

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE BLIDA 1

DEPARTEMENT DE MECANIQUE

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES POUR

L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER EN INSTALLATION  
ENERGETIQUE ET TURBOMACHINE  
SUR LE THEME :



**L'étude thermique d'un logement à haute  
performance énergétique (HPE)**

**Réalisé Par :**

Behir ahmed

**Encadré par:**

**Dr: Semmar Djafar**

Devant le jury composé de :

Président : Mr .bouguerra

Examineur : A .hamid

Examineur : D .lafri

Anne universitaire 2018 / 2019

# REMERCIEMENTS

Tout d'abord merci à **DIEU** qui m'a donné tout le courage et la volonté pour terminer ce travail.

Je tiens à exprimer mon profonde gratitude à toutes celles et tous ceux qui ont de près de loin contribué à la réalisation de ce modeste travail, et en particulier,

Mon promoteur : Semmar Djafar pour sa direction éclairé, sa disponibilité, sa patience et pour la précieuse aide scientifique qu'elle m'a promulguée tout au long de ce travail,

A tous les enseignants de la faculté de mécanique et de habitation, pour les efforts louables qu'ils ont déployés durant notre formation et plus spécialement :  
En fin je tiens à remercier tous ceux qui contribué de près ou loin à la réalisation de ce travail.

# **DEDICACES**

***A Mon père,  
Ma mère,  
Mes frères  
Mes sÊ urs,  
Toute ma famille et à tous  
Mes amis,  
Et ceux qui m'ont aidé et  
Soutenu.***

## ***Résumé:***

Les mésons HPE sont des bâtiments dans lesquels une température confortable aussi bien en hiver qu'en été est obtenue avec un besoin en énergie extrêmement faible.

Pour des questions d'assurance qualité, les maisons HPE peuvent être contrôlées et certifiées.

Notre travail consiste à faire le bilan thermique global des logements HPE de Bechar à travers un logiciel de simulation en évaluant les déperditions thermiques en rapport avec les exigences du DTR (Document Technique Réglementaire).

Pleiad+comfie : logiciels qui permettent de déterminer les températures à l'intérieure de chaque zone définie au modèle, les besoins de chauffages et de climatisation, ainsi que les puissances et les taux d'inconfort en respectant l'orientation, les matériaux de construction et l'isolation proposé par le concepteur.

## ***Abstract:***

The HPE mesons are buildings in which a comfortable temperature in both winter and summer is obtained with an extremely low energy requirement.

For quality assurance issues, HPE homes can be inspected and certified.

Our work consists in making the global heat balance of HPE housing Bechar through simulation software by evaluating heat losses in relation to the requirements of the DTR (Regulatory Technical Document).

Pleiad + comfie: software that allows to determine the temperatures inside each zone defined in the model, the needs of heating and air conditioning, as well as the powers and the rates of discomfort by respecting the orientation, the building materials and the insulation proposed by the designer.



*Lists des figures:*

Figure 1-1: La dynamique fonctionnelle du bâtiment	2
Figure 1-2: Les leviers de l'efficacité énergétique	5
Figure 1-3: les déperditions thermiques d'une maison mal isolée	12
Figure 1-4: Paramètre pour atteindre une enveloppe de qualité	12
Figure 1-5: Qualité de l'enveloppe	12
Figure 2.1: Station géographique de la ville de Bechar	24
Figure 2.2: température moyenne mensuelles du site	24
Figure 2.3: Rayonnements solaires mensuelles du site	23
Figure 2.4: Plans RDC	28
Figure 2.5: Plans RDC +1	29
Figure 2.6: Fenêtre double vitrages en aluminium	31
Figure 2.7: Principes du chauffage solaire passif	52
Figure 3.1: L'interface pléiades+ comfie	56
Figure 3.2: L'interface Alcyone	60
Figure 3.3: Plan tracé avec ALCYONE	61
Figure 3.4: Mur extérieur	62
Figure 3.5: Mur intérieur	62
Figure 3.6: Planchers bas	62
Figure 3.7: Toiture	63
Figure 3.8: Scenario puissance dissipée da salon + chambre	64
Figure 3.9: Scenario occultation (volet jour)	66
Figure 3.10: Scenario occultation (volet nuit)	67
Figure 3.11: Scenario de ventilation été	68
Figure 3.12: Scenario de ventilation hiver	69
Figure 3.13: Scenario de thermostat (chauffage Bechar)	70
Figure 3.14: Scenario de thermostat (climatisation Bechar)	71
Figure 4.1 : Evolution de température en hiver (semaine le plus froide)	73
Figure 4.2 : Evolution de température en hiver (semaine le plus froide)	75
Figure 4.3 : évolutions de température en été (semaine le plus chaude)	76
Figure 4.4 : évolutions de température en été (semaine le plus chaude)	77

**Liste des tableaux:**

**Tableau 1-1 : Les trois modes de transmission de chaleur** í í í í í í í í í í í ..15

**Tableau 1-2 : Mode de transmission de la chaleur dans une paroi simple** í í í í í 16

**Tableau 14: Comparaison entre l'isolation par l'extérieur et par l'intérieur** í í ..í í í ..18

**Tableau 2.1 : Température et humidité relative mensuelle** í í í í í í í í í í í ....25

**Tableau 2.2 : Quelques paramètres du site** í í í í í í í í í í í í í í í í ...í 26

**Tableau 2.3 : détermination des coefficients en fonction de la zone climatique** í í í 35

**Tableau 2.4 : température extérieure de base** í í í í í í í í í í í í í í í í ..40

**Tableau 2.5 : coefficient de simultanéité des gains internes** í í í í í í í í í í í í 48

**Tableau 2.6 : valeurs de Ccr** í ..50

**Tableau 3.1: Format et unités dans un fichier climatique** í í í í í í í í í í í ...58

**Tableau 4.1 : tableau des résultats** í 73

**Tableau 4.2 : tableau des résultats** í 74

**Tableau 4.3 : tableau des résultats** í 75

**Tableau 4.4 : tableau des résultats** í 77

### ***Liste des abréviations:***

- ✓ **AIE:** Agence Internationale de l'Énergie.
- ✓ **APRUE:** L'Agence nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie.
- ✓ **BBC :** Bâtiment Basse Consommation énergétique.
- ✓ **BET:** Bureau d'Étude Technique.
- ✓ **CDER:** Centre de Développement des Energies Renouvelables.
- ✓ **CNERIB:** Centre National d'Étude et de Recherche Intégrée en Bâtiment.
- ✓ **DTR:** Document Technique Règlementaire utilisant en algérien.
- ✓ **ECO-BAT:** Bâtiment Ecologique
- ✓ **ECS:** Eau Chaude Sanitaire.
- ✓ **ER:** Energies Renouvelables.
- ✓ **FNME:** Fonds national pour la maîtrise de l'énergie.
- ✓ **GPL:** Gaz de Pétrole Liquéfié.
- ✓ **HPE:** Haute Performance Energétique.
- ✓ **HQE:** Haute Qualité Environnementale.
- ✓ **LEED:** Leadership in Energy and Environmental Design.
- ✓ **LPL:** Logements Publique locatif.
- ✓ **Med-Enec:** Mediterranean Energy Efficiency in Construction structure.
- ✓ **OPGI:** Offices pour la Promotion et la Gestion Immobilière.
- ✓ **PNME:** Programme National pour la Maîtrise de l'Énergie.
- ✓ **RDC :** Rez De Chaussée.
- ✓ **RT:** Réglementation Thermique.
- ✓ **THPE:** Très Haute Performance Energétique.
- ✓ **THPE ER :** Très Haute Performance Energétique Energies Renouvelables.
- ✓ **URE:** Utilisation Rationnel de l'Énergie.
- ✓ **VMC:** Ventilation Mécanique Contrôlé.
- ✓ **ADEME:** Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

## ***Symbole :***

**Di** déperditions totales du volume i [**W/°C**]

**(DT)i** déperditions par transmission du volume i [**W/°C**]

**(DR)i** déperditions par renouvellement d'air du volume i [**W/°C**]

**(Ds)i** 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**]

**(Dsol)i** déperditions à travers les parois en contact avec le sol [**W/°C**]

**(Dlnc)i** déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés [**W/°C**]

**(DRV)i** déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation [**W/°C**]

**DT** déperditions par transmission du logement [**W/°C**]

**(DRs)i** déperditions supplémentaires dues au vent [**W/°C**]

**Dréf** déperditions de référence [**W/°C**]

**Si** les surfaces des parois en contact avec l'extérieur [**m<sup>2</sup>**]

**(DB)i** déperditions de base de chaque volume thermique i [**W**]

**Di** déperditions totales du volume thermique i [**W/°C**]

**tbe** température extérieure de base du lieu d'implantation de la construction [**W/°C**]

**K** coefficient de transmission surfacique [**W/ m<sup>2</sup>. °C**]

**tbi** température intérieure de base du volume considéré [**W/ °C**]

**A** surface intérieure de la paroi [**m<sup>2</sup>**]

**Kl** coefficient de Transmission linéique de la liaison [**W/ m<sup>2</sup>.° C**]

**L** longueur intérieure de la liaison [**m**]

**KS** Coefficient de transmission linéique du plancher bas ou du mur [**W/m<sup>2</sup>.°C**]

**P** longueurs de la paroi [**m**]

**K** coefficient de transmission surfacique de chaque partie [**W/m<sup>2</sup>.°C**]

**Kl** coefficient de transmission linéique de chaque liaison [**W/m<sup>2</sup>.°C**]

**Tau** coefficient de réduction de température

**Qv** débit spécifique de ventilation [**m<sup>3</sup>/h**]

**Qs** débit supplémentaire repairs infiltrations dues au vent [**m<sup>3</sup>/h**]

**Vh** volume habitable [**m<sup>3</sup>**]

**Qvréf** débit extrait de référence [**m<sup>3</sup>/h**]

**APO** apports par les parois opaques [**W**]

**AV** apports à travers les parois vitrées [W]

**AI<sub>s</sub> et AI<sub>i</sub>** parties sensibles et latentes des apports internes [W]

**Kété** coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée pour l'été  
[W/m<sup>2</sup>.°C]

**Sint** surface intérieure totale de la paroi considérée [m<sup>2</sup>]

**Te(t)** différence équivalente de température à l'heure t [°C]

**Sint** surface intérieure de la paroi considérée [m<sup>2</sup>]

**TSa** température sèche de l'air intérieur du local adjacent [°C]

**TSb,i** température sèche de l'air intérieur du local considéré [°C]

**Sint** surface intérieure de la paroi considérée [m<sup>2</sup>]

**TI<sub>nc</sub>(t)** écart de température entre l'espace non conditionné et le local considéré [°C]

**Cl<sub>nc</sub>** coefficient correcteur

**Souv** surface de l'ouverture dans, la paroi opaque [m<sup>2</sup>]

**Tse(t)** température extérieure sèche à l'heure t [°C]

**TSb,i** température intérieure sèche de base pour le local considéré [°C]

**Souv** surface de l'ouverture dans la paroi opaque [m<sup>2</sup>]

**TSe(t)** température extérieure sèche à l'heure t [°C]

**TSb,i** température intérieure de base [°C]

**SV** surface vitrée [m<sup>2</sup>]

**SV<sub>ens</sub>** surface vitrée ensoleillée [m<sup>2</sup>]

**SV<sub>Svens</sub>** surface vitrée à l'ombre [m<sup>2</sup>]

**It** rayonnement total maximal réel [W/m<sup>2</sup>]

**Id** rayonnement diffus maximal réel [W/m<sup>2</sup>]

**NPVI(t)** coefficient d'amortissement relatif aux gains par ensoleillement à travers les parois vitrées

**FS** facteur solaire du vitrage

**AI<sub>s,j</sub>** partie sensible de l'apport interne j [W]

**AI<sub>i,j</sub>** partie latente de l'apport interne j [W]

**CS<sub>j</sub>** coefficient de simultanéité relatif à l'apport interne j

**NAI<sub>j</sub>** coefficient d'amortissement relatif à l'apport interne j

**Ccr** pourcentage de chaleur résiduelle correspondant à la part d'énergie restant dans la salle

**q<sub>vn</sub>** débit nominal de l'appareil [m<sup>3</sup>/s]

**PC<sub>sup</sub>** pouvoir calorifique supérieur du combustible [J/m<sup>3</sup>]

**mv<sub>ap</sub>** masse d'eau apportée par la combustion du gaz [kg/m<sup>3</sup>]

**L** longueur totale du conduit mesurée à l'intérieur du local climatisé [**m**]

**T<sub>a,c</sub>** température moyenne de l'air circulant dans le conduit [**°C**]

**T<sub>Sb,i</sub>** température sèche de l'air du local climatisé [**°C**]

**T<sub>a</sub>** Température de l'air [**°C**]

**FF** Vitesse du vent [**m/s**]

**SD astr** Durée d'insolation, astronomique [**h/jour**]

**H Gh** Irradiation du rayonnement global horizontal [**kWh/m<sup>2</sup>**]

**RH** Humidité relative [%]

**SD** Durée d'insolation [**h/jour**]

**RR** Précipitations **mm**

# Sommaire

## Chapitre 1

<b>1.1. Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. Analyse de cycle de vie (ACV) du bâtiment</b> .....	<b>1</b>
<b>1.3. L'efficacité énergétique dans le bâtiment</b> .....	<b>3</b>
1.3.1. Les objectifs des services énergétiques assurés par et pour le bâtiment í í í í í í ..	4
1.3.2. Les étapes d'amélioration de l'efficacité énergétique .....	4
1.3.2.1. Les leviers d'action .....	5
1.3.2.1.1. L'utilisation de produits performants .....	í ..5
1.3.2.1.2. L'intégration des énergies renouvelables .....	5
1.3.2.1.3. Mesure des consommations .....	6
1.3.2.1.4. L'affichage des consommations .....	6
1.3.2.1.5. Les systèmes intelligents de Régulation et Gestion .....	7
1.3.2.2. Le maintien de la performance .....	7
1.3.3. La construction durable .....	8
<b>1.4. Confort thermique</b> .....	<b>10</b>
1.4.1. Facteurs ayant une incidence sur le confort thermique .....	11
1.4.1.1. Température de l'air .....	11
1.4.1.2. Humidité de l'air .....	11
1.4.1.3. Courants d'air .....	11
<b>1.5. Moyens pour atteindre un confort durable</b> .....	<b>11</b>
<b>1.6. Thermique des bâtiments</b> .....	<b>12</b>
1.6.1. La réglementation thermique .....	13
1.6.2. Les labels énergétiques levier d'action énergétique pour la constructioní í .....	13
1.6.3. Les moyens de transmission de la chaleur .....	14
1.6.3.1. Comment se transmet la chaleur ? .....	14
1.6.3.2. Transfert de chaleur dans une paroi .....	15
1.6.4. Comparaison entre une construction bien isolé et non isoléí í í í í í í í í ..	16
1.6.4.1. Construction non isolée.....í í í í ..	16
1.6.4.2. Construction bien isolée .....	17
1.6.5. Systèmes d'isolation .....	17
1.6.5.1. Système d'isolation thermique par l'intérieur .....	17
1.6.5.2. Système d'isolation thermique par l'extérieur .....	17





2.3.1.1. Déperditions totales d'un logement	í í í í í í í í í í í í í í í í í	..33
2.3.1.2. Déperditions totales d'un volume	í í í í í í í í í í í í í í í í í	.33
2.3.1.3. Déperditions par transmission d'un volume	í í í í í í í í í í í í í í í í í	.34
2.3.1.4. Déperditions par renouvellement d'air d'un volume	í í í í í í í í í í í í í í í í í	.34
2.3.1.5. Relation entre les déperditions du logement et les déperditions des volumes	í	..34
2.3.1.6. Vérification et déperditions de référence	í í í í í í í í í í í í í í í í í	..34
2.3.1.7. Calcul des déperditions de référence	í í í í í í í í í í í í í í í í í	.35
2.3.1.8. Calcul des déperditions de base	í í í í í í í í í í í í í í í í í	.36
2.3.1.9. Déperditions de base pour un volume	í í í í í í í í í í í í í í í í í	....36
2.3.1.10. Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois	í í í í í í í	37
2.3.1.11. Déperditions à travers les ponts thermiques	í í í í í í í í í í í í í í í í í	.38
2.3.1.12. Déperditions par transmission a travers les parois en contact avec le sol	í í	....39
2.3.1.13. Déperditions a travers les parois en contact avec des locaux non chauffés	í í	.40
2.3.1.14. Déperditions par renouvellement d'air	í í í í í í í í í í í í í í í í í	.í .41
<b>2.3.2. Apports calorifiques des bâtiments</b>	í í í í í í í í í í í í í í í í í	<b>.í 43</b>
2.3.2.1. Apports à travers les parois opaques	í í í í í í í í í í í í í í í í í	..í í í ..44
2.3.2.2. Apports à travers les parois vitrées	í í í í í í í í í í í í í í í í í	.í í í í .46
2.3.2.3. Apports de chaleur internes	í í í í í í í í í í í í í í í í í	..í 47
<b>2.3.3. Calcul des gains</b>	í í í í í í í í í í í í í í í í í	<b>.í 48</b>
2.3.3.1. Gains dus aux occupants	í í í í í í í í í í í í í í í í í	.í í .48
2.3.3.2. Gains dus aux machines électriques	í í í í í í í í í í í í í í í í í	..í ...49
2.3.3.3. Gains dus à l'éclairage	í í í í í í í í í í í í í í í í í	.í í í í í .49
2.3.3.4. Gains dus aux appareils à gaz	í í í í í í í í í í í í í í í í í	.í í í í í .50
2.3.3.5. Gains par évaporation	í í í í í í í í í í í í í í í í í	.í í .50
<b>2.3.3.6. Apports par les conduits d'air</b>	í í í í í í í í í í í í í í í í í	51
<b>2.3.4. Apports d'énergie solaire et gains internes</b>	í í í í í í í í í í	<b>.í í í í í í 51</b>
2.3.4.1. Principe du captage solaire passif	í í í í í í í í í í í í í í í í í	.í í í í ...52
2.3.4.2. Calcul des gains solaires passifs	í í í í í í í í í í í í í í í í í	.í í í í í í .53
<b>2.4. Conclusion</b>	í í í í í í í í í í í í í í í í í	<b>.í í í í í í í í 54</b>

## **Chapitre 3:**

<b>3.1. Introduction</b>	<b>55</b>
<b>3.2. Présentation générale de l'outil « le logiciel PLEIADES + COMFIE »</b>	<b>55</b>
3.2.1. L'interface Pléiades+ Comfie	56
3.2.2. Fichier de donnée météorologique	57
3.2.3. Traitement de fichier de donnée	58
3.2.4. La saisie de bâtiment	59
<b>3.3. Description des systèmes constructifs sous PLEIADE+COMFIE</b>	<b>61</b>
<b>3.3.1. Description des parois</b>	<b>61</b>
3.3.1.1. Murs extérieurs	61
3.3.1.2. Murs intérieurs	62
3.3.1.3. Planchers	62
<b>3.4. Les zones thermiques et les scénarios utiliser dans les logements</b>	<b>63</b>
3.4.1. Environnement et Fonctionnement de la maison	63
3.4.2. Scénarios d'occupation	63
3.4.3. Puissance dissipée	64
3.4.4. Scénarios d'occultation	65
3.4.5. Scénarios de ventilation	67
3.4.6. Consigne de thermostat	70
<b>3.5 Conclusion</b>	<b>71</b>

## **Chapitre 4 :**

<b>4. Introduction</b>	<b>72</b>
<b>4.1. Simulation hivernale</b>	<b>72</b>
4.1.1. Simulation hivernale orientation aux Nord	72
4.1.2 : Résultats de simulation	72
<b>4.2. Simulation estivale orientation aux nord</b>	<b>75</b>
<b>4.3 Simulation estivale orientation nord</b>	<b>76</b>
<b>4.3 Conclusion</b>	<b>78</b>
<b>4.4 Conclusion général</b>	<b>78</b>



## Introduction générale

Le contexte algérien connaît une crise aiguë en matière d'habitat, dont le confort thermique a souvent été négligé par les concepteurs. En quatre décennies d'indépendance, le souci de construire rapidement et en grande quantité. Pour faire face à cette 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, 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. Ce programme provoque aussi la question d'intégration climatique (où le même plan de masse a été répété à travers les cités algériennes), qui implique une consommation énergétique importante, due au recours aux équipements coûteux et gros consommateurs d'énergie pour pallier aux conditions de confort que ces constructions engendraient.

Cette consommation est apparue clairement au niveau du bilan énergétique national de l'année 2005. Il montre que le secteur résidentiel et tertiaire consomme 52.3 % de la consommation finale, le secteur résidentiel et tertiaire a connu une augmentation de 6.4 % passant de 12.011 millions de TEP en 2004 à 12.776 millions de TEP en 2005. Cette énergie est utilisée pour différentes applications comme le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, la climatisation, l'éclairage et tous les équipements utilisant de l'électricité. Cette situation exprime, que le domaine du bâtiment présente un véritable potentiel d'amélioration à la fois dans le domaine énergétique et environnemental (constitue un gisement d'économie d'énergie important).

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, dans le cadre du PNME2007-2011, 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. Dans ce sens, une convention a été signée le 14 mai 2009 entre l'APRUE3 et 11 OPGI4, au siège du ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, définissant les conditions et les modalités

d'intégration des mesures d'efficacité au niveau des 600 logements pilotes répartis sur onze wilayas (départements):Laghouat, Béchar, Blida, Tamanrasset, Alger (Hussein Dey), Djelfa, Sétif, Skikda, Mostaganem, Oran et El Oued.

La réalisation de logements à haute performance énergétique permettra, selon le ministre de l'Habitat, de réduire la consommation d'énergie des ménages de près de 40%. Ce projet-pilote, a ajouté le ministre de tutelle, s'inscrit dans le cadre de la politique nationale de promotion et de développement de l'énergie et a donné lieu à la préparation d'un cahier des charges prenant en compte les caractéristiques énergétiques des constructions. De son côté, le ministre de l'Énergie et des Mines, a indiqué que le choix de ces wilayas tend à cibler l'ensemble des zones climatiques du pays, afin de réaliser des variantes de logements bioclimatiques en fonction des conditions climatiques de chaque région. Le ministre a précisé que ce programme engageant les deux secteurs: de l'Habitat et de l'Énergie, à travers l'APRUE et les OPGI, qui vise à encourager des stratégies conceptuelles passives d'économie d'énergie pour l'habitat. Ce programme permet, l'intégration de l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment avec pour objectif d'améliorer le confort intérieur des logements, tout en utilisant moins d'énergie.

Réellement, c'est un programme ambitieux qui vise l'amélioration de la qualité du logement collectif en Algérie sur le plan confort thermique et efficacité énergétique. Mais, l'appel d'offre relatif au programme ECO-BAT qui porte la réalisation de 600 logements à haute performance énergétique (HPE) connaît une décision d'anfractuosités sur le plan technique (selon A. Chenak, 2010)<sup>5</sup>. Cela peut s'expliquer par le manque de savoir-faire et une méconnaissance par les architectes sur le domaine de la conception bioclimatique et la maîtrise de la performance énergétique du bâtiment. En outre, les cahiers des charges fournies ne comportent que des généralités, chose qui n'est pas facile à être exécuter par les architectes. Parallèlement à cette situation, et en comparaison avec les pays développés, il existe en Algérie peu d'études sur le confort intérieur du bâtiment et sur son adaptation aux conditions climatiques des régions. Ainsi, on a constaté la rareté de recherche sur l'impact des bâtiments vis à vis de l'environnement et leur performance énergétique. Sachant que: l'architecte ne peut ignorer le climat sans renoncer à intégrer dans sa démarche de conception des composantes aussi importantes que le rayonnement solaire (porteur de chaleur et de lumière), le vent, la pluie, le froid, bref, des données naturelles qui interfèrent directement avec la perception des formes et des matières, le confort, l'ambiance et l'économie d'un

bâtiment. Dans ce contexte, on souligne la nécessité de développer une méthode de conception, accessible aux architectes, adéquate avec leurs modes de raisonnements, qui permet l'intégration harmonieuse des bâtiments aux différentes conditions climatiques des régions, tout en assurant leur performance énergétique et leur confort thermique. L'objectif principal de ce travail réside dans la proposition d'un outil afin d'aider les architectes à concevoir des bâtiments performants sur le plan énergétique et confortable en terme thermique. Cet outil assiste l'architecte durant les processus de la conception architecturale. En effet, il présente le savoir et le savoir-faire de la conception énergétique du bâtiment sous la forme d'une aide simple, ponctuelle, et accessible aux architectes. Donc, cet outil peut jouer le rôle d'un guide de conception des logements (HPE). Ce guide spécifique peut remplacer finalement, la section de la prescription fonctionnelle, architecturale et de la performance énergétique existant dans les cahiers des charges d'étude de ce type de logement.

Notre recherche ne prend en compte que le cas de la zone aride et semi-aride d'Algérie (zone sud), vu que ces bâtiments résidentiels construits en tel climat (surtout en périodes de grandes chaleurs) sont confrontés à des problèmes d'inconfort liés au phénomène de surchauffe, d'exposition des façades aux radiations solaires intenses et de consommation irrationnelle d'électricité pour la climatisation, afin d'atteindre le confort thermique agréable. En conséquence, on a signalé, souvent, les coupures d'électricité (Délestage d'électricité) en période estivale.

Notre contribution réside dans l'amélioration du confort des logements en Algérie tout en assurant leur performance énergétique.

## 1.1. Introduction

L'efficacité énergétique intervient à tous les niveaux d'un bâtiment, de l'implantation au choix du matériau. Toutes ces solutions ont pour but d'avoir un bâtiment le plus cohérent le plus possible d'un point de vue énergétique, ce qui permet des consommations d'énergie beaucoup moins élevées sans modifier le confort des utilisateurs.

Dans ce chapitre qui concerne l'efficacité énergétique dans le bâtiment, les points qui révèlent être essentiels à traiter sont les étapes d'amélioration de l'efficacité énergétique, les différentes éco constructions qui existent et comment atteindre la satisfaction de l'utilisateur ainsi que les moyens d'économiser de l'énergie telle qu'une bonne isolation thermique.

Pour agir sur l'énergie d'un bâtiment : il faut améliorer les propriétés techniques intrinsèques du bâtiment (enveloppe et installation) selon le type d'occupation et l'optimisation de leur utilisation reposant sur l'ajustement du besoin énergétique de l'utilisateur (action sur les comportements).

## 1.2. Analyse de cycle de vie (ACV) du bâtiment:

L'étude du secteur économique de la construction met en perspective trois familles d'activités [Bougrain, 2003] :

- ❖ Les activités de fabrication industrielle et de distribution (matériaux, équipements, installations) incluant la location et la commercialisation ;
- ❖ Les activités liées à la mise en oeuvre des opérations sur chantier (programmation, conception, réalisation, réhabilitation, démolition) ;
- ❖ Les activités de gestion continue et de transactions (achat, vente, mise en location, gestion, exploitation, maintenance) ;

Ces activités interviennent dans la « vie » d'un ouvrage à un moment donné. Ces différentes périodes correspondent au « cycle de vie » du bâtiment, Ce cycle de vie peut se décomposer en quatre phases distinctes : la construction, l'utilisation, la réhabilitation et la disparition (démolition ou déconstruction). Chacune des phases peut être, à son tour, décomposée en phases élémentaires.

La durée de vie de l'ouvrage reste fortement corrélée à la qualité de la maintenance réalisée qui dépendant elle-même de la qualité du dispositif de gestion du bâtiment, L'analyse du cycle de vie des bâtiments repose sur une application rigoureuse fondée sur la connaissance et le suivi des « flux de masse » comme l'énergie et la matière [Peuportier, 1998]. Elle met en relation des considérations économiques et écologiques ancrées dans le temps pour mesurer des impacts environnementaux et les implications liées à l'emploi des ressources énergétiques [Kohler, 2002]. Elle propose un outil d'aide à la décision pour les concepteurs capable de fournir une vision globale et transverse facilitant le travail collaboratif pour l'atteinte d'objectifs quantifiables de « performance environnementale ».

La Figure 2-1 propose une illustration de l'ensemble des flux (énergie, matériaux, eau et matière) entrants, sortants et recyclés pris en compte dans l'ACV où l'évaluation de la qualité du bâtiment s'effectue en fonction du niveau confort atteint (thermique, hygrométrique, lumineux, acoustique, olfactif, sanitaire et sécuritaire) :

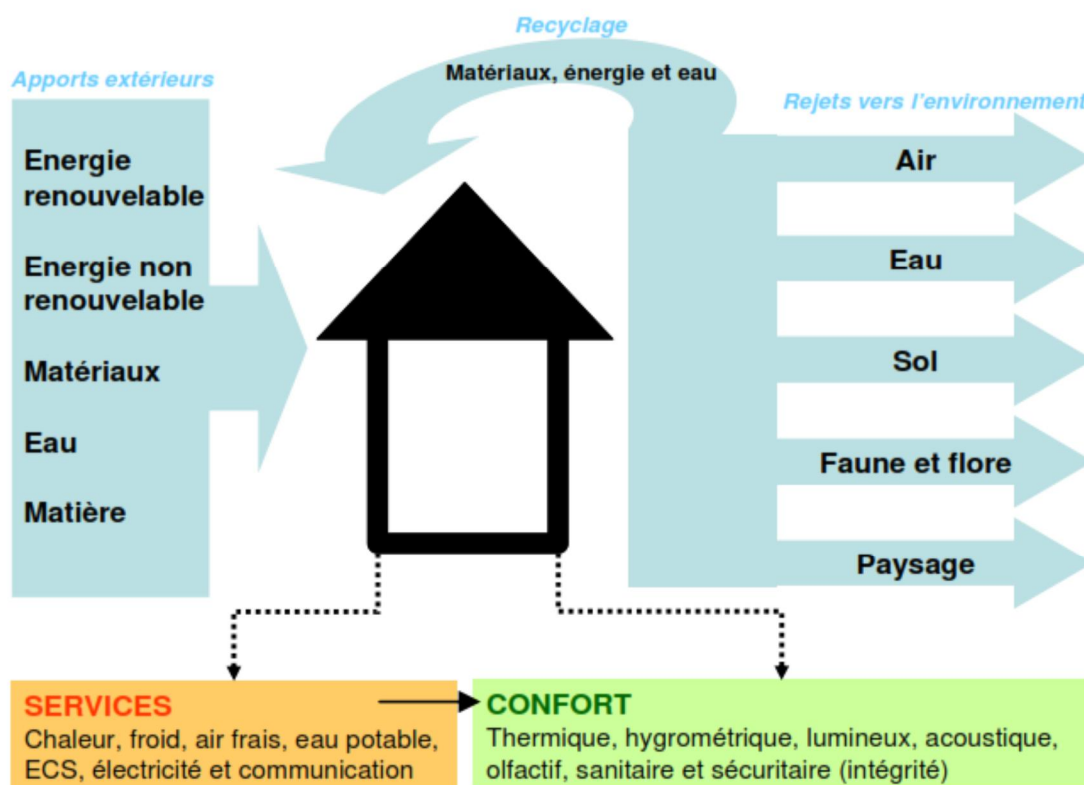


Figure 1-1 : La dynamique fonctionnelle du bâtiment



### 1.3. L'efficacité énergétique dans le bâtiment

Selon La Fédération des Industries Electriques, Electroniques et de Communication [FIEEC, 2011], l'efficacité énergétique peut se définir comme le rapport entre le service délivré au sens large (performance, produit, énergie, confort, service) et l'énergie qui y a été consacrée.

En d'autres termes l'efficacité énergétique d'un bâtiment est sa propension à gérer sa propre énergie, à optimiser les flux, à en produire pour la renouveler, à la mesurer, la répartir, l'optimiser. Un bâtiment justifiant d'une bonne efficacité énergétique est un bâtiment qui vise l'équilibre entre production et consommation d'énergie.

La nouvelle situation énergétique a stimulé le secteur économique de la construction pour l'amélioration des caractéristiques énergétiques des bâtiments, mettant en évidence l'existence de techniques maîtrisées dans le domaine.

La climatisation au sens large du terme (chauffage, refroidissement et ventilation) a été identifiée comme le premier poste de consommation énergétique du bâtiment et guide l'ensemble des politiques énergétiques actuelles.

Les directives 2002/91/CE12 et 2010/31/UE13 relatives à la performance énergétique des bâtiments définissent ainsi le bâtiment comme « une construction dotée d'un toit et de murs, dans laquelle de l'énergie est utilisée pour réguler le climat intérieur ».

L'utilisation de l'énergie dans le bâtiment ne se limite pourtant pas qu'à la régulation du climat intérieur. Le bâtiment consomme mais génère aussi des consommations, Il est essentiel de distinguer la consommation énergétique liée à la production du service immobilier (fonctionnement des bâtiments) de celle induite par le fonctionnement d'équipements mobiliers (distribution énergétique assurée par le bâtiment), ces deux formes d'utilisation concourant à satisfaire, de manière interactive, les besoins de l'activité humaine au sein du bâtiment.

### 1.3.1. Les objectifs des services énergétiques assurés par et pour le bâtiment

Nous avons mis en évidence précédemment dans l'ACV du bâtiment les services énergétiques procurés par l'ouvrage pour fournir un confort à l'utilisateur (Cf. Figure 2-1). Les services énergétiques ont un autre objectif, celui de contribuer à la conservation du bâti comme peut l'illustrer le maintien du chauffage en période d'occupation du bâtiment.

Enfin, l'ouvrage sert aussi de point d'alimentation énergétique ou de support fonctionnel aux équipements ou aux appareils employés dans le cadre de l'activité. Nous avons ainsi identifié trois objectifs principaux aux services énergétiques du bâtiment :

- ❖ Assurer le confort et la qualité de l'environnement intérieur ;
- ❖ Assurer la pérennité de la structure du bâtiment (ventilation, chauffage, hygrométrie) ;
- ❖ Assurer les usages courants conformes à la destination (bureautique, électroménager, transports, procédé industriel) ;

### 1.3.2. Les étapes d'amélioration de l'efficacité énergétique

Un projet d'amélioration de l'efficacité énergétique d'un bâtiment comporte plusieurs étapes qui vont, à travers des actions cohérentes, permettre des gains énergétiques en agissant sur différents paramètres humains et matériels.

L'approche conceptuelle d'amélioration de l'efficacité énergétique est identique pour les secteurs résidentiel et tertiaire. En revanche la mise en pratique sur le terrain sera différente en raison des divergences liées aux :

- ✓ Aspects techniques
- ✓ Matériels à mettre en oeuvre
- ✓ Coûts d'exploitation et de maintenance
- ✓ Méthodes de financement

- ✓ Temps de retour sur investissement



---

Figure 1-2 : Les leviers de l'efficacité énergétique

### 1.3.2.1. Les leviers d'action

#### 1.3.2.1.1. L'utilisation de produits performants

Pour réduire les consommations d'énergie, il est indispensable de choisir des équipements possédant le meilleur rendement énergétique possible, c'est-à-dire le meilleur rapport entre l'énergie consommée et le service rendu.

#### 1.3.2.1.2. L'intégration des énergies renouvelables

Le recours aux énergies renouvelables dans une démarche d'amélioration énergétique permet d'obtenir une partie de l'énergie nécessaire au bâtiment (électricité, chauffage, eau chaude sanitaire) de façon renouvelable et donc de diminuer voire supprimer l'apport d'énergie extérieur.

#### 1.3.2.1.3. Mesure des consommations

La gestion de l'énergie d'un bâtiment consiste en premier lieu à compter/mesurer les consommations. Pour la partie électrique et gazière, une installation classique comporte, Un compteur général qui fournit les consommations globales en vue de leur facturation par le distributeur d'énergie. Une installation optimisée comporte en plus du compteur général, des compteurs divisionnaires permanents. Leur rôle principal est d'établir la répartition des consommations d'énergie par poste (chauffage, eau chaude sanitaire, ventilation,...).

Le comptage ou la mesure des consommations permet la réalisation du bilan énergétique, la prise de conscience par l'utilisateur ou gérant des consommations et sert pour l'estimation du gisement d'économie d'énergie. Elle garantit également un suivi dans le temps de la performance énergétique.

#### 1.3.2.1.4. L'affichage des consommations

Un afficheur permet une visualisation pour les différents usages de la consommation ou des coûts instantanés, horaires, journaliers, ou mensuels, l'historique des consommations voire les économies réalisées.

Pour un impact optimum, les consommations doivent être affichées en temps réel et l'afficheur positionné dans le lieu de vie pour que l'utilisateur soit sensibilisé « en permanence ». Cet affichage permet à l'utilisateur, par effet pédagogique, d'adapter son comportement, de prévoir des travaux ou des investissements en équipements ou en solutions d'efficacité énergétique, de remarquer toutes dérives de consommation que ce soit à court terme ou à long terme.

Cette solution est simple à installer tant en neuf qu'en rénovation, elle ne nécessite pas de travaux lourds sur le bâti. En moyenne, une information claire et simple du consommateur

ou des usagers, par poste dans le lieu de vie en temps réel permet des économies d'énergie de l'ordre de 10 %.

#### 1.3.2.1.5. Les systèmes intelligents de Régulation et Gestion

La régulation est gérée par des automates qui sont plus au moins complexes selon les exigences du cahier des charges initial et selon le type de bâtiment : habitat individuel, collectif ou tertiaire. Ces automates permettent de traiter les informations de mesure (température, humidité..) et d'état (marche/arrêt...) des équipements de chauffage, de climatisation et d'éclairage pour les régler, les optimiser, les sécuriser et compter l'énergie consommée.

Ces systèmes permettent ainsi de :

- ❖ consommer ce qui est nécessaire pour maintenir ou améliorer la qualité de vie dans le bâtiment (notion de confort) tout en contribuant à économiser l'énergie. En effet, la notion de confort et la notion d'économies d'énergie sont des indicateurs clefs de la qualité de la régulation. Ils contribuent efficacement à la performance de l'installation ;
- ❖ fournir un outil de pilotage de l'installation à l'utilisateur ;
- ❖ aider à modifier le comportement humain afin d'adopter de bon réflexe (comme par exemple éteindre le chauffage lorsque une fenêtre est ouverte).

C'est notamment le cas des systèmes de régulation pour les équipements de chauffage, de ventilation ou d'éclairage (systèmes centralisés ou embarqués) qui permettent d'adapter la consommation aux conditions extérieures et en fonction de la présence des utilisateurs (capteurs).

#### 1.3.2.2. Le maintien de la performance

La conception efficace ne se suffit pas à elle-même. Elle doit être appuyée à chaque instant par une gestion rationnelle de l'énergie. La maîtrise des consommations consiste à devenir acteur conscient de ses consommations.

Partie intégrante de la maîtrise de l'énergie, le suivi de la performance permet de repérer toute déviance. En effet, le simple contrôle des factures ne suffit pas à connaître la performance de son installation. Grâce aux outils de mesure déployés, des indicateurs de performance permettent de détecter des écarts avec les consommations de référence et sont une aide à la décision pour l'utilisateur ou le gestionnaire dans la maintenance des systèmes (réglage, intervention technique, changement d'utilisation etc.).

Un entretien régulier des installations par des professionnels et le suivi par les usagers des conseils d'utilisation fournis par les fabricants sont également des éléments essentiels au maintien de la performance des installations.

### **1.3.3. La construction durable**

Elle s'applique pour toute construction qui tout en assurant confort et santé des occupants limite au mieux ces impacts sur l'environnement, en cherchant à s'intégrer le plus respectueusement possible dans un milieu et en utilisant le plus possible les ressources naturelles et locales. On parle encore de éco-construction<sup>14</sup>.

La Typologie des bâtiments performants dans le domaine énergétique, est un concept de bâtiment performant qui est défini par un ensemble d'objectifs et de solutions techniques destinés à guider le concepteur.

Ce dernier, en s'appuyant sur divers outils d'aide à la conception, associe des techniques, matériaux, structures et équipements de manière à atteindre au mieux les objectifs fixés. Enfin, après la mise en service du bâtiment, une phase d'évaluation permet au concepteur et au maître d'ouvrage de quantifier les performances réelles du bâtiment et de les comparer aux objectifs originaux.

Dans cette partie, l'analyse de différentes définitions et dénominations rencontrées dans la littérature aimable à proposer une typologie des principaux concepts de bâtiments performants et à en identifier les principales caractéristiques (Tableau 1-1) :

Concept énergétique	Modèle de bâtiment	Description	Objectif principal	Principaux types de bâtiments concernés
<b>Concept de bâtiment performant purement énergétique</b>	<b>Basse consommation d'énergie</b>	Besoins énergétiques plus faibles que les bâtiments standards	Obtenir une baisse significative de la consommation induite par le bâtiment	Bâtiments exposés à des conditions climatiques rigoureuses
	<b>Passif</b>	Consommation énergétique très faible liée à l'absence de systèmes de chauffage ou de rafraîchissement actif		
	<b>Producteur d'énergie</b>	Dotation de moyens locaux de production d'énergie	Atteindre un gain en consommation énergétique à partir d'un mode de production fondée sur le recours aux énergies renouvelables	Bâtiments résidentiels de pays, confrontés à des effets de saturation et cherchant à éviter les pics de consommation en électricité
	<b>zéro énergie</b>	Combinaison de faibles besoins énergétiques à des moyens locaux de production d'énergie		
	<b>A énergie positive</b>	La production d'énergie est globalement supérieure à la		

		consommation		
	<b>Autonome</b>	La fourniture énergétique ne dépend d'aucune ressource distante		
<b>Concept de bâtiment performant élargi</b>	<b>zero utility cost house</b>	La facture énergétique est nulle	Atteindre des cibles énergétiques parmi d'autres cibles écologiques	
	<b>Maison neutre en carbone</b>	Le fonctionnement ne génère aucune émission de CO2		
	<b>« vert », « durable », « soutenable » ou « écologique »</b>	Le fonctionnement induit très peu de perturbation pour l'environnement (libellé symbolique)		
	<b>« Intelligent »</b>	Présence de systèmes informatiques de supervision optimisant la gestion de certaines fonctions du bâtiment		

## 1.4. Confort thermique

Le confort thermique est défini comme « un état de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement thermique »

La norme ASHRAE définit le confort thermique comme « la condition d'esprit qui exprime la satisfaction en présence d'un environnement thermique donné »



Le confort thermique concerne principalement la température intérieure des pièces, sa répartition harmonieuse dans l'espace et la qualité de l'air ambiant.

## **1.4.1. Facteurs ayant une incidence sur le confort thermique**

Les principaux facteurs qui ont une incidence sur le confort thermique sont les suivants :

### **1.4.1.1. Température de l'air**

Une température idéale de chaque espace dépend de l'activité qu'on y pratique, du moment de la journée et des préférences de chacun. L'idéal est d'éviter les grands écarts de température dans le temps entre le jour et la nuit ou entre les saisons.

### **1.4.1.2. Humidité de l'air**

L'humidité relative de l'air influence aussi la sensation de confort thermique. Idéalement, elle doit se situer entre 30 % et 70 % en hiver. En été, il est préférable que l'air soit sec pour favoriser la transpiration du corps.

### **1.4.1.3. Courants d'air**

Les courants d'air, très agréables en été, puisqu'ils favorisent la transpiration, sont très pénibles en hiver, car ils facilitent les échanges thermiques entre le corps et l'air, c'est le principe de convection :

- ❖ En été, des ouvertures bien conçues peuvent créer des courants d'air utiles et rafraîchissants.
- ❖ En hiver, au contraire, il est préférable de les diminuer ou de les canaliser afin qu'ils ne balayent pas tout l'espace.

## **1.5. Moyens pour atteindre un confort durable**

Dès maintenant les solutions techniques éprouvées existent. Pour atteindre la performance finale recherchée, il faut combiner des solutions performantes en isolation des parois, vitrage, ventilation et en production de chaleur.

Il faut cumuler les performances d'une enveloppe de grande qualité avec celles des équipements les plus efficaces, quelle que soit l'énergie utilisée pour le chauffage.

Il est alors possible de réduire de 6 à 7 fois les consommations dans un bâtiment neuf et de 4 à 5 fois dans un bâtiment existant, c'est techniquement réalisable et économiquement durable.

### 1.6. Thermique des bâtiments

L'isolation thermique est un moyen efficace pour diminuer la facture de chauffage et accroître le confort de la maison. L'isolation est la clé du confort thermique, Selon l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), la chaleur s'échappe d'une maison mal isolée à 30 % par les toitures et la toiture (c'est donc la préséance en termes d'isolation), à 25 % par les murs, à 10 % ou 15 % par les vitres et fenêtres et à 7 % ou 10 % par les sols.



Figure 1-3: les déperditions thermiques d'une maison mal isolée

### 1.6.1. La réglementation thermique

Vu l'importance de la consommation d'énergie pour le confort thermique dans le secteur habitat et tertiaire, il est nécessaire d'améliorer la qualité thermique des bâtiments.

En Algérie il existe des documents techniques réglementaires relatifs à la réglementation thermique des bâtiments, ils sont initiés par le ministère de l'habitat et mis en œuvre par le CNERIB, ils mentionnent les exigences réglementaires que doivent satisfaire leurs enveloppes à savoir.

#### ❖ Le D.T.R.C 3-2 : Réglementation thermique des bâtiments d'habitation

Il permet d'établir les règles de calcul des déperditions calorifiques pour le problème d'hiver, afin de réduire la consommation énergétique pour le chauffage des logements à travers le calcul des déperditions thermiques.

#### ❖ Le D.T.R.C 3-4 : Climatisation

Relatif aux règles de calcul des apports calorifiques d'été pour les bâtiments, il vise la limitation de la consommation énergétique relative à la climatisation des locaux.

Selon la lettre n°10 de l'APRUE, l'objectif de cette réglementation est le renforcement de la performance énergétique globale du bâtiment et sa mise en application, cela permettra de réduire les besoins calorifiques des nouveaux logements de l'ordre de 30 à 40% pour les besoins en chauffage et en climatisation.

Les bâtiments publics en Algérie, ne sont pas encore dotés, d'une réglementation thermique spécifique, l'application de la réglementation thermique détaillée dans les différents documents techniques réglementaires pour les bâtiments à usage d'habitation n'est pas obligatoire.

### 1.6.2. Les labels énergétiques : un levier d'action énergétique pour la construction

La labellisation est un outil économique permettant d'intégrer sur un marché une valorisation de la qualité, Les labels énergétiques formalisent ainsi une reconnaissance de la qualité des ouvrages, des matériaux, des équipements, mais aussi celle des acteurs de la filière, dans le domaine énergétique, en imposant le respect d'une série d'exigences de la conception à l'exploitation d'une installation.

### **1.6.3. Les moyens de transmission de la chaleur**

#### **1.6.3.1. Comment se transmet la chaleur ?**

Les principes généraux de la transmission de la chaleur sont universels et les mêmes mécanismes se retrouvent, à différents niveaux d'importance, dans tous les échanges thermiques de l'enveloppe d'un bâtiment. Le tableau 1-2 illustre Les différents modes de transmission de la chaleur.


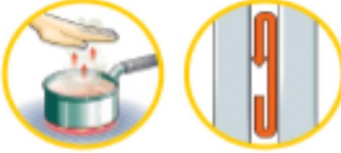
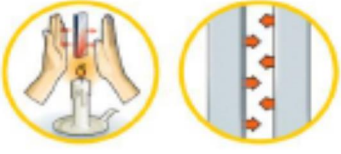
Modes de transmission de la chaleur	Détails
<p style="text-align: center;"><b>Par conduction</b></p>  <p>Plus le matériau est isolant, moins il y a de conduction.</p>	<p>Concerne principalement les corps solides et les fluides.</p> <p>Il s'effectue entre deux corps directement en contact, en se propageant à l'intérieur de la matière.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Par convection</b></p>  <p>Plus l'air est immobile, moins il y a de convection.</p>	<p>Concerne principalement les gaz et les fluides.</p> <p>C'est l'échange entre deux corps. Cette transmission de chaleur varie avec la vitesse de l'air et l'écart de température entre les deux corps.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Par rayonnement (infrarouge).</b></p>  <p>Plus le rayonnement est réfléchi ou absorbé, moins il y a de transfert ou d'échange thermique.</p>	<p>La divergence de températures entre deux corps, fait que le corps le plus froid absorbe l'énergie du corps le plus chaud est cela par l'énergie émise par ce dernier.</p>

Tableau 1-1 : Les trois modes de transmission de chaleur

### 1.6.3.2. Transfert de chaleur dans une paroi

Les transferts thermiques dans une construction sont de différentes natures. Ils sont fonction des matériaux composants les parois, les murs, les sols, les planchers ou les toitures.

Tout enjeu de l'isolation sera d'évaluer et de maîtriser ces phénomènes pour un habitat confortable en hiver comme en été. Les grands principes de la thermique et de ses modes de transmission associés (la conduction, la convection et le rayonnement) se retrouvent dans une paroi simple (Tableau 1-3).

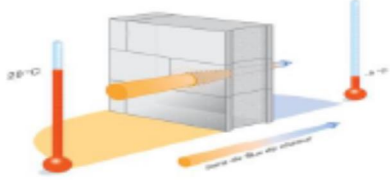
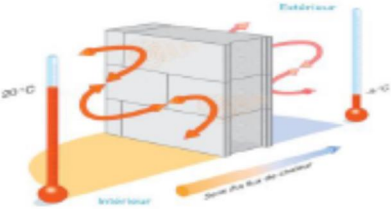
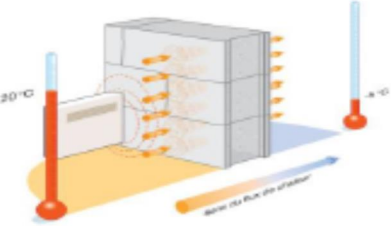
Mode de transmission	Détails
<p data-bbox="323 331 549 365"><b>La conduction</b></p> 	<p data-bbox="687 376 1286 544">C'est la transmission d'énergie ou de chaleur par la matière même de la paroi (sa partie solide). Une paroi conduit plus ou moins bien la chaleur selon sa résistance thermique<sup>17</sup>.</p>
<p data-bbox="323 627 549 660"><b>La convection</b></p> 	<p data-bbox="687 660 1286 869">Au niveau d'une paroi, c'est le mouvement de l'air provoqué quand la température de ce dernier est différente de celle de la paroi. Le local chauffé cède de la chaleur à la paroi par convection.</p>
<p data-bbox="308 940 564 974"><b>Le rayonnement</b></p> 	<p data-bbox="687 940 1286 1104">Le rayonnement se manifeste quand des corps chauds émettent des rayons porteurs d'énergie qui sont absorbés par d'autres corps et alors transformés en chaleur.</p> <p data-bbox="687 1131 1286 1249">Au niveau d'une paroi, le rayonnement se traduit par celui des émetteurs de chaleur cédant leur chaleur à la paroi.</p>

Tableau 1-2 : Mode de transmission de la chaleur dans une paroi simple

1.6.4. Comparaison entre une construction bien isolé et non isolé

1.6.4.1. Construction non isolée

En hiver, les déperditions sont maximales au niveau de l'ensemble des parois opaques et vitrées et des liaisons structurelles. La ventilation naturelle n'est pas contrôlée et augmente les déperditions. En été, le soleil surchauffe l'ambiance intérieure.

#### 1.6.4.2. Construction bien isolée

En hiver comme en été, les transferts de chaleur sont réduits sur l'ensemble des parois. La ventilation mécanique contrôlée, optimise le renouvellement d'air pour le moins de déperditions possible.

Selon l'orientation, la taille des baies, le mode de vie des occupants, et les apports gratuits d'énergie peuvent représenter jusqu'à 20 % des besoins. Ils réduisent d'autant les besoins d'énergie.

#### 1.6.5. Systèmes d'isolation

##### 1.6.5.1. Système d'isolation thermique par l'intérieur

L'isolation thermique par l'intérieur permet de traiter aisément les jonctions avec les menuiseries, portes, balcons, etc., ainsi que celles avec l'isolation des combles et toitures.

Pour respecter les conditions de confort d'été, la masse des murs n'étant pas en contact avec les volumes intérieurs, il sera pertinent de composer avec des parois intérieures lourdes. C'est la technique dominante, qui peut se traduire par des ponts thermiques importants au niveau des planchers intermédiaires et des refends lorsque ceux-ci sont maçonnés. En maison individuelle, le poids de ces ponts thermiques est assez limité entre autre, parce que des solutions simples de traitement existent.

En revanche, au fur et à mesure que le nombre de niveaux augmente, le traitement des ponts thermiques des planchers intermédiaires nécessite le recours à des solutions de rupteurs thermiques plus complexes ou à des structures intégrant le traitement thermique.

##### 1.6.5.2. Système d'isolation thermique par l'extérieur

L'isolation thermique par l'extérieur permet de supprimer les ponts thermiques au niveau des planchers intermédiaires et des refends. Elle permet également de tirer parti de l'inertie



des murs pour récupérer les apports solaires en hiver et pour réduire l'inconfort en été [Effnergie, 2008].

Placer l'isolation à l'extérieur permet d'optimiser principalement :

- ✓ Les performances thermiques du bâtiment dans son ensemble.
- ✓ Le coût global de l'opération.
- ✓ L'entretien. [ADEME, 2006].

En revanche, ce type d'isolation (sous enduit, vêtture, bardage, etc.) implique des précautions spécifiques de mise en oeuvre pour garantir le traitement thermique de la jonction avec les planchers bas, les encadrements de fenêtres, portes, loggias, balcons, etc. et les acrotères des toitures plates ou les combles. Le groupement du mur manteau a décrit des solutions de traitement des points singuliers en isolation par l'extérieur [Effnergie, 2008].

### 1.6.6. Comparaison entre l'isolation par l'extérieur et l'isolation par l'intérieur

	Isolation par l'intérieur	Isolation par l'extérieur
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne modifie pas l'aspect extérieur.</li> <li>• Prix réduit.</li> <li>• Facilité de mise en oeuvre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regroupe les opérations d'isolation et de ravalement.</li> <li>• Traite un grand nombre de ponts thermiques.</li> <li>• Protège les murs des variations climatiques.</li> <li>• Ne modifie pas la surface des pièces.</li> </ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduit la surface des pièces.</li> <li>• Mise en oeuvre difficile si présence de prises, canalisations, équipements à démonter.</li> <li>• Ne traite pas tous les ponts thermiques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût supérieur.</li> <li>• Modifie l'aspect extérieur.</li> </ul>

Le tableau1-3: Comparaison entre l'isolation par l'extérieur et l'isolation par l'intérieur



### 1.6.7. Les types d'isolants

Plusieurs familles d'isolants coexistent sur le marché. Le classement peut se faire suivant le mode d'isolation:

#### 1.6.7.1. Isolation par lame d'air immobile (entre parois)

Ces isolants piègent l'air dans les petites cavités qui se trouvent entre leurs fibres. Or l'air immobile est un excellent isolant avec un coefficient de conductivité thermique très faible. A savoir tous les isolants à base de fibres :

- ✓ Minérales (laines de verre, laines de roche, í )
- ✓ Animales (laines de mouton, plumes de canard, í )
- ✓ Végétales (fibres de bois, ouate de cellulose, chanvre, lin, í )
- ✓ Synthèse : Mousses alvéolaires (Le polyuréthane (PUR), í )
- ✓ Le polystyrène extrudé (XPS), Le polystyrène expansé (PSE), í )

#### 1.6.7.2. Isolation par le vide (lame d'air)

Le vide est le meilleur isolant possible car, en l'absence de matière, les déperditions de chaleur par conduction et par convection ne peuvent pas s'opérer. Seul le transfert par rayonnement est possible [ACTIS, 2012].

#### 1.6.7.3. Isolation par gaz piégé

Le principe est le même que celui de l'air immobile mais dans ces isolants, l'air est remplacé par un gaz ayant un coefficient de conductivité thermique plus faible que celui de l'air. C'est le cas par exemple des mousses de polyuréthane, du polystyrène expansé et du polystyrène extrudé.

## 1.6.7.4. Isolants minces multicouches réflecteurs

Ils représentent un cas très particulier de matériaux fonctionnant suivant le principe de l'air immobile car :

- ❖ Ils sont constitués de plusieurs couches de matériaux fibreux ou de mousses alvéolaires appelées séparateurs, intercalées par des films métallisés appelés réflecteurs,
- ❖ Ils sont mis en œuvre entre 2 lames d'air immobiles qui empêchent l'énergie de se transmettre par contact,
- ❖ L'ensemble est étanche à l'air et à l'eau.

Les isolants minces thermo-réflecteurs agissent sur les transferts thermiques qui se produisent par rayonnement, convection et conduction.

## 1.6.8. Les éléments d'isolation

### 1.6.8.1. Isolation des ponts thermiques

Les principaux ponts thermiques à traiter sont :

- ✓ Les jonctions avec la toiture.
- ✓ Les jonctions avec les menuiseries.
- ✓ Les jonctions avec les planchers intermédiaires et bas.
- ✓ Les poutres.

Ces ponts thermiques doivent être limités en conception, en s'attachant à avoir une «frontière» d'isolant autour du bâtiment [AITF, 2013].

### 1.6.8.2. Isolation de la toiture

Il est nécessaire de définir une épaisseur d'isolation importante, ce qui aura pour effet de diminuer fortement les déperditions thermiques en hiver et d'apporter un meilleur confort thermique d'été :

#### 1.6.8.2.1. Isolation des combles perdus

Pas de problème particulier pour atteindre les niveaux d'isolation requis avec des fortes épaisseurs.

#### **1.6.8.2.2. Isolation en rampant sous toiture**

Les toitures recevant une quantité importante de rayonnement solaire, le confort d'été peut être problématique. Des précautions doivent être prises, notamment l'inclusion des fenêtres.

#### **1.6.8.2.3. Toiture terrasse**

Des résistances thermiques importantes sont également à mettre en oeuvre. Dans le cas d'une isolation par l'extérieur, prévoir, dès la conception, des acrotères dont la configuration permet d'isoler leur pourtour [Effinergie, 2008].

#### **1.6.8.3. Planchers bas**

L'isolant est mis en oeuvre soit sous dalle flottante, soit sous dalle de terre-plein (isolant rapporté ou entrevous isolants ou isolation sous radier), soit les deux. Dans le cas de plancher bas à ossature (sur pilotis), on pourra choisir de placer l'isolant dans l'épaisseur de l'ossature et de faire le choix d'épaisseurs d'isolants encore plus importantes [Effinergie, 2008].

### **1.7. Stratégie des moyens d'une enveloppe de qualité**

Le mot pour assurer une faible demande en énergie des bâtiments neufs ou rénovés est la qualité de l'enveloppe. Une enveloppe de qualité pour une efficacité énergétique des bâtiments s'obtient par une stratégie de moyens économiques, accessibles, faciles à mettre en oeuvre et apportant des bénéfices conjugués autant pour le confort individuel que pour la préservation de la planète.



Figure 1-4 : Paramètre pour atteindre une enveloppe de qualité

La figure 1-5 illustre l'association des paramètres qui sont déjà identifiés (Figure 1-4), et qui montre leur association qui converge vers le même objectif, en répondant au besoin de l'utilisateur, protection de l'environnement, et de l'entretien du bâtiment.

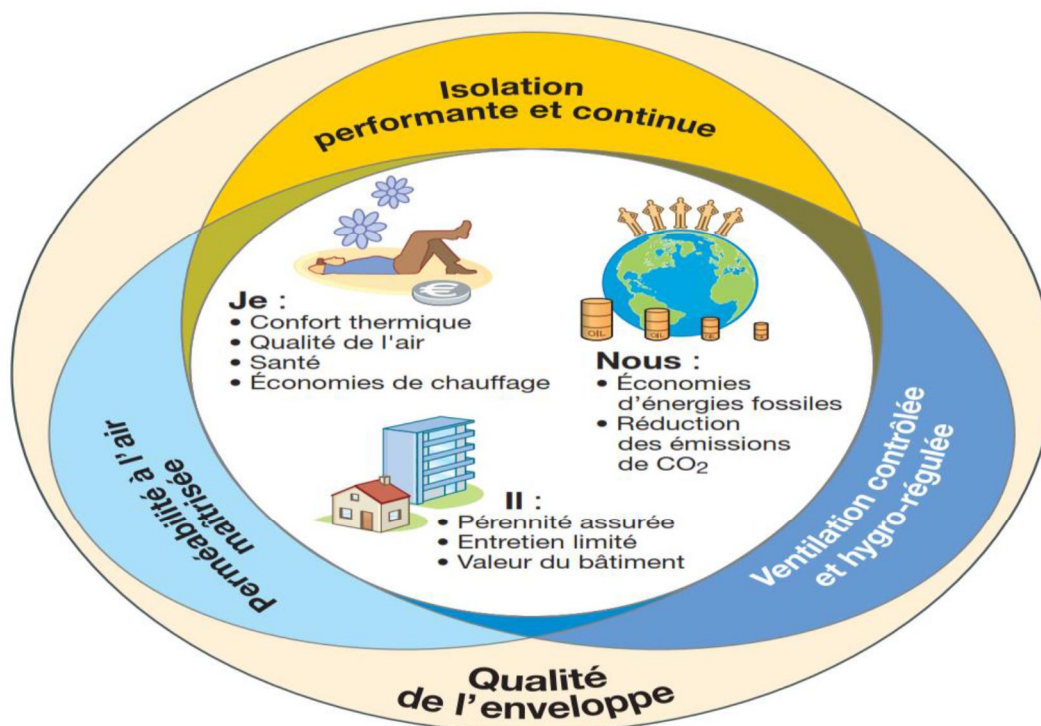


Figure 1-5 : Qualité de l'enveloppe

## 1.8. Conclusion

L'efficacité énergétique à travers les mesures soulignées dans ce chapitre, est bénéfique autant pour le consommateur à travers son confort et l'allègement de ces factures énergétiques, que pour l'environnement, car la maîtrise de l'énergie atténue la pression sur l'impact environnemental, Aussi ne pas oublier l'impact sur les aspects socio-économiques, qui se concrétise par le fait que les économies d'énergies se traduisent par un gain substantiel au niveau des ressources financières. Le chapitre qui suit, nous permettra à comprendre comment peu on manager l'efficacité énergétique dans le bâtiment.

### **Présentation du logement d'étude dans le site de Bechar**

#### **2.1. Introduction**

Notre pays connaît depuis bientôt une décennie un développement intense et soutenu des secteurs du bâtiment et de la construction. Que ce soient pour les grands projets de l'Etat (1 million de logements sociaux, équipements socio-éducatifs, administratifs, etc.), Ou les grands projets immobiliers (résidentiels, tertiaires) et touristiques initiés par les promoteurs privés et publics.

Les équipements réalisés durant les dix dernières années tous secteurs confondus, Atteignent le nombre considérable de 47 89 unités sur la période 1999-2008. Les réalisations annuelles sont en progression constante, passant d'un total de 332 projets en 1999 à un chiffre de 693 projets réalisés pour l'année 2008.

Les exigences et normes internationales en matière de performances énergétiques et environnementales des constructions ne sont pas encore suffisamment intégrées aux processus de conception et de construction.

Ce qui a justement poussé les pouvoirs publics à la recherche de la meilleure efficacité dans le bâtiment et ce à travers plusieurs projets visant l'amélioration du confort thermique dans les logements et la réduction de la consommation énergétique pour le chauffage et la climatisation.

#### **2.1.2. La wilaya de Bechar**

Plus de 85 % de la surface totale de l'Algérie est caractérisée par un climat chaud et sec, la ville de Béchar, zone retenue dans cette étude, est caractérisée par de longues périodes de surchauffe où l'inconfort est fortement ressenti, L'analyse de la distribution mensuelle de la température et de l'humidité relative de la ville de Béchar indique que la majeure partie de l'année se situe en dehors de la zone de confort.

Les bâtiments doivent, donc, être conçus 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.

### 2.1.3. La situation géographique du site

Notre site météorologique sera implanté à Bechar (Algérie), une ville située au sud-ouest à 1115 km de la capitale Alger.

### 2.1.4. Les caractéristiques du climat

La ville appartient à la **zone D**; avec deux saisons principales (été et hiver) Avec une forte insolation, dépassant les 3500 h/an, et un intense rayonnement solaire direct qui peut atteindre 800 W/m<sup>2</sup> sur un plan horizontal, le climat de Béchar présente un régime thermique très contrasté. En été, la température dépasse facilement les 40 °C à l'ombre, et l'humidité relative reste faible autour de 27 %. Par ailleurs, en hiver la température extérieure peut descendre à -5 °C la nuit avec des précipitations rares et irrégulières.

En plus de ces caractéristiques défavorables, on assiste pendant les demi-saisons à de violents vents de sables qui peuvent atteindre 100 km/h.

De l'analyse climatique de la ville de Béchar, il apparaît, que la plus grande partie de l'année présente des conditions de vie inconfortables: un été long, chaud et sec, un hiver modéré par moments.





Figure 2.1 : Station géographique de la ville de Bechar.

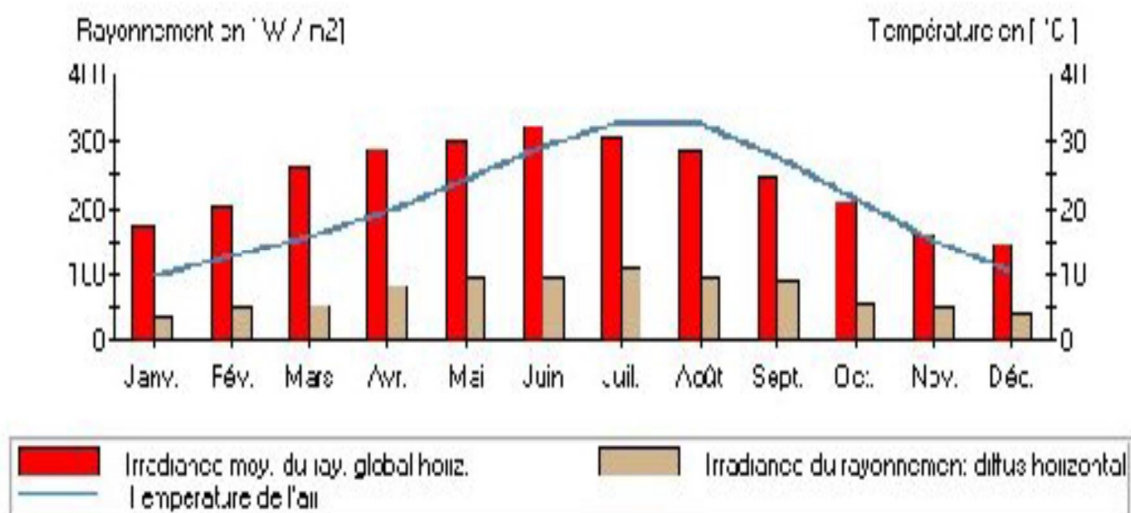
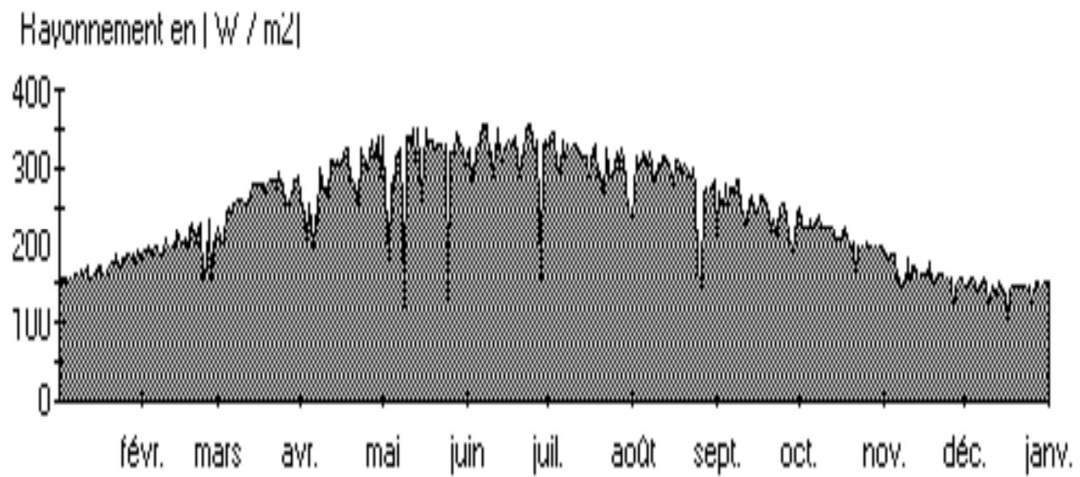


Figure 2.2 : température moyenne mensuelles du site





**Figure 2.3 : Rayonnements solaires mensuelles du site.**

Mois	Ta	Ta min	Ta dmin	Ta dmx	Ta max	RH
Janv.	9.9	-0.7	3.9	15.9	21	56
Fév.	12.7	0.5	6.2	18.9	24.1	45
Mars.	15.8	3.3	9.4	21.8	28.9	38
Avr.	19.4	7.7	12.8	24.7	31.2	35
Mai	24.2	9.5	17.6	30.2	36.9	31
Juin	29.3	16.2	22.1	34.7	39.8	27
Juil.	33	20.9	26.3	39.1	42.4	21
Août	32.6	20.3	26.2	38.3	41.8	24
Sept.	27.8	14.1	21.1	33.2	39.1	32
Oct.	21.2	10.1	15.1	27.2	32.9	41
Nov.	14.9	2	8.2	20.8	27.3	52
Déc.	10.4	0.1	4.1	16.6	21.5	58
Année	20.9					38

**Tableau 2.1 : Température et humidité relative mensuelle.**

	G_Gh	SDm	SDd	SDastr	RR	RD	FF	FF
Janv.	127	252	8.1	10.2	10	2	3.9	180
Fév.	135	245	8.8	11	8	2	3.7	180
Mars	196	297	9.6	11.9	6	1	4.6	0
Avr.	206	315	10.5	12.8	10	1	5.4	270
Avr.	223	333	10.7	13.6	7	0	5.8	0
Juin	232	335	11.2	14.1	2	0	5.2	0
Juil.	227	318	10.3	13.9	1	1	5	0
Août	212	293	9.5	13.2	2	1	5	0
Sept.	177	266	8.9	12.2	6	1	4.8	0
Oct.	157	271	8.7	11.3	10	1	3.8	0
Nov.	116	243	8.1	10.4	11	3	3.7	180
Déc.	107	248	8	9.9	9	2	3.5	180
Année	2113	3416	9.2		82	15	4.5	341

**Tableau 2.2 : Quelques paramètres du site.**

Ta: Température de l'air.

RH: Humidité relative.

Ta min: 10 a. minimum (approx.).

Ta max: 10 a. maximum (approx.).

Ta dmin: Moyenne minimum journ. Ta.

Ta dmax: Moyenne maximum journ. Ta.

SD: Durée d'insolation.

RR: Précipitations.

RD: Jours avec précipitation.

FF: Vitesse du vent.

SD astr. Durée d'insolation, astronomique.

DD: Direction du vent.

G\_Gh: Irradiation du rayonnement global horizontal.

Température en [°C].

Vitesse du vent en [m/s].

Durée d'insolation en [h/jour].

Rayonnement en [kWh/m²].

### 2.1.5. Description du projet

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 nationale; d'où « réalisation des 30 logements HPE a Bechar.

Les logements sont de type individuelle ; F3 duplexe; rez-de-chaussée plus un étage (environ 97.26 m<sup>2</sup> habitable).

Chaque unité comporte 2 chambres (chambre RDC+chambre R+1), un séjour, une cuisine et une salle de bain (salle d'eau + toilette) et au coeur un hall.

Dans la réalisation de ce projet des paramètres sont respectés :

- ❖ 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 intérieur 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.



Figure 2.4: Plans RDC .

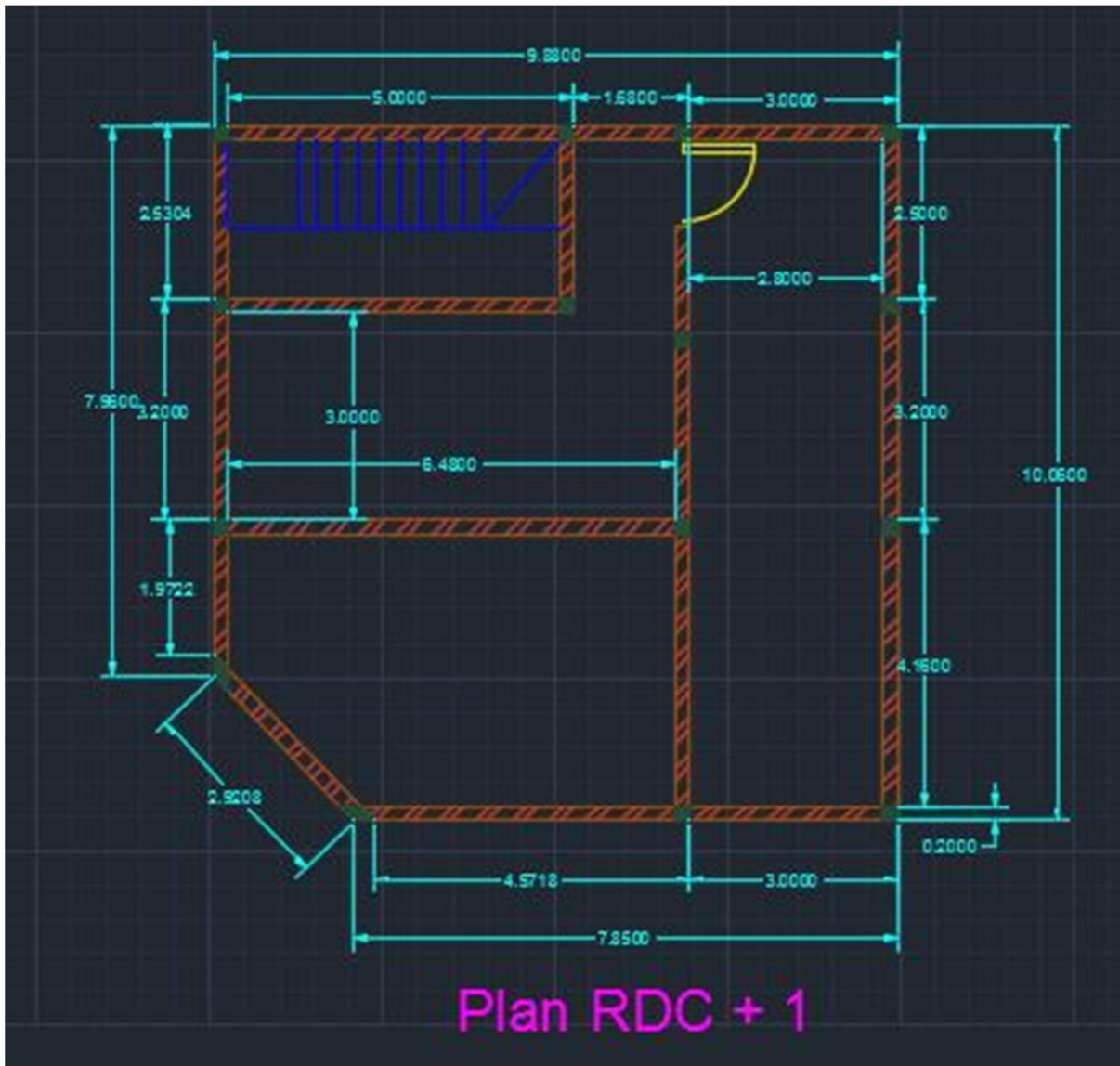
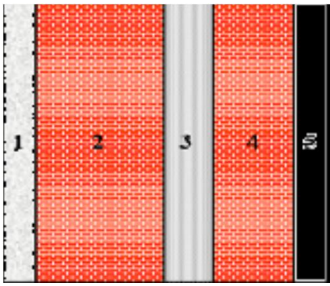


Figure 2.5: Plans RDC +1.

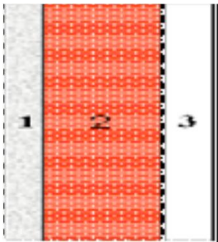
### 2.1.6. Enveloppe de logement

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 utilisant des matériaux de construction bien définie ainsi qu'une bonne isolation interne. Les caractéristiques des parois du local sont les suivantes :


### 2.1.6.1. Les murs externes

Désignation et représentation	Couche	Epaisseur [cm]
Mur extérieur 	1-Enduit extérieur. 2- Brique creuse. 3- polystyrène expansé 4- Brique creuse. 5- Enduit Plâtre.	2 10 10 10 2

### 2.1.6.2. Les murs internes

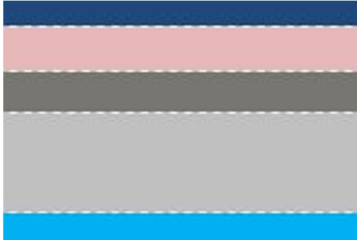
Désignation et représentation	Couche	Epaisseur [cm]
Mur intérieur 	1- Enduit Plâtre. 2- Brique creuse. 3- Plâtre gypse.	1.5 10 1.5

### 2.1.6.3. Plancher bas

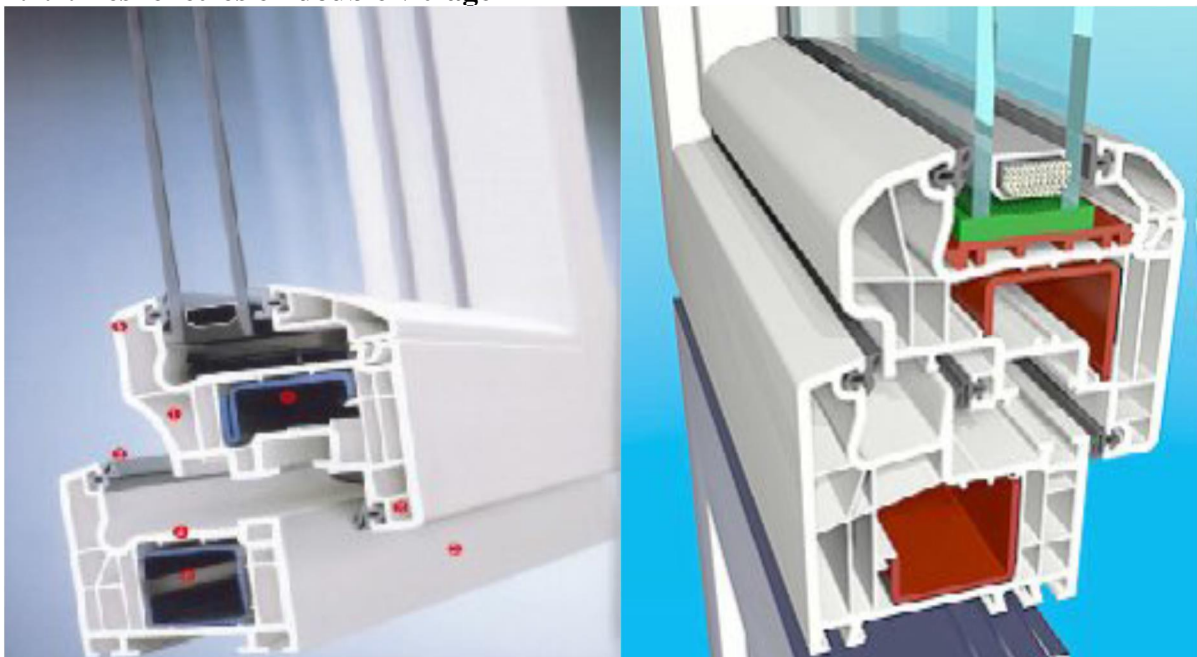
Désignation et représentation	Couche	Epaisseur [cm]
Plancher bas 	1-Panneau de particule bois. 2- béton lourd. 3- mortier. 4- terre végétale.	7 10 3 10



### 2.1.6.4. Toiture

Désignation et représentation	Couche	Epaisseur [cm]
	1- feutre bitumeux.	2
	2- polystyrène expansé.	5
	3- béton lourd.	4
	4- hourdis de 16 en biton.	16
	5- Enduit Plâtre.	2

### 2.1.7. Les fenêtres en double vitrage



**Figure 2.6 : Fenêtre double vitrages en aluminium.**

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.

#### Avantages du double vitrage

- ❖ Lutte contre la déperdition d'énergie.
- ❖ Offre une bonne isolation phonique.
- ❖ Garantit une sécurité renforcée.
- ❖ Réduit l'effet « vitre froide » (en rapprochant la température du vitrage de la température ambiante : de ce fait, la consommation d'énergie peut être abaissée jusqu'à

10 %).

- ❖ Propose une option autonettoyante.

### 2.2. Rappel sur le calcul thermique du bâtiment

#### 2.2.1. Bilan thermique instantané

Le bilan thermique instantané du bâtiment exprime que, à tout instant:

*« La chaleur produite dans le bâtiment est: soit évacuée ou perdue à l'extérieur, soit stockée momentanément dans le bâtiment. »*

Les transferts de chaleur ont lieu par les quatre modes possibles:

- ✓ conduction dans la matière immobile,
- ✓ convection dans les fluides,
- ✓ rayonnement dans les milieux transparents
- ✓ évaporation- condensation de vapeur d'eau.

Il est évident que la résolution relativement précise de toutes les équations dynamiques modélisant les transferts de chaleur, couplées par les conditions aux limites (entre les différents matériaux et données par la météorologie) et soumises à des conditions initiales données, dans un bâtiment réel comportant plusieurs centaines d'éléments de construction différents et habité par des occupants qui changent les conditions au cours du temps ne peut se faire que par simulation dans un ordinateur suffisamment puissant, avec des programmes complexes.

Si, au moyen d'une méthode dynamique, on connaît tous les flux et températures présents dans le bâtiment à tout instant, on peut intégrer ces valeurs pendant une période de temps donnée (par exemple un mois, une saison ou une année) et calculer l'énergie thermique consommée par le bâtiment et les conditions de confort pendant cette période.

#### 2.2.2. Bilan thermique moyen

Nous allons examiner plus en détail l'approximation quasi-stationnaire, qui consiste à admettre qu'en moyenne, les flux de chaleur transférés à l'extérieur du bâtiment sont égaux



aux flux de chaleur qui seraient transférés si les températures intérieures et extérieures étaient constantes et égales aux températures moyennes pendant la période considérée.

Les installations de chauffage possédant généralement une régulation de température cette approximation est assez bonne pour le calcul des besoins en chauffage lorsque les gains solaires passifs et les apports de chaleur internes (en dehors de l'installation de chauffage) sont faibles.

Dans ce modèle, on doit toutefois trouver moyen de tenir compte de la capacité thermique du bâtiment, qui ne peut apparaître effectivement que dans un modèle dynamique. De plus, les gains solaires passifs et les gains internes ne sont que difficilement contrôlables, et peuvent entraîner des surchauffes. L'occupant réagit à ces surchauffes en rejetant la chaleur en excès (en baissant des stores ou en ouvrant des fenêtres). On introduit alors des coefficients correctifs pour tenir compte de ce phénomène.

### 2.3. Calcul des déperditions et apports calorifiques des bâtiments

#### 2.3.1. Les déperditions

##### 2.3.1.1. Déperditions totales d'un logement

Les déperditions totales  $D$  pour un logement, contenant plusieurs volumes thermiques, sont données par :

$$D = \sum D_i \text{ [W/}^\circ\text{C]} \quad (2.1)$$

Où

- ✓  $D_i$  (en W/°C) représente les déperditions totales du volume  $i$ .

##### 2.3.1.2. Déperditions totales d'un volume

Les déperditions totales  $D_i$  d'un volume  $i$  sont données par :

$$D_i = (D_T)_i + (D_R)_i \text{ [W/}^\circ\text{C]} \quad (2.2)$$

Où

- ✓  $(D_T)_i$  (en W/°C) représente les déperditions par transmission du volume  $i$ ,
- ✓  $(D_R)_i$  (en W/°C) représente les déperditions par renouvellement d'air du volume.

### 2.3.1.3. Déperditions par transmission d'un volume

Les déperditions par transmission  $(D_T)_i$  d'un volume  $i$  sont données par :

$$(D_T)_i = (D_s)_i + (D_{li})_i + (D_{sol})_i + (D_{inc})_i \quad [W/^\circ C] \quad (2.3)$$

Où

- ✓  $(D_s)_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur,
- ✓  $(D_{li})_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions à travers les liaisons,
- ✓  $(D_{sol})_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions à travers les parois en contact avec le sol,
- ✓  $(D_{inc})_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés.

### 2.3.1.4. Déperditions par renouvellement d'air d'un volume

Les déperditions par renouvellement d'air d'un volume  $i$   $(D_R)_i$  sont données par :

$$(D_R)_i = (D_{RV})_i + (D_{RS})_i \quad [W/^\circ C] \quad (2.4)$$

Où

- ✓  $(D_{RV})_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions dues au fonctionnement normal des Dispositifs de ventilation.
- ✓  $(D_{RS})_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions supplémentaires dues au vent .

### 2.3.1.5. Relation entre les déperditions du logement et les déperditions des volumes

Les déperditions par transmission  $D_T$  (en  $W/^\circ C$ ) du logement sont égales à la somme des déperditions par transmission des différents volumes  $i$ , soit  $D_T = \sum (D_T)_i$ .

Les déperditions par renouvellement d'air  $D_R$  (en  $W/^\circ C$ ) du logement sont égales à la somme des déperditions par renouvellement d'air des différents volumes  $i$ , soit  $D_R = \sum (D_R)_i$ .

### 2.3.1.6. Vérification et déperditions de référence

#### Vérification réglementaire

Les déperditions par transmission  $D_T$  du logement doivent vérifier:

$$D_T \leq 1,05 \times D_{réf} \quad [W/^\circ C] \quad (2.5)$$

Où

- ✓  $D_T$  (en  $W/°C$ ) représente les déperditions par transmission du logement,
- ✓  $D_{réf}$  (en  $W/°C$ ) représente les déperditions de référence.

### 2.3.1.7. Calcul des déperditions de référence

Les déperditions de référence  $D_{réf}$  sont calculées par la formule suivante:

$$D_{réf} = a \times S_1 + b \times S_2 + c \times S_3 + d \times S_4 + e \times S_5 \quad [W/°C] \quad (2.6)$$

Où

- ✓ les  $S_i$  (en  $m^2$ ) représentent les surfaces des parois en contact avec l'extérieur, un comble, un vide sanitaire, un local non chauffé ou le sol. Elles concernent respectivement  $S_1$  la toiture,  $S_2$  le plancher bas, y compris les planchers bas sur locaux non chauffés,  $S_3$  les murs,  $S_4$  les portes,  $S_5$  les fenêtres et les portes fenêtres,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  sont comptées de l'intérieur des locaux,  $S_4$  et  $S_5$  sont comptées en prenant les dimensions du pourtour de l'ouverture dans le mur.
- ✓ les coefficients  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  et  $e$ , (en  $W/m^2.°C$ ) sont donnés dans le tableau 2.1. Ils dépendent de la nature du logement et de la zone climatique (pour déterminer les zones voir DTR C3-2).

Zone	Logement individuel					Logement en immeuble collectif				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
A	1,10	2,40	1,40	3,50	4,50	1,10	2,40	1,20	3,50	4,50
B	1,10	2,40	1,20	3,50	4,50	0,90	2,40	1,20	3,50	4,50
B'	1,10	2,40	1,20	3,50	4,50	0,90	2,40	1,20	3,50	4,50
C	1,10	2,40	1,20	3,50	4,50	0,85	2,40	1,20	3,50	4,50
D	2,40	3,40	1,40	3,50	4,50	2,40	3,40	1,40	3,50	4,50
D'	2,40	3,40	1,40	3,50	4,50	2,40	3,40	1,40	3,50	4,50

**Tableau 2.3 : détermination des coefficients en fonction de la zone climatique.**

Pour le calcul des déperditions de référence, n'ont pas été prises en compte les déperditions de référence par renouvellement d'air.

### 2.3.1.8. Calcul des déperditions de base

#### Déperditions de base totales

Les déperditions de base totales pour un local **DB** contenant plusieurs volumes thermiques, ont pour expression :

$$DB = \sum (DB)_i \text{ [W]} \tag{2.7}$$

Où

$(DB)_i$  (en **W**) représente les déperditions de base de chaque volume thermique *i*.

### 2.3.1.9. Déperditions de base pour un volume

Les déperditions de base pour un volume thermique  $(DB)_i$  ont pour expression :

$$(DB)_i = D_i \times (t_{bi} - t_{be}) \text{ [W]} \tag{2.8}$$

Où

- ✓  $D_i$  (en **W/°C**) représente les déperditions totales du volume thermique *i*.
- ✓  $t_{bi}$  (en **W/°C**) est la température intérieure de base du volume considéré.
- ✓  $t_{be}$  (en **W/°C**) est la température extérieure de base du lieu d'implantation de la construction.

#### Température intérieure de base

La température intérieure de base est la température de l'air que l'on désire obtenir au centre de la pièce en absence de tout apport de chaleur autre que celui fourni par l'installation de chauffage.

Sauf spécifications particulières, on prendra les valeurs suivantes de la température intérieure de base:

- ✓ Immeuble d'habitation, maison individuelle
- ✓ Pièce principale, pièce de service ..... 21°C
- ✓ Cage d'escalier chauffée, circulation chauffée en continu .....18°C
- ✓ Bureau chauffé en continu ..... 21°C
- ✓ Magasin chauffé en continu ..... 21°C
- ✓ Local artisanal chauffé en continu .....21°C

Dans le cas où des locaux ne sont pas chauffés en continu, ils doivent être considérés comme des locaux non chauffés.

### Température extérieure de base

La température extérieure de base est une température telle que les températures minimales quotidiennes ne lui sont inférieures que cinq jours par an.

Par souci d'économie, une installation de chauffage n'est jamais calculée pour assurer le confort optimal pour la température la plus basse de tous les minima annuels. On utilise donc une température extérieure de référence, dite température extérieure de base.

La température extérieure de base est fonction de l'altitude et de la zone climatique où est implanté le projet.

ZONE	Altitude (m)	$t_{ba}$ (en °C)	ZONE	Altitude (m)	$t_{ba}$ (en °C)
A	< 300	6	C	500 à 1000	- 2
	300 à 500	3		≥ 1000	- 4
	500 à 1000	1			
	≥ 1000	-1			
B	< 500	2	D	< 1000	5
	500 à 1000	1		≥ 1000	4
	≥ 1000	-1			
B'	< 500	0	D'	< 1000	5
	≥ 500	voir Zone B			

Tableau 2.4 : température extérieure de base. [10]

### 2.3.1.10. Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois

#### Paroi séparant deux ambiances à des températures différentes

Les déperditions surfaciques par transmission à travers une paroi, pour une différence de température de 1°C entre les ambiances que sépare cette paroi, sont données par la formule :

$$DS = K \times A \text{ [W/°C]} \quad (2.9)$$

Où

- ✓ **K** (en W/ m<sup>2</sup>. °C) est le coefficient de transmission surfacique ;

✓  $A$  (en  $m^2$ ) est la surface intérieure de la paroi.

Le Document Technique Réglementaire (DTR) donne le calcul détaillé du coefficient  $K$ .

### Paroi séparant deux ambiances à la même température

Dans le cas où une paroi sépare deux ambiances chauffées à la même température, les déperditions par transmission à travers cette paroi sont considérées nulles.

Les flux de chaleur d'un volume à un autre, dans un logement, ne doivent pas être pris en compte, à condition que les pièces du marché fixent des températures différentes pour les pièces d'un même logement.

Dans le cas où une paroi sépare deux bâtiments adjacents chauffés, on considérera, sauf spécifications contraires, qu'ils sont à la même température; par conséquent, les déperditions à travers cette paroi sont nulles.

#### 2.3.1.11. Déperditions à travers les ponts thermiques

Les déperditions à travers une liaison, ou pont thermique,  $D_{li}$  pour une différence de température de  $1^\circ C$ , sont données par la formule :

$$D_{li} = K_l \times L \text{ [W/}^\circ\text{C]} \quad (2.10)$$

Où :

- ✓  $K_l$  (en  $W/ m \cdot ^\circ C$ ) représente le coefficient de Transmission linéique de la liaison,
- ✓  $L$  (en  $m$ ) représente la longueur intérieure de la liaison.

Les liaisons à la jonction des parois (entre deux parois extérieures, entre une paroi intérieure et une paroi extérieure) et les liaisons entre les murs et les menuiseries, appelées communément ponts thermiques, constituent des sources supplémentaires de déperditions.

En outre, ces liaisons, points faibles thermiques, sont souvent à l'origine de désordres dans la construction (dues à la condensation principalement).

Le total des déperditions par transmission qu'il est possible d'associer à une paroi  $D_{paroi}$  (en  $W/^\circ C$ ) est obtenu en effectuant la somme des pertes surfaciques à travers cette paroi avec

l'ensemble des pertes linéiques, soit:  $D_{\text{paroi}} = (K \times A) + K_i \times L$ . Dans cette formule,  $K$  et  $A$  sont respectivement le coefficient de transmission surfacique (en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) et la surface intérieure (en  $m^2$ ) de chaque élément de paroi,  $K_i$  et  $L$  sont respectivement le coefficient de transmission linéique (en  $W/m \cdot ^\circ C$ ) et la longueur intérieure (en  $m$ ) de chaque liaison.

Parfois, on exprime aussi le total des déperditions en utilisant la notion de coefficient  $K_{\text{global}}$   $K_g$ , soit:  $d_{\text{paroi}} = K_g \times (A)$ , avec  $(A)$  qui représente la surface intérieure totale de la paroi (en  $m^2$ ).  $K_g$  s'exprime (en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ). Le coefficient de transmission surfacique global  $K_g$  d'une paroi est donc égal à :

$$K_g = (\hat{U}(K \cdot A) + \hat{U}(K_i \cdot L)) \div \hat{U}A \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C] \quad (2.11)$$

Le Document Technique Réglementaire (DTR) donne le calcul détaillé du coefficient  $K_i$ .

### 2.3.1.12. Déperditions par transmission a travers les parois en contact avec le sol

#### Plancher haut enterré

Les déperditions  $D_{\text{sol}}$  pour un plancher haut enterré sont données par la formule :

$$D_{\text{sol}} = K \times A [W/^\circ C] \quad (2.12)$$

Où

- ✓  $K$  (en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) représente le coefficient  $K$  du plancher haut enterré.
- ✓  $A$  (en  $m^2$ ) représente la surface intérieure du plancher.

Le Document Technique Réglementaire (DTR) donne le calcul détaillé du coefficient  $K$ .

#### Plancher bas et mur enterré

Les déperditions  $D_{\text{sol}}$  pour un plancher bas ou un mur enterré, sont données par la formule :

$$D_{\text{sol}} = K_s \times p [W/^\circ C] \quad (2.13)$$

Où

- ✓  $K_s$  (en  $W/m \cdot ^\circ C$ ) est le coefficient de transmission linéique du plancher bas ou du mur.
- ✓  $p$  (en  $m$ ) est la longueur de la paroi.

Le Document Technique Réglementaire (DTR) donne le calcul détaillé du coefficient **Ks**, La formule 2.13 tient compte des déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec le sol, ainsi que des déperditions à travers les ponts thermiques.

Les valeurs des coefficients **KS** sont données en fonction de la différence de niveau, notée **Z**.

- ✓ Pour un plancher bas enterré, la différence de niveau est la différence entre le niveau de la face supérieure du plancher et le niveau du sol. Elle est comptée négativement lorsque le plancher est plus bas que le sol, et positivement dans le cas contraire.
- ✓ Pour un mur enterré, la différence de niveau est la différence entre le niveau de la partie inférieure du mur et le niveau du sol.
- ✓ Pour un mur enterré, la différence de niveau est toujours négative.

### 2.3.1.13. Déperditions à travers les parois en contact avec des locaux non chauffés

Les déperditions **Dlnc** par transmission par degré d'écart à travers une paroi en contact avec un local non chauffé sont données par la formule suivante :

$$\mathbf{Dlnc} = \mathbf{Tau} \times [ (\mathbf{K} \times \mathbf{A}) + (\mathbf{KI} \times \mathbf{L}) ] [\mathbf{W}/^{\circ}\mathbf{C}] \quad (2.14)$$

Où

- ✓ **K** (en **W/ m2.°C**) est le coefficient de transmission surfacique de chaque partie;
- ✓ **A** (en **m2**) est la surface intérieure de chaque partie surfacique ;
- ✓ **KI** (en **W/ m. °C**) est le coefficient de transmission linéique de chaque liaison;
- ✓ **L** (en **m**) est la longueur intérieure de chaque liaison ;
- ✓ **Tau** est le coefficient de réduction de température; il est soit ;
- ❖ calculé dans le cas général,
- ❖ déterminé forfaitairement,
- ❖ fixé par les pièces du marché,

Dans cette formule,  $(\mathbf{K} \times \mathbf{A}) + (\mathbf{KI} \times \mathbf{L})$  est calculée comme s'il s'agissait d'une paroi extérieure mais avec les valeurs des coefficients d'échange superficiel des parois intérieures.

Les déperditions à travers une paroi en contact avec un local non chauffé sont pondérées par un coefficient **Tau**, sans dimension, dit "coefficient de réduction de température". La valeur de **Tau** est comprise entre 0 et 1.



Le Document Technique Réglementaire(DTR) donne le calcul détaillé du coefficient Tau.

### 2.3.1.14. Déperditions par renouvellement d'air

Les déperditions par renouvellement d'air doivent être prises en compte seulement lors du dimensionnement des installations de chauffage des locaux d'habitation.

La vérification thermique réglementaire ne tient pas compte des déperditions par renouvellement d'air.

Sont considérées, pour l'établissement du bilan thermique, les déperditions par renouvellement d'air moyennes, c'est à dire les plus probables.

Les déperditions par renouvellement d'air tiennent compte:

- ✓ des déperditions dues au fonctionnement des dispositifs de ventilation on associe à ces déperditions le débit spécifique de ventilation ;
- ✓ des déperditions supplémentaires par infiltrations dues à l'effet du vent.

Les déperditions par renouvellement d'air **DR** d'un logement ont pour expression:

$$\mathbf{DR = 0,34 \times (QV+QS) [W/^{\circ}C]} \quad \mathbf{(2.15)}$$

Où :

- ✓ 0,34 (en  $\mathbf{Wh/m^3 \cdot ^{\circ}C}$ ) est la chaleur volumique de l'air;
- ✓ **Qv** (en  $\mathbf{m^3/h}$ ) est le débit spécifique de ventilation;
- ✓ **Qs** (en  $\mathbf{m^3/h}$ ) est le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent.

0,34 x Qv (en  $\mathbf{W/^{\circ}C}$ ) représente les déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation, notées **DRV**; de même, **0,34 x Qs** (en  $\mathbf{W/^{\circ}C}$ ) représente les déperditions supplémentaires dues au vent, notées **DRS**.

### Débit spécifique de ventilation

Le débit spécifique de ventilation **Qv** est calculé par rapport au débit extrait de référence **Qv<sub>réf</sub>**

Le débit extrait de référence  $Q_{v\text{réf}}$  est déterminé en considérant que la ventilation est générale et permanente, Une ventilation est dite générale (système de ventilation le plus courant) lorsque l'extraction de l'air vicié s'effectue dans les pièces de service (SDB, W-C, salle d'eau et cuisine).

L'aération est considérée permanente car l'enveloppe d'un bâtiment n'est jamais parfaitement étanche à l'air, La détermination du débit spécifique de ventilation s'effectue de la même manière quel que soit le système de ventilation. En effet, ce débit est lié principalement aux exigences d'hygiène.

Le débit spécifique de ventilation  $Q_v$  pour un logement est donné par la formule suivante:

$$Q_v = \text{MAX} [0,6V_h ; Q_{v\text{réf}}] \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (2.16)$$

Où :

- ✓  $V_h$  (en m<sup>3</sup>) désigne le volume habitable;
- ✓  $Q_{v\text{réf}}$  (en m<sup>3</sup>/h) désigne le débit extrait de référence.

Le Document Technique Réglementaire (DTR) donne le calcul détaillé du  $Q_{v\text{réf}}$ .

On admet qu'en hiver les dispositifs de ventilation calculés pour permettre un taux de ventilation de l'ordre de 0,6 fois le volume habitable par heure répondent aux exigences contradictoires de confort thermique, d'hygiène et d'économie d'énergie.

### **Débit supplémentaire par infiltrations dues au vent**

Le débit supplémentaire dû au vent est déterminé en considérant seulement le débit d'air supplémentaire s'infiltrant par les ouvrants, et dont l'écoulement s'effectue de la façade au vent à la façade sous le vent (on parle de débit "traversant").

Les ouvrants concernés pour la détermination du débit supplémentaire dû au vent sont ceux faisant partie des parois extérieures, et ceux faisant partie des parois en contact avec des circulations ouvertes sur l'extérieur.

Par exemple, les parois donnant sur une cage d'escalier fermée ne doivent pas être prises en compte lors du calcul du débit supplémentaire dû au vent.

## 2.3.2. Apports calorifiques des bâtiments

Les apports calorifiques doivent être déterminés selon les étapes suivantes :

- ✓ définition des zones (ou volumes) thermiques ; une zone thermique est un volume d'air dont les conditions intérieures sont supposées être homogènes;
- ✓ détermination de l'intervalle de temps critique ; pour ce faire, pour chaque façade, on détermine l'heure qui correspond aux gains maxima par transmission à travers les parois opaques et vitrées; l'intervalle de temps critique est délimité par la plus petite heure et par la plus grande heure choisie parmi les heures déterminées;
- ✓ calcul des apports calorifiques pour chaque volume thermique et pour toutes les heures situées dans l'intervalle de temps critique.

Les apports calorifiques (appelés aussi gains) d'un local sont égaux à la somme des apports de chaleur sensible et latente, provenant d'une source intérieure ou extérieure du local, pour des conditions extérieures et intérieures déterminées, en ne tenant pas compte des apports dus à l'installation.

Les apports calorifiques sensibles, ou gains sensibles, sont les apports de chaleur qui affectent directement la température sèche de l'air du local considéré.

Les apports calorifiques latents, ou gains latents, sont les apports d'humidité sous forme de vapeur d'eau qui affectent le local considéré.

Les apports calorifiques sensibles  $A_s$  et latents  $A_l$  sont donnés par :

$$A_s = A_{PO} + A_V + A_{I_s} + A_{INF_s} [W] \quad (2.17)$$

$$A_l = A_{l_i} + A_{INF_l} [W] \quad (2.18)$$

Où :

- ✓  $A_{PO}$  (en W) représente les apports par les parois opaques,
- ✓  $A_V$  (en W) représente les apports à travers les parois vitrées,
- ✓  $A_{I_s}$  et  $A_{l_i}$  (en W) représentent les parties sensibles et latentes des apports internes,
- ✓  $A_{INF_s}$  et  $A_{INF_l}$  (en W) représentent les parties sensibles et latentes des apports dus aux infiltrations d'air.

Le Document Technique Réglementaire (DTR) donne le calcul détaillé de ses apports. Dans le cas où de l'air neuf s'introduit directement dans le local (sans passer par l'installation de climatisation), il y a lieu d'en tenir compte dans le calcul des apports calorifiques.

### 2.3.2.1. Apports à travers les parois opaques

#### Parois aériennes

Les parois opaques aériennes sont celles qui sont en contact direct avec l'air extérieur (parois verticales ou horizontales).

Le calcul est mené en régime variable.

L'expérience montre que les conséquences du régime variable sont les suivantes:

- ✓ il existe un décalage horaire (déphasage) entre le moment où la température de surface extérieure de la paroi extérieure est maximale et le moment où le flux d'apport calorifique pénétrant dans le local est maximal; ce décalage peut atteindre plusieurs heures avec des parois dont l'inertie thermique est importante;
- ✓ les valeurs du flux d'apport calorifique pénétrant dans le local sont réduites (amorties) par rapport aux valeurs instantanées du régime permanent.

Les apports de chaleur à travers une paroi opaque à un instant  $t$ ,  $APO(t)$ , sont donnés par la formule suivante:

$$APO(t) = 1,2 \times K_{été} \times S_{int} \times T_e(t) \text{ [W]} \quad (2.19)$$

Où :

- ✓ 1,2 (sans dimension) est un coefficient major tenant compte des apports latéraux linéiques (à travers les ponts thermiques),
- ✓  $K_{été}$  (en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée pour l'été,
- ✓  $S_{int}$  (en  $m^2$ ) est la surface intérieure totale de la paroi considérée ; pour les toitures en pente, on prendra la projection horizontale de la surface ;
- ✓  $T_e(t)$  (en  $^\circ C$ ) est la différence équivalente de température à l'heure  $t$ .

Le Document Technique Réglementaire (DTR C3-4) donne le calcul détaillé de ses apports.

## Parois intérieures

Les apports de chaleur à un instant  $t$ ,  $APO(t)$ , traversant une paroi opaque en contact avec deux locaux conditionnés sont donnés par la formule suivante :

$$APO(t) = K_{été} \times S_{int} \times [TSa - TSb,i] \text{ [W]} \quad (2.20)$$

Où

- ✓  $K_{été}$  (en  $W/ m^2 \cdot ^\circ C$ ) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée,
- ✓  $S_{int}$  (en  $m^2$ ) est la surface intérieure de la paroi considérée,
- ✓  $TSa$  (en  $^\circ C$ ) est la température sèche de l'air intérieur du local adjacent,
- ✓  $TSb,i$  (en  $^\circ C$ ) est la température sèche de l'air intérieur du local considéré.

Les apports de chaleur à un instant  $t$ ,  $APO(t)$ , traversant une paroi opaque en contact avec un local non conditionné sont donnés par la formule suivante :

$$APO(t) = K_{été} \times S_{int} \times T_{inc}(t) \text{ [W]} \quad (2.21)$$

Où :

- ✓  $K_{été}$  (en  $W/ m^2 \cdot ^\circ C$ ) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée,
- ✓  $S_{int}$  (en  $m^2$ ) est la surface intérieure de la paroi considérée,
- ✓  $T_{inc}(t)$  (en  $^\circ C$ ) représente l'écart de température entre l'espace non conditionné et le local considéré.

Le Document Technique Réglementaire (DTR C3-4) donne le calcul détaillé de ses apports.

## Parois en contact avec le sol

Les apports par transmission à travers les parois en contact avec le sol sont calculés en fonction de la différence de niveau  $z$ . La différence de niveau  $z$  est :

- ✓ pour un plancher, la différence comptée positivement entre le niveau de la face supérieure du plancher et le niveau du sol;
- ✓ pour un mur enterré, la différence comptée positivement entre le niveau du sol et le niveau considéré du mur.

## 2.3.2.2. Apports à travers les parois vitrées

Les apports à travers les parois vitrées intérieure AVT(t) sont dus uniquement à la différence de température de part et d'autre de la paroi. Ils sont donnés par:

$$AVT(t) = K_{été} \times S_{ouv} \times [(T_{se}(t) - C_{inc}) - T_{sb,i}] \quad [W] \quad (2.22)$$

Où :

- ✓  $K_{été}$  (en W/ m<sup>2</sup>.°C) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée
- ✓  $S_{ouv}$  (en m<sup>2</sup>) est la surface de l'ouverture dans la paroi opaque,
- ✓  $T_{se}(t)$  (en °C) est la température extérieure sèche à l'heure t,
- ✓  $C_{inc}$  est un coefficient correcteur,
- ✓  $T_{sb,i}$  (en °C) est la température intérieure sèche de base pour le local considéré.

Les gains à travers les parois vitrées extérieures AV(t) sont donnés par:

$$AV(t) = AVT(t) + AVE(t) \quad [W] \quad (2.23)$$

Où :

- ✓ AVT(t) (en W) représente les gains dus au gradient de température à travers les parois vitrées,
- ✓ AVE(t) (en W) représente les gains dus au rayonnement solaire à travers les parois vitrées.

Les gains dus au gradient de température AVT(t) à travers les parois vitrées extérieures sont donnés par :

$$AVT(t) = 1,2 \times K_{été} \times S_{ouv} \times [T_{se}(t) - T_{sb,i}] \quad [W] \quad (2.24)$$

Où :

- ✓ 1,2 (sans dimension) est un coefficient major tenant compte des apports à travers les ponts thermiques,
- ✓  $K_{été}$  (en W/ m<sup>2</sup>. °C) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée,
- ✓  $S_{ouv}$  (en m<sup>2</sup>) est la surface de l'ouverture dans la paroi opaque,
- ✓  $T_{se}(t)$  (en °C) est la température extérieure sèche à l'heure t,
- ✓  $T_{sb,i}$  (en °C) est la température intérieure de base.

Les gains dus au rayonnement solaire à travers les parois vitrées extérieures AVE(t) sont donnés par :

$$AVE(t) = [SV_{ens} \times I_t + (SV - SV_{ens}) \times I_d] \times FS \times NPVI(t) \quad [W] \quad (2.25)$$

Où :

- ✓  $SV$  (en  $m^2$ ) est la surface totale vitrée,
- ✓  $SV_{ens}$  (en  $m^2$ ).est la surface vitrée ensoleillée,
- ✓  $SV - SV_{ens}$  (en  $m^2$ ) est la surface vitrée à l'ombre,
- ✓  $I_t$  (en  $W/ m^2$ ) est le rayonnement total maximal réel,
- ✓  $I_d$  (en  $W/ m^2$ ) est le rayonnement diffus maximal réel,
- ✓  $NPVI(t)$  représente le coefficient d'amortissement relatif aux gains par ensoleillement à travers les parois vitrées à l'heure  $t$  considérée,
- ✓  $FS$  est le facteur solaire du vitrage.

### 2.3.2.3. Apports de chaleur internes

On désigne par apports de chaleur internes, ou gains internes, les quantités de chaleur dégagées sous forme latente ou sensible à l'intérieur des locaux conditionnés.

Les gains internes ayant pour origine les occupants, les machines entraînées par des moteurs électriques, les appareils électriques, l'éclairage, les appareils à gaz, les réservoirs, l'évaporation libre, l'introduction de vapeur vive, les tuyauteries et les conduits d'air intérieurs.

Les pièces du marché doivent fournir avec précision les informations nécessaires pour la prise en compte des apports internes (par exemple le nombre de moteurs électriques, leur emplacement et celui des tuyauteries, etc.).

Les apports de chaleur internes  $AI(t)$  à l'instant  $t$  sont donnés par la formule :

$$AI(t) = \sum_j (CS_j \times AI_{s,j} \times N_{AI,j}) + \sum_j (CS_j \times AI_{l,j}) \quad [W] \quad (2.26)$$

Où :

- ✓  $AI_{s,j}$  (en  $W$ ) représente la partie sensible de l'apport interne  $j$ ,
- ✓  $AI_{l,j}$  (en  $W$ ) représente la partie latente de l'apport interne  $j$ ,
- ✓  $CS_j$  est le coefficient de simultanité relatif à l'apport interne  $j$  ; en l'absence d'information, les valeurs à considérer pour les coefficients de simultanité sont celles du tableau ci-dessous ;
- ✓  $N_{AI,j}$  est le coefficient d'amortissement relatif à l'apport interne  $j$ .

Apport	Nature des apports	Coefficient de Simultanéité CS				
		Locaux				
		Bureaux Réunions Accueil	Logement Hébergement	Vente Restauration	Artisanal Industriel	Enseignement
Occupant	Sensible Latent	0,80	0,50	0,80	0,90	1,00
Moteurs électriques	Sensible	0,60	0,50	0,85	0,85	0
Appareils électriques	Sensible Latent	0,60	0,50	0,85	0,85	0
Eclairage fluorescent non encastré	Sensible	0,70	0,35	0,90	0,85	0,90
Eclairage fluorescent encastré, éclairage incandescent non encastré	Sensible	0,70	0,35	0,90	0,85	0,90
Eclairage encastré dans un faux plafond avec plénum de reprise	Sensible	0,70	0,35	0,90	0,85	0,90
Appareil à gaz	Sensible Latent	0	0,50	0,85	0,85	0
Réservoir	Sensible Latent	0	1,00	1,00	1,00	0
Evaporation libre	Latent	0	1,00	1,00	1,00	0
Vapeur vive	Sensible Latent	0	0	1,00	1,00	0
Tuyauteries, conduits d'air	Sensible	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

**Tableau 2.5 : coefficient de simultanéité des gains internes. [10]**

**Remarque :**

*Un coefficient de simultanéité égal à 0 signifie que pour le type de local défini, l'apport interne correspondant existe rarement dans la pratique (ou est négligeable). Dans le cas où ce type d'apport n'est pas considéré comme négligeable, on prendra un coefficient de simultanéité maximal (égal à 100 %).*

### 2.3.3. Calcul des gains

#### 2.3.3.1. Gains dus aux occupants

Les gains dus aux occupants sont une source de chaleur sensible et latente. Le calcul doit tenir compte des personnes susceptibles de fréquenter les locaux :

Pour un logement :



- ❖ si une seule zone thermique est définie, le nombre d'occupants par pièce (occ/p) à considérer doit être de 2,5 occ/p pour les quatre premières pièces principales, et de 1 occ/p par pièce principale supplémentaire ;
- ❖ si plusieurs zones thermiques sont définies, le nombre d'occupants par pièce à considérer doit être de 2 occ/p pour les pièces principales et les cuisines, et de 1 occ/p pour les pièces de service autres que les cuisines ; . Pour les locaux à usage autre que d'habitation, en l'absence d'informations, on considérera 1 occupant pour 4,5 m<sup>2</sup> de surface de plancher.

### 2.3.3.2. Gains dus aux machines électriques

Les appareils peuvent constituer à la fois une source de chaleur sensible et latente, ou seulement une source de gains sensibles. Une machine électrique utilisée dans un local dégage intégralement l'équivalent calorifique de la puissance électrique moyenne absorbée. Pour la détermination des apports dus aux machines électriques, on utilisera soit :

- ✓ les indications données par le fabricant.
- ✓ les formules de calcul de la puissance absorbée, cette puissance constituant les gains Sensibles, pour certains appareils (de cuisines, de restaurants, etc.), il y a lieu de tenir compte aussi des gains latents; on pourra alors utiliser les formules relatives aux gains par évaporation.

### 2.3.3.3. Gains dus à l'éclairage

Les appareils d'éclairage constituent une source de chaleur sensible. Si l'on connaît la puissance installée pour l'éclairage, les gains dus à l'éclairage sont donnés par la formule suivante :

$$AI = (Wn \times Cme \times Ccr) [W] \quad (2.27)$$

Où :

- ✓ **Wn** (en W) est la puissance nominale de l'ampoule ou du tube fluorescent ;
- ✓ **Cme** est un coefficient de majoration; il est égal à :
  - ✓ 1,2 pour les lampes à incandescence,
  - ✓ 1,25 pour les tubes fluorescents ;

- ✓ **Ccr** est le pourcentage de chaleur résiduelle correspondant à la part d'énergie restant dans la salle ; **Ccr** est :
  - ❖ égal à 1 pour les installations dont l'éclairage n'est pas raccordé à un système d'extraction d'air.
  - ❖ est donné dans le tableau 2.5 quand l'éclairage est raccordé à un système d'extraction d'air.

Débit d'air pour 100 W de puissance de lampe ou de tube (m <sup>3</sup> /h)	20	30	50	100
<b>C<sub>cr</sub></b>	0,6	0,5	0,4	0,35

**Tableau 2.6 : valeurs de Ccr.**

### 2.3.3.4. Gains dus aux appareils à gaz

Les appareils à gaz sont une source de chaleur sensible et latente. Pour la détermination des apports dus aux appareils à gaz, on utilisera soit les formules, soit les valeurs des tableaux.

Les apports sensibles et latents **AI<sub>s</sub>** et **AI<sub>l</sub>** dus aux appareils à gaz sont donnés par:

$$AI_s = q_{vn} \times PC_{sup} \text{ [w]} \tag{2.28}$$

$$AI_l = q_{vn} \times m_{vap} \times 2498 \text{ .103 [w]} \tag{2.29}$$

Où :

- ✓  $q_{vn}$  (en m<sup>3</sup>/s) est le débit nominal de l'appareil,
- ✓  $PC_{sup}$  (en J/m<sup>3</sup>) est le pouvoir calorifique supérieur du combustible ;
- ✓  $m_{vap}$  (en kg/m<sup>3</sup>) est la masse d'eau apportée par la combustion du gaz,
- ✓ 2498. 103 (en J/kg) est la chaleur latente de condensation de la vapeur d'eau.

### 2.3.3.5. Gains par évaporation

L'évaporation est une source de chaleur latente. Les gains latents, en W/m<sup>2</sup> de surface, provenant de l'évaporation d'un plan d'eau (piscines, bassin, plonge de restaurant, etc.) sont donnés par la fomule suivante :

$$AI_l = 0,0935 \times [PS_{eau} \acute{o} P_{pi}] \text{ [w/m}^2\text{]} \tag{2.30}$$

Où :

- ✓  $PS_{eau}$  (en Pa) désigne la pression de vapeur saturante de la couche d'air en contact avec le plan d'eau (et donc à la même température) ;
- ✓  $PP_i$  (en Pa) désigne la pression partielle de vapeur d'eau de l'air ambiant.

*La formule (2.29) est fondée sur l'hypothèse que la vitesse de l'air en contact avec le plan d'eau est inférieure à 1 m/s.*

### 2.3.3.6. Apports par les conduits d'air

Les conduits d'air sont une source de chaleur sensible. Les apports AIs par les conduits d'air sont donnés par:

$$AI_s = K \times l \times [T_{a,c} - TS_{b,i}] \quad [w] \quad (2.31)$$

Où :

- ✓  $l$  (en m) désigne la longueur totale du conduit mesurée à l'intérieur du local climatisé,
- ✓  $T_{a,c}$  (en °C) est la température moyenne de l'air circulant dans le conduit,
- ✓  $TS_{b,i}$  (en °C) est la température sèche de l'air du local climatisé,
- ✓  $k$  (en W/m. °C) est le coefficient linéique de transmission thermique du conduit d'air calculé selon la forme du conduit.

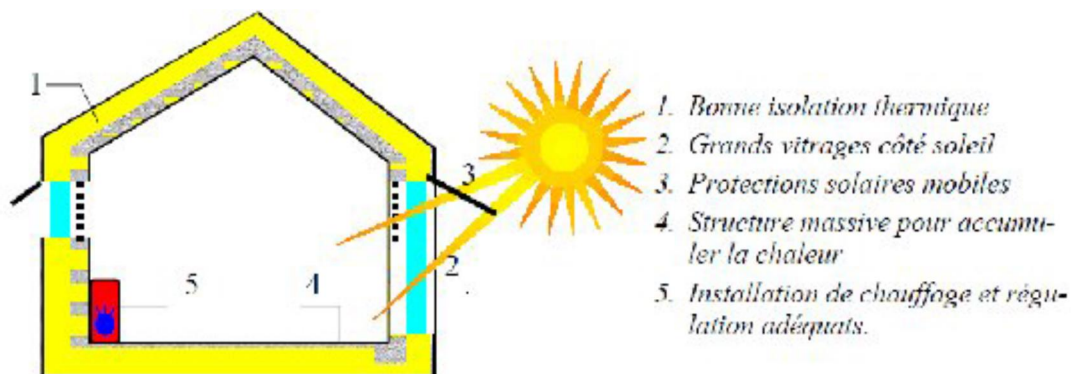
### 2.3.4. Apports d'énergie solaire et gains internes

Les apports solaires dépendent de l'ensoleillement normalement présent sur le site concerné, de l'orientation des surfaces réceptrices, de l'ombrage permanent et des caractéristiques de transmission et d'absorption solaires des surfaces réceptrices. Les surfaces qui captent l'énergie solaire sont principalement les vitrages, mais aussi les parois et planchers intérieurs des surfaces ensoleillées, les parois situées derrière un revêtement transparent ou une isolation transparente, et même toute surface opaque exposée au soleil.

Les gains solaires peuvent apporter une part importante des besoins en chauffage dans les bâtiments. En climat tempéré, ils avoisinent 10% des besoins d'un bâtiment ordinaire, mais ils peuvent atteindre 50 % dans les bâtiments bien conçus.

### 2.3.4.1. Principe du captage solaire passif

Le rayonnement solaire entrant par les fenêtres et le cas échéant par d'autres éléments de captage spéciaux est transformé en chaleur à l'intérieur du bâtiment, et contribue ainsi au chauffage des locaux. Ce mode de faire présente de nombreux avantages, et en particulier la source d'énergie est gratuite et non polluante. Par contre, il présente quelques inconvénients auxquels il est nécessaire de pallier. Pour cela, il convient de suivre les quelques directives simples énoncées ci-dessous (Figure 2.6).



**Figure 2.7: Principes du chauffage solaire passif.**

1. Le rayonnement solaire est relativement diffus, en particulier en hiver, où il ne dépasse pas quelques centaines de watts par mètre carré. Pour capter une quantité de chaleur appréciable, il faut de **grandes surfaces de captage**, orientées vers les directions les plus ensoleillées (du sud-est au sud-ouest dans l'hémisphère nord).

2. Pour que cette chaleur, toujours limitée, représente une part importante des besoins, il faut limiter ces besoins au minimum par une **isolation thermique** soignée: fortes épaisseurs d'isolation et vitrages à hautes performances.

3. Lorsque la température extérieure est clémente et qu'il fait beau, ces surfaces apportent trop de gains. Il est donc indispensable de munir les surfaces de captage de dispositifs de contrôle. En particulier, il faut munir les fenêtres de **protections solaires efficaces**, donc extérieures.

Des arbres à feuilles caduques sont souvent proposés, car ils apportent une ombre plus fraîche que des stores. Toutefois, ce type de protection n'est pas réglable, et ne peut pas être diminué pour améliorer l'éclairage naturel par mauvais temps en belle saison.

4. Pour augmenter l'efficacité du chauffage solaire passif, il faut répartir sur la journée les gains reçus pendant quelques heures seulement. **L'inertie thermique du bâtiment doit donc être élevée**, pour limiter les surchauffes en période ensoleillée, et restituer la chaleur

accumulée pendant la nuit. Le bâtiment est donc massif et l'isolation est posée à l'extérieur de la structure.

5. Enfin, le chauffage d'appoint ne doit fonctionner que quand il est nécessaire. Il doit réagir rapidement aussi bien lorsque le soleil disparaît que lorsqu'il apparaît. Il faut donc une **régulation thermique adéquate**, qui tienne compte des gains solaires et des caractéristiques du système de chauffage.

Des systèmes de contrôle prévisionnels peuvent pallier aux défauts des chauffages à grande inertie, comme le chauffage par le sol.

### 2.3.4.2. Calcul des gains solaires passifs

Ces gains représentent la chaleur obtenue à l'intérieur du volume chauffé par transformation du rayonnement solaire qui est entré par les fenêtres ou qui a été capté par des systèmes spécifiques passifs ne faisant pas partie de l'installation de chauffage.

En principe, toutes les surfaces exposées au rayonnement solaire sont potentiellement des surfaces de captage, permettant de transformer le rayonnement en une forme d'énergie utile, le plus souvent en chaleur. Dans le bâtiment, les surfaces de captage utilisées pour le chauffage solaire passif sont:

- ✓ Les surfaces transparentes des fenêtres et portes
- ✓ Le sol et les murs des serres et vérandas
- ✓ Les parties opaques (façades, toiture), surtout si elles sont recouvertes d'une isolation transparente ou d'un vitrage (murs Trombe)
- ✓ Les apports solaires dépendent de l'ensoleillement normalement présent sur le site concerné, de l'orientation des surfaces réceptrices, de l'ombrage permanent et des caractéristiques de transmission et d'absorption solaires des surfaces réceptrices. Pour une période de calcul donnée, les apports solaires s'obtiennent en sommant les apports de chaque surface de captage:

### Remarque

Pour déterminer l'efficacité énergétique d'un bâtiment, il est nécessaire de suivre les étapes citées dans ce chapitre. Nous avons déterminé les déperditions et les gains calorifiques

dans un bâtiment avec des formules de calcul imposées par un document technique réglementaire utilisé en Algérie.

### **2.4. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents zones de climat en Algérie, particulièrement où se situé notre site d'étude (ville de Bechar) ; ainsi que les caractéristiques spécifiques et leur impacte sur l'habitant et l'architecture, Par la suite, nous avons fait une description du logement étudié et les caractéristiques des matériaux composant les murs externes et internes ainsi que les planches bas et haut, et le vitrage utilisé dans cet habitat.

### 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; rentrer le fichier de donnée météorologique ; intégrer le concept proposé et les scénarios de fonctionnements.

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

Le logiciel Pléiades + 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.

## 3.2.1. L'interface Pléiades+ Comfie

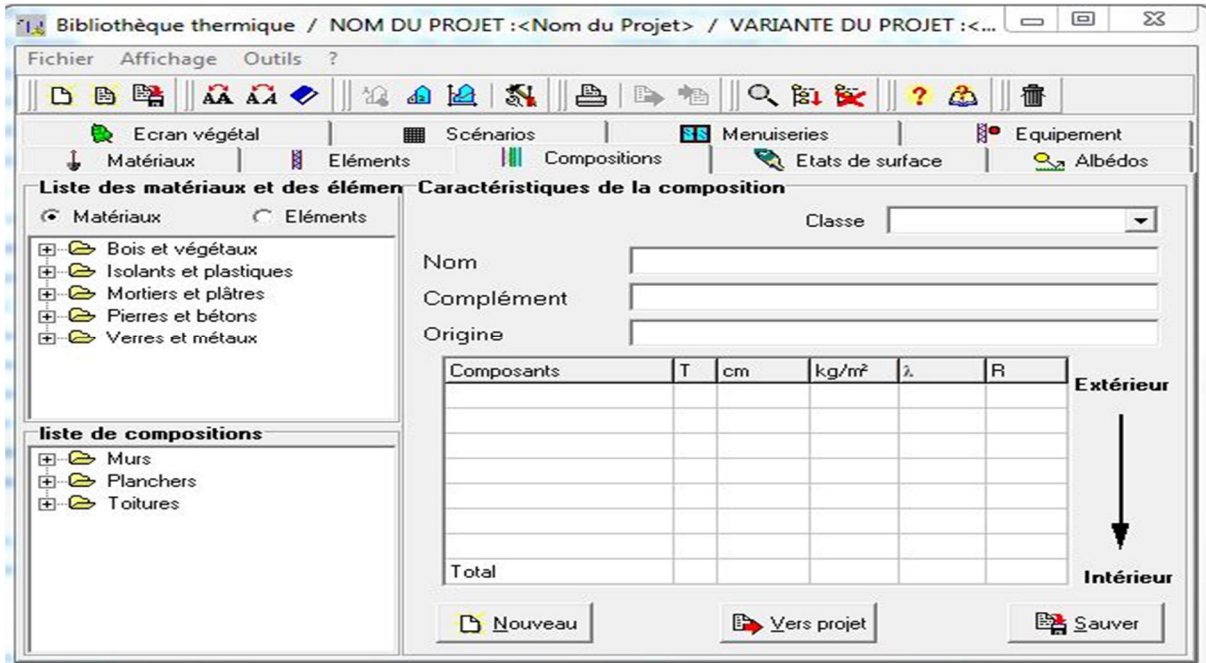


Figure 3.1: L'interface pléiades+ comfie.

PLEIADES + COMFIE intègre plusieurs bibliothèques de données thermiques sur les matériaux et les éléments constructifs, les menuiseries, les états de surface, les albédos et les écrans végétaux. Le logiciel comprend aussi des bibliothèques de modes de gestion du bâtiment étudié selon un scénario horaire pour une semaine-type (occupation, apports internes, températures de consigne de chauffage ou de climatisation, gestion des occultations). Chaque ouverture vitrée peut être affectée d'un masque intégré à la construction (auvent, brise-soleil etc.). Les masques lointains (relief, autres bâtiments), les obstacles à l'ensoleillement à proximité de chaque paroi (arbre, masques architecturaux) sont également pris en compte.

Les ventilations extérieures sont définies pour chaque zone par un scénario hebdomadaire et horaire. Il est également possible de prendre en compte différents types de ventilation interne entre les pièces : ouverture de porte avec indication de la fréquence



d'ouverture ou d'une régulation, orifices de ventilation, ventilation mécanique inter zones, mur Trombe.

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

Un éditeur de graphes facilement paramétrable permet l'analyse graphique des résultats et la comparaison des variantes. Une série d'indices est générée automatiquement après la simulation pour apprécier rapidement les performances du bâtiment. Ils permettent de mieux appréhender sur la période analysée les surchauffes (calcul de la moyenne de dépassement de température durant la période de surchauffe la plus importante), l'amplification (moyenne des pourcentages journaliers d'amplification de la température extérieure), le taux d'inconfort (pourcentage de temps durant lequel la température a été supérieure ou inférieure à certaines valeurs), les besoins énergétiques (somme des besoins nets de chauffage et de rafraîchissement) et le pourcentage de besoins nets de chauffage par rapport aux déperditions théoriques sans apports solaires ni apports internes. Tous les résultats (analyses, valeurs et courbes) peuvent être imprimés, récupérés par copier coller, ou bien enregistrés pour exportation dans d'autres logiciels comme Word ou Excel.

### 3.2.2. Fichier de donnée météorologique

Pour structurer le fichier de donnée rapidement ; on utilise **Météo** qui est un module utilitaire permettant de traiter des fichiers de données météorologiques sur les 8760 heures annuelles. Il comprend les fonctions suivantes : passage au format PLEIADES + COMFIE, visualisation des données en graphiques ou en tableau, vérification des données, avec contrôle de cohérence sur les valeurs ou les écarts aberrants, importation universelle à partir d'un fichier texte quel que soit son formatage initial, recopie de bloc de données, interpolation à partir de données tri horaires, calcul de l'ensoleillement diffus à partir du coefficient d'insolation ou de la nébulosité. Enfin différents algorithmes permettent de générer des

fichiers météorologiques annuels à pas horaire à partir de données mensuelles (moyenne mensuelle des températures journalière moyenne, minima et maxima et durée d'insolation), plus facilement disponibles que des fichiers horaires.

### 3.2.3. Traitement de fichier de donnéé

Pléiades + Comfie accepte un fichier de données météorologique de format TRY (Test Référence Years) ou SRY (Short Référence Years) avec une structure bien déterminée.

Le fichier **Nom.SRY** contient huit semaines, deux par saison, en total 1344 lignes, À chaque heure correspond une ligne du fichier. Par contre dans le fichier format **Nom.TRY** ; Les lignes sont écrites pour chaque heure selon le format spécifié ci-dessus, mais pour une période entière de l'année et non pour huit semaines. Cette période peut être plus courte que 52 semaines, mais elle doit être un nombre entier de semaines et commencer le premier janvier.

La période de simulation peut ne pas correspondre à la période du fichier climatique: la première et la dernière semaine sont demandées avant la simulation. Pendant les calculs météorologiques, il est nécessaire de calculer le rayonnement sur les plans inclinés pour l'ensemble du fichier climatique. Mais si ce fichier contient moins de 52 semaines, il faut bien sûr tenir compte de cette limite lors de la simulation.

Chaque colonne du fichier de donnée possède une caractéristique météorologique, comme le montre le tableau suivant :

Position	Quantité et unité	Format	Note
1	Identificateur	a3	1
2	Température extérieure sèche (0,1°C)	i4	2
3	Rayonnement global horizontal (J/cm2)	i4	2
4	Rayonnement diffus horizontal (J/cm2)	i4	2
5	Rayonnement direct normal (J/cm2)	i4	2.3
6	Durée d'ensoleillement (minutes)	i4	2.4
7	Humidité relative (%)	i3	2
8	Vitesse du vent (0.1 m/s)	i3	2.4
9	Mois	i2	
10	Jour	i2	
11	heure (1-24)	i2	

**Tableau 3.1: Format et unités dans un fichier climatique**

a3 signifie 3 lettres, i4 un entier de 4 chiffres, i2 de 2 chiffres...

(1) trois lettres indiquant la station, par exemple **Bec** pour **Bechar**.

(2) Les valeurs sont données pour l'heure précédente : la première heure contient une valeur moyenne entre 0h et 1h.

(3) Cette valeur est utilisée dans l'option SRY mais pas dans l'option TRY. Si elle est inconnue, la remplacer par 4 blancs.

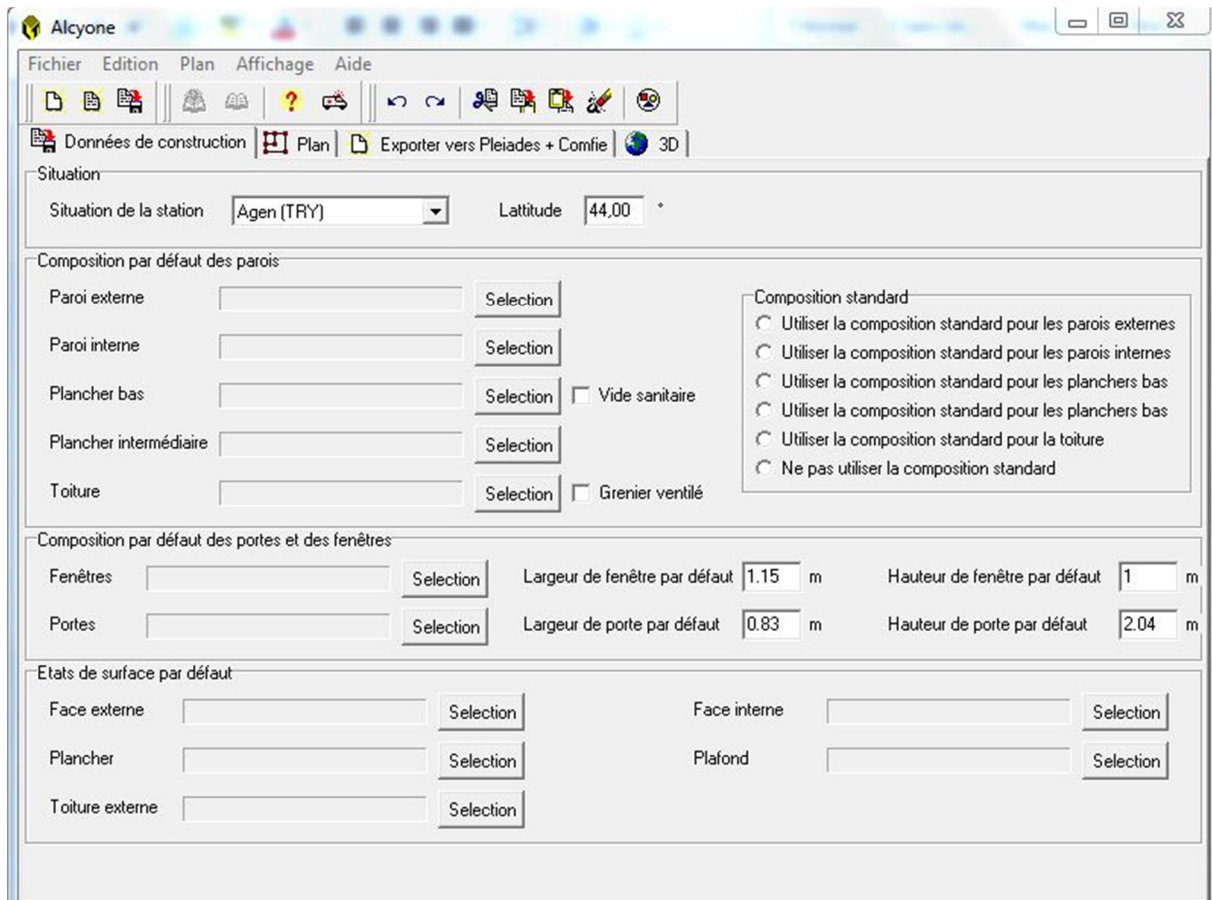
(4) Cette valeur n'est jamais utilisée dans comfie. Si elle n'est pas connue, la remplacer par le nombre de blancs correspondant au format.

#### 3.2.4. La saisie de bâtiment

PLEIADES + COMFIE a été enrichi de **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.

Une image scannée peut être insérée en fond d'écran pour faciliter la saisie, même dès la première esquisse.



**Figure 3.2: L'interface Alcyone.**

ALCYONE permet également de visualiser les projets en 3D avec diverses possibilités de représentation (zoom, vues par niveau, rotation, affichage des zones thermiques, etc.). Il est ainsi possible de contrôler facilement la cohérence de la saisie, mais aussi de visualiser une première esquisse.

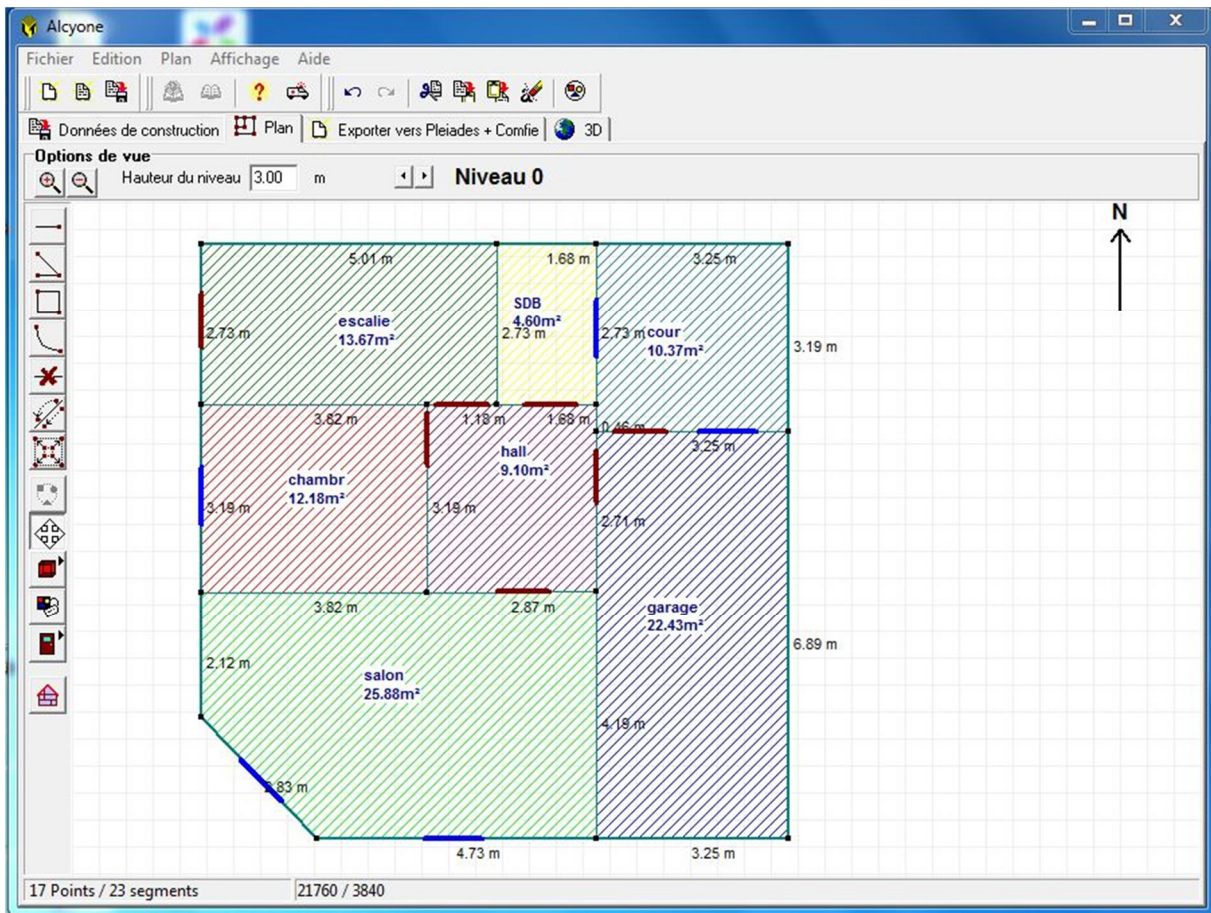


Figure 3.3: Plan tracé avec ALCYONE.

### 3.3. Description des systèmes constructifs sous PLEIADE+COMFIE

#### 3.3.1. 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.

##### 3.3.1.1. Murs extérieurs

La modélisation des murs extérieurs utilisée se fait comme suit :

Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R	
Enduit extérieur	M	2.0	34	1.15	0.02	Extérieur ↓ Intérieur
Brique creuse de 10 cm	E	10.0	69	0.48	0.21	
Polystyrène expansé	M	10.0	3	0.04	2.56	
Brique creuse de 10 cm	E	10.0	69	0.48	0.21	
Enduit plâtre	M	2.0	30	0.35	0.06	
Total		34.0	205		3.06	

Figure 3.4: Mur extérieur.

### 3.3.1.2. Murs intérieurs

La modélisation des murs intérieurs est la suivante :

Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R	
Enduit plâtre	M	1.5	23	0.35	0.04	Extérieur ↓ Intérieur
Brique creuse de 10 cm	E	10.0	69	0.48	0.21	
Plâtre gypse	M	1.5	18	0.42	0.04	
Total		13.0	110		0.29	

Figure 3.5: Mur intérieur.

### 3.3.1.3. Planchers

Les planchers sont modélisés de la manière suivante :

#### Planchers bas

Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R	
Panneau de particule bois	M	7.0	56	0.15	0.47	Extérieur ↓ Intérieur
Béton lourd	M	10.0	230	1.75	0.06	
Mortier	M	3.0	60	1.15	0.03	
Terre végétale	M	10.0	170	1.26	0.08	
Total		30.0	516		0.64	

Figure 3.6: Planchers bas.



## Toiture

La toiture est modélisée de la manière suivante :


Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R	
Feutre bitumeux	M	2.0	34	0.50	0.04	<div style="text-align: center;"> <b>Extérieur</b>    <b>Intérieur</b> </div>
Polystyrène expansé	M	5.0	1	0.04	1.28	
Béton lourd	M	4.0	92	1.75	0.02	
Hourdis de 16 en béton	E	16.0	208	1.23	0.13	
Enduit plâtre	M	2.0	30	0.35	0.06	
<b>Total</b>		<b>29.0</b>	<b>365</b>		<b>1.53</b>	

Figure 3.7: Toiture.

### 3.4. 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.

#### 3.4.1. 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+salone» une zone «cuisine », une zone «salle de bain + toilette », une zone « hall + escaliers ».

#### 3.4.2. 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 2 scenarios différents :

- ❖ scenario de 5 personnes dans la zone : chambres + Salone.

- ❖ scénario d'une personne dans les zones : couloir, escaliers, cuisine, salle de bain +wc.

### 3.4.3. 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 Salone +chambre :

- ❖ 3 lampes (33 watts pour chaque espace) ;(7h-8h),(19h-24h).
- ❖ TV+ demodulators (100 watt+100 watt) ;(9h-13h), (15h-23h)
- ❖ pc (100 watt) ;(19h-22h).

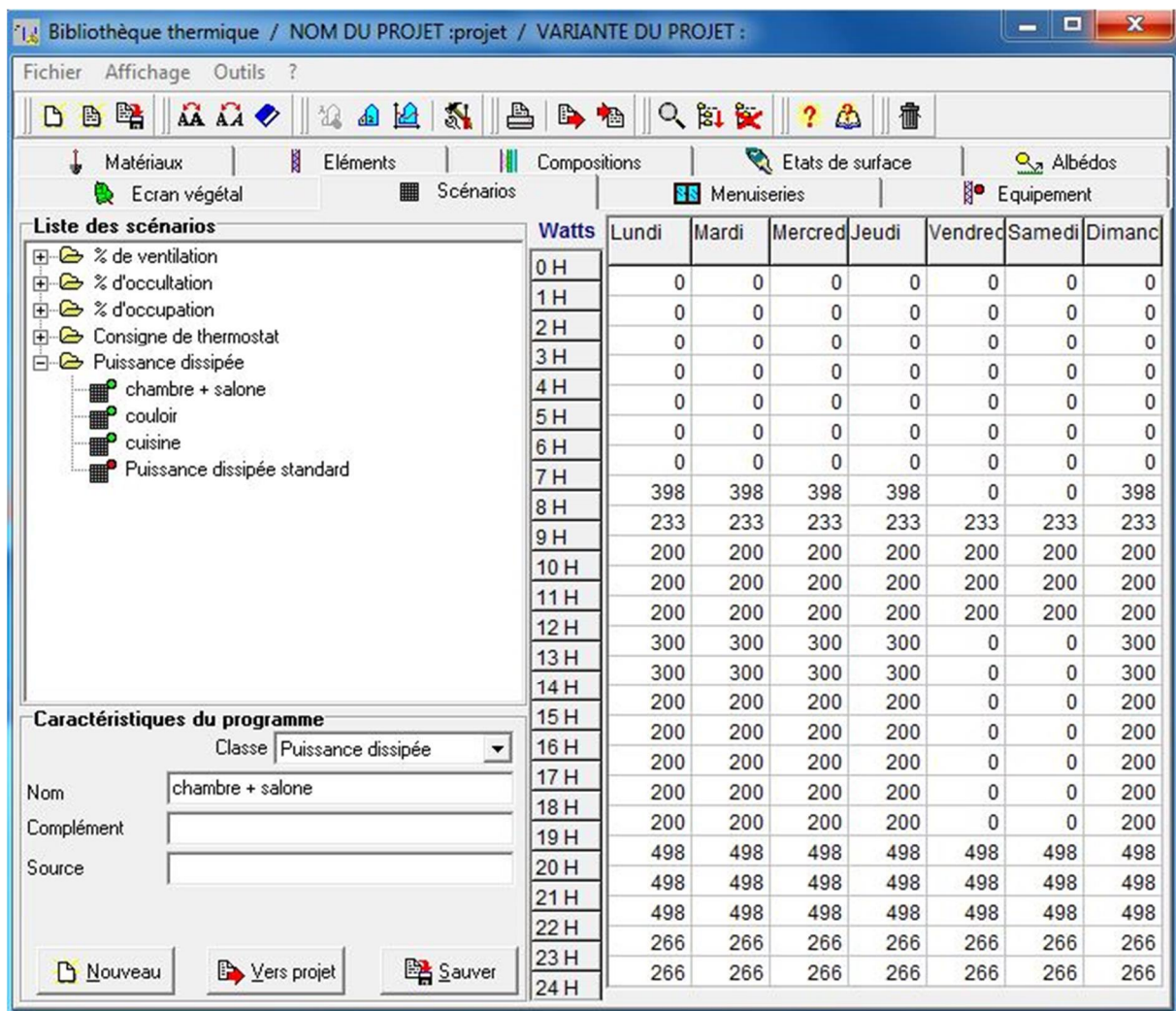


Figure 3.8: Scénario puissance dissipée du salon + chambre.



**Pour la salle de bane +wc :**

- ❖ 3 lampes (33 watt pour chaque une) ;(17h-7h).

**Pour les escaliers :**

- ❖ 2 lampes (33 watt) ;(18h-7h).

**Pour la cuisine :**

- ❖ Lampe (33 watt) ;(7h-8h),(18h-22h).
- ❖ Réfrigérateur (70 watt) ;(24h).
- ❖ Four a gas (300 watt) ;(7h-8h),(10h-12h),(18h-20h).

**Pour le couloir :**

- ❖ 4 lampe (33 watt),(18h-22h).
- ❖ machine à lavée (200 watt) le weekend de (9h -12h).

**3.4.4. 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 fenêtres 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.

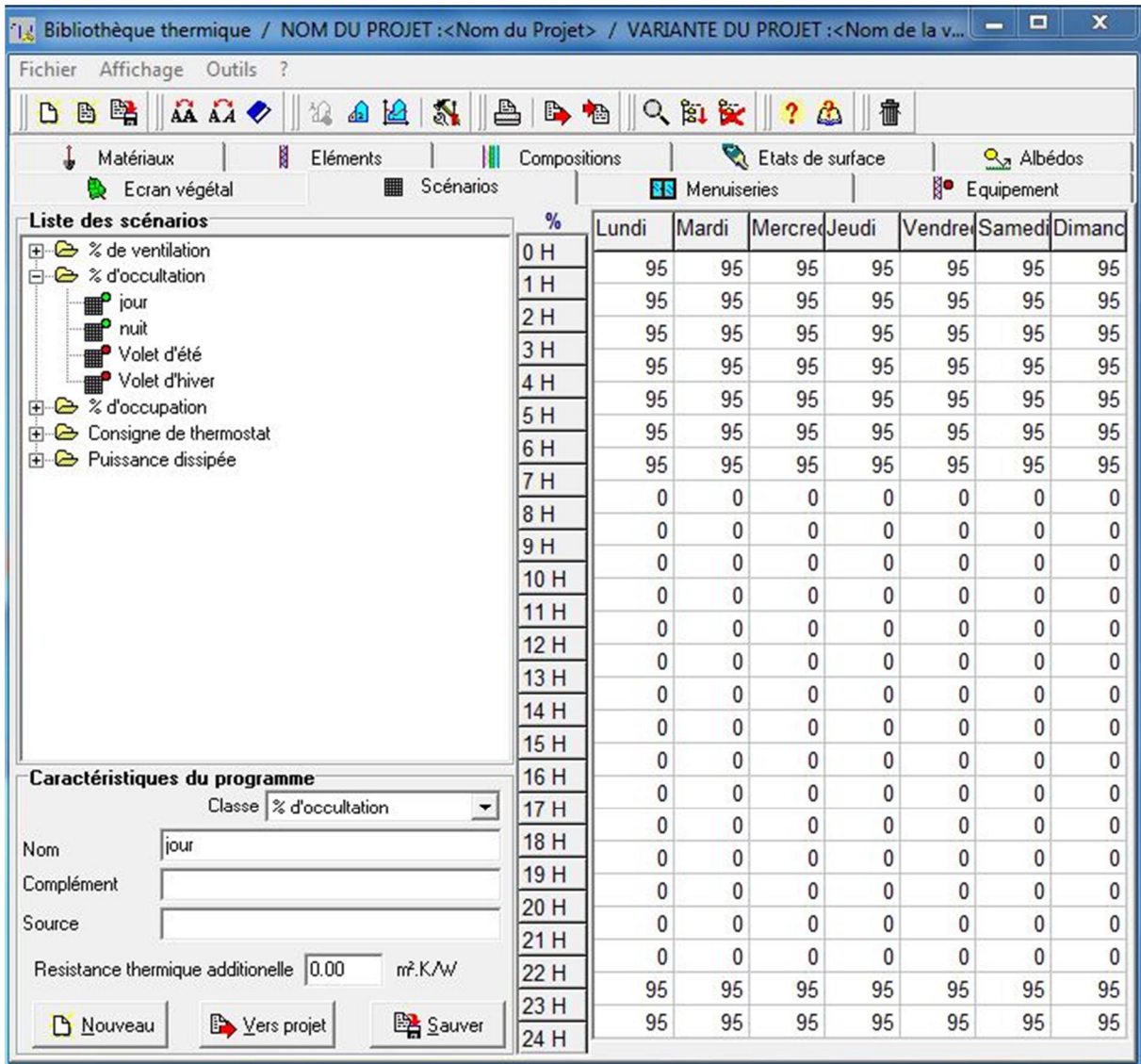


Figure 3.9: Scenario occultation (volet jour).

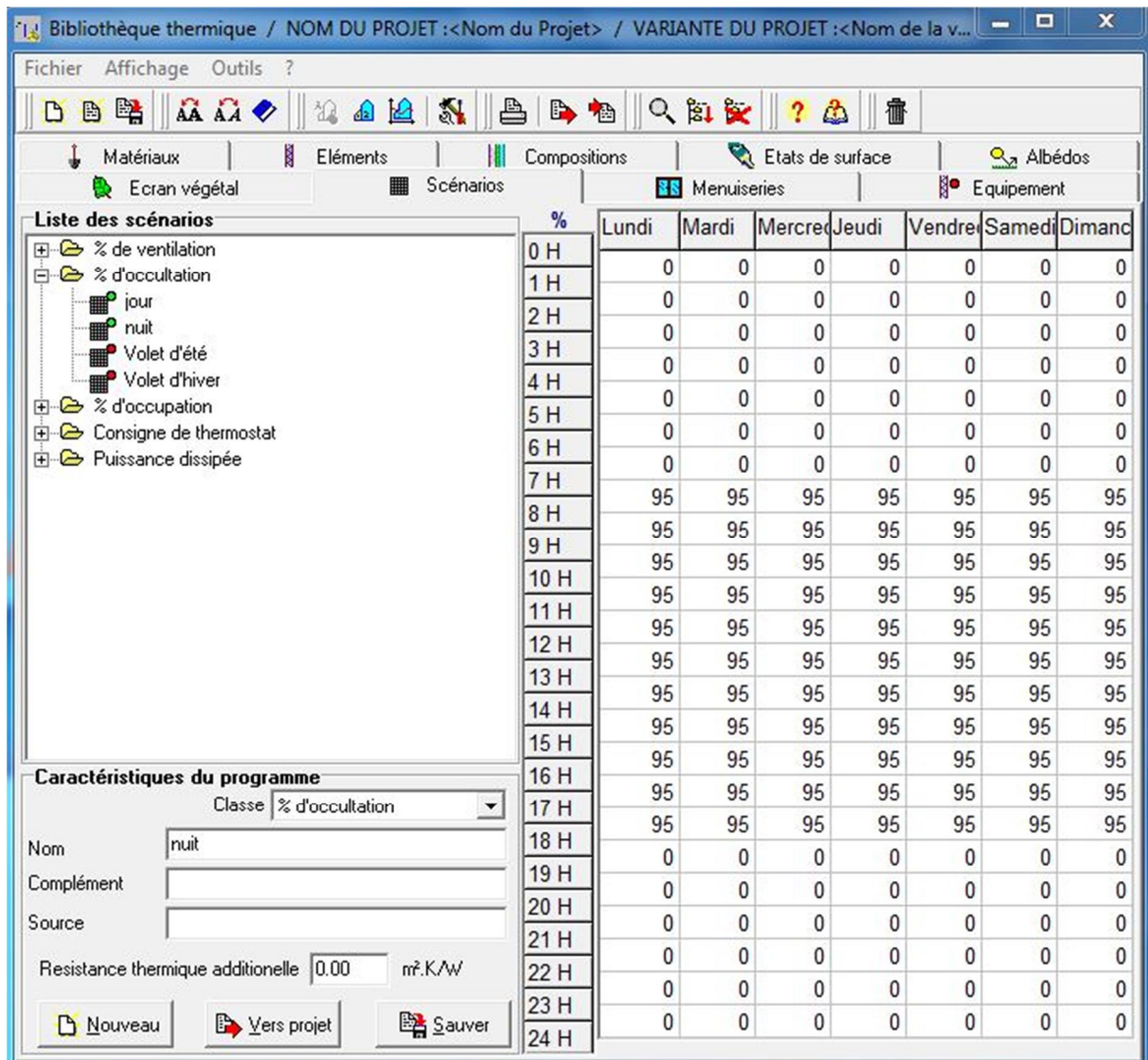


Figure 3.10: Scenario occultation (volet nuit).

### 3.4.5. 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 réalisé grâce au scénario de ventilation,

Deux types de ventilation ont été distingués pour cette étude, une ventilation pour l'hiver et une autre ventilation pour l'été.

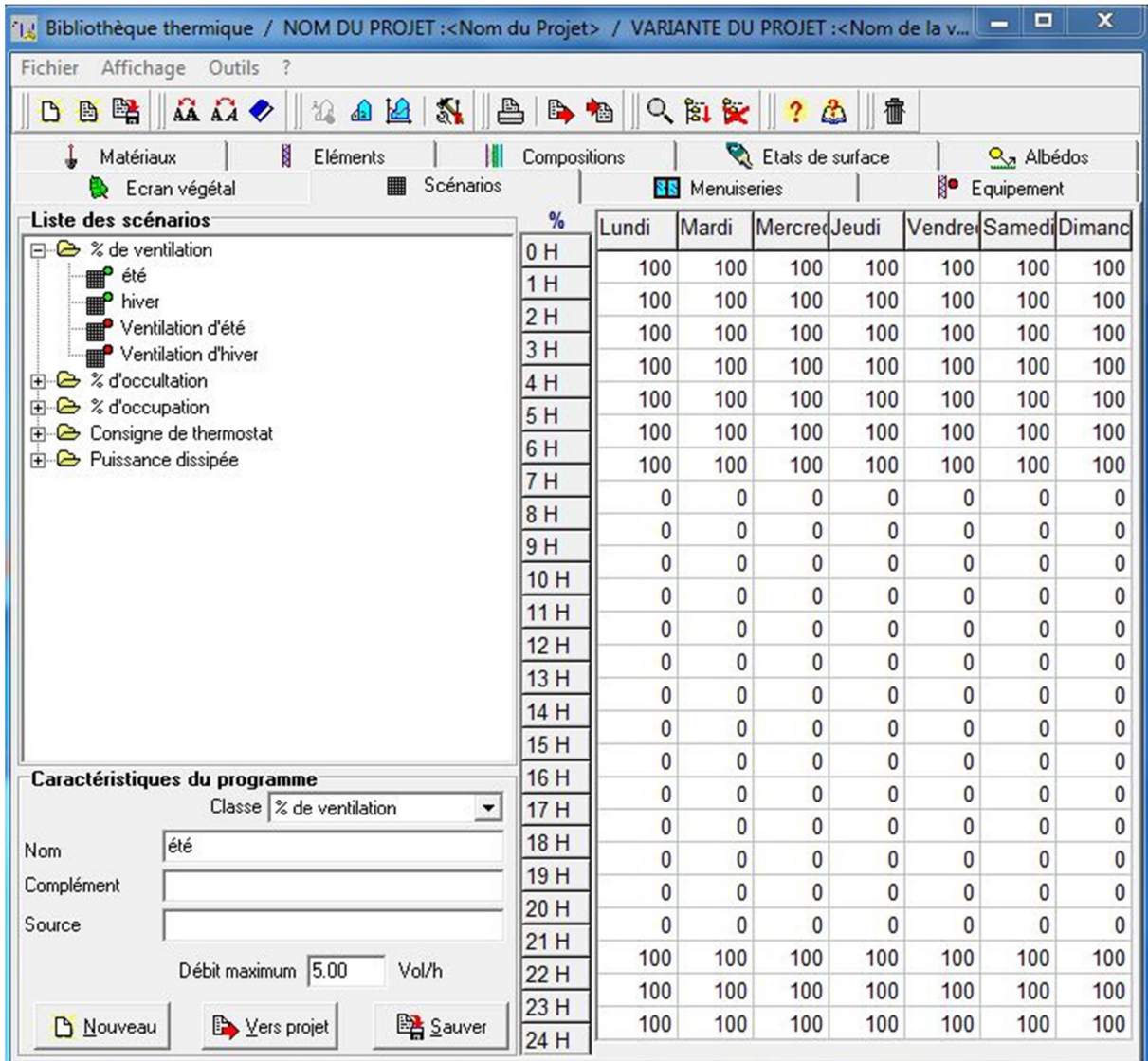


Figure 3.11: Scenario de ventilation été.



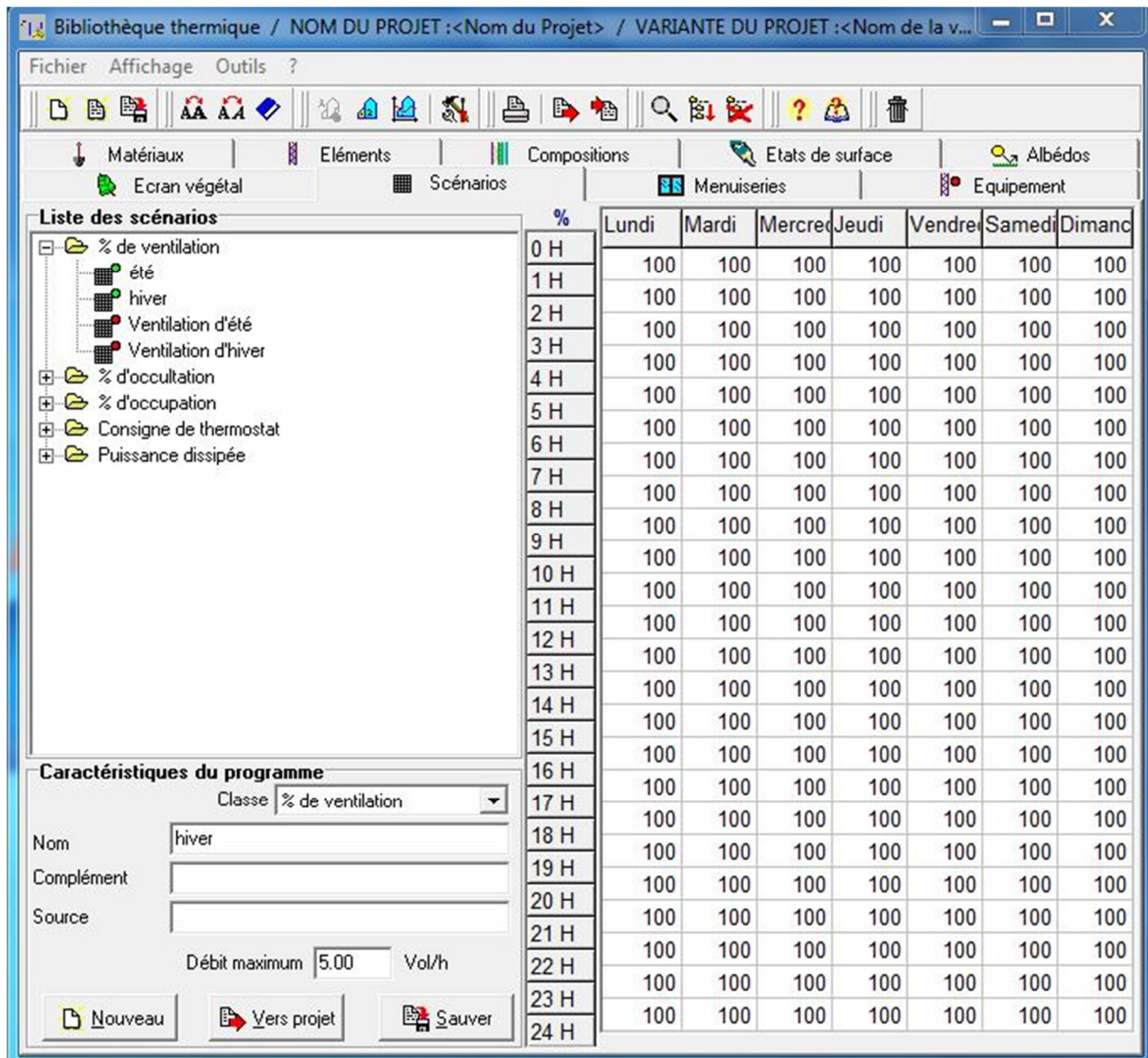


Figure 3.12: Scenario de ventilation hiver.

En ce qui concerne la ventilation, en hiver une ventilation mécanique contrôlée (VMC) peut être réglée à 0,6 volume/heure. En été, la ventilation naturelle se situe entre 1 volume/heure (fenêtre entrebâillée) et 6 vol/h (fenêtres ouvertes) ou même 10 à 20 vol/h (courant d'air). Pour de forts débits, la valeur tend à perdre de son influence: pour 10 ou 20 vol/h, le local est quasiment à la température extérieure. Dans notre cas, le débit est réglé à 5 volume/ heure (fenêtre entrebâillée).

### 3.4.6. 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°.

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

Figure 3.13: Scenario de thermostat (chauffage Bechar).

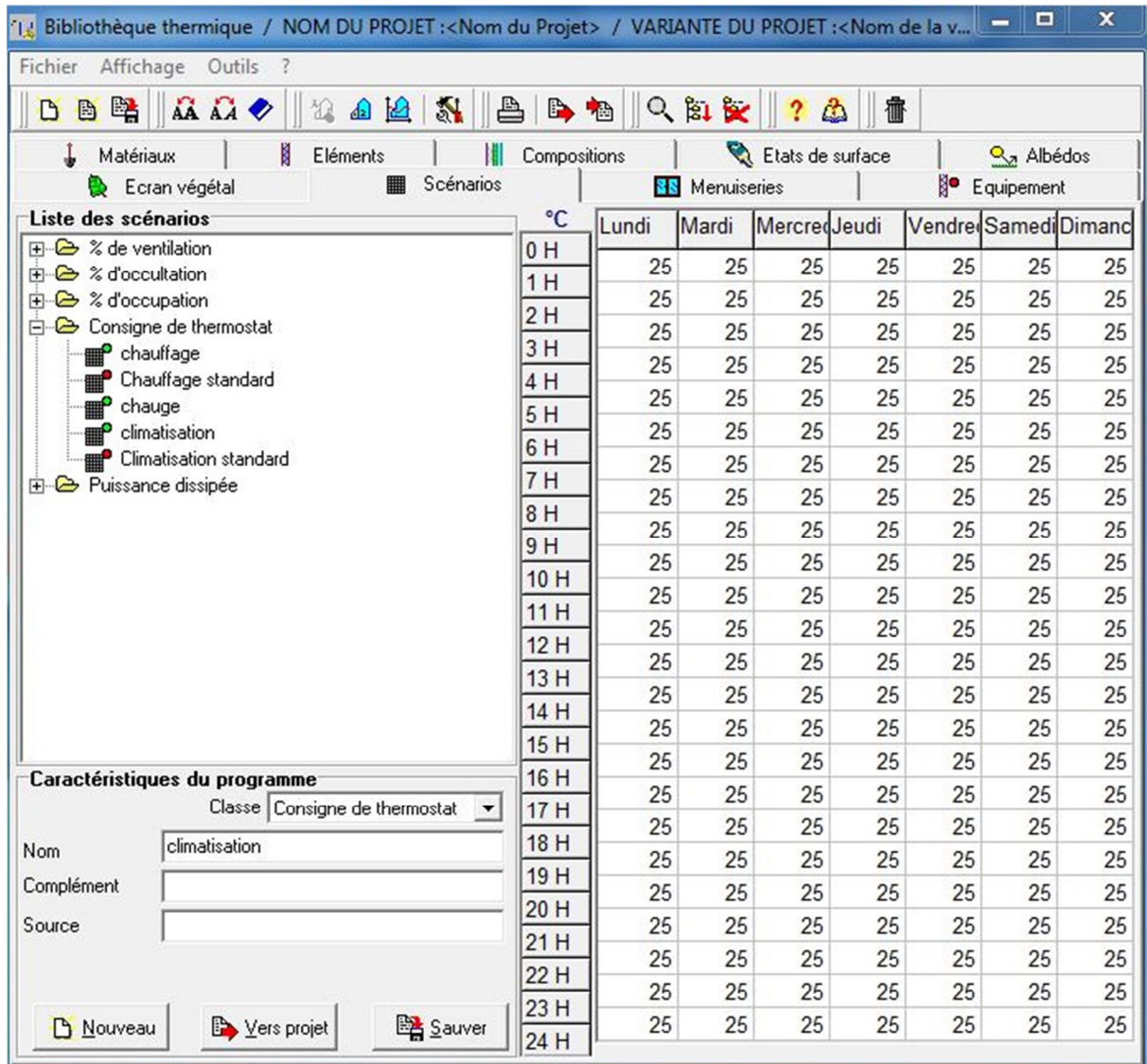


Figure 3.14: Scenario de thermostat (climatisation Bechar).

### 3.5. 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, depuis les premières esquisses jusqu'aux étapes les plus avancées du projet. Le logiciel est chaîné à EQUER, permettant d'évaluer les impacts environnementaux par analyse de cycle de vie. Cette double approche, à la fois précise sur la maîtrise des ambiances et à large spectre sur l'environnement permet de choisir entre différentes options avec une meilleure connaissance du comportement interne d'un bâtiment et de son impact environnemental global.



## **4. Introduction**

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

Dans cette profession, nous avons commencé une étude énergétique d'un logement individuel type F3, Rez-de-chaussée pour réaliser un confort thermique adéquat.

Le logement est devisé par quatre zones thermiques, à savoir, zone «chambres + Salone» zone «cuisine» zone «salle de bain + toilette» et zone «couloire + escaliers»

La simulation est effectuée avec le logiciel «Pleiades + Comfie» outil de simulation dynamique développé par le Centre d'Énergie, de l'École des Mines de Paris.

Lorsque l'on utilise le logiciel «Pleiades + 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.

### **4.1. Simulation hivernale**

#### **❖ Sans cosigne de thermostat**

Dans cette étapes de modélisation, deux simulations ont été et loutre dans hiver. Dont le but est de comparer l'évolution de la température et les besoin de chauffages et climatisation.

#### **4.1.1. Simulation hivernale orientation aux Nord**

##### **Scenarios de fonctionnement intégrés**

- ❖ Scenario d'occupation.
- ❖ Scenario de ventilation
- ❖ Scenario de puissance dissipée.
- ❖ Scenario d'occultation.

#### **4.1.2 : Résultats de simulation**

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



Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
salone+chambre	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	7.47 °C	18.13 °C	27.98 °C
garage+escalie	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	7.36 °C	16.50 °C	25.97 °C
couloire	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	7.22 °C	17.03 °C	26.27 °C
cuisine	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	7.34 °C	15.96 °C	25.37 °C
sdb+wc	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	7.18 °C	16.25 °C	25.53 °C
Total	0 kWh	0 kWh	0 W	0 W			

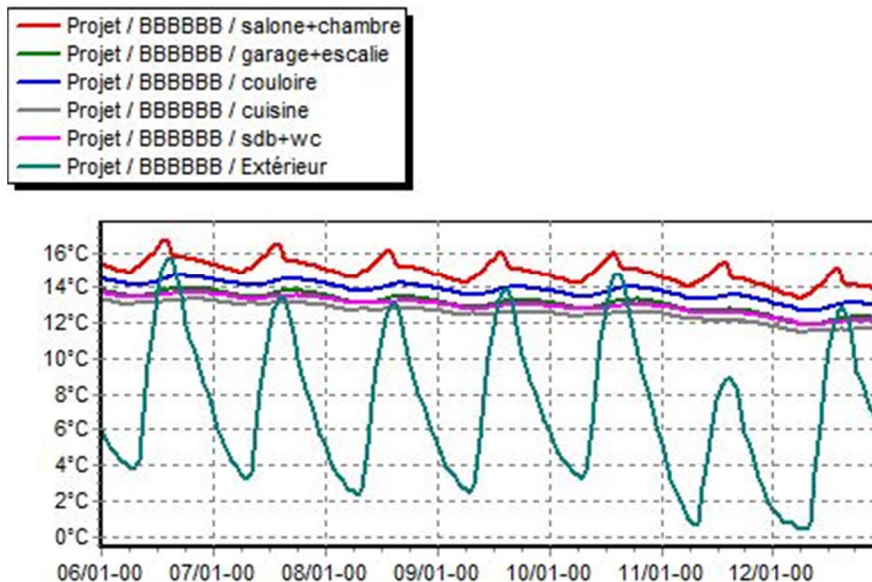
  

Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surcha	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne
salone+chambre	0.00 kWh/m3	4.46 (1/10°C)	15.65 %	0.00 %	0.00 %
garage+escalie	0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	5.90 %	0.00 %	0.00 %
couloire	0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	5.81 %	0.00 %	0.00 %
cuisine	0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	4.43 %	0.00 %	0.00 %
sdb+wc	0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	4.34 %	0.00 %	0.00 %

**Tableau 4.1 :** tableau des résultats

### Visualisation graphique :

Après simulation, on obtient le graphe suivant pour la semaine la plus froide de l'année (7-13 janvier) :



**Figure 4.1 :** Evolution de température en hiver (semaine la plus froide).

## Synthèse :

D'après les résultats obtenus à la saison, ou nous étions lions de la température de confort, les températures hivernales sont supérieures aux températures extérieures et sont proches des températures de 16°C.

### ❖ Avec consigne de thermostat

Après simulation on obtient les résultats suivants :

Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
salone+chambre	288 kWh	0 kWh	1115 W	-0 W	20.00 °C	22.06 °C	30.40 °C
garage+escalie	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	11.03 °C	18.39 °C	27.18 °C
couloire	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	12.79 °C	19.56 °C	27.87 °C
cuisine	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	7.68 °C	17.28 °C	26.23 °C
sdb+wc	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	7.79 °C	17.94 °C	26.63 °C
<b>Total</b>	<b>288 kWh</b>	<b>0 kWh</b>	<b>1115 W</b>	<b>0 W</b>			

Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surcha	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne
salone+chambre	2.16 kWh/m3	11.61 (1/10°C)	9.38 %	9.80 %	15.65 %
garage+escalie	0.00 kWh/m3	1.44 (1/10°C)	5.52 %	0.00 %	0.00 %
couloire	0.00 kWh/m3	3.76 (1/10°C)	4.81 %	0.00 %	0.00 %
cuisine	0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	4.53 %	0.00 %	0.00 %
sdb+wc	0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	4.37 %	0.00 %	0.00 %

**Tableau 4.2 :** tableau des résultats

## Visualisation graphique :

Après simulation, on obtient le graphe suivant pour la semaine la plus froide de l'année (7-13 janvier) :

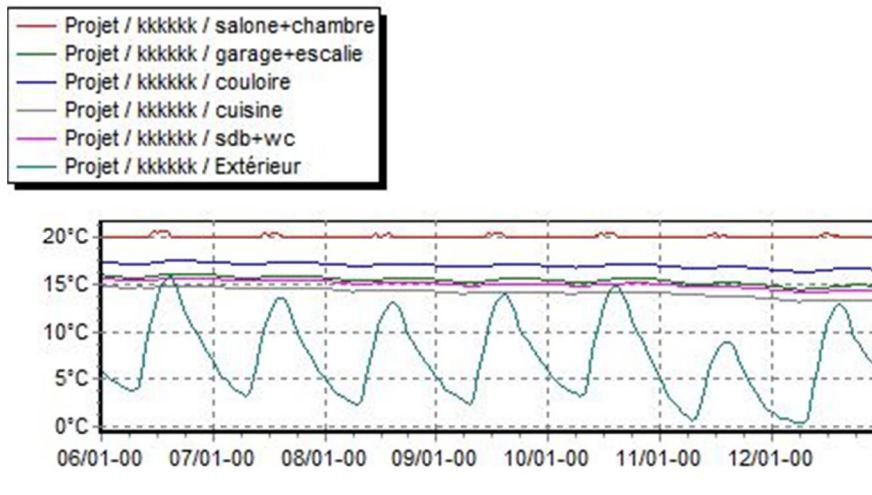


Figure 4.2 : Evolution de température en hiver (semaine le plus froide).

**Synthèse :**

D’après la visualisation graphique, on constate, que malgré que les températures à l’intérieur du logement sont plus importantes par rapport à celles de l’extérieur, mais le confort n’a pas été assuré, car les températures dans le logement sont comprises entre 15° et 20°. on propose pour la simulation suivante que logement soit oriente vers le sud et dans ce cas- là, le salon va être oriente vers le sud et la cuisine vers le nord.

**4.2. Simulation estivale orientation aux nord**

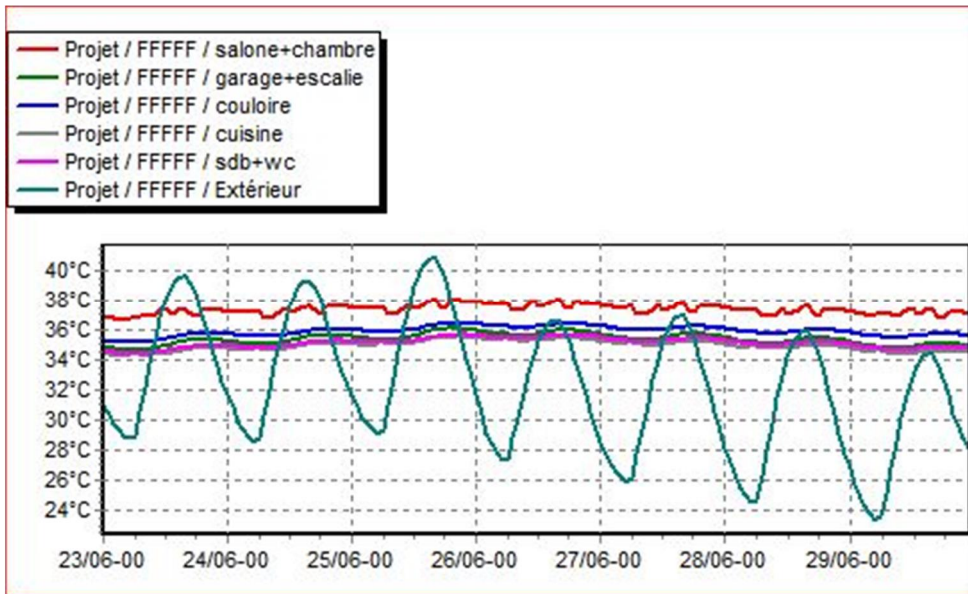
❖ sans cosigne de thermostat

Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
salone+chambre	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	27.13 °C	38.10 °C	41.71 °C
garage+escalie	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	26.56 °C	36.01 °C	39.56 °C
couloire	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	26.76 °C	36.60 °C	40.06 °C
cuisine	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	26.60 °C	35.51 °C	38.96 °C
sdb+wc	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	26.70 °C	35.75 °C	39.20 °C
Total	0 kWh	0 kWh	0 W	0 W			
Zones	Besoins Chaud+Frd	Moyenne Surchaul	Amplification de T°	Taux d'inconfort	Part de besoin nets		
salone+chambre	0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	7.53 %	100.00 %	0.00 %		
garage+escalie	0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	5.08 %	0.00 %	0.00 %		
couloire	0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	4.05 %	0.00 %	0.00 %		
cuisine	0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	3.86 %	0.00 %	0.00 %		
sdb+wc	0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	3.77 %	0.00 %	0.00 %		

Tableau 4.3 : tableau des résultats

**Visualisation graphique :**

Après simulations on obtient le graphe suivant pour la semaine la plus chaude de l'année (23-29).



**Figure 4.3 :** évolutions de température en été (semaine le plus chaude)

**Remarque :**

D'après les résultats obtenus les températures des différentes zones restent rapprochés, les variations externes et sont inférieures aux températures extérieures. Elles varient entre 22 et 42°C.

**4.3 Simulation estivale orientation nord**

La simulation avec consigne thermostat chauffage, nous permet d'étudier l'évolution de la température, ainsi que 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.

❖ **Avec consigne de thermostats**

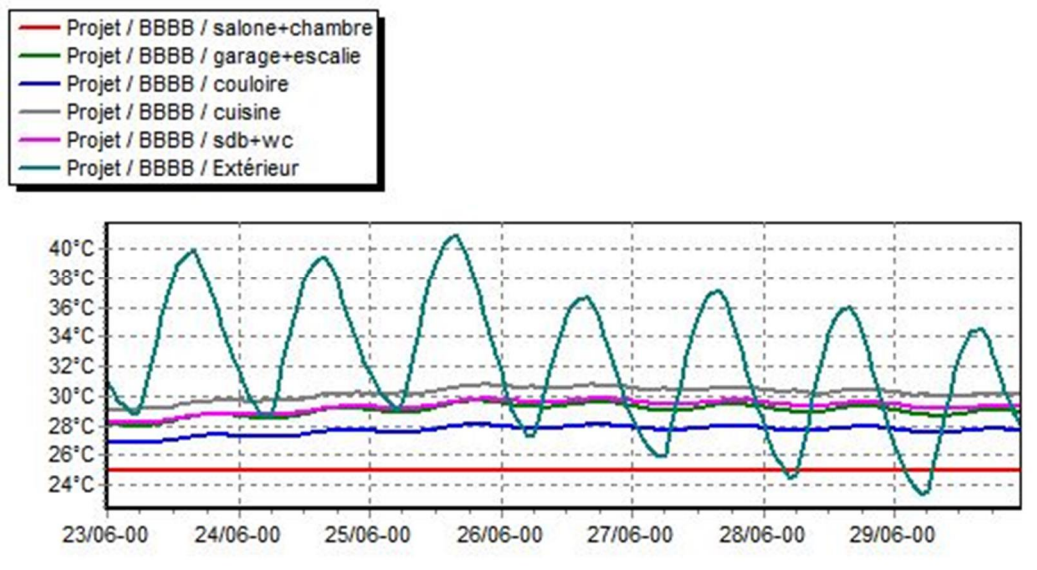


Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
salone+chambre	0 kWh	2470 kWh	0 W	1848 W	-26.32 °C	23.53 °C	25.00 °C
garage+escalie	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	7.90 °C	28.84 °C	32.04 °C
couloire	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	-1.24 °C	27.08 °C	29.81 °C
cuisine	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	20.11 °C	30.54 °C	33.70 °C
sdb+wc	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	15.49 °C	29.39 °C	32.42 °C
Total	0 kWh	2470 kWh	0 W	1848 W			

Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surcha	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne
salone+chambre	18.54 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	4.01 %	0.00 %	0.00 %
garage+escalie	0.00 kWh/m3	31.23 (1/10°C)	5.62 %	0.00 %	0.00 %
couloire	0.00 kWh/m3	16.67 (1/10°C)	4.89 %	0.00 %	0.00 %
cuisine	0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	4.14 %	0.00 %	0.00 %
sdb+wc	0.00 kWh/m3	34.10 (1/10°C)	4.49 %	0.00 %	0.00 %

**Tableau 4.4 :** tableau des résultats



**Figure 4.4 :** évolutions de température en été (semaine le plus chaude)

**Remarque :**

D'après les résultats obtenus, et après intégration de la consigne de thermostat les températures ont augmentés et le confort est atteint par rapport aux cas précédents, est qui a été assure par une puissance de climatisation de 1848 W, pour les besoins en climatisation sont estimes a 2470 kWh /an d'one moyenne de 25.29 kWh/m2 /an.

Selon les résultats obtenus, on constate que la puissance de chauffage afin d'atteindre le confort à l'intérieur du logement est très importante de même pour les besoins en chauffage.

### 4.3 Conclusion

D'un point de vue personnel, cette étude a permis d'appliquer une phase très importante dans la démarche d'un projet ; c'est l'étude énergétique ou thermique d'un modèle virtuel et découvrir l'impact des facteurs internes et externes, ainsi les corrections des erreurs au cours de la réalisation.

### 4.4 Conclusion général

Dans les dernières années ; la diminution de consommation des énergies fossiles dans le secteur des bâtiments est l'un des défis majeurs pour les chercheurs et les concepteurs architecturaux.

Plusieurs projets ont été lancés à travers le monde utilisant des concepts bien définis pour construire des bâtiments performants tels que les maisons passives, Le travail que nous avons entrepris a porté sur « l'étude de l'efficacité énergétique des bâtiments HPE situés dans la ville de Bechar » ; on a supposé dans un premier lieu, que les logements n'utilisent aucun système de chauffage ou de climatisation ; on appelle ce concept : « maison passive » (passivas en Allemagne). Le projet a été réalisé à la ville de Bechar, qui est caractérisée par de longues périodes de surchauffe où l'inconfort est fortement ressenti, deux saisons principales (été et hiver). Avec une forte insolation dépassant les 3500 h/an, et un intense rayonnement solaire direct qui peut atteindre 800 W/m<sup>2</sup> sur un plan horizontal. En été, la température dépasse facilement les 40 °C à l'ombre, et l'humidité relative reste faible autour de 27 %.

Par ailleurs, en hiver la température extérieure peut descendre à -5 °C la nuit avec des précipitations rares et irrégulières. En plus de ces caractéristiques défavorables, on assiste pendant les demi-saisons à de violents vents de sables qui peuvent atteindre 100 km/h de l'analyse climatique de la ville de Béchar, il apparaît, que la plus grande partie de l'année présente des conditions de vie inconfortables: un été long, chaud et sec, un hiver modéré par moments.

La simulation numérique a été réalisée à l'aide du logiciel Pléiades + Comfie qui utilise comme données d'entrée un fichier comportant les caractéristiques météorologiques du site durant toute l'année (fichier format TRY), plus un modèle virtuel du logement 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.

Deux simulations ont été réalisées pour la période d'hiver et l'autre pour l'été ; on a pris en considération que l'enveloppe de logement et la ventilation naturelle.

La troisième simulation a permis de déterminer les besoins de chauffage et de climatisation du logement, la consigne de thermostat a été réglé pour le chauffage à 20°C et pour la climatisation à 24°C ; et pour rester dans la norme « maison passive », on propose l'utilisation des installation des systèmes et des techniques de refroidissement passif qui aident à réduire les températures internes pour atteindre des ambiances confortables.

Cette étude a permis d'atteindre les objectifs suivant :

- ✓ Présenter et définir les nouvelles techniques de la réalisation des bâtiments performants et efficaces aux personnes concernés ;
- ✓ Donner un aperçu sur la bonne utilisation de l'énergie dans les bâtiments ;
- ✓ Induction sur le bon usage de l'énergie, les énergies renouvelables en particulier ;
- ✓ Utilisation des nouveaux concepts de construction; tels que bâtiment à haute performance énergétique (en particulier « maison passive ») ;
- ✓ A percevoir l'influence du climat extérieure sur le confort thermique dans les logements surtout dans les zones arides et la fluctuation qui est à la base de l'inconfort.
- ✓ La mise en main du logiciel de simulation dynamique ; qui offre la possibilité d'effectuer des calculs qui seraient longs, complexes, fastidieux et répétitifs.
- ✓ Analyser un projet ou d'envisager une réhabilitation dans une démarche complète d'analyse thermique, depuis les premières esquisses jusqu'aux étapes les plus avancées du projet.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

1. Réalisation d'Équipements Publics, des Livraisons en Forte Hausse, revue de l'Habitat, N°3, pp. 34 - 35, Mars 2009.
2. L. Houidef, *Le Programme Eco-Bat, Réalisation de 600 Logements à Haute Performance Énergétique*, Présentation Apre, Novembre 2009.
3. Stéphane thiers ; « Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive » ; Thèse Doctorat Spécialité «Énergétique» ; 2008 ; école nationale supérieure des mines de Paris.
4. Claude ALAIN ROULET, Arnaud DAURIAT ; « Energies des Bâtiments » ; édition du cours 2008 ;
5. [BOUAMAMA W., 2013] Au sujet de la politique d'efficacité énergétique en Algérie : approche systémique pour un développement durable cas de programme ECO-BAT, 2013.
6. [Bougrain, 2003]  
BOUGRAIN Frédéric, CARASSUS Jean, Bâtiment : de l'innovation de produit à l'innovation de service, rapport « Innover Ensemble », Editeur PUCA, avril 2003, 63p.
7. [Certivéa, 2006]  
Référentiel Technique de Certification Bâtiments Tertiaires ó Démarche HQE Bureau ó Enseignement Août 2006, Mise en application : 25/09/2006.
8. [Certivéa, 2008] Guide pratique du Référentiel pour la qualité environnementale des bâtiments tertiaires ó bureau /enseignement, décembre 2008.
9. [CERTU, 2003]  
CERTU, Mémoire technique du bâtiment, confort technique, Edition 2003.
10. [Chêne, 2011] Chêne F. et Legrand C., Développement durable et haute qualité environnementale, Voiron : Territorial éd., impr. 2011.
11. Document Technique, *Atlas Climatologique National*, Office National de la Météorologie, Recueil de Données 1995, Station de Béchar.
12. [CNRTL, 2011]  
Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales [En ligne], ATILF/ CNRS ó Nancy Université, Informations lexicales issues du site Internet [www.cnrtl.fr](http://www.cnrtl.fr)  
DJERROUFI Mohammed El Amin 89
13. [De Béthencourt, et al., 2013] Efficacité énergétique : un gisement d'économies ; un objectif prioritaire. Paris : Les éditions des journaux officiels, 2013.« Document Techniques Réglementaire (DTR C3-2, DTR C3-4) » ; CNERIB.



## Site web

**[14. www.aprue.com](http://www.aprue.com)**

**[15. www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)**

**[16. www.google/map.com](http://www.google/map.com)**