence

Les déperditions de référence D_{ref} sont calculées par la formule suivante [33] :

$$D_{ref} = a \times S_1 + b \times S_2 + c \times S_3 + d \times S_4 + e \times S_5 \text{ [W/°C]}$$

S1 : surface de toiture,

S2 : surface de plancher bas, y compris les planchers bas sur locaux non chauffés,

S3 : surface des murs,

S4 : surface des portes,

S5 : surface des fenêtres et les portes fenêtres.

* a / b / c / d / e sont des coefficients (en W/m², °C) dépendent de la nature du logement et de la zone climatique (voir page 17 du DTR 3-2)

-Dans notre cas on est dans la zone D (a=2.40, b=3.40, c=1.40, d=3.50, e=4.50)

➤ Calcul de déperditions de références de l'appartement R+1

Les tableaux suivants représente le calcul de déperditions de références du l'appartement R+1.

Tableau 2.4 : calcul de déperditions références de l'appartement R+1

R+1	Désignation	Dimensions			Surface	coef	Coef*surface
		Larg.	Long.	Haut.			
Sud	Murs	10.05	-	3	25.11	1.4	35.154
Sud	Vitres	1.40	1.20	-	1.68*3	4.50	22.68
Est	Murs	7.2	-	3	19.62	1.4	27.468
Est	porte	0.90	-	2.20	1.98	3.50	6.93
Nord	Murs	7.6	-	3	12.984	1.40	18.1776
Nord	Vitres1	1.40	1.2	-	1.68	4.50	7.56
Nord	Vitres2	0.60	0.60	-	0.36*2	4.50	3.24
Ouest	Murs	7.35	-	3	20.07	1.40	28.098
Ouest	Porte	0.90	-	2.20	1.98	3.50	6.93
-	Plancher bas	-	-	-	59.6	3.40	202.64
-	Plancher haut	-	-	-	59.6	2.40	143.04
D_{ref} [w/°C]							501.917

➤ Résultats des Déperditions par transmission du l'appartement R+1

Les coefficients de transmission K sont les suivantes :

- Les vitres sont en aluminium double vitrage avec une lame d'air de 12 mm : $k=3.7$
- Des petites fenêtres du salle d'eau et WC en bois : $k=5$
- Une porte extérieure en métal de 90 cm : $k=5.8$
- Les portes intérieures en bois de 90 cm : $k=3.5$

Les résultats de déperditions par transmission dans cet appartement sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 2.5 : Déperditions par transmission du R+1

R+1	Désignation	Dimensions			surfaces	K	Ds	Dli	Dlnc
		Larg.	Long.	Haut.					
Sud	Murs	10.05	-	3	25.11	0.21522	5.404		-
Sud	Vitres	1.40	1.20	-	1.68*3	3.7	6.216		-
Est	Murs	7.2	-	3	19.62	0.21522	4.222		-
Est	porte	0.90	-	2.20	1.98	3.5	6.93		-
Nord	Murs	7.6	-	3	12.984	0.21522	2.7944		
Nord	Vitres1	1.40	1.2	-	1.68	3.7	6.216		
Nord	Vitres2	0.60	0.60	-	0.36*2	5	3.6		
Ouest	Murs	7.35	-	3	20.07	0.21522	4.319	-	
Ouest	Porte	0.90	-	2.20	1.98	5.8	11.484		
-	Plancher bas	-	-	-	59.6	2.70279	161.086	-	-
-	Plancher haut	-	-	-	59.6	1.8915	-		112.733
TOTAL							325.0044	65.0008	112.733
DT [w/°C]							502.73		

- $D_{ref} = 501.917$ [w/°C] ; $DT = 502.73$ [w/°C].

En conclusion en constat que l'habitat est thermiquement réglementaire car elle vérifie la formule de réglementation ($DT \leq 1,05 \times D_{ref}$)

➤ Les résultats Déperditions par renouvellement d'air d'un volume :

- $D_R = 0,34 \times (Q_v + Q_s)$

• $Q_v = \text{Max} [0,6 \times V_h ; Q_{v\text{réf}}]$

○ $0,6 \times V_h = 107,28 \text{ m}^3$;

○ $Q_{v\text{réf}} = (5 Q_{v\text{min}} + Q_{v\text{max}}) / 6 = (5 \times 50 + 120) / 6 = 491,66$

$Q_v = 491,66 \text{ [m}^3/\text{h]}$

• $Q_s = \sum(p_{pi} \times e_{vi})$

- $p_{pi} = \sum(p_0 \times A_j) = 4 \times 4 \times 1,68 + 4 \times 2 \times 0,36 + 6 \times 2 \times 1,98 = 53,52$

- $e_{vi} = 2,30$

$Q_s = 123,096 \text{ [m}^3/\text{h]}$

$D_R = 0,34 \times (Q_v + Q_s) = 0,34 \times (491,66 + 123,096) = 209,017 \text{ [W/}^\circ\text{C]}$

2.5.2 Mostaganem

- Dans notre cas on est dans la zone B (a=0.9, b=2.40, c=1.2, d=3.5, e=4.5)

Tableau 2.6 : calcul de déperditions de références de l'appartement R+3

R+1	Désignation	Dimensions			surfaces	coef	Coef*surface
		Larg.	Long.	Haut.	Surface		
Sud	Murs	17.6	-	3	29.28	1.2	35.136
Sud	Vitres	1.40	1.20	-	1.68*8	4.5	60.48
Ouest	Murs	9.45*2	-	3	56.7	1.2	68.04
Est	Murs	4.80*2	-	3	25.06	1.2	30.072
Nord	Murs	17.88	-	3	45.1	1.2	54.12
Nord	vitres	0.6	0.6	-	0.36*4	4.5	6.48
Nord	vitres	1.4	1.2	-	1.68*2	4.5	15.12
Nord	porte	0.85	-	2.2	1.87*2	3.5	13.09
Est	porte	0.85	-	2.2	1.87*2	3.5	13.09
Bas	plancher				64.97*2	2.40	311.856
Haut	plancher				64.97*2	0.9	116.946
Dref [w/°C]							724.43

➤ Déperditions par transmission de d'appartement R+3

Les résultats de déperditions par transmission dans cet appartement sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 2.7 : Déperditions par transmission dans l'appartement R+3

R+1	Désignation	Dimensions			surfaces		Ds	Dli	Dlnc
		Larg.	Long.	Haut.	Surface	K			
Sud	Murs	17.6	-	3	29.28	0.38	13.224	2.6448	-
Sud	Vitres	1.40	1.20	-	1.68*8	3.7	49.728	9.9456	-
Ouest	Murs	9.45*2	-	3	56.7	0.38	21.546	4.3092	-
Est	Murs	4.80*2	-	3	25.06	0.38	10.773	2.1546	-
Nord	Murs	17.88	-	3	45.1	0.38	20.383	4.0766	-
Nord	vitres	0.6	0.6	-	0.36*4	5	7.2	1.44	-
Nord	vitres	1.4	1.2	-	1.68*2	3.7	12.432	2.4864	-
Nord	porte	0.85	-	2.2	1.87*2	3.5	13.09	2.618	-
Est	porte	0.85	-	2.2	1.87*2	3.5	13.09	2.618	-
Bas	plancher	-	-	--	64.97*2	0.40	51.976	10.395	-
haut	plancher	-	-	-	64.97*2	0.40	-	-	51.976
TOTAL							213.442	34.053	51.976
DT [w/°C]							299.4712		

$1.05 * D_{\text{réf}} = 1.05 * 724.43 = 730.277$ [w/°C] donc la formule (3) est vérifiée

➤ Les résultats Déperditions par renouvellement d'air d'un volume :

- $D_R = 0,34 \times (Q_v + Q_s)$

• $Q_v = \text{Max} [0,6 \times V_h ; Q_{v\text{réf}}]$

$Q_{v\text{réf}} = (Q_{v\text{min}} + Q_{v\text{max}}) / 6$

$Q_{v\text{réf}} = (120 + 360) / 6$

$Q_{v\text{réf}} = 80 \text{ m}^3/\text{h}$

$V_h = 64.9795 * 2 = 129.959 \text{ m}^3$

$Q_v = 77.9754 \text{ m}^3/\text{h}$

- $Q_s = \sum(p_{pi} * e_{vi})$
- $p_{pi} = \sum(p_0 * A_j)$
 $p_{pi} = 4 * 1.68 + 1.2 * 1.87$
 $p_{pi} = 8.964$
- $e_{vi} = 3.87$
- $Q_s = 34.69$

$$D_R = 0,34 \times (Q_v + Q_s) = 0,34 \times (77.9754 + 34.69) = 38.306 \text{ [W/°C]}$$

2.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes zones de climat en Algérie, particulièrement où se situent nos sites d'étude (El oued et Mostaganem) ; ainsi que les caractéristiques spécifiques et leurs impacts sur l'habitat et l'architecture, Par la suite, nous avons fait une description des logements étudiés et les caractéristiques des matériaux composants les murs externes et internes ainsi que les planchers bas et haut, et le vitrage utilisé dans cet habitat.

Et pour finir nous avons fait les calculs de bilan thermique pour les deux appartements et ça sort qu'elles vérifient la réglementation thermique d'Algérie d'après le document technique réglementaire (D.T.R. C 3-2).

3 Chapitre III : logiciels et étapes de simulation

3.1 Introduction

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.

PLEIADES + COMFIE est intégré à un ensemble 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.

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

3.2 Présentation générale de l'outil « le logiciel PLEIADES + COMFIE »

Le logiciel Pleiades + Comfie est un outil de simulation dynamique développé par le *Centre d'énergétique de l'Ecole des Mines de Paris*. A partir d'une description très fine du bâtiment, de ses équipements, des séquences et heures de fonctionnement ou d'arrêt des matériels, des séquences d'occupation ou d'inoccupation, etc., il procède, sur l'ensemble de l'année, à un calcul au pas de temps de l'heure de l'ensemble des équilibres thermiques du bâtiment, ce qui lui permet de déterminer, pour chaque heure, les besoins de chauffage (ou de climatisation) ainsi que les températures dans les locaux. La décomposition du bâtiment peut comporter jusqu'à 20 zones thermiquement différentes.

- Alcyone 1.0: est un module de saisie graphique qui permet de dessiner le bâtiment à partir de plan 2D, de lui associer des masques proches, des compositions, des vitrages, de le découper en zones thermique.

- MeteoNorm 5.1x : Le pack Stations MeteoNorm comporte plus de 220 stations météo complémentaires (France métropolitaine, Belgique, Suisse, Luxembourg et pays du Maghreb) pour la simulation thermique dynamique, il nous donne accès à des données météorologiques pour diverses applications pour n'importe quel endroit dans le monde.

- METEOCALC : Génère des fichiers de données météorologiques horaires au format TRY, requis par COMFIE, soit à partir de données mensuelles, soit à partir de données horaires disponibles.

3.3 La saisie de bâtiment

PLEIADES + COMFIE a été enrichi d'ALCYONE, un module de saisie graphique par niveau avec visualisation en 3D permettant d'accélérer considérablement la saisie des projets.

Une palette d'outils très complète permet de tracer rapidement un projet, d'affecter des ouvertures (fenêtres, portes) sur les parois, de créer des masques proches, de recopier un niveau, de sélectionner les zones thermiques, de changer l'orientation, etc.

3.3.1 Création d'un fichier météorologique sous logiciel méteonorme :

Cette étape se fait sur méteonorme et ça consiste à sélectionner la station météorologique du site

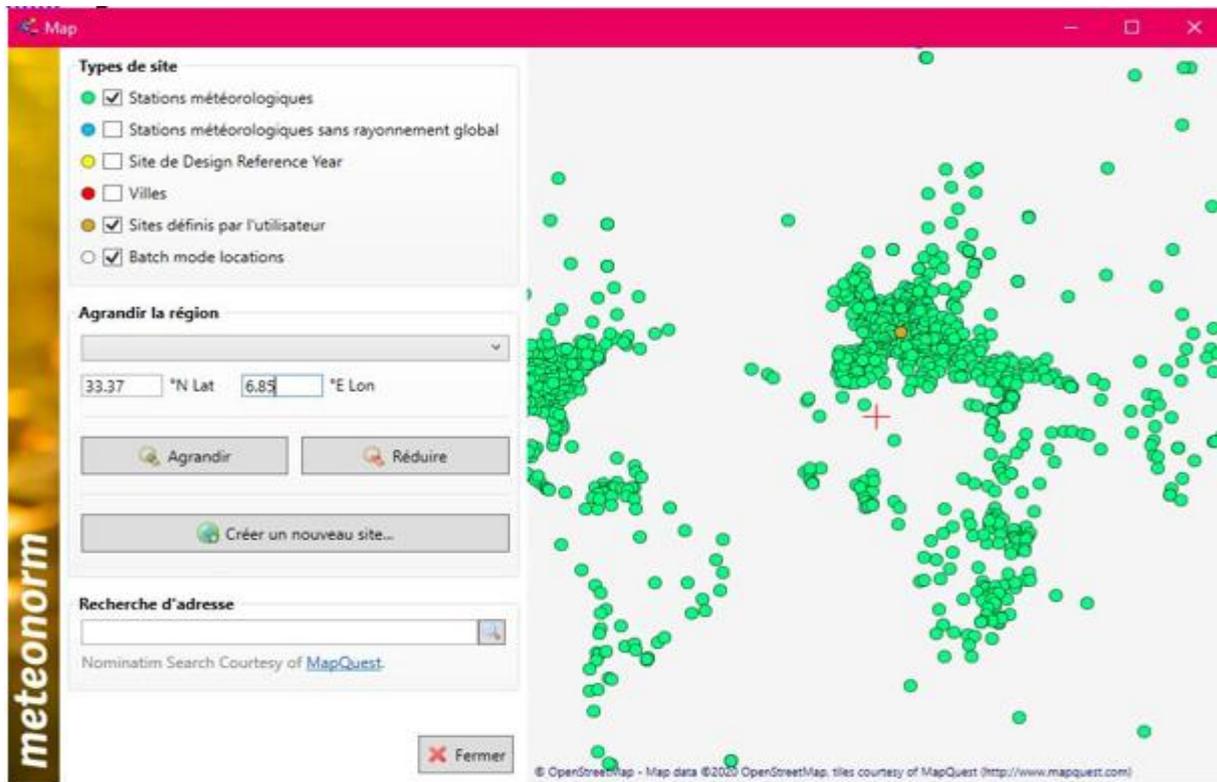


Figure 3.3 création de fichier météorologique (El oued)

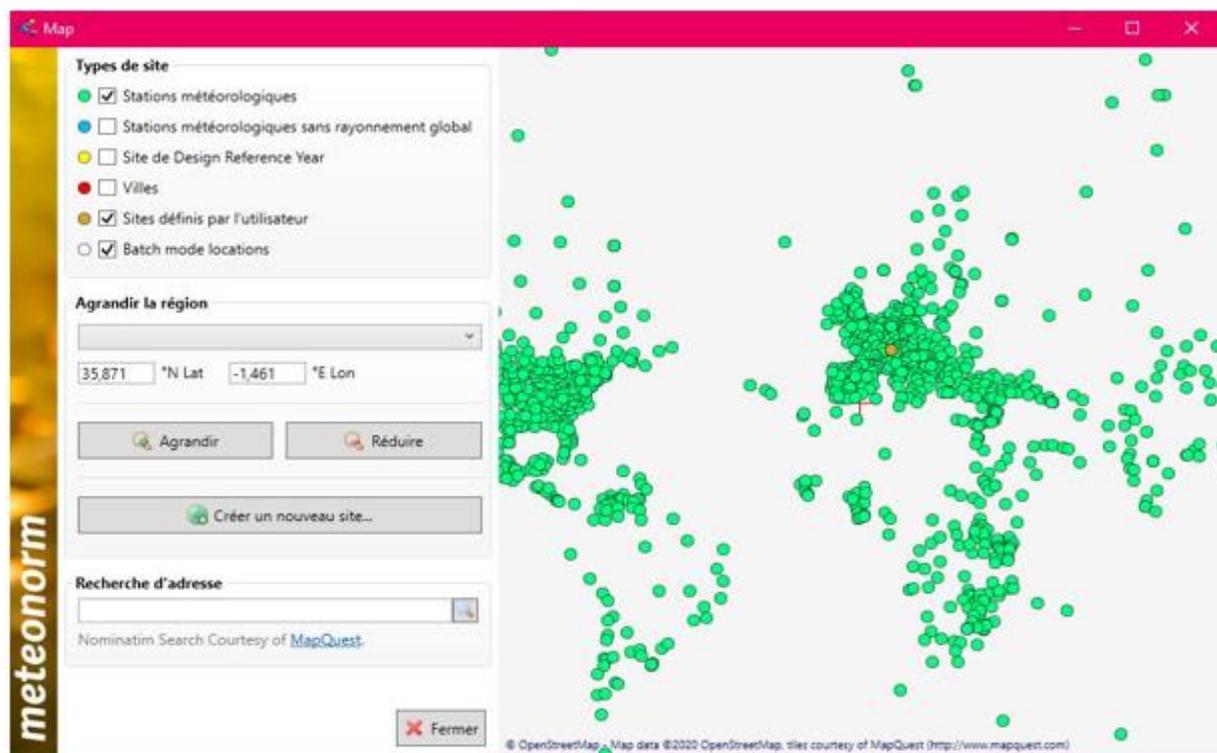


Figure 3.4: création de fichier météorologique (Mostaganem)

3.3.2 Identification de la station météorologique :

Cette étape permet d'utiliser les paramètres météorologiques du site d'étude dans le logiciel Pleiades après envoyer la station météorologique du méteonorme a Pleiades

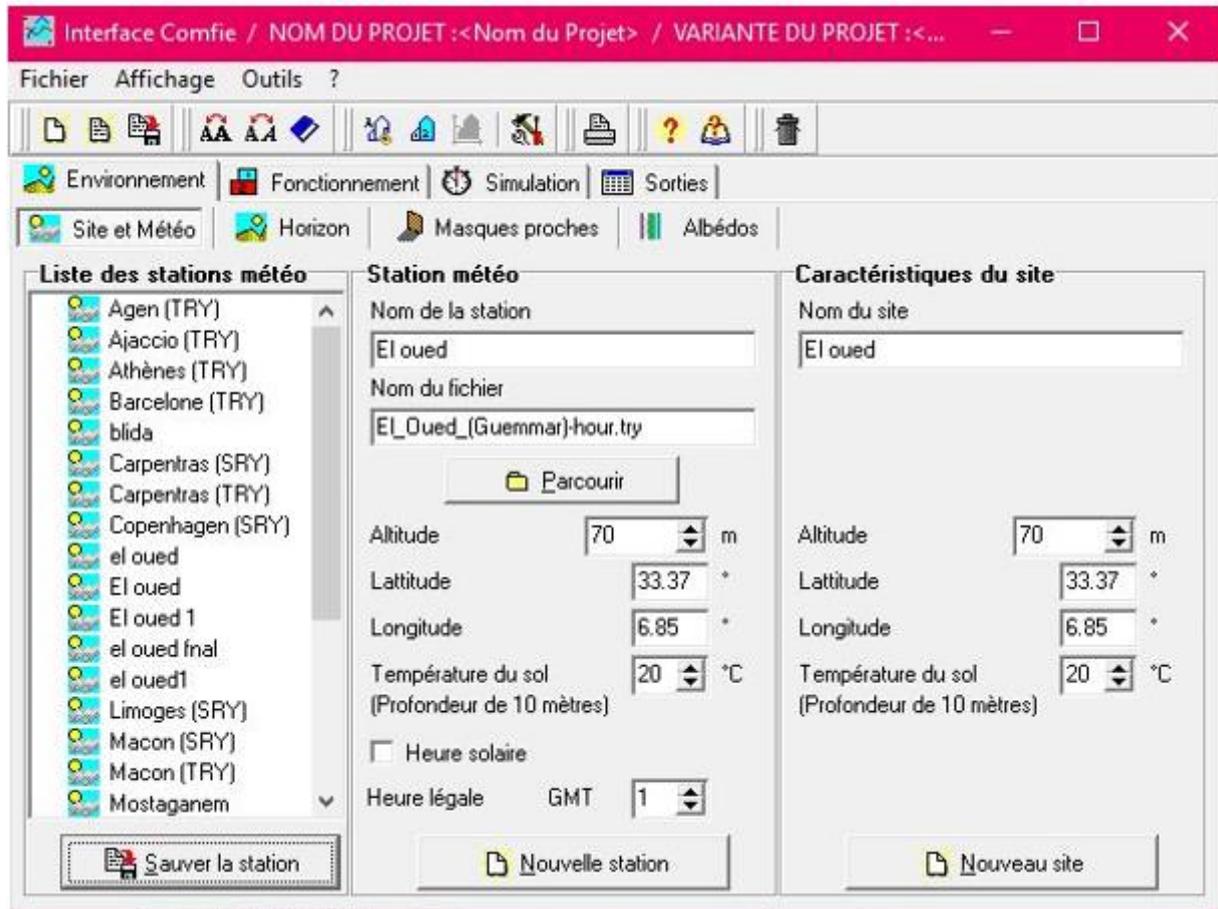


Figure 3.5 : identification de la station météorologique sous Pleiades (EL OUED)

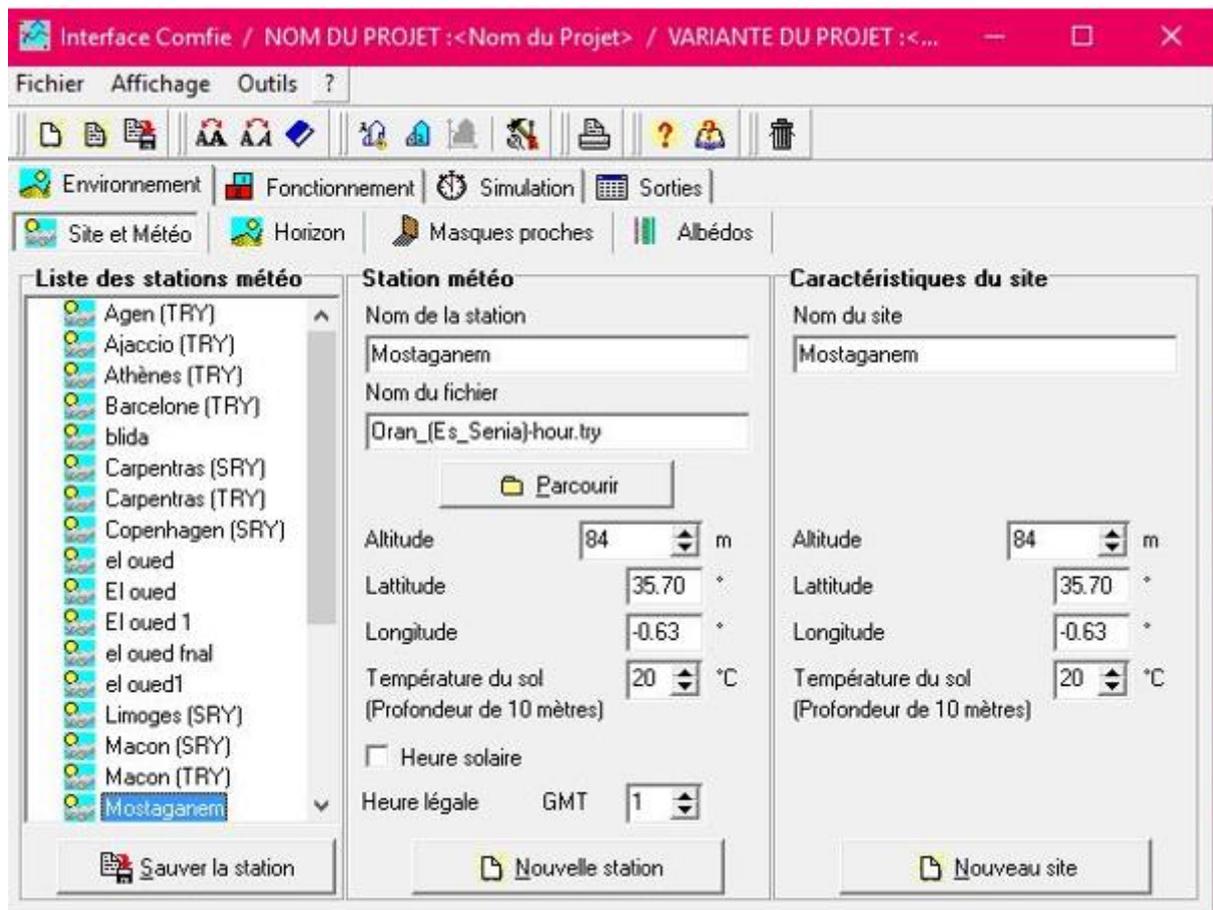


Figure 3.6: identification de la station météorologique sous Pleiades (MOSTAGANEM)

3.4 Les taches faites sous alcyone :

Tout d'abord on a inséré les éléments constructifs, puis on a dessiné les plan d'architecture du RDC et premier étage pour les deux appartements, et pour finir on a exporté le fichier vers Pleiades.

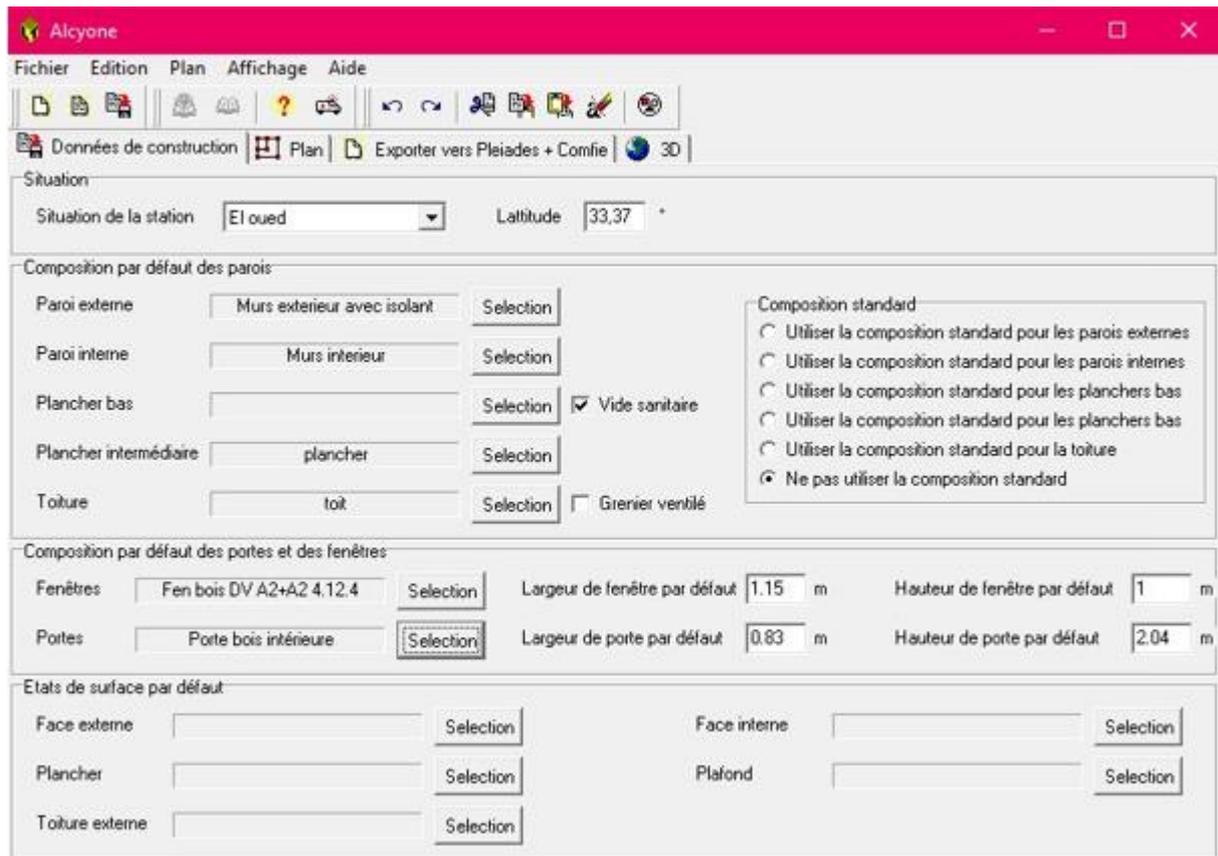


Figure 3.7: Insertion des éléments constructifs sous Alcyone(EL OUED)

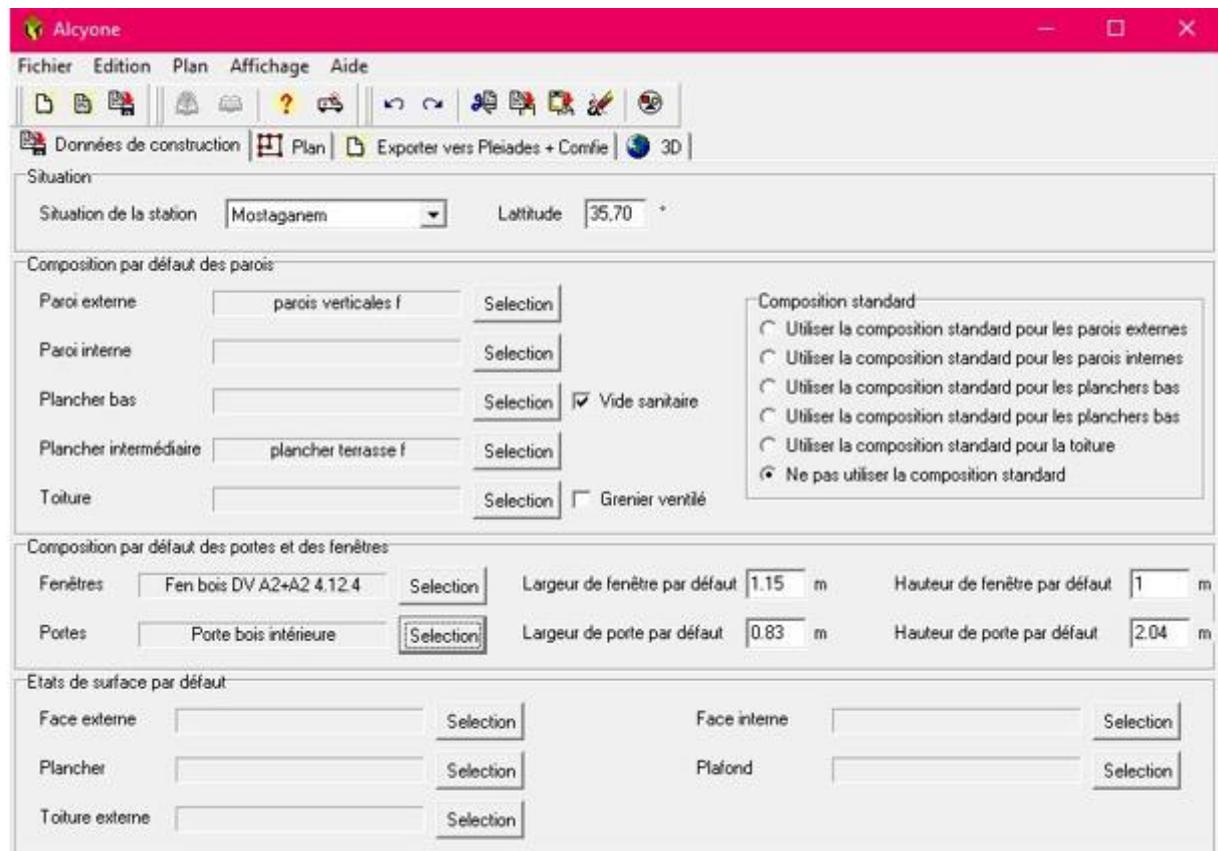


Figure 3.8: Insertion des éléments constructifs sous Alcyone(MOSTAGANEM)

3.4.1 Plan sous alcyone :

Une palette d'outils très complète permet de tracer rapidement un projet, d'affecter des ouvertures (fenêtres, portes) sur les parois, de créer des masques proches, de recopier un niveau, de sélectionner les zones thermiques, de changer l'orientation, etc.

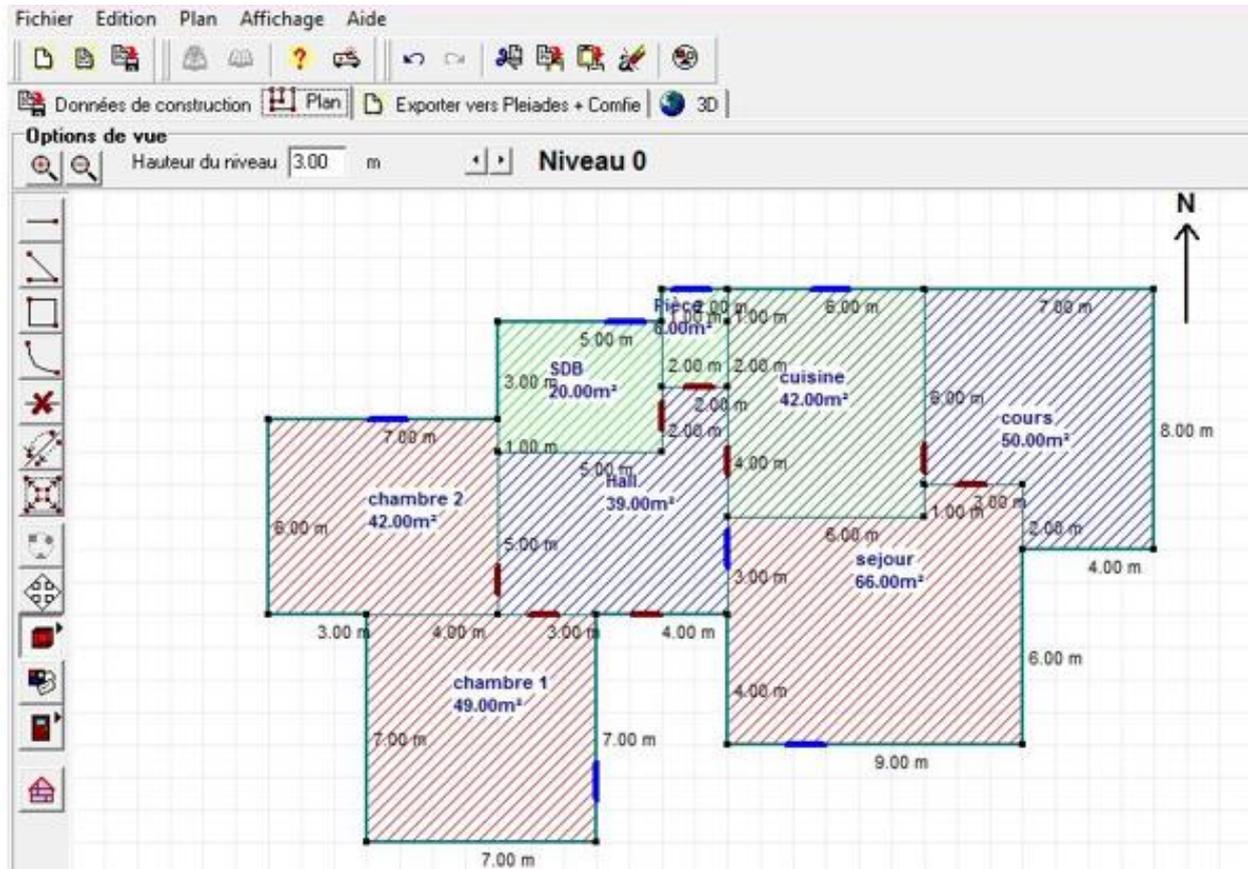


Figure 3.9 plan du RDC (el oued) sur alcyone

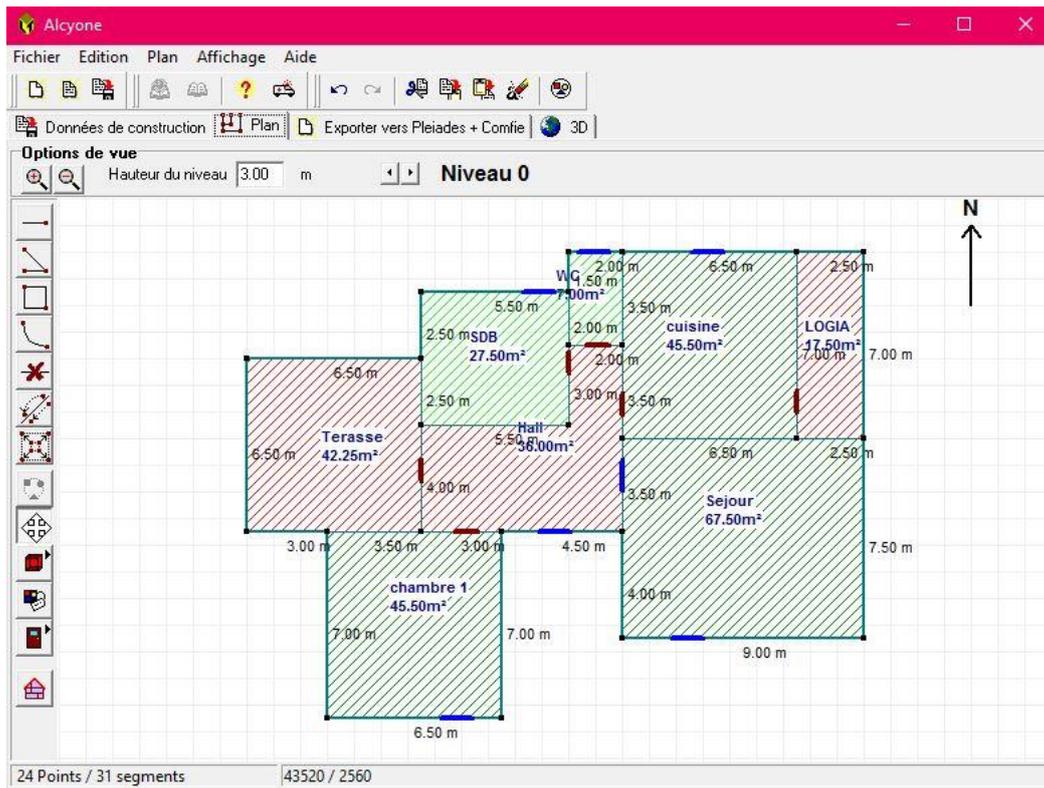


Figure 3.10 : plan du 1^{er} étage (el oued)

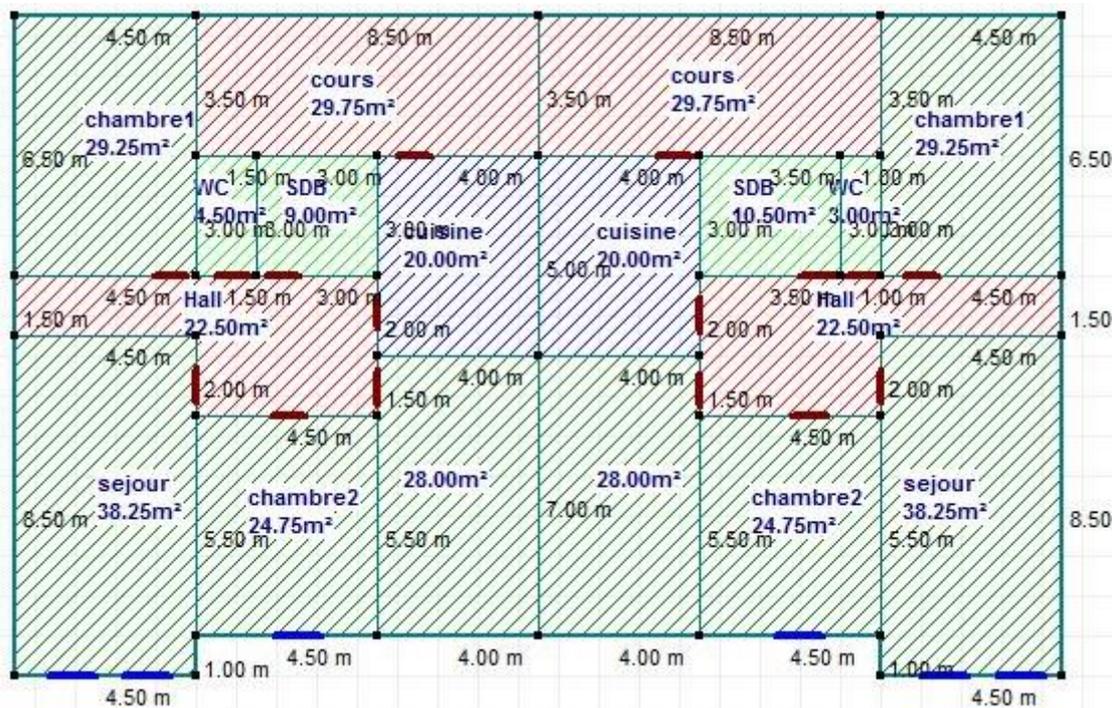


Figure 3.11: plan de RDC (Mostaganem) sur alcyone

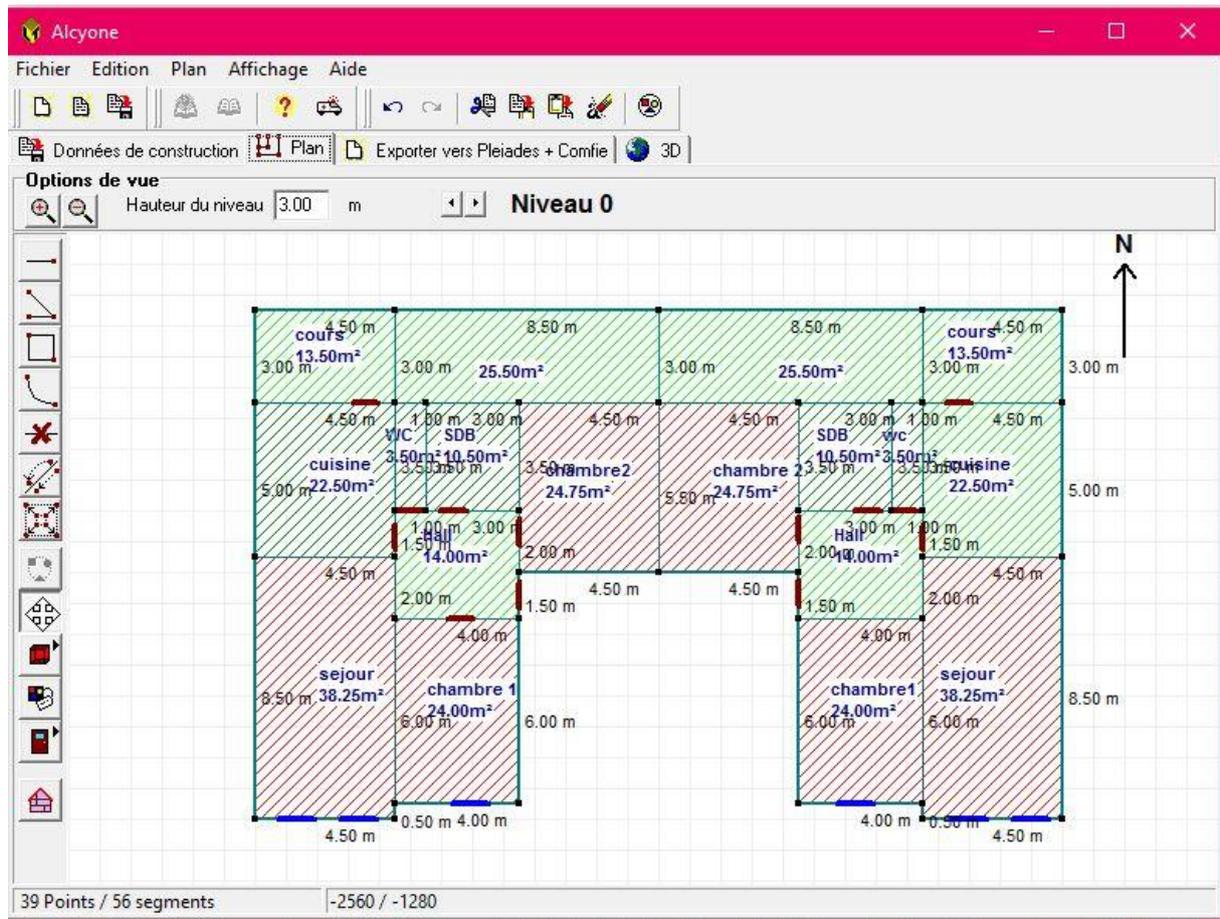


Figure 3.12 : plan du 1^{er} étage sur alcyone (Mostaganem)

3.5 Description des systèmes constructifs sous PLEIADE+COMFIE

3.5.1 Description des parois

Le logiciel PLEIADE+COMFIE possède une grande base de données de matériau et même on peut faire rentrer d'autres matériaux ou éléments connaissant leur masse volumique, la conductivité thermique et la capacité thermique.

El oued

a) Mur extérieur

La modélisation des murs extérieurs utilisée se fait comme suit :

Composants	T	cm	kg/m ²	λ	R	
Plâtre courant	M	2.0	16	0.35	0.06	Extérieur ↓ Intérieur
Brique creuse de 10 cm	E	10.0	69	0.48	0.21	
Polystyrène expansé	M	5.0	1	0.04	1.28	
Brique Argelis de 20	E	20.0	150	0.27	0.74	
Enduit extérieur	M	2.0	34	1.15	0.02	
Total		39.0	270		2.31	

Figure 3.13 composition du mur extérieur de 10 cm

Mur intérieur

La modelisation des murs intérieurs est la suivante :

Composants	T	cm	kg/m ²	λ	R	
Plâtre courant	M	2.0	16	0.35	0.06	Outside ↓ Inside
Brique creuse de 10 cm	E	10.0	69	0.48	0.21	
Plâtre courant	M	2.0	16	0.35	0.06	
Total		14.0	101		0.33	

Figure 3.14 composition mur intérieure (el oued)

b) Planchers :

Les planchers sont modélisés de la manière suivante :

Composants	T	cm	kg/m ²	λ	R	
Plâtre courant	M	2.0	16	0.35	0.06	Outside ↓ Inside
Hourdis de 16 en béton	E	16.0	208	1.23	0.13	
Béton d'argile expansé	M	5.0	85	1.05	0.05	
Granit	M	2.0	54	3.50	0.01	
Total		25.0	363		0.25	

Figure 3.15 composition du plancher (el oued)

c) Toiture

La toiture est modélisée de la manière suivante :

Composants	T	cm	kg/m ²	λ	R	
Enduit plâtre	M	3.0	45	0.35	0.09	Extérieur ↓ Intérieur
Lame d'air > 1.3 cm	E	1.5	0	0.09	0.16	
Enduit plâtre	M	2.0	30	0.35	0.06	
Feutre bitumeux	M		0	0.50	0.00	
Total		6.5	75		0.31	

Figure 3.16 composition de la toiture (el oued)

MOSTAGANEM

Constitution des parois horizontales et verticales

Le plancher terrasse est modélisé de la manière suivante :

Composants	T	cm	kg/m ²	λ	R	
Enduit plâtre	M	2.0	30	0.35	0.06	Extérieur ↓ Intérieur
Hourdis de 16 en béton	E	16.0	208	1.23	0.13	
Polystyrène expansé	M	8.0	2	0.04	2.05	
Béton fictif	M	5.0	38	1.75	0.03	
Total		31.0	278		2.27	

Figure 3.17: plancher terrasse (Mostaganem)

Les parois verticales sont modélisées de la manière suivante :

Composants	T	cm	kg/m ²	λ	R	
Enduit plâtre	M	2.0	30	0.35	0.06	Extérieur ↓ Intérieur
Brique creuse de 10 cm	E	10.0	69	0.48	0.21	
Polystyrène expansé	M	8.0	2	0.04	2.05	
Brique creuse de 10 cm	E	10.0	69	0.48	0.21	
Enduit extérieur	M	2.0	34	1.15	0.02	
Total		32.0	204		2.55	

Figure 3.18: parois extérieure et intérieure (Mostaganem)

3.6 Les zones thermiques et les scenarios utilisés dans les logements

Sur Pléiades, il n'est pas possible de créer dans une même simulation, des scenarios pour l'hiver et pour l'été (par exemple, ventilation d'été et ventilation d'hiver en même temps).

On a donc été obligé, de considérer soit le confort d'hiver soit le confort d'été ; certains points seront identiques durant toute l'année, comme les scenarios d'occupation et les gains de chaleur interne.

3.7 Environnement et Fonctionnement de la maison

Tout d'abord, pour pouvoir simuler le fonctionnement de la maison, il faut au préalable créer des zones thermiques, chaque zone ayant des caractéristiques de chauffage, de ventilation, de puissance dissipée et d'occupations différentes. Il est donc nécessaire de définir ces zones en fonction de leur utilité, en faisant par exemple une zone « chambres+ séjour » une zone « cuisine », une zone « salle de bain + toilette », une zone « hall + cours » ...

3.8 Scenarios d'occupation

Les scenarios d'occupations permettent de définir le nombre de personnes résidant dans la maison et leur fréquence de présence dans cette dernière. Le but de ces scenarios étant de reproduire la chaleur émise par la présence d'une personne. Pour notre modélisation, nous avons décidé de créer un scenario de 6 personnes :

- Pour le logement d'EL OUED
 - Scenario de 6 personnes dans la zones : chambre + séjour

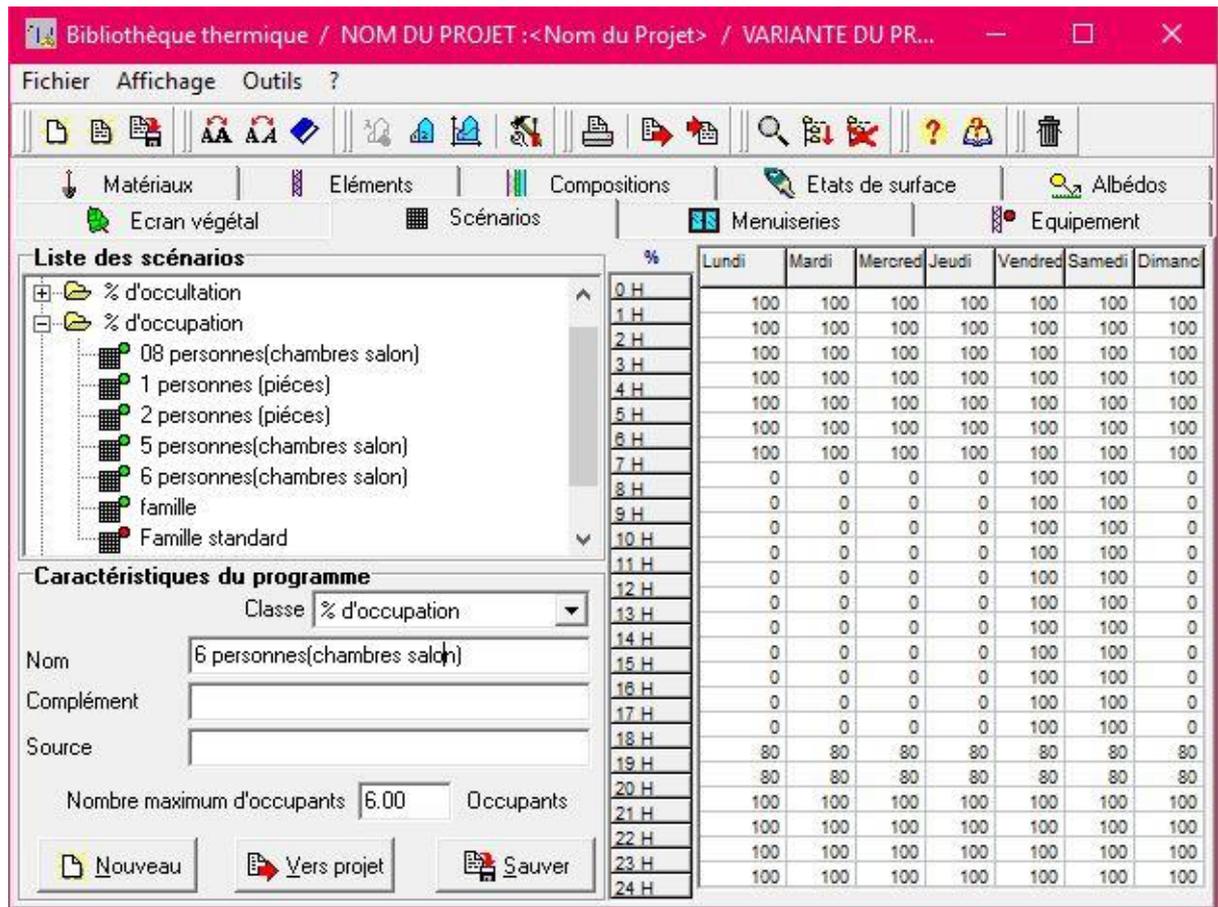


Figure 3.17 scenario d'occupation de 6 personnes (el oued)

➤ Pour le logement de Mostaganem

Pour notre modélisation, nous avons décidé de créer ce scenario.

- Scenario dans la zone : chambres + Séjour. (5 personnes par appartement)

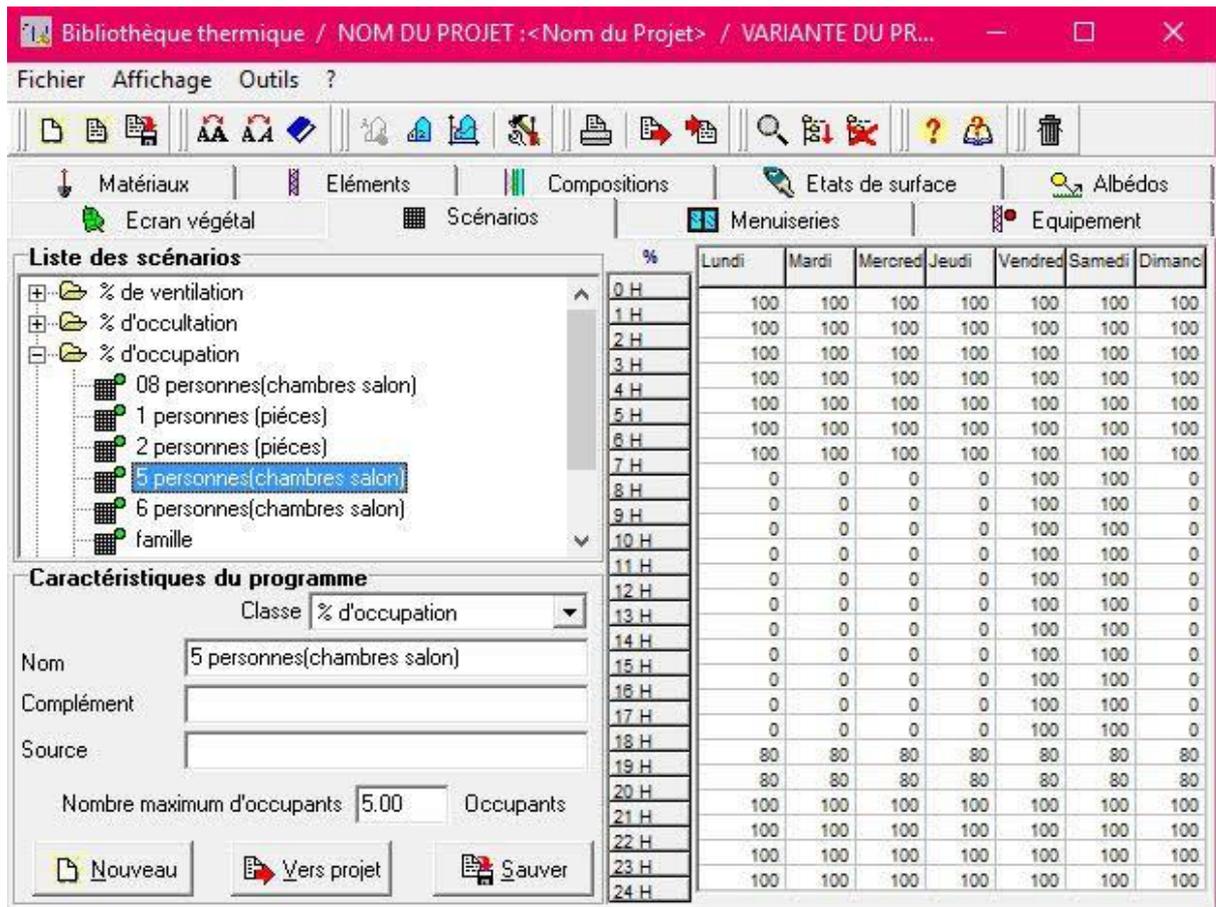


Figure 3.18: scénario d'occupation de 5 personnes (par appartement) (Mostaganem)

3.9 Puissance dissipée

Cette fonction permet de simuler la chaleur émise par les appareils électroménagers ou tous ce qui pourrait produire de la chaleur autre que les personnes. Pour cela nous avons généré un scénario en particulier pour chaque zone.

Pour le logement d'EL OUED

Pour le séjour +chambres :

- 3 lampes (75 watts pour chaque espace) ;(7h-8h) ;(19h-24h).
- 1 TV+ 1 démo (100 watt+30 watt) ; (16h-22h)
- 2 pc (45 watt) ;(18h-22h).
- Modem internet (30w) (24h)

Pour la salle de bain +WC :

- 3 lampes (75 watt pour chaque une) ;(17h-7h).

Pour les escaliers :

- 2 lampes (75 watt) ;(18h-7h).

Pour la cuisine :

- Lampe (75 watt) ;(7h-8h), (18h-22h).
- Réfrigérateur (200 watt) ;(24h).

- Four à gaz (2000 watt) ;(7h-8h), (10h-12h), (18h-20h).

Pour Hall :

- Lampe (75 watt), (18h-22h).

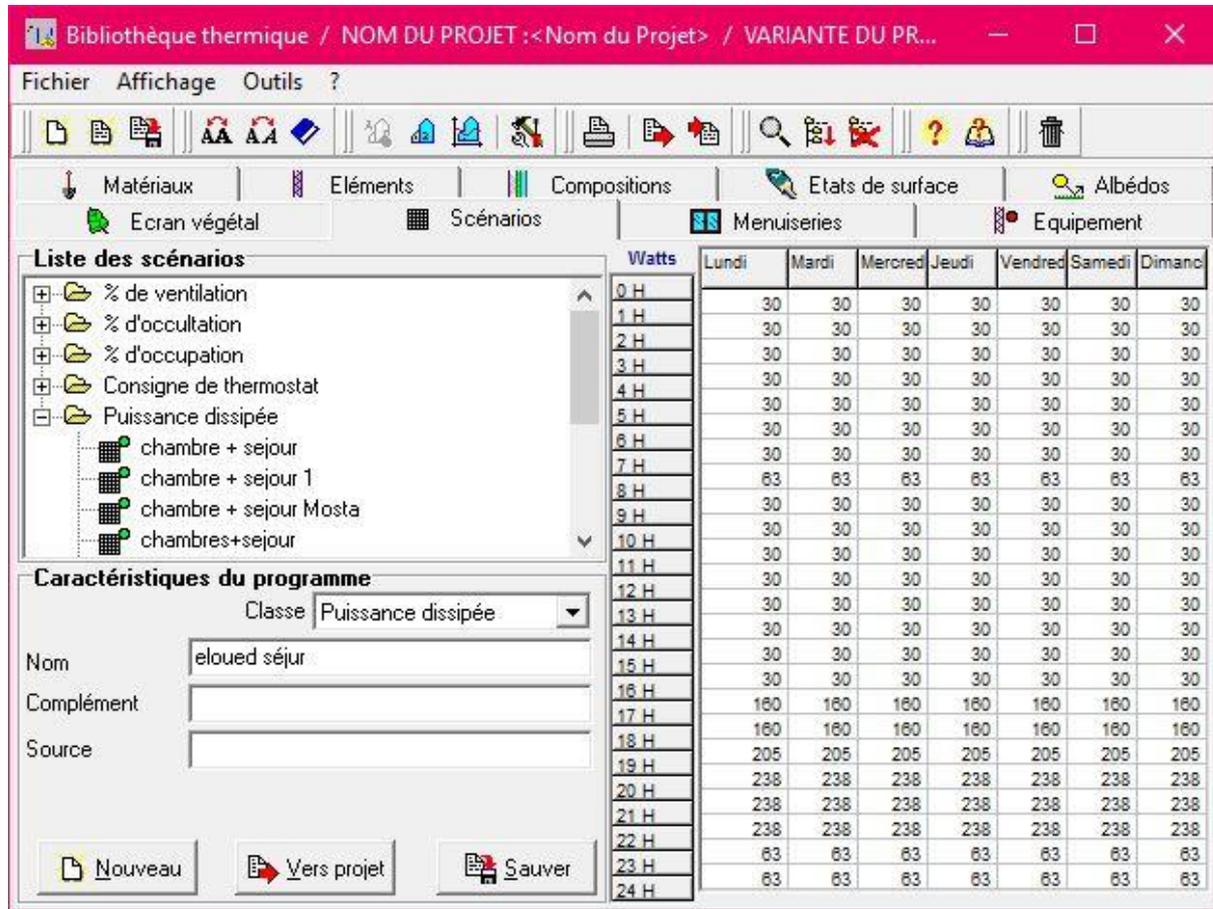


Figure 3.19 : scenario puissance dissipée du séjour (el oued)

Pour le logement de MOSTAGANEM

Pour le séjour +chambres :

- 3 lampes (75 watts pour chaque espace) ;(7h-8h), (19h-24h).
- 1 TV+ 1dém (100 watt+30 watt) ; (16h-22h)
- 2 pc (45 watt) ;(18h-22h).
- Modems internet (30w) (24h)

Pour la salle de bain +WC :

- 3 lampes (75 watt pour chaque une) ;(17h-7h).

Pour les escaliers :

- 2 lampes (75 watt) ;(18h-7h).

Pour la cuisine :

- Lampe (75 watt) ;(7h-8h), (18h-22h).
- Réfrigérateurs (200 watt) ;(24h)
- Fours à gaz (2000 watt) ;(7h-8h), (10h-12h), (18h-20h).

Pour Hall :

- Lampes (75 watt), (18h-22h).

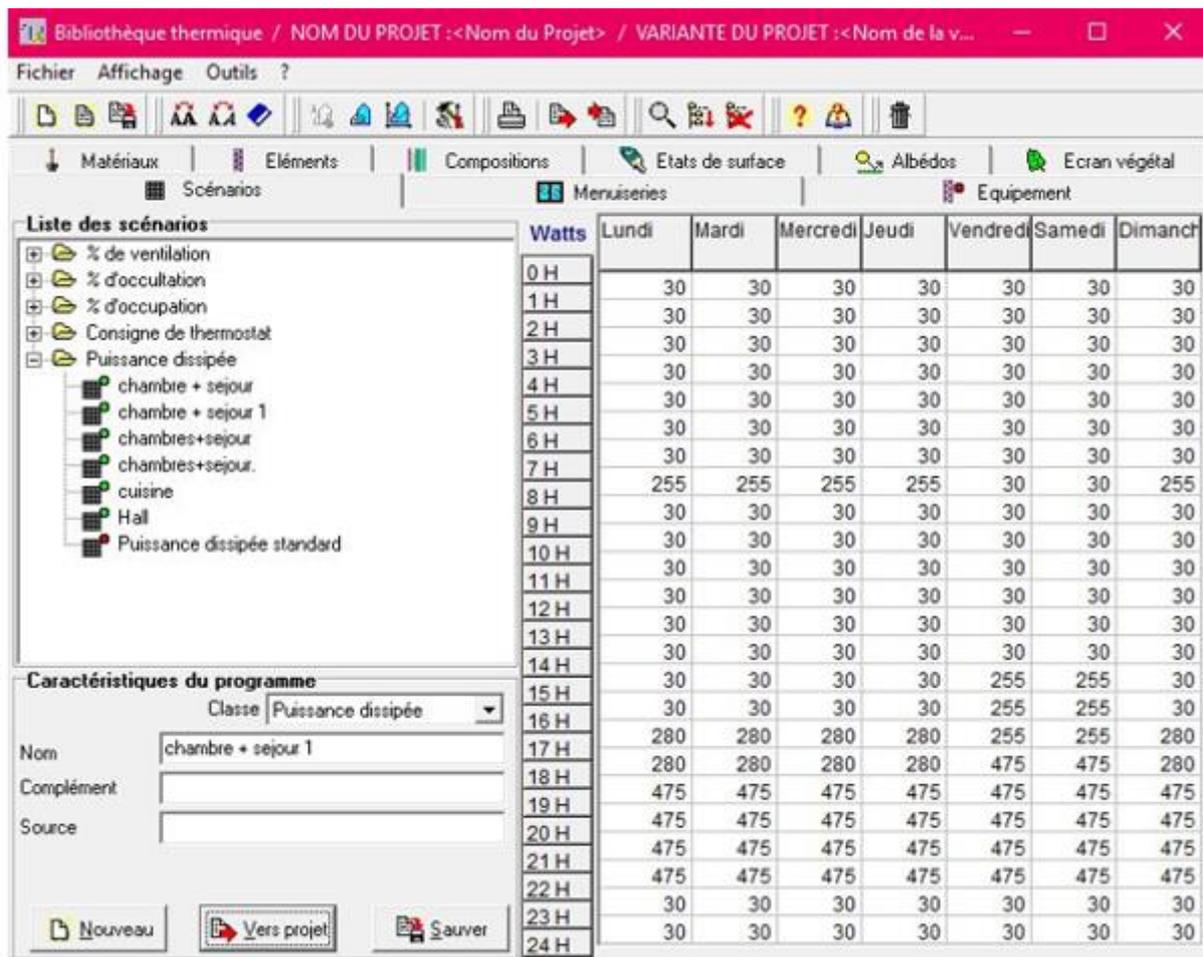


Figure 3.20: scénario de puissance dissipé du chambre séjour (Mostaganem)

3.10 Scenarios d'occultation

Les scenarios d'occultations dirigent le système de fermeture et la fréquence de fermeture des volets de chaque fenêtre du logement. Il est donc possible de gérer chaque fenêtre du logement en choisissant à quelle heure on ouvre et on ferme le volet mais aussi de combien on ouvre le volet (entre 0 et 100%). Ces scenarios ont une importance primordiale en été pour éviter les surchauffes nécessitées au soleil.

Dans cette étude, on distingue deux scenarios d'occultation volet jour, et volet nuit.

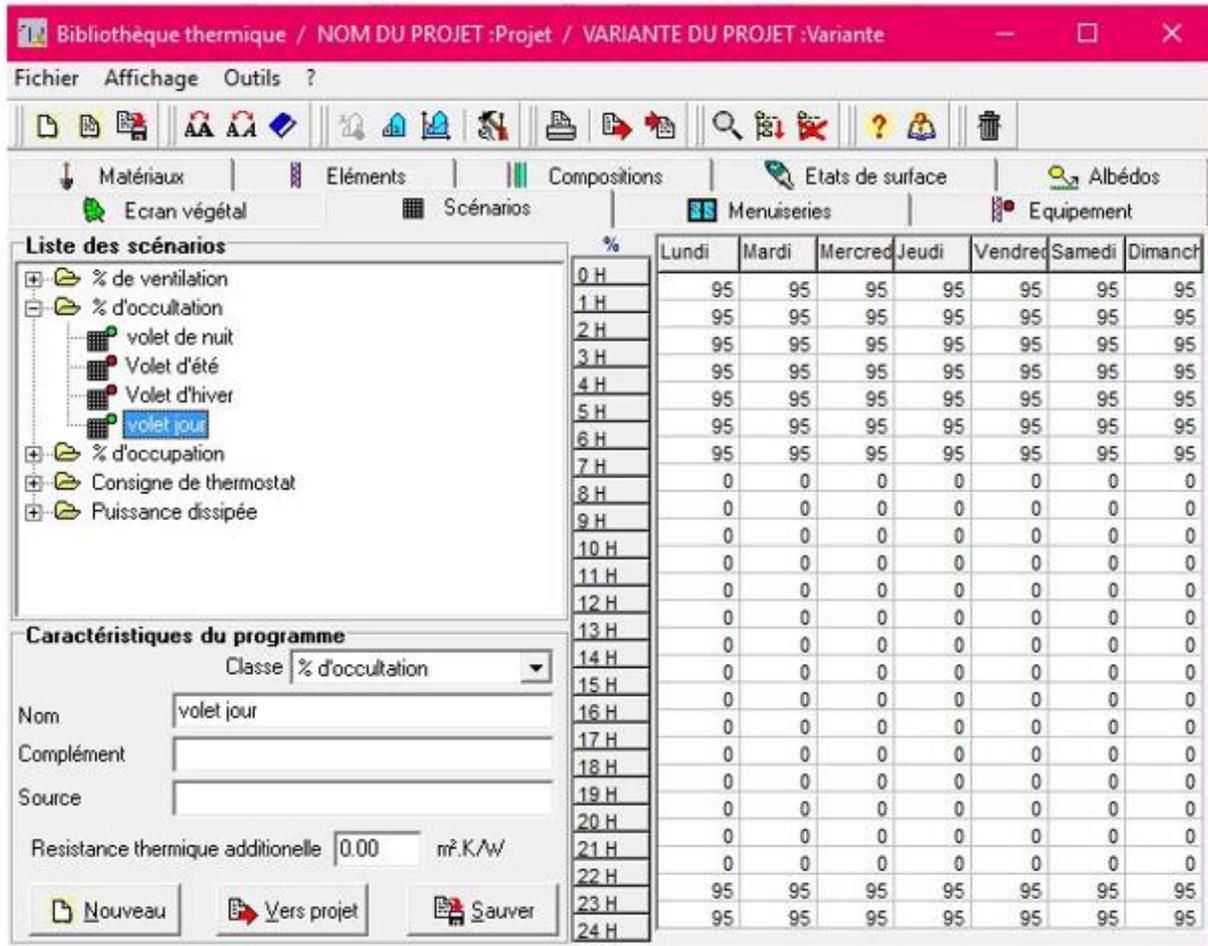


Figure 3.21 : scenario d'occultation du volet jour (deux wilaya)

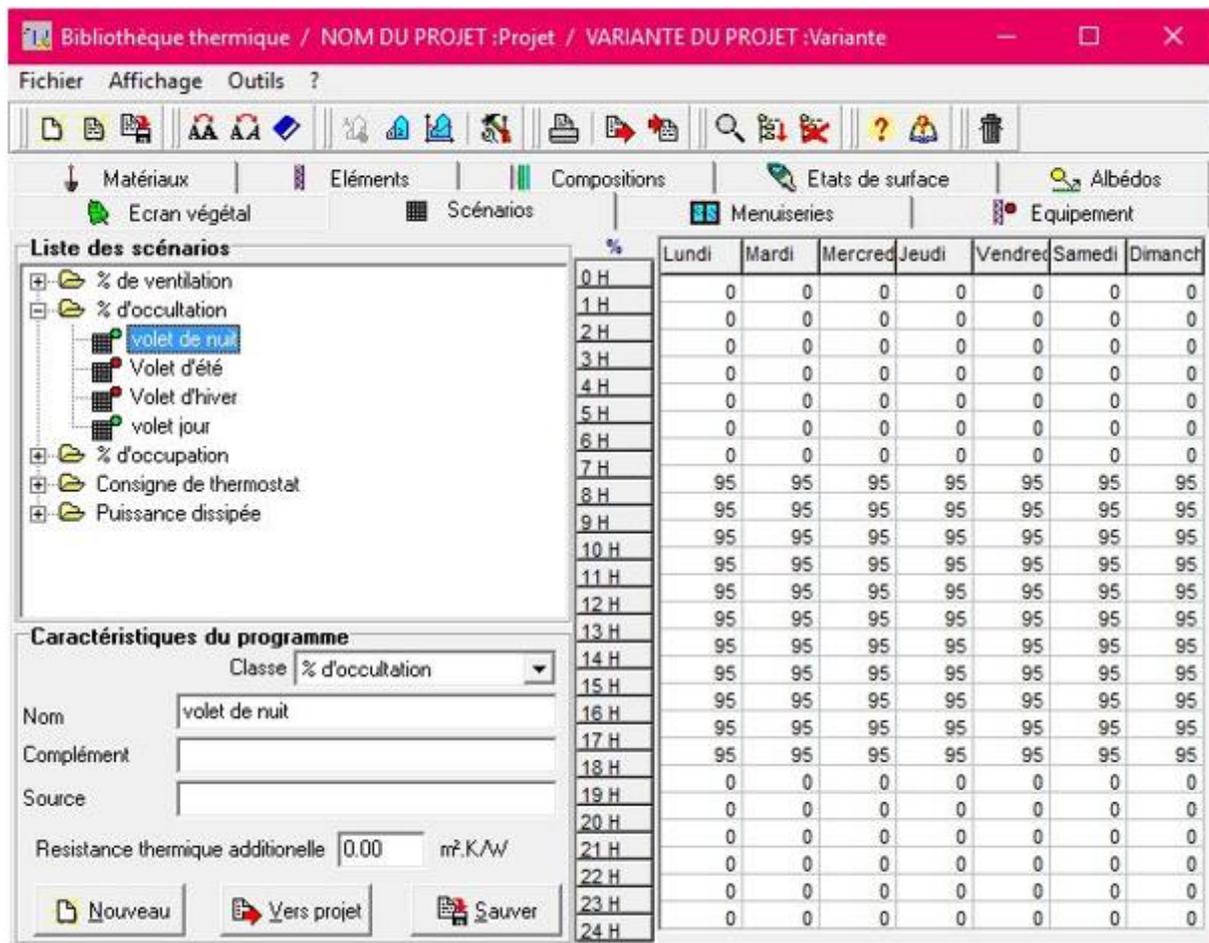


Figure 3.22 : scenario d'occultation du volet nuit (deux wilaya)

3.11 Scenarios de ventilation

La ventilation est certainement, après l'enveloppe thermique, le point le plus important de la simulation. En effet, en effectuant une gestion efficace des flux de chaleur, il est possible de limiter de manière très significative les pertes, tout d'abord, il est nécessaire d'introduire de l'air neuf dans la maison pour garantir le confort des occupants. Cet apport d'air neuf est réaliser grâce au scenario de ventilation.

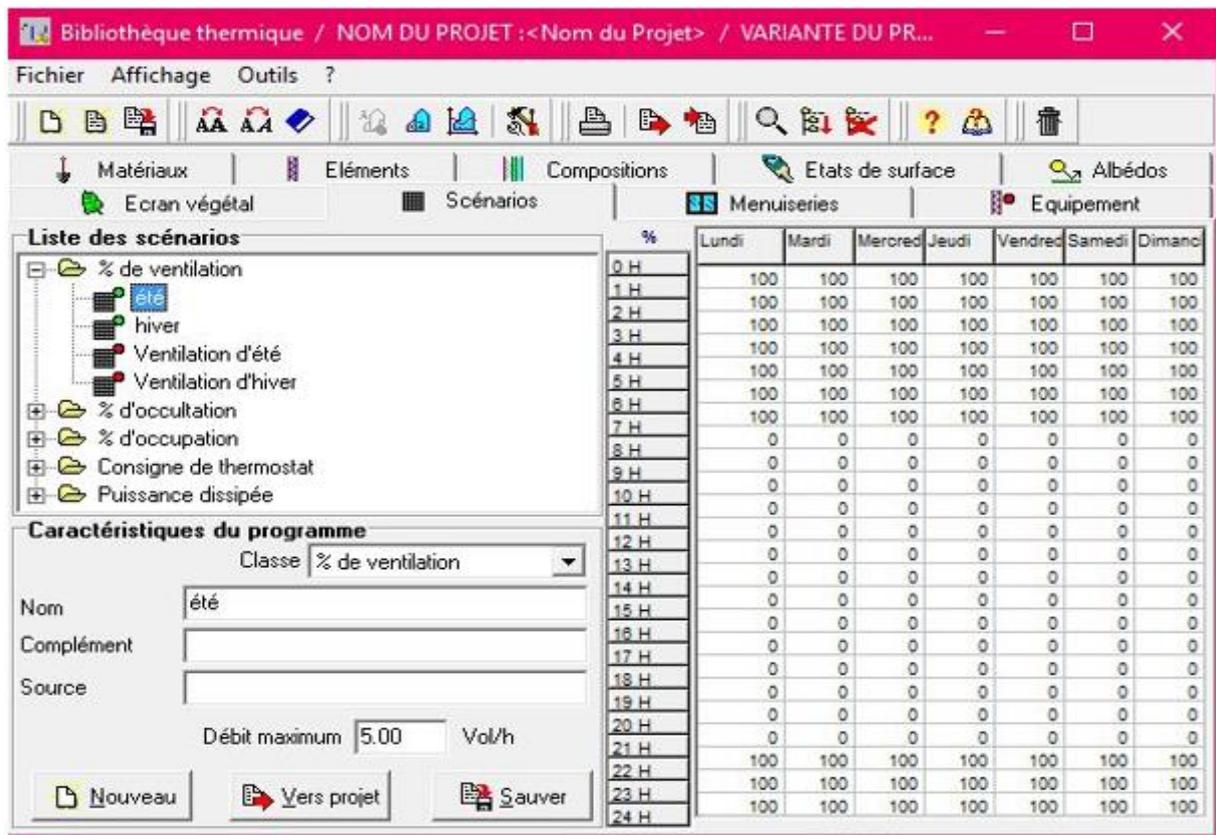


Figure 3.23 : scenario de ventilation été (deux wilaya)

Le taux de renouvellement d'air est une donnée globale à l'échelle du logement qui permet de déterminer combien de fois par heure le volume d'air intérieur est renouvelé. Il est exprimé en volume/heures.

3.12 Consigne de thermostat

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

L'intervalle de confort thermique est entre 20° et 24°.

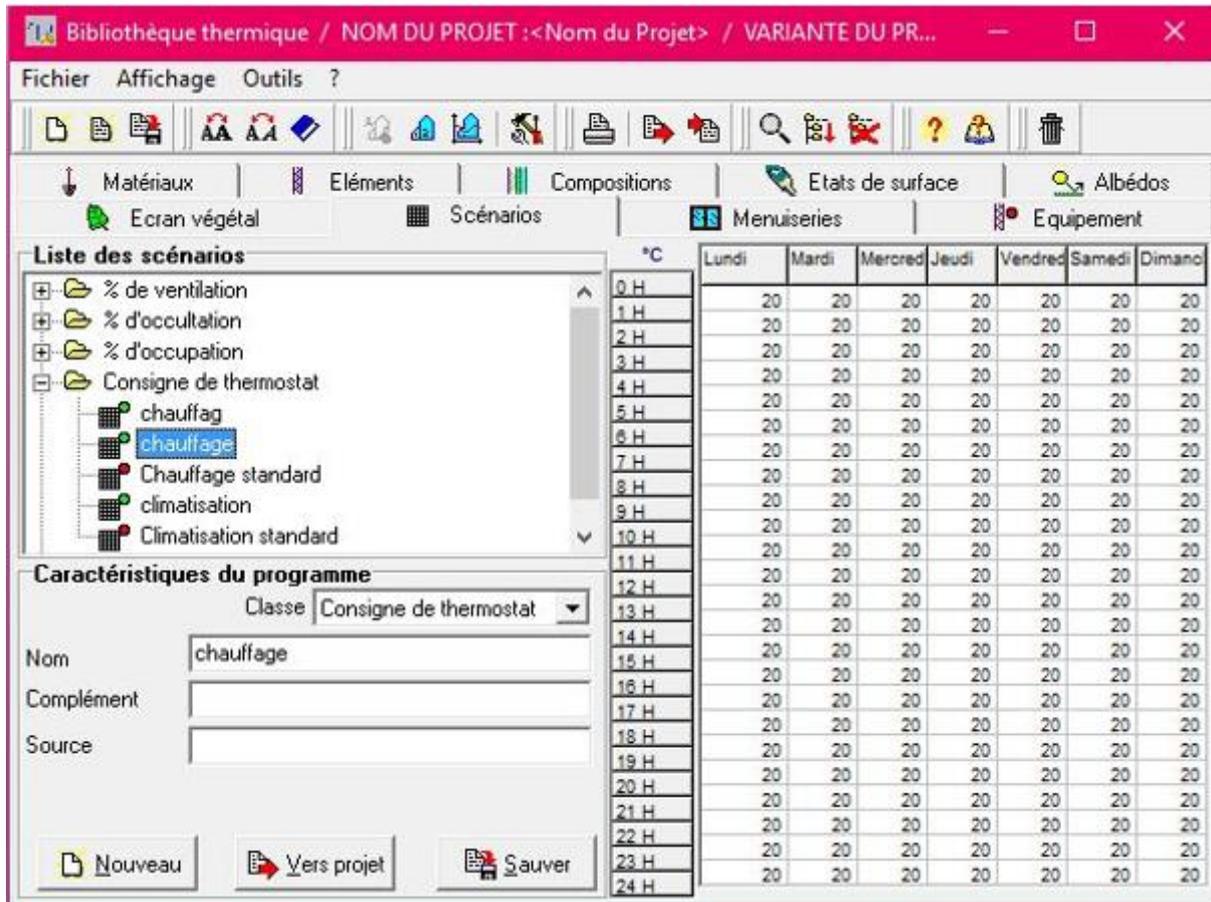


Figure 3.25 : scenario de thermostat (chauffage les deux wilaya)

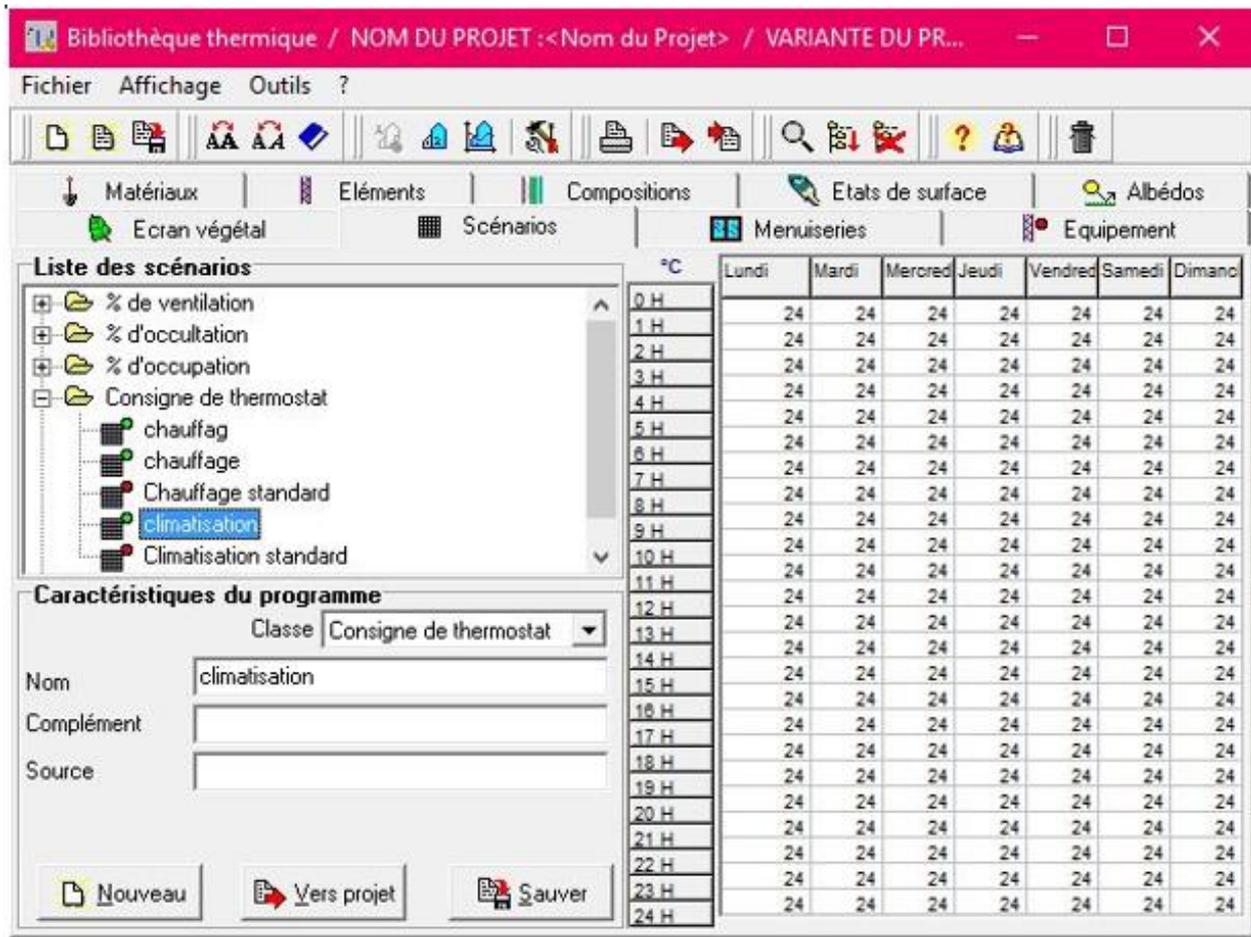


Figure 3.26 : scenario de thermostat climatisation (les deux wilaya)

3.13 Conclusion :

PLEIADES + COMFIE permet à un architecte, un BET ou un maître d'ouvrage d'analyser un projet ou d'envisager une réhabilitation dans une démarche complète d'analyse thermique. Permettant à l'utilisateur d'introduire les paramètres constitutifs du bâtiment de façon facile et pratique.

4 Chapitre IV : discussions et interprétations des résultats

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus après simulation ainsi que les discussions.

Dans cette profession, nous avons commencé une étude énergétique de deux logements

L'un est un logement individuel avec un F3 au RDC et F2 à l'étage .et l'autre un logement collectif de 3 étages et RDC. Les logements sont devisés par quatre zones thermiques : zone « chambres+ séjour » une zone « cuisine », une zone « salle de bain + toilette », une zone « hall + cours »

La simulation est effectuée avec le logiciel 'Pléiades + Comfie', outil de simulation dynamique développé par le Centre d'Energétique, de l'Ecole des Mines de Paris.

Lorsque l'on utilise le logiciel 'Pléiades + Comfie', il n'est pas possible de créer dans une même simulation, des scénarios pour l'hiver et pour l'été.

On a donc fait deux simulations, une pour l'hiver et autre pour l'été.

4.2 Cas d'El oued

4.2.1 Simulation sans consigne thermostat

Simulation hivernale orientation aux Nord

Résultats de simulation

Voici ci-dessous les résultats obtenus après lancement de simulation avec Pleiades + Comfie

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text" value="Projet / 00eloued hiver sans consigne"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T* Min	T* Moyenne	T* Max
Année							
Séjour	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	10.35 °C	19.25 °C	32.22 °C
Hall+SDB+SDB+WC	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	8.79 °C	16.70 °C	28.29 °C
Cuisine	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	8.17 °C	16.65 °C	28.65 °C
Chambre 01+Chambre 02	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	9.87 °C	18.20 °C	30.46 °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
Séjour	0.00 kWh/m3	25.40 (1/10°C)	36.73 %	8.05 %	0.00 %
Hall+SDB+SDB+WC	0.00 kWh/m3	8.74 (1/10°C)	21.64 %	0.00 %	0.00 %
Cuisine	0.00 kWh/m3	10.39 (1/10°C)	28.61 %	0.00 %	0.00 %
Chambre 01+Chambre 02	0.00 kWh/m3	17.02 (1/10°C)	26.58 %	5.67 %	0.00 %

Tableau des résultats

Synthèse :

- D'après les résultats obtenus, nous remarquons que les besoins en chauffage sont nuls car la consigne de thermostat n'est pas intégrée dans cette simulation.
- Pour toute la période hivernale, dans la zone de confort 01 la température maximale peut atteindre jusqu'à 32.22° et diminue jusqu'à 10.35° (température minimale), alors on aura une température moyenne de 19.25° , et au niveau de la cuisine on a une moyenne de 16.65° avec une température minimale de 8.17 °et une température maximale de 28.65°.

Sous forme graphique

Le graphe 4.1 montre l'évolution de la température de la semaine la plus froide de l'année (07/01 au 14/01) pour la région d'étude.

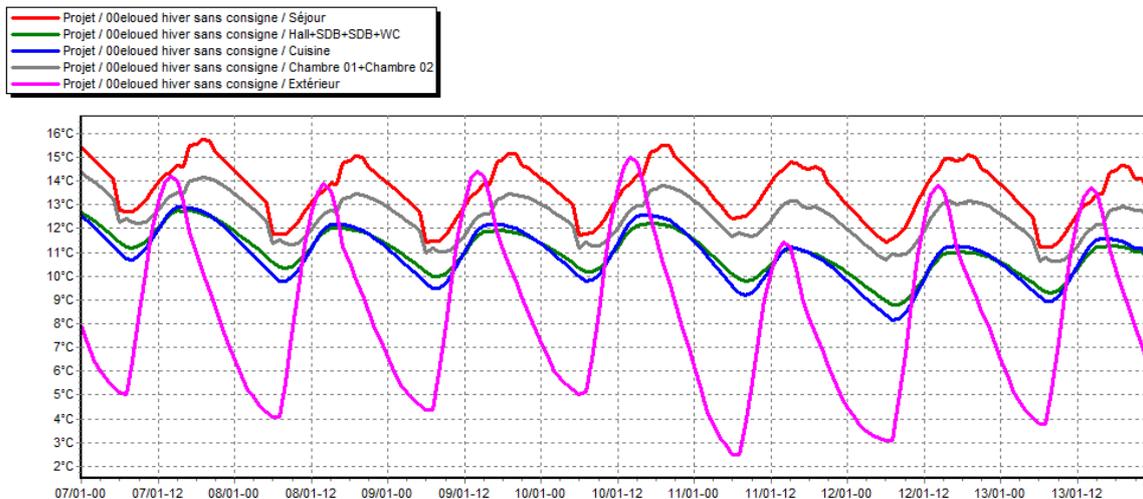


Figure 4.1 Evolution de la température de la semaine la plus froide de l'année (sans consigne thermostat)

Synthèse :

D'après le Graphe, on remarque que la température extérieure varie d'une manière sinusoïdale dans cette période avec un minimum le 11 janvier avec 2.5 °C et atteint un maximum le 10 janvier avec une température avoisinant les 15 °C. toutes les températures de la zone de confort prennent la même allure, elles varient de la même manière que celle de l'extérieur

mais avec des écarts différents. Les températures hivernales de la zone de confort sont inférieures aux températures extérieures. Donc le confort n'a pas été assuré.

Simulation estivale orientation aux Nord

Après simulation, Le graphe 4.2 montre l'évolution de la température de la semaine la plus chaude de l'année du 23/07 au 29/06 pour la région d'étude.

Résumer							
Projet sélectionné: <input type="text" value="Projet / 00eloued été sans consigne"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
Séjour	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	10.48 °C	31.74 °C	46.68 °C
Hall+SDB+SDB+WC	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	10.42 °C	30.02 °C	43.47 °C
Cuisine	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	9.58 °C	30.06 °C	44.35 °C
Chambre 01+Chambre 02	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	10.48 °C	31.43 °C	45.61 °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		
Séjour	0.00 kWh/m3	94.53 (1/10°C)	52.87 %	76.85 %	0.00 %		
Hall+SDB+SDB+WC	0.00 kWh/m3	86.10 (1/10°C)	35.08 %	0.00 %	0.00 %		
Cuisine	0.00 kWh/m3	86.61 (1/10°C)	45.25 %	0.00 %	0.00 %		
Chambre 01+Chambre 02	0.00 kWh/m3	93.02 (1/10°C)	43.54 %	74.75 %	0.00 %		

Résultat de simulation

Synthèse :

- D'après les résultats obtenus, nous remarquons que les besoins en chauffage sont nuls car la consigne de thermostat n'est pas intégrée dans cette simulation.
- Pour toute la période hivernale, dans la zone de confort 01 la température maximale peut atteindre jusqu'à 46.68° et diminue jusqu'à 10.48° (température minimale), alors on aura une température moyenne de 31.74° , et au niveau de la cuisine on a une moyenne de 30.06° avec une température minimale de 9.58 °et une température maximale de 44.35°.

Sous forme graphique

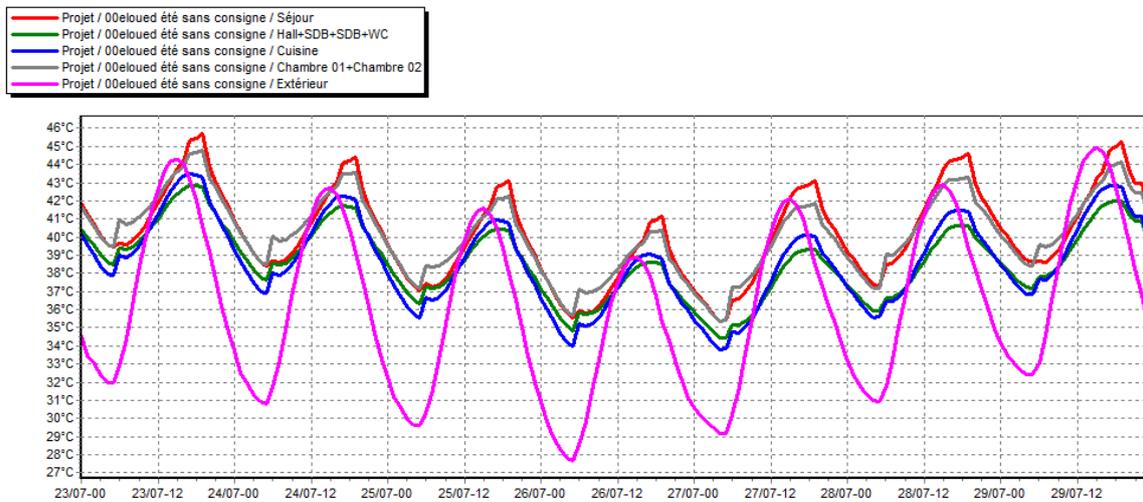


Figure 4.2 Evolution de la température de la semaine la plus chaude de l'année (sans consigne thermostat)

Synthèse :

On remarque que la température extérieure varie d'une manière sinusoïdale dans cette période avec un minimum le 26 juillet avec 28 °C et atteint un maximum le 29 juillet avec une température avoisinant les 45 °C. On marque aussi que toutes les températures prennent presque la même allure, elles varient de la même manière que celle de l'extérieur mais avec des écarts considérables ce qui justifie une bonne isolation de l'enveloppe (un transfert de chaleur très faible). On peut constater surtout que les températures les plus élevées sont celles de l'étage ceci est dû probablement aux grandes déperditions par le plancher haut et leurs surfaces importantes (celle du séjour)

On constate aussi que la température à l'intérieur des zones est trop élevée. Ce qui impose un inconfort à l'occupant. Donc, la ventilation naturelle et l'enveloppe du logement peuvent diminuer de la température extérieure, mais elle n'atteint pas la température

variation des températures(semaine la plus chaude) ventilation nocturne

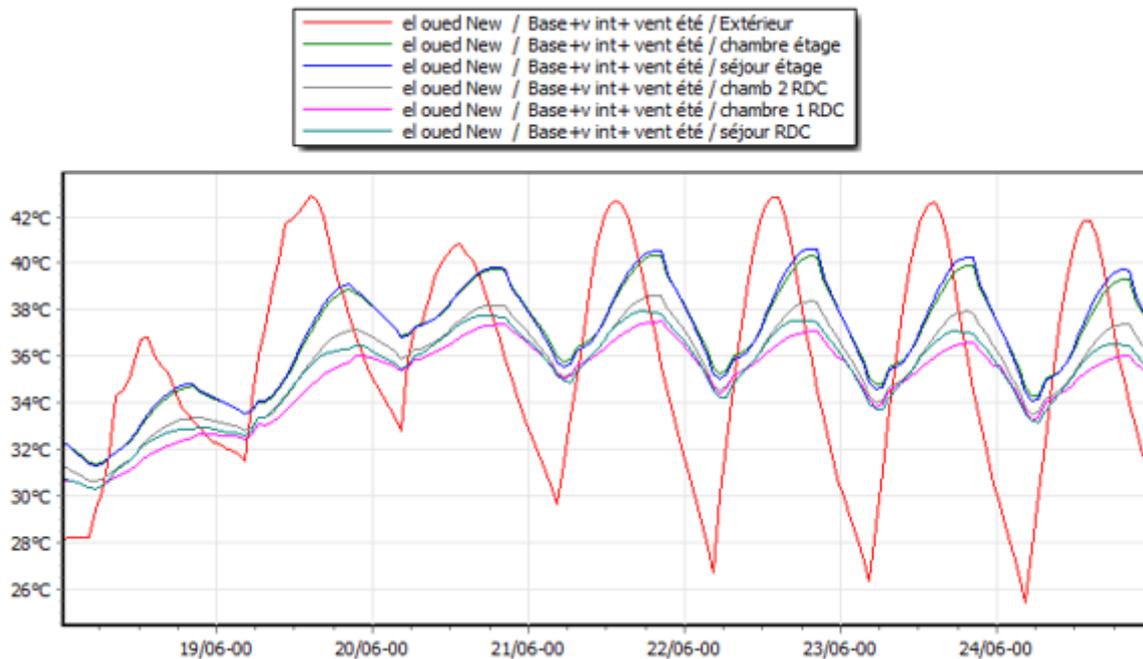


Figure 4.3 : variation des températures (semaine la plus chaude) avec ventilation nocturne

Synthèse :

Avec la ventilation nocturne on remarque que la température extérieure varie dans cette période avec un minimum le 24 juin avec 25.5 °C et atteint un maximum le 19 juin avec une température avoisinant les 43 °C. On marque aussi que toutes les températures prennent presque la même allure, mais avec des écarts considérables avec celle de l'extérieur et varient de 30°C jusqu'à 40°C. les températures de la zone de confort de l'étage sont élevées que celle de RDC et atteint son maximum en 22 juin avec 40.2°C, ce qui justifie les grandes déperditions par le plancher haut et leurs surfaces importantes. Depuis le 22 juin jusqu'à le 25 juin les températures de la zone de confort diminuent jusqu'à 37°C dans étage et 35°C au RDC.

Comparaison :

Pour la semaine la plus chaude les températures de la zone de confort de l'appartement sont élevées entre 34°C et 42°C. Avec la ventilation nocturne aussi les températures sont élevées mais moins que sans ventilation nocturne (varient entre 30°C et 40°C) qui est un écarte important d'environ 2° à 4° et dans les derniers jours de la semaine on remarque une diminution des températures dans les pièces de confort

REMARQUE :

Comportement d'un logement avec et sans ventilation nocturne (simulation thermique dynamique) : la ventilation naturelle nocturne permet un abaissement des températures de 2°C à 4°C la nuit, et une stabilisation des températures à des niveaux 2°C inférieurs à un logement non ventilé la nuit ce qui permet de décharger le bâtiment de la chaleur accumulée durant la journée.

4.2.2 Simulation avec consigne thermostat

Simulation hivernale orientation aux Nord

La simulation avec consigne thermostat chauffage, nous permet de déterminer les besoins en chauffage et la puissance à chauffer afin d'atteindre le confort proposé lors de l'intégration du scénario de thermostat.

Résultats de simulation

Voici ci-dessous les résultats obtenus après lancement de simulation avec Pleiades + Comfie

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text" value="Projet / 00eloued hiver avec consigne"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
Séjour	1282 kWh	0 kWh	1960 W	-0 W	19.79 °C	21.52 °C	32.22 °C
Hall+SDB+SDB+WC	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	10.93 °C	17.46 °C	28.29 °C
Cuisine	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	9.61 °C	17.13 °C	28.65 °C
Chambre 01+Chambre 02	2056 kWh	0 kWh	2442 W	-0 W	19.81 °C	21.13 °C	30.46 °C
Total	3338 kWh	0 kWh	4402 W	0 W			

Zones	Besoins Chaud+Froid	Moyenne Surchauffe Max	Amplification de T°Ext	Taux d'inconfort	Part de besoin nets
Séjour	19.62 kWh/m3	25.36 (1/10°C)	17.15 %	8.05 %	37.03 %
Hall+SDB+SDB+WC	0.00 kWh/m3	8.73 (1/10°C)	20.82 %	0.00 %	0.00 %
Cuisine	0.00 kWh/m3	10.39 (1/10°C)	28.14 %	0.00 %	0.00 %
Chambre 01+Chambre 02	25.25 kWh/m3	16.98 (1/10°C)	10.06 %	5.55 %	48.11 %

Résultat de simulation

Remarque : D'après les résultats obtenus, et après intégration de la consigne de thermostat les températures ont augmenté et le confort n'est pas atteint, on a une puissance de chauffage de 1960 W au séjour, pour les besoins en chauffage sont estimés à 1282 kWh /an .et dans la zone de confort on a une puissance de chauffage de 2442 W, pour les besoins de chauffage de 2056 kWh.

Sous forme graphique

Après simulation, on obtient le graphe suivant pour la puissance de chauffage du 08/01 au 15/01

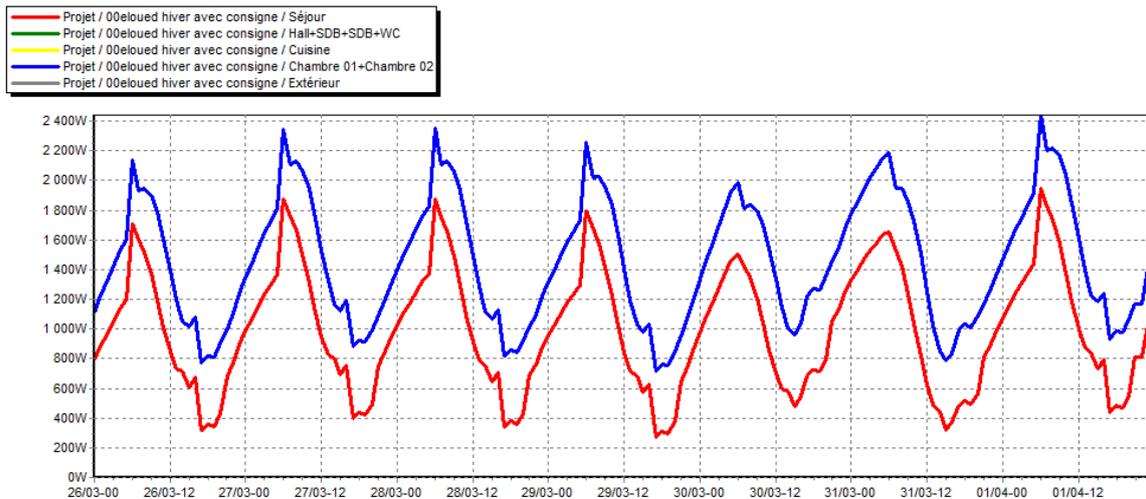


Figure 4.4 : Evolution de la puissance de chauffage(avec consigne thermostat)

Synthèse :

D'après les graphes on remarque que les puissances de la zone de confort varient de la même manière dans cette période avec un maximum le 1 avril avec 2400W dans les chambres environ 28W/m² (surface de séjour = 67.50 m²), ceci est dû probablement aux grandes déperditions par le plancher haut.

Simulation estivale orientation aux Nord

Après simulation, on obtient le graphe suivant pour la puissance de climatisation

Le graphe 4.5 montre l'évolution de la puissance de climatisation du 14/05 au 20/05

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text" value="Projet / 00eloued été avec consigne"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T* Min	T* Moyenne	T* Max
Année							
Séjour	0 kWh	6933 kWh	0 W	1960 W	-14.50 °C	25.05 °C	36.27 °C
Hall+SDB+SDB+WC	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	0.83 °C	28.52 °C	40.84 °C
Cuisine	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	4.09 °C	28.99 °C	42.43 °C
Chambre 01+Chambre 02	0 kWh	8391 kWh	0 W	2442 W	-16.59 °C	24.87 °C	34.99 °C
Total	0 kWh	15324 kWh	0 W	4402 W			
Zones	Besoins Chaud+Froid	Moyenne Surchauffe Max	Amplification de T*Ext	Taux d'inconfort	Part de besoin nets		
Séjour	106.12 kWh/m3	40.47 (1/10°C)	28.35 %	26.02 %	0.00 %		
Hall+SDB+SDB+WC	0.00 kWh/m3	65.30 (1/10°C)	30.68 %	0.00 %	0.00 %		
Cuisine	0.00 kWh/m3	72.20 (1/10°C)	41.49 %	0.00 %	0.00 %		
Chambre 01+Chambre 02	103.09 kWh/m3	34.18 (1/10°C)	22.10 %	23.09 %	0.00 %		

Tableau des résultats

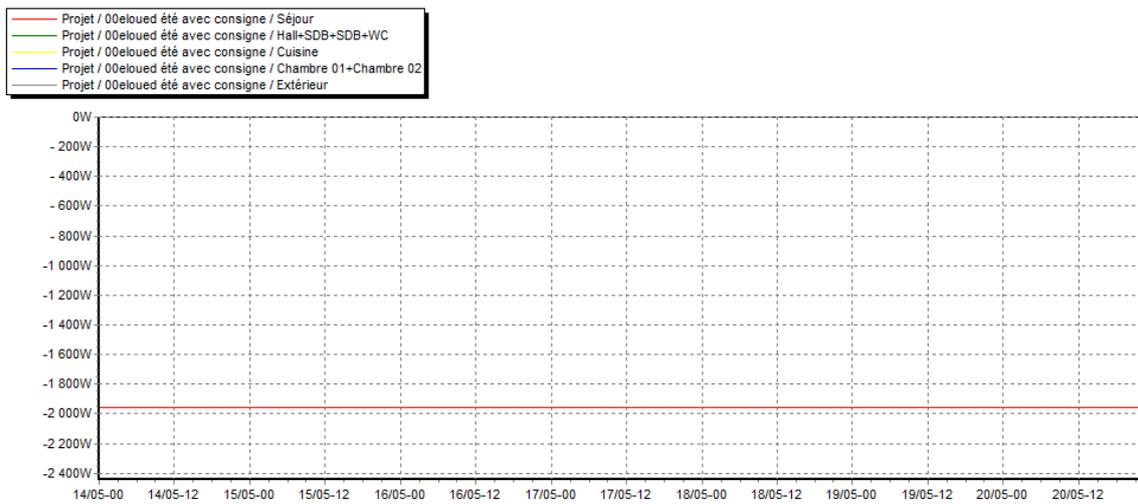


Figure 4.5 Evolution de la puissance de climatisation

Synthèse

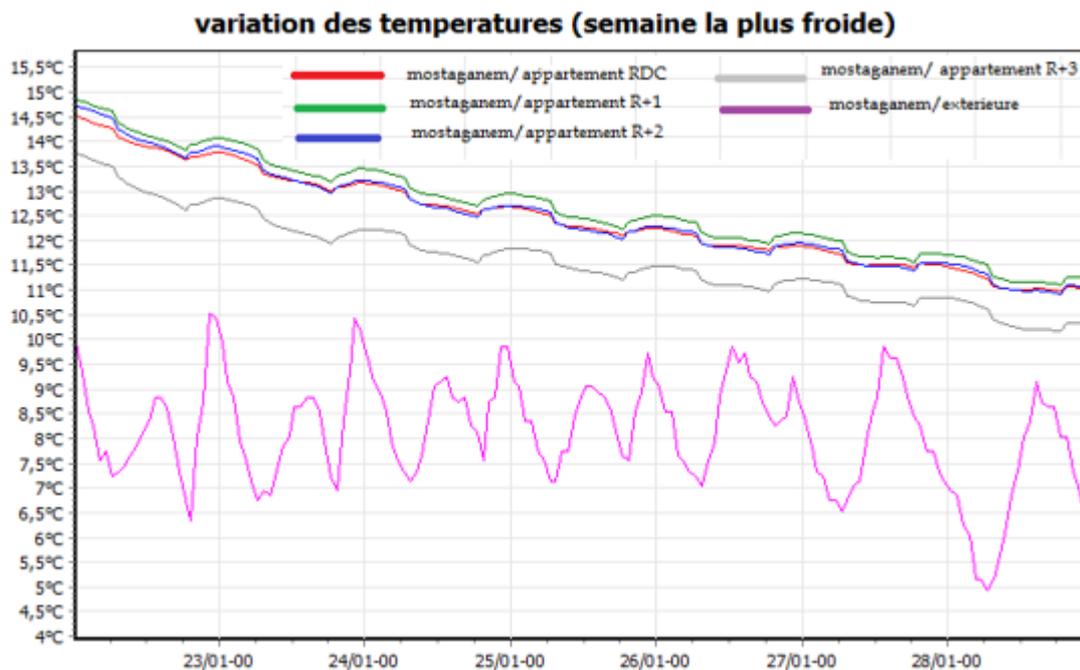
Le graphe montre bien que la puissance de climatisation est constante toute la période d'été avec -2000w

4.3 Cas de Mostaganem

4.3.1 Simulation sans consigne thermostat

Simulation hivernale orientation aux Nord

Le graphe 4.6 montre l'évolution de la température de la semaine la plus froide de l'année (22/01 au 29/01) pour la région d'étude.



Figuree 4.6 Evolution de la température de la semaine la plus froide de l'année

Synthèse :

D'après la visualisation graphique, on remarque que la température extérieure varie d'une manière sinusoïdale dans cette période avec un minimum le 28 janvier avec 5 °C et atteint un maximum le 23 janvier avec 10.5°C, et les températures des trois appartements et le RDC prennent la même allure et varient entre 10.2°C et 15°C. On constate, que malgré que les températures des appartements sont plus importantes par rapport à celles de l'extérieur, mais le confort n'a pas été assuré, car les températures dans les appartements sont comprises entre 10.2°C et 15°C donc l'enveloppe du logement seulement ne peut pas assurer le confort thermique de l'habitant et un dispositif de chauffage sera inclue par conséquence.

Simulation estivale orientation aux Nord

Le graphe 4.7 montre l'évolution de la température de la semaine la plus chaude de l'année (07/08 au 13/08) pour la région d'étude.

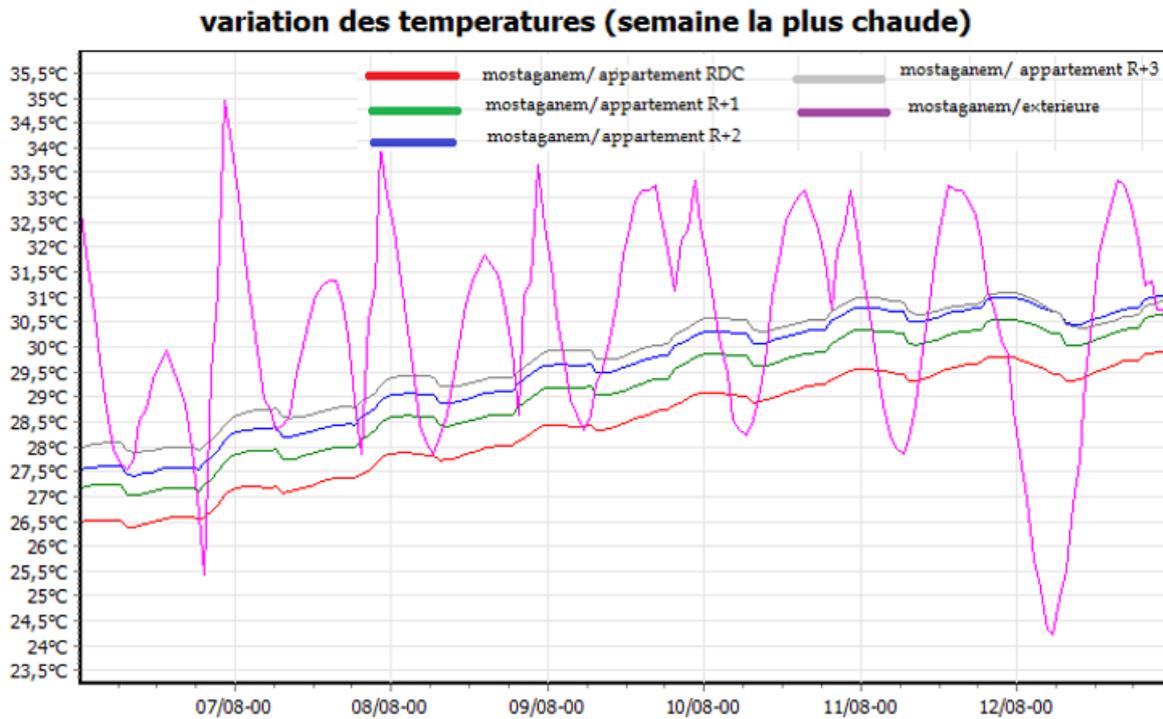


Figure 4.7 Evolution de la température de la semaine la plus chaude de l'année

Synthèse :

On remarque que la température extérieure varie d'une manière sinusoïdale dans cette période avec un minimum le 12 aout avec 24.2 °C et atteint un maximum le 07 aout avec une température de 35°C. On marque aussi que toutes les températures sont rapprochées, varient entre 26.5°C et 31°C, et prennent presque la même allure que les températures de l'extérieur ce qui justifie une bonne isolation de l'enveloppe (un transfert de chaleur faible). On peut constater que les températures les plus élevées sont celles de 3eme étage à cause de grandes déperditions par le plancher haut.

variation des températures (semaine la plus chaude avec ventilation nocturne)

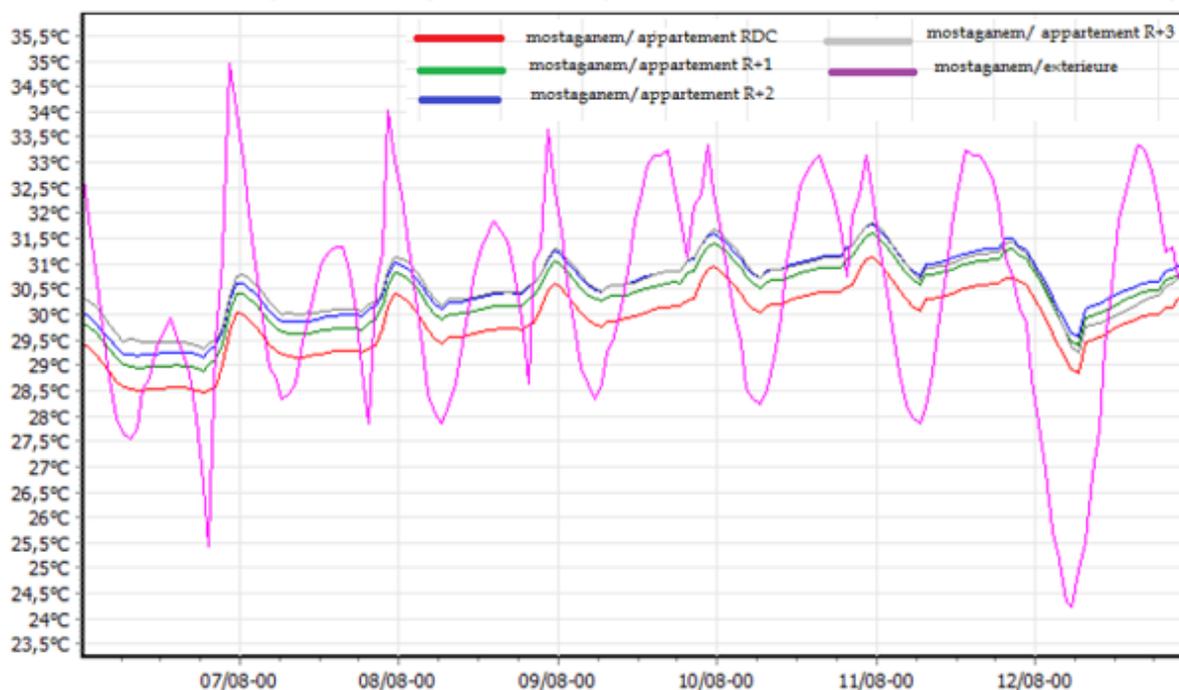


Figure 4.8 : *variation des températures de la semaine la plus chaude avec ventilation nocturne*

Synthèse :

Avec la ventilation nocturne on remarque que la température extérieure varie dans cette période avec un minimum le 12 aout avec 24.2 °C et atteint un maximum le 07 aout avec une température de 35 °C. toutes les températures de la zone de confort prennent presque la même allure, mais avec des écarts considérables varient de 28.5°C jusqu'à 32°C. les températures de la zone de confort de R+3 sont élevées et atteignent leur maximum le 11 aout avec 31.7°C, ce qui justifie les grandes déperditions par le plancher haut

Comparaison :

Pour la semaine la plus chaude les températures de la zone de confort de l'immeuble sont élevées entre 26.5°C et 31°C. Avec la ventilation nocturne les températures sont plus élevées que sans ventilation nocturne (varient entre 28.5°C et 32°C), On justifie cette élévation de température par l'effet de la brise marine, qui est un vent thermique qui se déclenche dans les zones littorales à cause des contrastes thermiques journaliers entre la mer et le continent (Atkinson, 1981). Cette dernière fait que ça se réchauffe un peu le soir qu'on ouvre les fenêtres car Mostaganem est une ville côtière

4.3.2 Simulation avec consigne thermostat

Simulation hivernale orientation aux Nord.

Résultats de simulation

Voici ci-dessous les résultats obtenus après le lancement de simulation avec Pleiades + Comfie Sous forme graphique

Le graphe 4.9 montre l'évolution de la puissance de chauffage du 28/01 au 25/12

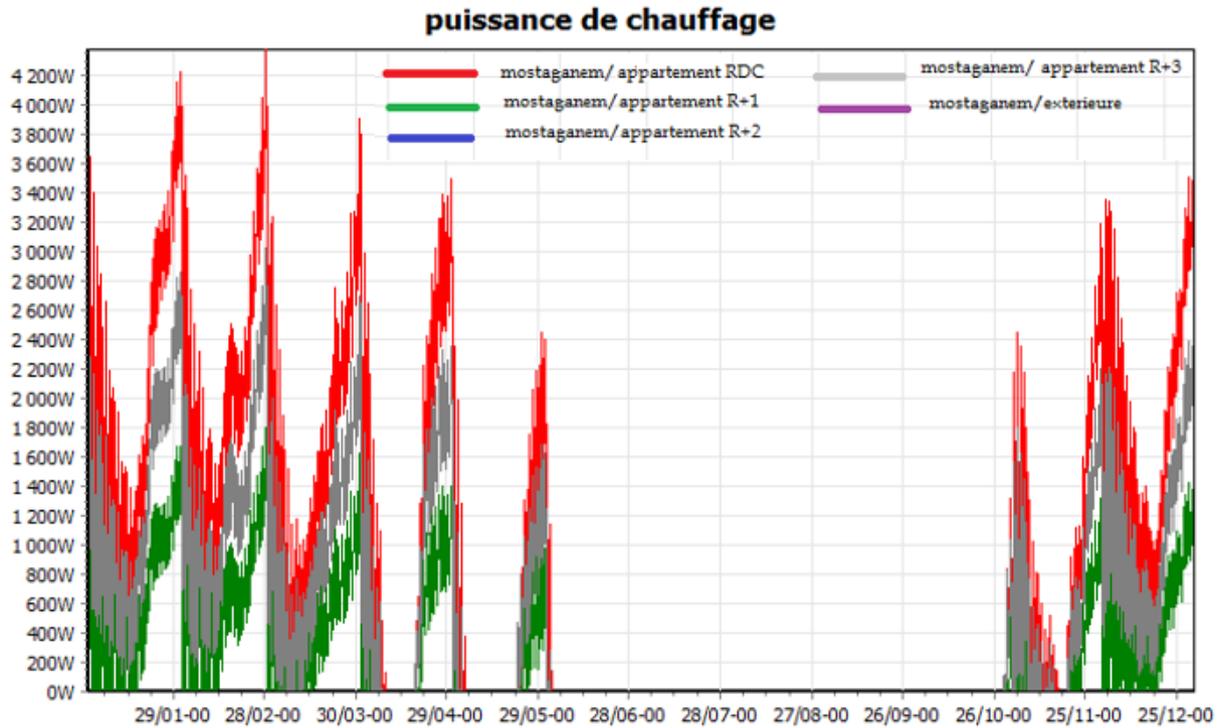


Figure 4.9 : Evolution de la puissance de chauffage

Synthèse :

Le graphe montre bien que les puissances sont nulles dans toute la période estivale contrairement dans le reste de l'année qui est en maximum pour le RDC avec une valeur de 4300W en 28/02 pour 174 m² (surface de la zone de confort) environ 25W/m² car les apports solaires de RDC sont très importants dans cette période. On remarque aussi que la puissance la plus faible est en 29 Mai ceci est dû forcément à température ambiante assez faible d'où les déperditions avec l'extérieur sont moindres alors la puissance de chauffage sera plus faible

Simulation estivale orientation aux Nord

Après simulation, on obtient le graphe suivant pour la puissance de climatisation

Le graphe 4.10 montre l'évolution de la puissance de climatisation du 06/08 au 13/08

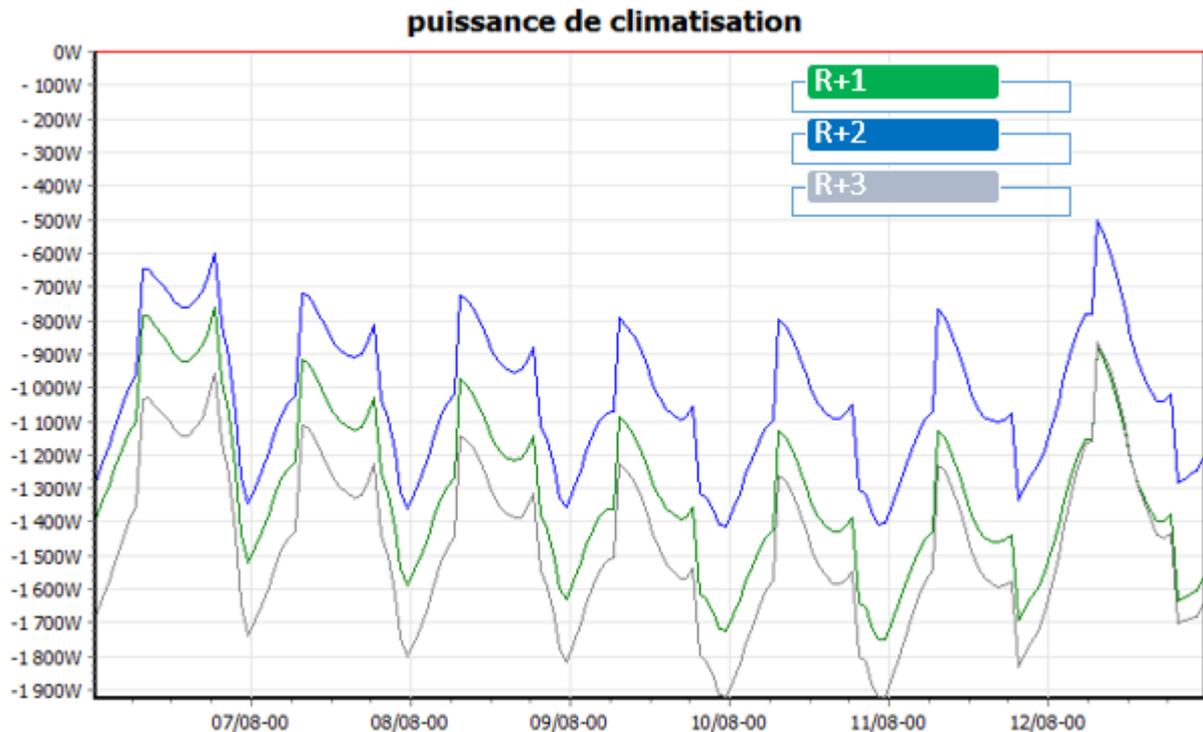


Figure 4.10 : Evolution de la puissance de climatisation

Synthèse

On remarque que toutes les courbes des puissances prennent presque la même allure dans toute la période, elles varient de la même manière mais avec des écarts considérables.

Le graphique montre bien que les puissances sont en maximum pour le 3^{ème} étage avec une puissance de -1900W ceci est dû aux déperditions surfaciques au niveau du plancher haut qui sont très importantes, contrairement aux deux autres étages dont le plancher haut ou ses déperditions surfaciques avec le 3^{ème} étage sont très faibles.

Remarque :

Selon les résultats obtenus, on constate que l'emplacement des pièces est très important pour la puissance de chauffage afin d'atteindre le confort à l'intérieur du logement.

Conclusion générale

Ce projet d'étude des performances thermiques des logements HPE s'inscrit pleinement dans le contexte actuel de maîtrise de l'énergie et d'utilisation de développement durable. Le secteur du bâtiment qui peut réaliser de nombreux progrès en matière d'économie d'énergie est en pleine évolution vers la création d'un marché pour ce type de bâtiments.

Nous avons eu comme objectif en problématique à répondre à certaines préoccupations concernant les stratégies de conception adoptées pour assurer un confort thermique à l'intérieure du bâtiment C'est dans cette optique que s'inscrit ce travail dont l'objectif principal est la contribution à la suggestion de solutions d'économie d'énergie au sein du secteur d'habitat.

Afin d'aborder cette question, il était nécessaire, avant tout, de passer en revue l'état de l'art et la bibliographie. A cette étape, nous avons décrit le volet passif de l'efficacité énergétique dans le bâtiment à travers le monde et surtout en Algérie, en d'autres termes l'analyse des techniques relatives à l'aspect des échanges thermiques au sein des bâtiments, particulièrement les techniques le plus largement traitées telles que l'isolation thermique, l'architecture, les matériaux de construction, les techniques passives etc. ainsi que le passage en revue de certaines techniques statistiques d'analyse de données.

La simulation numérique a été réalisée pour deux différents logements (Mostaganem et el oued) à l'aide du logiciel Pléiades + Comfie qui utilise comme données d'entrés un fichier comportant les caractéristiques météorologique du site durant toute l'année (fichier format TRY), plus un Model des logements avec une bonne précision dans la saisi respectant l'orientation, les matériaux de construction des parois, l'isolation et le vitrage utilisé et les scenarios de fonctionnement dans chaque zone prise en considération l'enveloppe des logements et la ventilation naturelle.

Nous avons en effet exposé la méthodologie d'étude expérimentale basée sur des techniques de conception bioclimatique qui tient en compte l'optimisation de l'enveloppe du logement

Une des résultats les plus importants qu'on cherche à déterminer à partir de la simulation, est les besoins de chauffage et les besoins de refroidissement. Pour les déterminer, nous avons supposé que le climatiseur est mis en marche, lorsque la température intérieure passe au-dessus de 24 °C, et le chauffage est mis en route, lorsque la température intérieure passe en dessous de 20 °C.

En se basant sur les résultats obtenus de la puissance du chauffage on trouve qu'on a environ 28 W/m² pour el oued et pour Mostaganem environs 25 W/m² (cas le plus défavorable), Notons bien que pour un logement BBC ou RT 2012 on a des besoins de chauffage entre 15 et 30 W/m² alors que pour un logement passif : inférieur à 10 W/m² donc on peut dire que nos logements sont des logements à basse consommation.

Sur le plan thermique, on peut dire que sans aucune installation de chauffage les logements sont garder hors gèle grâce à la bonne isolation de la maison, mais ça reste toujours insuffisant pour avoir le bon confort à la maison dans les 3 mois hivernale cependant pour la climatisation (rafraîchissement) des deux logements on rencontre un problème de surchauffe dans certaines périodes chaudes.

Nos logements subissent un inconfort en été comme en hiver mais ils gardent toujours in coté positive pendant quelque période de l'année avec une bonne température aux zone de confort de la période estivale et hivernal et cela revient aux technique passif utilisée.

On peut proposer certaines solutions :

- Une Isolation extérieure vue qu'on a une façade maçonnées pour préserver l'inertie grâce à la fort inertie du béton qui permet d'accumuler les apports thermiques en hiver et de garder une bonne fraîcheur en été.
- Intégrer une installation passive ou active pour compenser les besoins en utilisant les sources renouvelables de l'énergie (solaires, géothermies ...etc.)
- On suggère d'intégrer un puit canadien qui pourra rafraichir la maison en été et la chauffer en hiver dans le logement d'el oued vu que dans Mostaganem on a 3 étages
- Insérer une protection solaire sur la façade sud permettant de protéger les deux bâtiments des rayons solaires en été.

Au terme de ce travail, il ressort que le confort thermique peut être atteint par un choix judicieux des matériaux de construction et une bonne politique architecturale de construction mais dans certain cas même la bonne étude ne peut pas subvenir nos besoins et nécessite l'intégration des installations de chauffage et le refroidissement.

Références :

1. Articles :

Étranger

[1] **Wilhelm A. Friessa, Kambiz Rakhshanb**, *A review of passive envelope measures for improved building energy efficiency in the UAE, Renewable and Sustainable Energy Reviews* 72 (2017) 485–496

[2] **S.S. Chandel, Aniket Sharma, Bhanu M. Marwaha**, *Review of energy efficiency initiatives and regulations for residential buildings in India, Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54 (2016) 1443–145, inde.

[3] **Stella Tsoka**, *Optimizing indoor climate conditions in a sports building located in Continental Europe, Energy Procedia* 78(2015), pp 2802 – 2807, **Grèce**.

[4] **Rahmi Andarini**, *The Role of Building Thermal Simulation for Energy Efficient Building Design, Energy Procedia* 47 (2014) 217 – 226, **Indonésie**.

[5] **A. Kemajou et L. Mba**, *Matériaux de construction et confort thermique en zone chaude Application au cas des régions climatiques camerounaises, Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°2 (2011) 239 – 248, Camerone*.

[6] **BRUN Adrien, SPITZ Clara, WURTZ Etienne**, *Analyse du comportement de différents codes de calcul dans le cas de bâtiments à haute efficacité énergétique, IXème Colloque Interuniversitaire Franco-Québécois sur la Thermique des Systèmes 18-20 mai 2009, Lille, France*.

[7] **G.Krauss, B.Lips, J.Virgone, E.Blanco**, *Modélisation sous TRNSYS d'une maison à énergie positive, November 2006, Villeurbanne – France*

[8] **N. Fezzioui, M. Benyamine, N. Tadj, B. Draoui et S. Larbi**, *Performance énergétique d'une maison à patio dans le contexte maghrébin (Algérie, Maroc, Tunisie et Libye), Revue des Energies Renouvelables Vol. 15 N°3 (2012) 399 – 405, Algérie*.

En Algérie

[9] **M. Badeche, Y. Bouchahm**, *Design optimization criteria for windows providing low energy demand in office buildings in Algeria, Environmental and Sustainability Indicators* 6 (2020) 100024, **Algérie**.

[10] **K. Imessad, Kharchi, S. Bouchaib, A. Chenak, S. Hakem A. Hamidat, S. Larbiyoucef, S. Sami et F. Sahnoune**, *Mise en application de la nouvelle réglementation thermique algérienne du bâtiment, Revue des Energies Renouvelables Vol. 20 N°4 (2017) 591 – 597, Algérie*

[11] **A. Saddok, B. Djebri**, *Confort thermique et intégration à l'environnement climatique des typologies des bâtiments scolaires. Cas du plan à coursive et à corridor central dans le contexte climatique méditerranéen en Algérie, Revue des Energies Renouvelables Vol. 19 N°2 (2016) 165 – 180, Algérie*.

[12] **S. Semahi et B. Djebri**, *La conception des logements à haute performance énergétique (HPE) en Algérie - Proposition d'un outil d'aide à la conception dans les zones arides et semi-arides, Revue des Energies Renouvelables Vol. 16 N°3 (2013) 551 – 568, Algérie*.

[13] **S. Sami-Mecheri, D. Semmar et A. Hamid**, *Efficacité énergétique des logements à haute performance énergétique, 'HPE' : Application au site de Béchar, Revue des Energies Renouvelables Vol. 15 N°2 (2012) 357 – 364, Algérie.*

[14] **S.M.A Bekkouche, T. Benouaz et A Cheknane**, *Influence de l'isolation thermique intérieure et extérieure d'un bâtiment en pierre située à Ghardaïa, SBEIDCO Oran (Algeria) - October 12-14, (2009)*

[15] <https://maison-in.fr/maison-passive/maison-bioclimatique/>

[16] <https://www.maisonbionat.fr/livres-eco-construction/la-conception-bioclimatique/>

[17] <https://construireonline.com/blog/2013/05/10-regles-essentielles-pour-concevoir-votre-maison-selon-la-rt2012/>

[18] <https://sites.google.com/site/maisonaenergiepositive/conception-bioclimatique/forme-et-orientation-du-batiment>

[19] <https://www.asder.asso.fr/conception-bioclimatique/>

[20] <https://www.filobat.com/2020/01/10/la-maison-passive-filobat/>

[21] <https://lisagrimaud.wixsite.com/sur-mesure/copie-de-accueil>

[22] <https://www.lenergiétoutcompris.fr/>

[23] <http://www.thermique-du-batiment.wikibis.com/>

[24] <https://communaute.bricodepot.fr/reponses-experts/-/article/Comment-identifier-les-deperditi-21904>

[25] <https://www.guidebatimentdurable.brussels/>

[26] https://www.ecosources.info/dossiers/Inertie_thermique

[27] <https://fr.wikipedia.org/>

[28] <https://www.batirama.com/article/10291-bau-2015-briques-monomur-avec-isolation-integree.html>

[29] <https://maison-en-conception.fr/traiter-les-ponts-thermiques/traiter-les-ponts-thermiques-localisation-en-coupe/>

[30] <http://www.reover-sans-se-tromper.com/conseils-techniques/tout-comprendre-sur-les-ponts-thermiques-et-savoir-comment-les-eviter-5000/>

[31] <https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/>

[32] <https://www.slideshare.net/GabrielJul1/esolela-rnovation-nergitique-partie-2le-confort-thermique>

[33] [https://www.researchgate.net/figure/Zonage-climatique-en-Algerie-3_fig2_228892207#:~:text=Plus%20de%2085%20%25%20de%20la,H3a%2C%20H3b%20et%20H3c\).](https://www.researchgate.net/figure/Zonage-climatique-en-Algerie-3_fig2_228892207#:~:text=Plus%20de%2085%20%25%20de%20la,H3a%2C%20H3b%20et%20H3c).)

[34] <http://alouadesouf.canalblog.com/archives/2009/01/21/12608030.html>

[35] **document technique réglementaire (D.T.R. C 3-2), réglementation thermique des bâtiments d'habitation**

[36] https://planificateur.a-contresens.net/afrique/algerie/el_oued/oued_souf/2497411.html

[37] <https://fr.climate-data.org/>

[38]<https://www.univ-mosta.dz/decouvrir-mostaganem/>

[39]<http://www.dsp-mostaganem.dz/>

[40]<https://mostaghanem.wordpress.com/cartes/>

[41]<https://fr.weatherspark.com/>

[42]<https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/pedagogiques/3486/3486-confort-et-ambiance.pdf>

[43]<https://www.researchgate.net/>

[44]<https://www.who.int/fr/>

[45] **Sylvie Charbonnier, Catherine Parant, André Pouget**, Guide de la thermique dans l'habitat neuf, 1992

[46]<https://www.internorm.fr/fenetres-pvc-double-vitrage/>
