

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université Saad Dahleb Blida -1-
Institut d'architecture et d'urbanisme



MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

En architecture

OPTION

Architecture et efficacité énergétique

THEME:

**AMÉLIORATION DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE D'UN BATIMENT
A L'AIDE D'UN LOGICIEL DE SIMULATION**

Présenté par:

ASSAD Sarra

devant le jury composé de :

M. Semmar.D.....Président
M. Okassi.S.....Examinatrice
M.Hamid.A Professeur à Université de Blida1 Promoteur

2016-2017

Le présent travail a été effectué à l'université de SAAD DAHLAB de Blida, Département d'architecture.

Un grand merci au bon Dieu de m'avoir guidé vers le bon chemin de la lumière et du savoir.

Je tiens à remercier vivement mon promoteur; PR HAMID ABDELKADER, professeur à l'université de SAAD DAHLAB Blida.

J'exprime ma reconnaissance à tous les membres de jury d'avoir accepté de lire ce manuscrit et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme finale de cette thèse.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à mon mari qui m'as toujours soutenu aussi mes parents pour leur sacrifice et soutien inestimables durant toutes ma vie.

Enfin, mes remerciements vont aussi à tous mes collègues de master, comme je remercie tous ceux qui ont aidés de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce travail à mes très chers parents, votre courage, vos sacrifices ont été pour moi le meilleur soutien durant ce long parcours, veuillez trouver dans ce travail une grande reconnaissance pour ce que vous avez entrepris à mon égard, et un fruit de toutes vos prières et vos efforts.

A mon cher et honorable mari.

A mes chères sœurs.

A tous mes amis.

A tous mes collègues.

ABSTRACT:

We attend in Algeria a realization multiple and intense of projects of tertiary buildings, which are unfortunately subjected to no lawful requirement on the thermal and energy level, the parameters of design are of a nature functional and architectural and the energy dimension of the project is not always regarded as significant, which leads to buildings noncomfortable and énergivores.

The objective of this work is to contribute to the improvement of the energy efficiency of the tertiary buildings, by studying the influence of the envelope of the building on its energy demand.

bioclimatic architecture is the solution which answers the problem of overconsumption of energy in the buildings, to conceive with the bioclimatic concept makes it possible to reduce the total energy need of a building subjected to the local weather data.

L'architecture bioclimatique est la solution qui répond au problème de surconsommation de l'énergie dans les bâtiments, concevoir avec le concept bioclimatique permet de réduire le besoin énergétique total d'un bâtiment soumis aux données météorologiques locales.

The methodology of this work concerns the digital methods using dynamic thermal simulation using the software of simulation PLEIADE+COMFIE.

The result of simulation showed that combination of passive measurements of energy efficiency, namely: powerful insulation, the use of the double glazing, screening, night ventilation; allows to save 79.53% from air conditioning and 95.24% of heating.

Keywords: Energy efficiency, Energy need, Simulation, energy performance, energy consumption, thermal comfort, bioclimatic architecture.

LISTES DES FIGURES ET TABLEAUX

CHAPITRE I: GENERALITE ET ETAT DE L'ART

Tableau I-01: Evolution du TCAM (taux de croissance annuel moyen) de la Consommation d'Énergie par Secteur ,Période : 2000-2013.....	07
Tableau I-02: Valeurs de référence de température de l'air.....	12
Tableau I.03: Les caractéristiques des principaux matériaux isolants.....;	36

CHAPITRE II: PRESENTATION DU CAS D'ETUDE

Tableau II-01: Composition des parois et propriétés thermiques des matériaux de constructions.....	49
Tableau II-02: Données d'irradiation solaire de la ville de Tiaret.....	53

CHAPITRE I: GENERALITE ET ETAT DE L'ART

Figure I-01: chaîne énergétique.....	06
Figure I-02: Consommation énergétique dans différents secteurs économiques.....	07
Figure I-03: Répartition de la consommation d'énergie de la nationale par secteur.....	08
Figure I-04: Répartition de la consommation du secteur résidentiel par types d'énergie...08	
Figure I-05: Répartition de la consommation du secteur tertiaire par types d'énergie.....	08
Figure I-06: Valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires.....	13
Figure I-07: L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement.....	15
Figure I-08: Schéma du transfert de chaleur conductive.....	15
Figure I-09: Equation et schématisation du flux de chaleur dans un mur multicouches....	16
Figure I-10: Principe d'implantation d'un édifice.....	20
Figure I-11: Impact de la forme, la taille et la proximité d'autres volumes sur la compacité de formes simples.....	21
Figure I-12: Principe du zonage thermique.....	22
Figure I-13: Forme optimale par rapport au rayonnement solaire.....	23
Figure I.14 Variation des besoins annuels de chauffage d'une habitation en fonction de l'orientation et de la proportion de surface vitrée.....	24
figure I.15: différents typologies de protection fixe.....	25
figure I.16: différents dispositifs de protections extérieures mobiles.....	26
figure I.17: La végétation à feuillage caduc comme protection solaire.....	26
figure I.18: Facteur solaire d'un simple vitrage.....	27
figure I.19: Ventilation traversante	27
figure I.20: Ventilation unilatérale.....	28
Figure I.21: Aération par tirage thermique.....	28
Figure I.22: fonctionnement de la tour à vent le jour et la nuit.....	28
Figure I.23: le système de cheminée solaire	29
Figure I.24: Flux de chaleur à travers une paroi d'un local chauffé vers l'extérieur	29
Figure I.25: Les facteurs énergétiques.....	31
Figure I.26: Réaction d'un local à inertie forte et d'un local à inertie faible en présence d'apports solaires.....	32
Figure I.27: Répartition moyenne des déperditions dans une maison individuelle neuve..	33
Figure I.28: Les isolants en laine de verre.....	35
Figure I.29: Polystyrène expansé.....	35
Figure I.30: Les isolants en chanvre	36
Figure I.31 : avantage de l'isolation par l'extérieur	37
Figure I.32: Stratégie du chaud.....	38
Figure I.33: Stratégie du froid.....	39
Figure I-34: évolution des consommations réglementaires	41

CHAPITRE II: PRESENTATION DU CAS D'ETUDE

Figure II-01: Photo aérienne	45
Figure II-02: image 3D de l'agence commerciale (cas d'étude).....	45
Figure II-03: Plan de masse	46
Figure II-04: Plan de RDC	46
Figure II-05: Plan du 1 ^{er} et 2 ^{ème} étage.....	47
Figure II-06: Façade principale.....	47
Figure II-07: Façade secondaire.....	48
Figure II-08: Situation de la ville de Tiaret.....	49
Figure II-09: délimitation de la ville de Tiaret.....	50
Figure II-10: diagramme de variation de températures annuelles.....	50
Figure II-11: diagramme de variation de températures journalière durant l'année.....	51
Figure II-12: graphe de rayonnement globale journalier.....	51
Figure II-13: graphe de rayonnement global et diffus.....	52
Figure II-14: diagramme de durée d'insolation	52
Figure II-15: diagramme de Précipitation (mm).....	53

CHAPITRE III: MODELISATION

Figure III-1: Principe de fonctionnement du logiciel Pleiades+COMFIE	56
Figure III-2: interface du logiciel Meteonorm7 (après la définition de site).....	58
Figure III-3: choix du format.....	58
Figure III-4: identification de la station météorologique sous pleiade.....	59
Figure III-5: composition des murs extérieurs (double cloison).....	59
Figure III-6: composition des murs extérieurs (mur rideau).....	60
Figure III-7: composition des murs intérieurs.....	60
Figure III-8: composition du plancher bas.....	61
Figure III-9: composition du plancher intermédiaire.....	61
Figure III-10: composition de la toiture.....	62
Figure III-11: fenêtre PVC simple vitrage.....	62
Figure III-12: porte intérieur (en bois).....	63
Figure III-13: porte d'entrée (simple vitrage).....	63
Figure III-14 : Paramètre par défaut à utiliser pour notre projet.....	64
Figure III-15: plan de Rez-de-chaussée sous alcyone.....	65
Figure III-16: plan du 1 ^{er} Etage sous alcyone.....	65
Figure III-17: plan du 2 ^{ème} etage sous alcyone.....	65

Figure III-18: La volumétrie dans alcyone.....	66
Figure III-19: scénario d'occupation de la zone 1.....	66
Figure III-20: scénario d'occupation de la zone 2.....	67
Figure III-21: scénario d'occupation de la zone 3.....	67
Figure III-22: scénario d'occupation de la zone 4.....	68
Figure III-23: scénario d'occupation de la zone 5.6.....	68
Figure III-24: scénario d'occupation de la zone 7.....	69
Figure III-25: scénario de consigne de thermostat de chauffage.....;;	69
Figure III-26: scénario de consigne de thermostat de climatisation	70
Figure III-27: scénario de ventilation estivale	70
Figure III-28: scénario de ventilation hivernale.....	71
Figure III-29: scénario de puissance dissipée de la zone 01.....	71
Figure III-30: scénario de puissance dissipée de la zone 02.....	72
Figure III-31: scénario de puissance dissipée de la zone 03.....	72
Figure III-32: scénario de puissance dissipée de la zone 04.....	73
Figure III-33: scénario de puissance dissipée de la zone 05.....	73
Figure III-34: scénario de puissance dissipée de la zone 06.....	74
Figure III-35: scénario de puissance dissipée de la zone 07.....	74

CHAPITRE IV: INTERPRETATION DES RESULTATS ET PROPOSITION DES SOLUTIONS

Figure IV-01: résultat de simulation en hiver sans consigne de thermostat.....	78
Figure IV-02 : Graphe de température des différentes zones en hiver sans consigne de thermostat (bâtiment initial).....	79
Figure IV- 03: résultat de simulation en été sans consigne de thermostat (bâtiment initial)	80
Figure IV-04: Graphe de température des différentes zones en été sans consigne de thermostat (bâtiment initial).....	81
Figure IV-05: résultat de simulation en hiver avec consigne de thermostat (bâtiment initial).....	82
Figure IV-06: histogramme de comparaison des besoins énergétiques de chauffage des différentes zones (bâtiment initial)	83
Figure IV-07 : résultat de simulation en été avec consigne de thermostat (bâtiment initial)	84
Figure IV-08: histogramme de comparaison des besoins énergétiques de climatisation des différentes zones (bâtiment initial)	84
Figure IV-09 : panneaux de polystyrène extrudé (XPS).....	86
Figure IV-10: composition des murs extérieurs après renforcement.....	87
Figure IV-11: composition des murs intérieurs après renforcement.....	87

Figure IV-12 : composition de plancher bas après renforcement.....	88
Figure IV-13 : composition de la toiture après renforcement.....	88
Figure IV-14 : résultat de simulation en hiver sans consigne de thermostat (bâtiment +isolation).....	89
Figure IV-15 : Graphe de température des différentes zones en hiver sans consigne de thermostat(bâtiment +isolation).....	89
Figure IV-16 : résultat de simulation en été sans consigne de thermostat (bâtiment +isolation).....	90
Figure IV-17 : Graphe de température des différentes zones en été sans consigne de thermostat (bâtiment +isolation).....	90
Figure IV-18 : résultat de simulation en hiver avec consigne de thermostat (bâtiment +isolation).....	91
Figure IV-19 : résultat de simulation en été avec consigne de thermostat (bâtiment +isolation).....	91
Figure IV-20 : histogramme de comparaison des besoins énergétique sans et avec isolation. (bâtiment +isolation).....	91
Figure IV-21 : principe de fenêtre Performante.....	92
Figure IV-22 : fenêtre en aluminium double vitrage +argon 4.12.4	93
Figure IV-23 : porte d'entrée (double vitrage).....	93
Figure IV-24 : mur rideau (double vitrage)	93
Figure IV-25 : résultat de simulation en hiver sans consigne de thermostat (bâtiment +double vitrage)	93
Figure IV-26 : : Graphe de température des différentes zones en hiver sans consigne de thermostat (bâtiment +double vitrage).....	94
Figure IV-27 : résultat de simulation en été sans consigne de thermostat. (bâtiment +double vitrage).....	94
Figure IV-28 : : Graphe de température des différentes zones en été sans consigne de thermostat (bâtiment +double vitrage).....	95
Figure IV-29 : résultat de simulation en hiver avec consigne de thermostat (bâtiment +double vitrage).....	95
Figure IV-30 : résultat de simulation en été avec consigne de thermostat(bâtiment +double vitrage).....	96
Figure IV-31 : histogramme de comparaison des besoins énergétique sans et avec double vitrage	96
Figure IV-32 :exemple de volet occultant	97
Figure IV-33 : scénario d'occultation d'hiver.....	97
Figure IV-34 : scénario d'occultation d'été.....	98
Figure IV-35 : résultat de simulation en hiver sans consigne de thermostat (bâtiment occulté).....	98

Figure IV-36: Graphe de température des différentes zones en hiver sans consigne de thermostat(bâtiment occulté).....	99
Figure IV-37: résultat de simulation en été sans consigne de thermostat (bâtiment occulté).....	99
Figure IV-38: : Graphe de température des différentes zones en hiver sans consigne de thermostat (bâtiment occulté).....	100
Figure IV-39 : résultat de simulation en hiver avec consigne de thermostat (bâtiment occulté).....	100
Figure IV- 40 : résultat de simulation en été avec consigne de thermostat. (bâtiment occulté).....	101
Figure IV- 41 : histogramme de comparaison des besoins énergétique sans et avec occultation(bâtiment occulté).....	101
Figure IV- 42: scénario de ventilation d'été.....	102
Figure IV- 43 : scénario de ventilation d'hiver.....	102
Figure IV- 44 : résultat de simulation en hiver sans consigne de thermostat (ventilation améliorée).....	103
Figure IV-45: : Graphe de température des différentes zones en hiver sans consigne de thermostat (ventilation améliorée).....	103
Figure IV-46: résultat de simulation en été sans consigne de thermostat (ventilation améliorée).....	104
Figure IV-47: Graphe de température des différentes zones en hiver sans consigne de thermostat.....	104
Figure IV-48: résultat de simulation en hiver avec consigne de thermostat (ventilation améliorée).....	105
Figure IV-49: résultat de simulation en été avec consigne de thermostat (ventilation améliorée).....	105
Figure IV-50 : histogramme de comparaison des besoins énergétique avant et après l'amélioration de la ventilation intégrée	105
Figure IV-51: résultat de simulation en hiver sans consigne de thermostat (bâtiment final).....	106
Figure IV-52 : Graphe de température des différentes zones en hiver sans consigne de thermostat (bâtiment final)	107
Figure IV-53: résultat de simulation en été sans consigne de thermostat (bâtiment final).....	107
Figure IV-54: Graphe de température des différentes zones en été sans consigne de thermostat (bâtiment final)	108
Figure IV-55: résultat de simulation en hiver avec consigne de thermostat (bâtiment final)	108
Figure IV-56 : résultat de simulation en été avec consigne de thermostat (bâtiment final).....	109
Figure IV-57 : histogramme de comparaison des besoins énergétique Avant et après amélioration	109
Figure IV-58 : histogramme de comparaison des besoins énergétique des différentes variantes.....	110

TABLE DES MATIERES

Remerciements.....	I
Résumé.....	II
.....	II
Abstract.....	III
Listes des figures et tableaux.....	IV
Table des matières.....	X
CHAPITRE INTRODUCTIF	
Introduction générale.....	02
Problématique.....	02
Hypothèses.....	03
Objectifs.....	03
Structure du mémoire.....	03
CHAPITRE I: GENERALITE ET ETAT DE L'ART	
I.1. Introduction.....	06
I.2. Energie.....	06
I.2.1. Ressources énergétiques.....	06
I.2.1.1 Energies primaires.....	06
I.2.1.2 Energie finale.....	06
I.2.2. La consommation d'énergie.....	07
I.2.2.1 La consommation énergétique mondiale.....	07
I.2.2.2 La consommation énergétique en Algérie.....	07
I.2.2.2.1 La consommation énergétique dans le secteur du bâtiment en Algérie.....	08
I.2.2.3. La problématique énergétique en Algérie.....	09
I.3 L'efficacité énergétique dans le bâtiment	09
I.3.1 Classification des bâtiments a efficacités énergétiques.....	09
I.3.1.1 Bâtiments performants « basse énergie ».....	10
I.3.1.2 Bâtiments très performants « très basse énergie ».....	10
I.3.1.3 Bâtiments à énergie positive « zéro énergie ».....	10
I.4 Le confort thermique.....	11
I.4.1 Les paramètres affectant le confort thermique.....	11

I.4.1.1 paramètre liés à l’ambiance extérieure.....	11
I.4.1.1.1 La température de l’air ambiant.....	11
I.4.1.1.2 La vitesse de l’air.....	12
I.4.1.1.3 L’humidité relative de l’air.....	12
I.4.1.2 Paramètre liés à l’individu.....	13
I.4.1.2.1 La vêtue.....	13
I.4.1.2.2 L’activité.....	13
I.4.1.3 Paramètre liés aux gains thermiques internes.....	14
I.4.2 Les échanges thermiques.....	14
I.4.2.1 La conduction.....	15
I.4.2.2 La convection	16
I.4.2.3 Le changement de phase (évaporation)	16
I.4.2.4 Le rayonnement	17
I.5 La problématique du confort thermique et de la consommation énergétique dans le bâtiment tertiaire	17
I.6 Intégration de la conception bioclimatique pour une utilisation rationnelle de l’énergie.....	18
I.6.1 La Conception Architecturale Bioclimatique	18
I.6.2 Principe et bases de l'architecture bioclimatique.....	19
I.6.2.1 Les bases de conception d’ensemble.....	19
I.6.2.1.1 Implantation.....	19
I.6.2.1.2 Forme et compacité.....	21
I.6.2.1.3 L’organisation intérieure.....	22
I.6.2.1.4 L’orientation	22
I.6.2.1.5 Les Protections solaires.....	24
I.6.2.1.5.1 Les différents types de protections solaires.....	25
I.6.2.1.5.2 Détermination du niveau de protection solaire des baies (FS).....	27
I.6.2.1.6 La ventilation Naturelle.....	27

I.6.2.1.6.1 La ventilation naturelle traversante.....	27
I.6.2.1.6.2 La ventilation de simple exposition (par une seule façade).....	28
I.6.2.1.6.3 La ventilation par tirage thermique.....	28
I.6.2.2 Les bases de conception de détail.....	29
I.6.2.2.1 matériaux de construction et leurs performantes thermiques.....	29
I.6.2.2.2 Vitrage et propriétés thermique	30
I.6.2.2.3 L'inertie thermique.....	32
I.6.2.2.4 L'isolation thermique.....	33
I.6.2.2.4.1. Les différents types d'isolants.....	35
I.6.2.2.4.2. Les procédés d'isolation	36
I.6.3 Stratégies de l'architecture bioclimatique	38
I.6.3.1 Stratégies du chaud (période froide).....	38
I.6.3.2 Stratégies du froid(période chaude).....	39
I.7. Document réglementaire	40
I.7.1. Document technique réglementaire DTR	40
I.7.2. La réglementation thermique européenne RT 2012.....	41
I.8 Conclusion.....	43
CHAPITRE II: PRESENTATION DU CAS D'ETUDE	
II.1. Introduction.....	45
II.2. Description du projet.....	45
II.2.1. Présentation.....	45
II.2.2. Plan de masse.....	46
II.2.3. Plans des différents étages	46
II.2.4. Orientation et degrés d'ouverture.....	47
II.2.5. Caractéristiques constructives, matériaux de construction et composition de l'enveloppe.....	48

II.3. Présentation de la ville de Tiaret.....	49
II.3.1. Situation de la ville de Tiaret.....	49
II.3.2. Localisation.....	50
II.3.3 Relief.....	50
II.3.4 Le climat de la ville de Tiaret.....	50
II.3.4.1 Température.....	50
II.3.4.2 ensoleillement et durée d’insolation.....	51
II.3.4.3 Les précipitation.....	53
II.3.4.4 Autres données (détail de ressources solaires).....	53
II.4. Conclusion.....	54

CHAPITRE III: MODELISATION

III.1. Introduction.....	56
III.2. Présentation du logiciel.....	56
III.2.1. Pleiade+Comfie (version 2.3).....	56
III.2.2. Meteonorm 7.....	57
III.3. Processus d’application des logiciels.....	57
III.3.1. Saisie du bâtiment.....	58
III.3.2. Définition des zones thermiques	64
III.3.3. Exporter le projet vers pléiades.....	66
III.3.4 Lancement de la simulation.....	75
III.4. Conclusion	75

CHAPITRE IV: INTERPRETATION DES RESULTATS ET PROPOSITION DES SOLUTIONS

IV.1. introduction.....	77
IV.2. simulation du siège de l’agence commerciale de SONELGAZ (bâtiment initial).....	77
IV.2.1. Résultats de simulation sans consigne de thermostat en hiver et en été.....	77
IV.1.2. Résultats de simulation avec consigne de thermostat en hiver et en été	82

IV.3. simulation de l'agence commerciale de SONELGAZ (après amélioration).....	85
IV.3.1. Isolation performante.....	85
IV.3.1.1. Résultats de simulation sans consigne de thermostat en hiver et en été.....	89
IV.3.1.2. Résultats de simulation avec consigne de thermostat en hiver et en été.....	91
IV.3.2. fenêtre performante.....	92
IV.3.2.1. Résultats de simulation sans consigne de thermostat en hiver et en été.....	93
IV.3.2.2. Résultats de simulation avec consigne de thermostat en hiver et en été.....	95
IV.3.3. protection des ouvertures	97
IV.3.3.1. Résultats de simulation sans consigne de thermostat en hiver et en été.....	98
IV.3.3.2. Résultats de simulation avec consigne de thermostat en hiver et en été...	100
IV.3.4. ventilation améliorée.....	101
IV.3.4.1. Résultats de simulation sans consigne de thermostat en hiver et en été...	103
IV.3.4.2. Résultats de simulation avec consigne de thermostat en hiver et en été...	105
IV.4. simulation du siège de l'agence commerciale de SONELGAZ (bâtiment final).....	106
IV.4.1. Résultats de simulation sans consigne de thermostat en hiver et en été.....	106
IV.4.2. Résultats de simulation avec consigne de thermostat en hiver et en été.....	108
IV.5. comparaison des besoins énergétique des différentes variantes	110
IV.6. conclusion.....	111
CONCLUSION GENERALE.....	112
BIBLIOGRAPHIE	114

CHAPITRE INTRODUCTIF

INTRODUCTION GENERALE:

La consommation énergétique mondiale ne cesse d'augmenter alors que l'on est confronté à une réduction des ressources énergétiques fossiles et à un risque majeur concernant l'avenir de notre planète avec le changement climatique. L'énergie va donc devenir un bien plus rare et plus cher. C'est pourquoi, l'homme doit apprendre à vivre en harmonie avec les limites que lui offre la planète. Réduire les consommations énergétiques constitue avec le recours aux énergies renouvelables, une alternative à ces problèmes;

L'efficacité énergétique est une réponse moderne aux problèmes actuels car elle permet de respecter l'intégrité environnementale, d'améliorer l'équité sociale, de maintenir le développement économique et d'obtenir un meilleur rendement énergétique par le choix des sources d'énergie, le recours aux technologies les plus appropriées à travers des équipements et des procédés les plus performants.

Le secteur du bâtiment est l'un des plus grand consommateurs d'énergie au niveau mondial, en effet sa consommation énergétique n'est pas loin de la moitié de la consommation globale, ce secteur représente un potentiel énorme d'efficacité énergétique, une cible de choix dans la réduction des consommations, dont cette énergie est utilisée pour le chauffage, la climatisation, l'éclairage ainsi que la production d'eau chaude sanitaire;

le secteur du bâtiment en Algérie ne fait pas exception, Durant ces dernières décennies de nouveaux modèles architecturaux qu'on appelle «constructions modernes», qui sont inadaptés au climat et consomment beaucoup d'énergie, notamment dans les bâtiments tertiaires. Très souvent, ces constructions négligent les aspects climatiques, dont l'importance ne paraît pas aux yeux du propriétaire ou du concepteur dans les premières étapes du projet. Ceci engendre des sensations d'inconfort des occupants, une fois la construction réalisée. Le recours à des dépenses supplémentaires de chauffage et de climatisation, grands consommateurs d'énergie et producteurs de gaz à effet de serre va palier à ce problème d'inconfort.

Notre travail s'inscrit donc dans une démarche d'évaluation de la consommation énergétique d'un bâtiment et vise à intégrer le concept bioclimatique afin d'assurer un confort thermique appréciable et de réduire les besoins en chauffage, rafraîchissement et éclairage dans un bâtiment caractérisée par des gains internes et externes importants, nous avons choisi pour notre étude une agence commerciale (SONELGAZ) à TIARET.

PROBLEMATIQUE:

Le présent travail se penche sur la problématique de la réduction des consommations énergétiques dans les bâtiments tertiaires, dont l'évolution de la technologie des matériels bureautiques et informatiques. (ordinateurs, imprimantes, scanner, photocopieurs ets...), ainsi que l'utilisation massive du chauffage et de la climatisation suite au réchauffement climatique ont fait que la consommation d'énergie dans le bâtiment tertiaire a augmenté considérablement, Ceci résulte notamment de l'architecture contemporaine qui ne répond pas aux exigences de confort en général et thermique en particulier, ce constat est renforcé par la non prise en charge dans la conception de départ de plusieurs critères à savoir, une bonne connaissance des conditions climatique , une conception qui s'adapte au climat, un bon choix des matériaux de construction;

Pour plus de confort, on a recours à une surconsommation d'énergie, donc il faudrait d'abord améliorer le bâtiment afin de réduire la demande en chauffage et en rafraîchissement, dès lors, des questionnements s'imposent:

- Quels sont les Enjeux et propositions pour l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments?
- De quelle manière interviennent les aspects passif, climatiques dans l'amélioration du confort et des performances énergétiques de bâtiment ?
- Quelles sont les stratégies de conception à adopter, les dispositifs architecturaux à utiliser pour assurer le confort thermique à l'intérieur du bâtiment tout en réduisant la consommation de l'énergie ?

HYPOTHESES:

Pour répondre à la problématique posée, nous avons construit les hypothèses suivantes:

- Intégrer le concept bioclimatique afin d'apporter des solutions a l'efficacité énergétique, et de réduire les besoins des énergies pour le chauffage et le rafraîchissement.
- La maîtrise des déperditions et gains thermiques de l'enveloppe du bâtiment;
- Meilleure isolation de l'enveloppe qui fera diminuer la dépense énergétique de chauffage et de rafraîchissement.

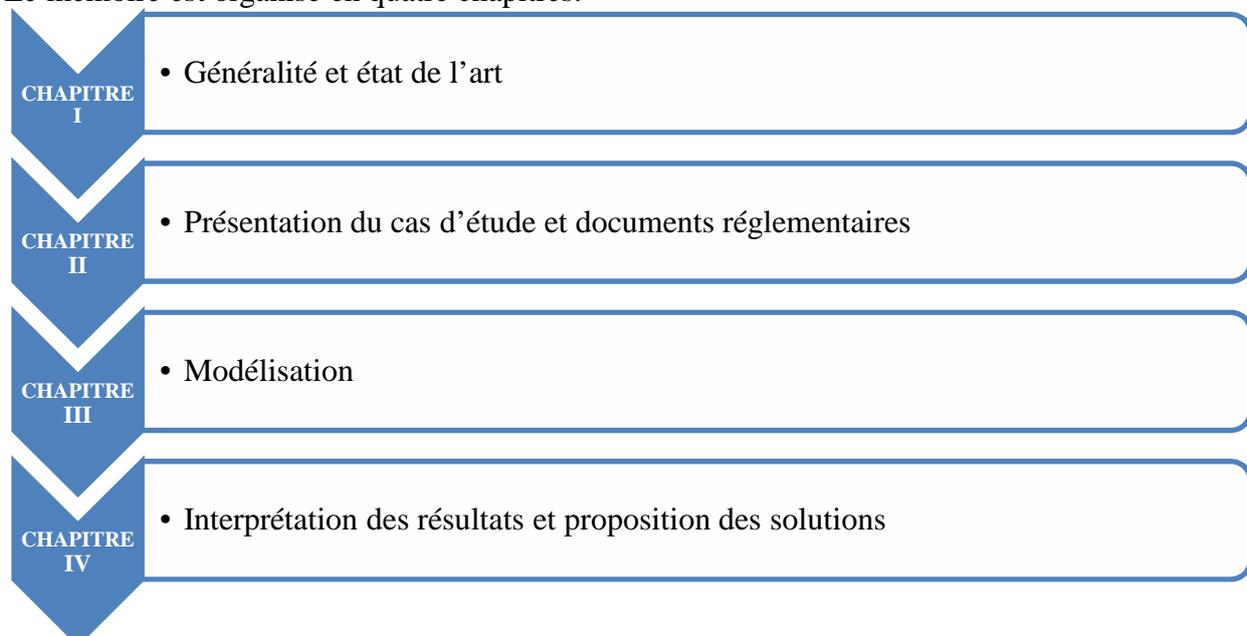
OBJECTIFS:

Notre travail a pour objectif de contribuer à l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments, de chercher d'adopter des solutions pour assurer le confort thermique et donc de réduire les besoins en chauffage et en rafraîchissement.

Cet objectif exige une méthodologie axée sur les méthodes numériques par la simulation thermique dynamique à l'aide du logiciel de simulation pléiade +comfie . La simulation se fera sur un bâtiment modélisé et qui servira de cas de base et de référence, pour déterminer l'impact des mesures d'efficacité énergétique passives séparément , ensuite ces mesures seront regroupés pour former le cas optimisé.

STRUCTURE DU MEMOIRE:

Le mémoire est organisé en quatre chapitres:



- On s'intéresse dans le premier chapitre à l'efficacité énergétique dans les bâtiments, la consommation de l'énergie qui augmente jour après jour à cause de la conception qui ne prend pas en considération les conditions climatiques du site, Et puis on va traiter les solutions passives de l'architecture bioclimatique et la relation de cette dernière d'un coté avec le confort thermique et d'un autre coté de la consommation de l'énergie.
- Le deuxième chapitre contiendra, pour sa part, la présentation de notre cas d'étude, sa situation géographique à Tiaret et les conditions climatique de cette ville.
- Le troisième chapitre comprendra une méthode d'étude connue sous le nom de simulation thermique à l'aide du logiciel de simulation thermique-dynamique : Pleiades-comfie ;
- Le quatrième chapitre reviendra aux résultats et discussions de la simulation, et la proposition des solutions pour la réduction de la consommation d'énergie.

CHAPITRE I:

Généralité et état de l'art

I.1. INTRODUCTION

Aujourd'hui, au niveau national et international, les bâtiments sont l'un des plus gros consommateurs d'énergie. Cela implique que le secteur de la construction représente un grand potentiel d'économies d'énergie.

Dans ce chapitre qui concerne l'efficacité énergétique dans le bâtiment, les points qui révèlent être essentiels à traiter sont : concevoir des bâtiments plus confortables, utilisation des systèmes passifs de l'architecture bioclimatique lors de la conception des bâtiments, pour une consommation énergétique moindre.

I.2. ENERGIE :

I.2.1. Ressources énergétiques:

I.2.1.1 Energies primaires

On entend par énergies primaires toute forme d'énergie disponible dans la nature avant toute transformation. Elles ne sont pas toujours utilisables directement et doivent, le plus souvent, être transformées avant d'être utilisées. Elles peuvent être classées selon trois groupes : les énergies fossiles, les énergies nucléaires et les énergies renouvelables.

I.2.1.2 Energie finale

On appelle énergie finale les énergies qui sont utilisées par l'homme (gaz, électricité, fioul domestique, bois, etc). Pour arriver à ces énergies, il aura fallu les extraire, les produire, les stocker, et les distribuer, c'est en fait l'énergie qui arrive chez le consommateur et qui lui est facturée;

La chaîne énergétique reliant l'énergie primaire (énergie disponible dans la nature avant toute transformation) et l'énergie finale est présentée par la figure I.2 [\[1\]](#)

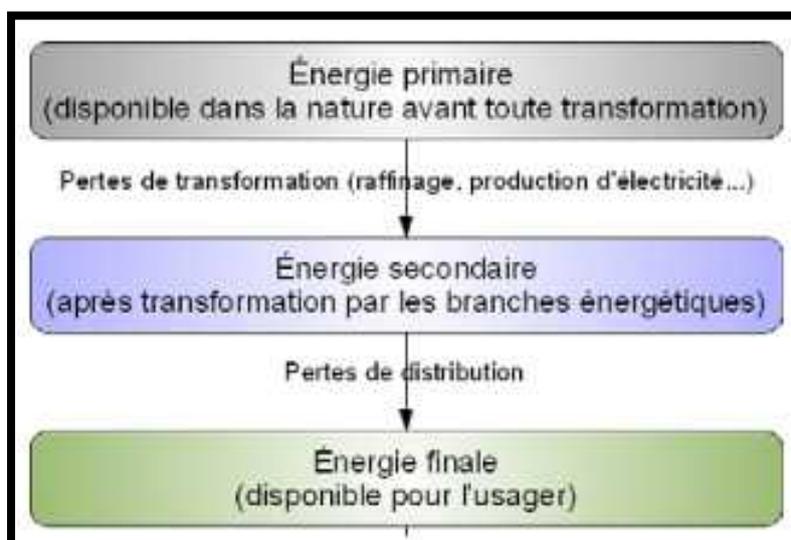


Figure I-01: chaîne énergétique

[\[1\]](#) : Grignon-Masse, L, <<développement d'une méthodologie d'analyse cout-bénéfice en vu d'évaluer le potentiel de réduction des impacts environnementaux liés au confort d'été: cas des climatiseurs individuels fixes en France métropolitaine.>>. Thèse de Doctorat, l'école nationale supérieure des mines de Paris, 2010,p 305.

I.2.2. La consommation d'énergie:

I.2.2.1 La consommation énergétique mondiale:

Toutes les activités humaines, et notamment celles qui concourent au développement économique et social, font appel à l'énergie, sauf que, la consommation mondiale d'énergie est restée très longtemps stable lorsque l'homme n'utilisait l'énergie que pour sa survie et ses besoins alimentaires. Néanmoins à partir de 1850, La révolution industrielle a provoqué une augmentation brutale des besoins en énergie

Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), la consommation mondiale d'énergie va augmenter de 50% entre 2004 et 2030 [2], pour accompagner la croissance démographique et économique, Le taux de consommation diffère d'un pays à un autre, il est déterminé par les conditions climatiques, le taux de croissance économique et le développement technologique [3].

La figure I.02 montre la consommation énergétique dans différents secteurs économiques dont la plus importante est réservée pour le secteur du bâtiment qui consomme environ 40 % de l'énergie finale [4]

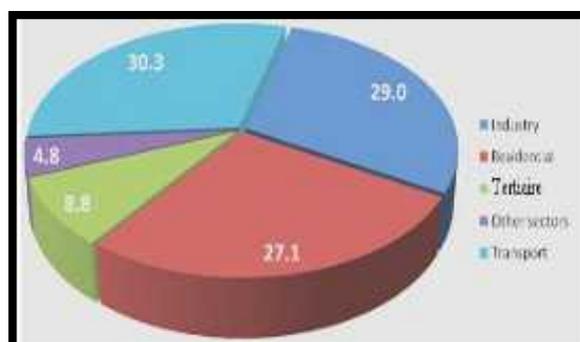


Figure I-02: Consommation énergétique dans différents secteurs économiques

I.2.2.2 La consommation énergétique en Algérie:

La forte demande actuelle de consommation énergétique en Algérie est due principalement à l'augmentation du niveau de vie de la population et du confort qui en découle, ainsi qu'à la croissance des activités industrielles.

La consommation énergétique nationale a atteint 29122.3 ktep (kilotonne d'équivalent pétrole, Désigne l'unité de mesure utilisée dans l'industrie. Elle exprime la valeur de production énergétique) avec TCAM (taux de croissance annuel moyen) de 6.1%/an [5], dont la figure I-04 montre l'évolution du Taux de Croissance Annuel Moyen de la Consommation d'Énergie par Secteur Période : 2000-2013 [5].

Secteurs / Zones	industrie	tertiaire	résidentiel	agriculture	transport	total secteurs
NATIONAL	5,31%	3,82%	8,17%	9,83%	5,72%	6,12%

Tableau I-01: Evolution du TCA M de la Consommation d'Énergie par Secteur ,Période : 2000-2013 [5].

[2] : Agence Internationale De l'énergie (AIE) , <<World energy outlook>>, Head of communication and information office, 2008 .Paris

[3] : Santamouris, M.Demosthenes et Asimakopoulos,N. 2001<<energy and climate in the urban built environment>>, James and James editions Ltd, 412 p.

[4] : Agence Internationale De l'énergie (AIE) , <<World energy outlook>>, Head of communication and information office, 2008 .Paris

[5] : Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie APRUE ;Chiffres 2013

D'après l'agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie APRU, dans son rapport sur la consommation énergétique finale de l'Algérie, pour l'année 2015 (chiffre 2013), la consommation de secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire) consomme 38% du total de l'énergie finale. Ce secteur représente un potentiel énorme d'efficacité énergétique.

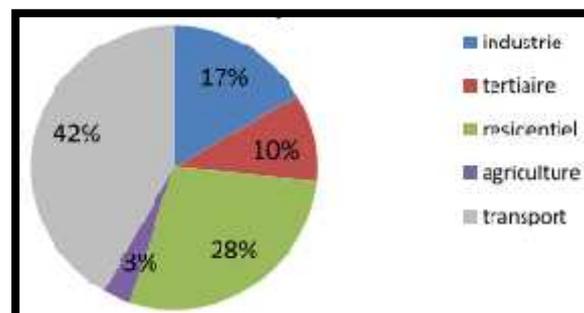


Figure I-03: Répartition de la consommation d'énergie de la nationale par secteur.

I.2.2.2.1 La consommation énergétique dans le secteur du bâtiment en Algérie:

Le secteur résidentiel:

Selon l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie La consommation électrique du secteur résidentiel a atteint 1414 KTEP. Elle représente 40% de la consommation totale d'électricité. Il a atteint 7056 KTEP en produits gazeux soit 60% de la consommation totale des produits gazeux, Il représente, de ce fait, le premier secteur grand consommateur d'énergie électrique au niveau national ^[6].

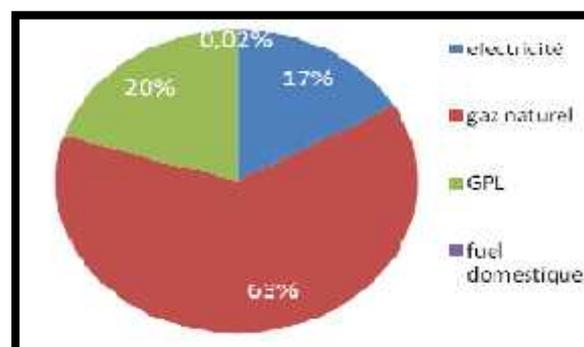


Figure I-04: Répartition de la consommation du secteur résidentiel par types d'énergie.

Le secteur tertiaire :

Le secteur tertiaire présente un certain nombre de caractéristiques communes avec le secteur résidentiel en matière de consommation d'énergie, notamment une forte demande de chauffage et un usage important de l'électricité pour l'éclairage et le fonctionnement de différents appareils. Les grands axes de la politique de maîtrise de la demande d'énergie dans le secteur tertiaire concernent essentiellement l'efficacité énergétique du bâtiment.

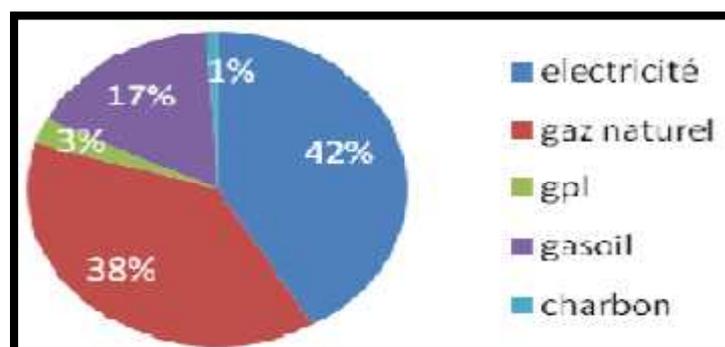


Figure I-05: Répartition de la consommation du secteur tertiaire par types d'énergie.

Dans le secteur du tertiaire et dans tout les pays du monde, il a été constaté que les branches les plus consommatrices d'énergie sont les commerces et les bureaux. La consommation d'énergie dans les immeubles de bureaux varie entre 100 et 1000 kwh/m² selon leurs situations géographiques, les types d'équipements de bureau utilisés, le type de l'enveloppe du bâtiment, le type d'éclairage etc ...^[7]

[6] : Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie APRUE ;Chiffres 2013

[7] : Salagnac JL., Weckstein M. Changement climatique : un double défi pour le bâtiment. Géosciences, 3, mars 2006,

La répartition de la consommation du tertiaire par produit montre que l'électricité est prédominante, Cela s'explique par l'introduction massive des équipements de chauffage et de climatisation et la généralisation de l'utilisation des matériels bureautiques et informatiques.^[8]

I.2.2.3. La problématique énergétique en Algérie:

L'Algérie est un pays qui jouit d'une position relativement enviable en matière énergétique. Les réserves en hydrocarbures dont il dispose et les niveaux actuels de consommation nécessaires à la couverture de ses besoins propres lui permettent de rester serein pour quelques temps encore.

Dans l'immédiat, le problème énergétique de l'Algérie est un problème qui se pose en terme de stratégie de valorisation de ses ressources pour les besoins du développement du pays, de choix d'une véritable politique énergétique à long terme et de définition immédiate d'un modèle cohérent de consommation énergétique couvrant le court et le moyen terme, avant la date fatidique de l'épuisement de ces ressources fossiles stratégiques. Dans ce contexte, la nécessaire diversification énergétique qui vise essentiellement une rapide intégration des énergies renouvelables dont dispose en abondance l'Algérie, le développement des économies d'énergie est un axe très important;

la consommation d'énergie peut être considérablement réduite par l'adoption des stratégies d'efficacité énergétique dans le bâtiment « L'efficacité énergétique est rapidement devenue l'un des grands enjeux de notre époque et les bâtiments en sont une des composantes majeures. Ils consomment plus d'énergie que tout autre secteur et contribuent donc dans une large mesure au changement climatique », souligne Björn Stigson, président du WBCSD (World Business Council for Sustainable Development).

I.3 L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE BÂTIMENT

L'efficacité énergétique se réfère à la réduction de la consommation d'énergie sans toutefois provoquer une diminution du niveau de confort ou de qualité de service dans les bâtiments. Selon Thierru salomon^[9], elle correspond à réduire à la source la quantité d'énergie nécessaire pour un même service, soit, mieux utiliser l'énergie à qualité de vie constante.

Le rapport final de la << comparaison internationale bâtiment et énergie >> initié par PREBAT (Programme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment) note qu'en construction neuve ou en réhabilitation, un bâtiment efficace énergétiquement est avant tout un concept d'ensemble saisissant dans un même processus l'architecture, le climat, l'enveloppe et les équipements^[10].

I.3.1 Classification des bâtiments à efficacités énergétiques:

La conception des bâtiments à faible consommation d'énergie est un processus complexe qui nécessite une approche particulière. En effet, les choix techniques et architecturaux retenus pour ce genre de conception influent de manière très importante sur le comportement énergétique du bâtiment. Ainsi, la forme du bâtiment, sa compacité, son orientation, ont des conséquences significatives sur sa performance énergétique, de mauvais choix peuvent entraîner des défaillances difficilement prévisibles dont l'impact sur la consommation énergétique du bâtiment n'est souvent découvert que lors de son exploitation.

^[8] : Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie APRUE <<Consommation Énergétique Finale de l'Algérie>> .Chiffres clés Année 2012

^[9] : Salomon,T et Bedel,S << la maison des (méga, watts, le guide malin de l'énergie chez soi.>> édition. terre vivante.2004.p.11..

^[10]:SREBAT, ADEME et CSTB. Comparaison internationale bâtiment et énergie. Rapport final. Décembre 2007.p.A19.

Suivant leurs niveaux de performances énergétiques, les bâtiments sont classés en trois familles ^[11] :

- Bâtiments performants,
- Bâtiments très performants,
- Bâtiments zéro énergie ou à énergie positive.

Il existe une multitude d'opération (programmes de recherche, labels, réalisations), pour chaque famille, ces opérations sont fréquemment basées sur la définition de concepts de bâtiments qui définissent à la fois un niveau de performance à atteindre et des exemples de solutions permettant d'atteindre ce niveau. Elle partent d'une même analyse du bilan énergétique orientée par la triade: réduire les besoins énergétiques, utiliser les énergies renouvelables, et produire le complément d'énergie de façon efficace.

I.3.1.1 Bâtiments performants « basse énergie » :

Les bâtiments performants, souvent appelés bâtiments basse énergie (à basse consommation), existent à plusieurs milliers d'exemplaires. Ils se caractérisent principalement par une conception architecturale bioclimatique, une bonne isolation thermique, des fenêtres performantes, un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait, parfois associé à un puit climatique, un système de génération performant (pompe à chaleur, chaudière bois, chaudière à condensation...) et une attention particulière est portée à la perméabilité à l'air et aux ponts thermiques.

Ce premier niveau de performance peut être atteint par l'optimisation de l'isolation, la réduction des ponts thermiques et l'accroissement des apports passifs. Ce concept ne comprend a priori aucun moyen de production local d'énergie, sans toutefois l'exclure. Les opérations les plus connues de ce type de bâtiments sont les labels Suisse MINERGIE et MINERGIE-ECO. ^[12]

I.3.1.2 Bâtiments très performants « très basse énergie » :

Ce bâtiment très faiblement consommateur d'énergie ne nécessite pas de systèmes de chauffage ou de rafraîchissement actifs : les apports passifs solaires et internes et les systèmes de ventilation suffisent à maintenir une ambiance intérieure confortable toute l'année. Il s'agit en général de bâtiments passifs dont le concept a été défini par le Dr. Wolfgang Feist de l'institut de recherche allemand Passivhaus. Ils sont définis comme étant des bâtiments dans lesquels l'ambiance intérieure est confortable tant en hiver qu'en été, sans devoir faire appel à aucun conventionnel de régulation de température, ni de chauffage, ni de refroidissement.

Cet objectif peut être atteint grâce à une forte isolation thermique, une forte réduction des ponts thermiques, et une très bonne étanchéité à l'air. De plus les déperditions par ventilation sont réduites à travers un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait.

I.4.1.3 Bâtiments à énergie positive « zéro énergie » :

Il est défini comme étant un bâtiment qui produit autant ou plus d'énergie qu'il n'en consomme, Il est doté de moyens de production d'énergie locaux, ce bâtiment est raccordé à un réseau de distribution d'électricité vers lequel il peut exporter le surplus de sa production électrique ^[13].

^[11] : Chlela.F Développement d'une méthodologie de conception de bâtiment à basse consommation d'énergie. Thèse de doctorat. Université de la rochelle 2008.p.3.

^[12] : Thiers.S bilan energetiques et environnementaux de bâtiments a énergie positive, écoles nationales supérieure des mines de paris 2008 p12

^[13] : Maugard, A.Millet; J.-R. Quenard, D. " vers des bâtiment à énergie positive " présentation du CSTB (centre scientifique des techniques du bâtiment) 2000 .

Ces bâtiments sont la combinaison de bâtiments basse énergie ou passifs avec des systèmes d'énergies renouvelables tels que les toits solaires photovoltaïques. Ce type de bâtiment est particulièrement adapté aux sites isolés ou insulaires car il évite les coûts de raccordement aux divers réseaux. [\[14\]](#)

I.4 LE CONFORT THERMIQUE:

Le confort thermique est la sensation d'équilibre et de contentement exprimé par l'individu envers les conditions climatiques. ASHRA (american society of heating refrigerating and air conditioning engineers): <<thermal comfort is that condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment>>. Selon la norme ISO 10551 [\[15\]](#), l'homme perçoit et interprète son état thermique en fonction de ses préférences individuelles. Il porte un jugement qui peut être, perceptif, évaluatif ou préférentiel. Donc le confort thermique ne se résume pas à des paramètres physiques, mais il fait aussi intervenir des données subjectives.

Le confort thermique est le résultat d'un enchaînement successif de plusieurs phénomènes qui relèvent de différentes disciplines. En génie climatique, il s'agit de déterminer les effets du climat extérieur sur le bâtiment pour le dimensionnement des équipements. Les thermiciens font des études poussées pour connaître les champs de température et l'indice du confort. Tandis qu'en thermo-physiologie, on étudie d'avantage les effets de l'environnement thermique intérieur sur le corps humain pour le calcul des grandeurs thermo-physiologiques. En fin en psycho-sociologie, on s'intéresse à l'évaluation du climat intérieur par l'être humain grâce à l'interprétation en termes d'acclimatation qui est la composante subjective [\[16\]](#).

I.4.1 Les paramètres affectant le confort thermique:

La sensation de confort thermique est en fonction de plusieurs paramètres :

- Les paramètres physiques d'ambiance, au nombre de quatre, sont la température de l'air, la température moyenne radiante, la vitesse de l'air, et l'humidité relative de l'air;
- Les paramètres liés à l'individu, ils sont multiples, on recense notamment deux paramètres principaux qui sont l'activité et la vêtue de l'individu;
- Les paramètres liés aux gains thermiques internes, gains générés dans l'espace par des sources internes autres que le système de chauffage, (éclairage, appareil électriques, postes informatiques).

I.4.1.1 paramètre liés à l'ambiance extérieure:

I.4.1.1.1 La température de l'air ambiant:

La température de l'air, ou température ambiante (T_a), est un paramètre essentiel du confort thermique, elle intervient dans l'évaluation du bilan thermique de l'individu au niveau des échanges convectifs, conductifs et respiratoires. Dans un local, la température de l'air n'est pas uniforme, des différences de températures d'air se présentent également en plan à proximité des surfaces froides et des corps de chauffe [\[17\]](#).

[\[14\]](#) : Thiers.S bilan énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive, écoles nationales supérieures des mines de Paris 2008 p13

[\[15\]](#) : ISO 10551(international standard organization) : évaluation de l'influence des ambiances thermiques à l'aide d'échelle de jugement subjectifs

[\[16\]](#) : Thelier.F et al, Les outils d'évaluation du confort thermique, journée SFT/CSTB (société française de thermique /centre scientifique des techniques du bâtiment), 04/02/2003 Nantes

[\[17\]](#) : NEUF:<<Climat intérieur/confort, santé, confort visuel>> revue européenne d'architecture N°77, novembre-décembre 1978.p12.

Ainsi par exemple la réglementation générale française pour la protection du travail (RGPT)^[181], impose des valeurs de référence pour les températures de l'air, données par le tableau ci dessous ^[19].

Type de local	Température de l'air
Locaux où des gens habillés normalement sont au repos ou exercent une activité physique très légère. Par exemple : bureaux, salles de cours, salles d'attente, salles de réunion ou de conférence.	21°C
Locaux où des gens peu ou pas habillés sont au repos ou exercent une activité physique très légère. Par exemple salles d'examens ou soins médicaux, vestiaires.	23 à 25°C
Locaux où des gens habillés normalement exercent une activité physique très légère. Par exemple ateliers, laboratoires, cuisines.	17°C
Locaux où des gens peu habillés exercent une grande activité physique Par exemple salles de gymnastique, salle de sport.	17°C
Locaux qui ne servent que de passage pour les gens habillés normalement. Par exemple corridors, cages d'escalier, vestiaires, sanitaire.	17°C
Locaux uniquement gardés à l'abri du gel. Par exemple garages, archives.	5°C

Tableau I-02: Valeurs de référence de température de l'air.

Ces températures sont calculées pour une valeur moyenne de surface des parois inférieure de 2°C à la température de l'air, elles sont acceptées dans certains cas comme température de confort dans le cadre d'une politique d'utilisation rationnelle de l'énergie.

I.4.1.1.2 La vitesse de l'air:

La vitesse de l'air joue un grand rôle dans les échanges convectifs et évaporatoires, elle intervient dans la sensation de confort thermique de l'occupant dès qu'elle est supérieure à 0.2m/s ^[20]. Toutefois, à l'intérieur des bâtiments, ces vitesses demeurent limitées, ne dépassent pas généralement cette vitesse, sauf en cas de mauvaise conception du bâtiment ou du système d'aération. Elle peut, en revanche, être tenue pour responsable de l'apparition d'inconforts locaux, liés à la présence de courants d'air froids ou chauds localisés.

I.4.1.1.3 L'humidité relative de l'air:

L'humidité relative de l'air influence les échanges évaporatoires cutanés, elle détermine la capacité évaporatoire de l'air et donc l'efficacité de refroidissement de la sueur.

^[181] :Bodart M.,«< création d'un outil d'aide au choix optimisé du vitrage du bâtiment , selon les critères physiques, économiques et écologique, pour un meilleur confort visuel et thermique>>, thèse de doctorat, université catholique de louvain, faculté des sciences appliquées, unité d'architecture – Belgique.2002.P.110

^[19] : RGPT.(la réglementation générale française pour la protection du travail)cite in.Bodard M.,2002 Op, cite.p110

^[20] : Liébard, A.et De Herde, A«< Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques>> Ed. le moniteur. Paris 2005p.30 a

selon. Liébard A., entre 30% et 70%, l'humidité relative influence peu la sensation de confort thermique [21]. Une humidité trop forte dérègle la thermorégulation de l'organisme car l'évaporation à la surface de la peau ne se fait plus, ce qui augmente la transpiration [22]. Le corps est la plupart du temps en situation d'inconfort.

I.4.1.2 paramètre liés à l'individu:

I.4.1.2.1 La vêtue:

Les vêtements permettent de créer un microclimat sous-vestimental, à travers leurs résistance thermiques, en modifiant les échanges de chaleur, entre la peau et l'environnement. Leur rôle essentiel est de maintenir le corps dans des conditions thermiques acceptables, été comme hiver.

La vêtue a un rôle primordial d'isolant thermique, notamment en période hivernale et dans toutes les ambiances froides, ce rôle est pris en compte à travers la définition d'un indice de vêtue, exprimé Clo [23], caractérisant la résistance thermique d'un vêtement.

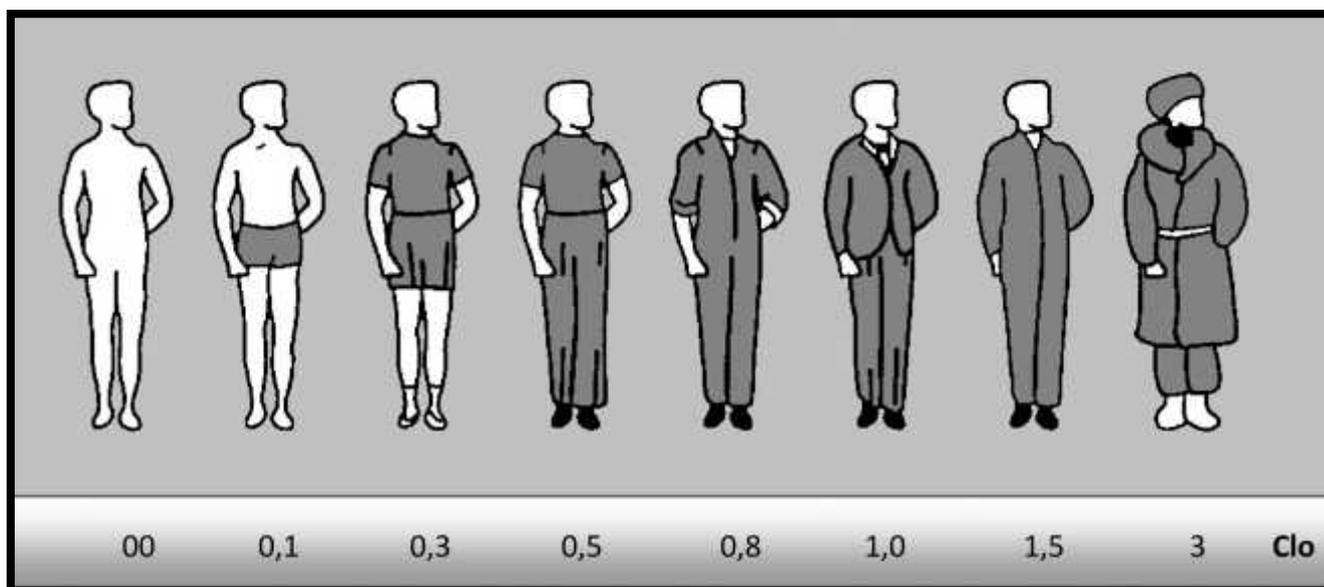


Figure I-06: Valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires.

La nature du tissu, la coupe des vêtements et l'activité du sujet influencent aussi ces échanges thermiques avec l'environnement [24].

I.4.1.2.2 L'activité:

L'activité est un paramètre essentiel pour la sensation thermique de l'individu, définissant directement le métabolisme de l'individu, c'est-à-dire la quantité de chaleur produite par le corps humain. Dans le cas d'une très forte activité, elle peut être responsable de sensations d'inconfort chaud, même en présence de conditions météorologiques très favorables. Il est à noter toutefois que, dans le cas d'une activité classiques de bureau, les plages de variation du métabolisme demeurent limitées.

[21] : Liébard, A. et De Herde, A; 2005 p.29 a

[22] : Salomon, T et Bedel, S., << la maison des méga watts, le guide malin de l'énergie chez soi >>. Ed. Terre vivante. Mens 2004. p 25.

[23] : Clo: Unité d'isolement vestimentaire, 1 Clo=0.155 m²C/W

[24] : Thellier, Françoise. << l'homme et son environnement thermique- Modélisation >>. Etude menée à Université de Paul Sabatier de Toulouse, 1999, p 65.

I.4.1.3 paramètre liés aux gains thermiques internes:

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

les apports internes comprennent donc, toute quantité de chaleur générée dans l'espace par des sources internes autre que le système de chauffage.

I.4.2 Les échanges thermiques :

Pour assurer le confort d'un individu, un équilibre thermique entre la température de l'ambiance et celle du corps (36,7 °C) doit être trouvée. Pour atteindre cet équilibre, l'homme étant homéotherme (*Dont la température centrale est constante et reste indépendante de celle du milieu extérieur.*), possède des mécanismes de régulation qui l'adapte aux conditions thermiques de l'ambiance. Il perd de l'énergie continuellement (120 Watts au repos, deux fois plus au travail manuel et trois fois plus au travail physique) [\[25\]](#).

Il se sent alors bien si les échanges de chaleur s'effectuent de façon ni trop rapide et ni trop lentement. L'équation du bilan thermique à l'équilibre s'écrit alors [\[26\]](#) :

$$C_{res} + E_{res} + K + C + R + E - H = 0$$

Où:

- H- production de chaleur interne du corps, (W/m²) ;
- C_{res} - Echange de chaleur au niveau des voies respiratoires par convection, (W/m²) ;
- E_{res} - Echange de chaleur au niveau des voies respiratoires par évaporation, (W/m²) ;
- K - Echange de chaleur au niveau de la peau par conduction, (W/m²) ;
- C - Echange de chaleur au niveau de la peau par convection, (W/m²) ;
- R - Echange de chaleur au niveau de la peau par rayonnement, (W/m²) ;
- E - Echange de chaleur au niveau de la peau par évaporation. (W/m²).

L'équation montre que le corps humain échange de la chaleur avec son environnement selon plusieurs modes : la conduction au travers des surfaces en contact, la convection et l'évaporation avec l'air ambiant et le rayonnement avec les surfaces avoisinantes [\[27\]](#) , que nous développons ci-après et schématisons dans la figure I-10 [\[28\]](#) .

[\[25\]](#) : Frenot, M. et Sawaya, N. (1979) « L'isolation thermique, le répertoire des solutions pratiques pour l'habitat existant ». Editions EDISUD, Aix en Provence, France.

[\[26\]](#) :Martinet, C. et Meyer, J-P. (1999) « Travail à la chaleur et confort physique » in revue „Note scientifique et technique » de l'I.N.R.S (Institut National de Recherche et de Sécurité) n° NS 184. France.

[\[27\]](#) : Malchaire, J-B. (2000) « Les échanges thermiques » in Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, du bureau international du travail, édition établie sous la direction de Jeanne Magger Stellman, publié par International labour organization, Genève, Suisse.

[\[28\]](#) : Frenot, M. et Sawaya, N. (1979) « L'isolation thermique, le répertoire des solutions pratiques pour l'habitat existant », Editions EDISUD, Aix en Provence, France.

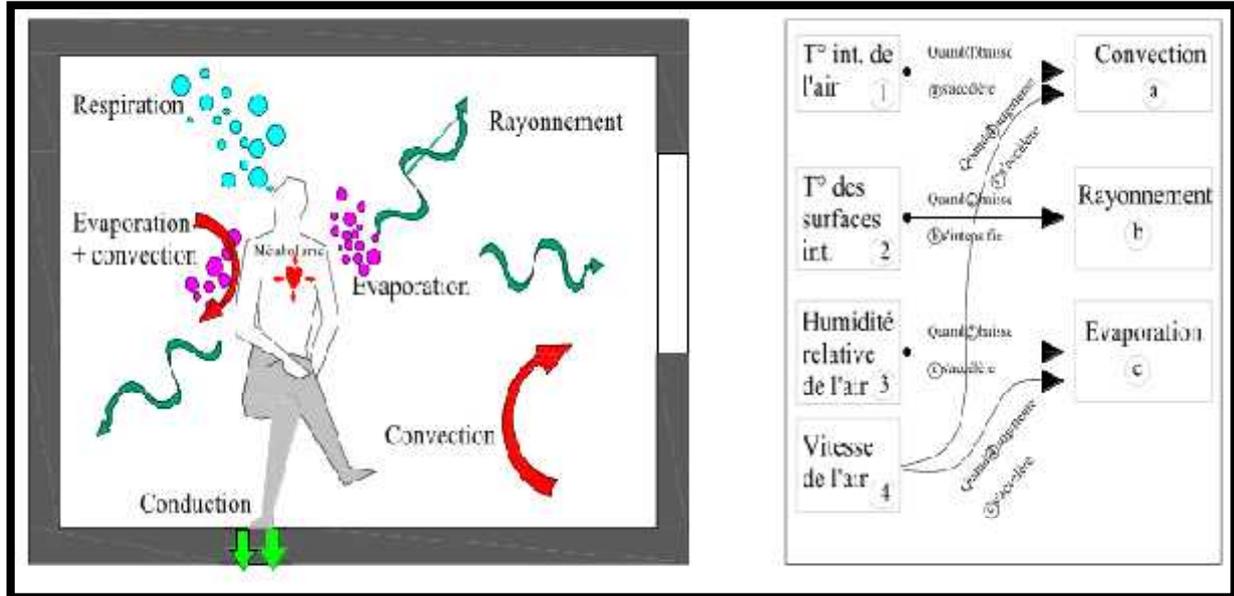


Figure I-07: L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement.

I.4.2.1 La conduction :

Elle concerne l'échange de chaleur par contact direct avec une paroi. Ce type d'échange est d'impact limité, vu la surface minimale de contact entre le corps et les parois.

Lorsqu'un corps absorbe le rayonnement solaire, l'énergie absorbée se distribue d'elle-même à travers la matière et se déplace par conduction de molécule à molécule. La conduction est alors le moyen par lequel la chaleur circule de proche en proche dans un matériau ou passe d'un corps à un autre en contact physique direct, par simple interaction moléculaire. Les molécules du secteur le plus chaud se heurtent vivement entre elles et transmettent leur énergie de vibration aux molécules voisines. Le flux de chaleur va toujours des zones chaudes vers les zones froides (loi de la thermodynamique). La vitesse de progression du flux de chaleur à travers un corps dépend de l'aptitude de ses molécules et de ses électrons à recevoir et à transmettre la chaleur, ainsi par exemple, les matériaux comportant de minuscules cellules d'air en grand nombre sont habituellement de mauvais conducteurs et donc de bons isolants. Dans le bâtiment, la conduction thermique correspond au processus de transfert de chaleur à travers des matériaux (solides) composant les murs et planchers. La théorie de la conduction se base sur l'hypothèse de Fourier ^[29], où la densité du flux de chaleur traversant un mur est proportionnelle au gradient de température.

$$dQ = -\lambda.S. \frac{dT}{dx} .dt$$

Dans le cas où le transfert de chaleur est unidirectionnel et où il n'y a pas de génération ni de stockage d'énergie comme schématisé dans la figure I-11, l'équation s'écrit :

$$\varphi = \frac{-\lambda. (T_2 - T_1)}{e}$$

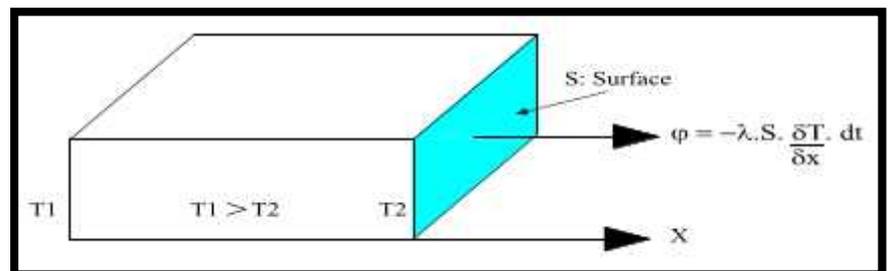


Figure I-8: Schéma du transfert de chaleur conductive.

^[29] : Cortés, H. et Blot, J. (1999) « Transferts thermiques, application à l'habitat » Editions Ellipses, Paris.

Avec :

dQ : Flux de chaleur transmis par conduction (W)

λ : Coefficient de conductivité thermique du matériau (W /m . °C)

dT/dx : gradient de température en x (°C. m)

T1 et T2 Températures des faces extrêmes (°C)

e: Epaisseur du mur (m)

S : section en m²

dt : temps élémentaire (s)

Pour le cas des murs constitués de plusieurs couches de matériaux différents, comme le montre la figure I-12, le flux de chaleur, en régime permanent, se conserve lors de la traversée du mur et s'écrit :

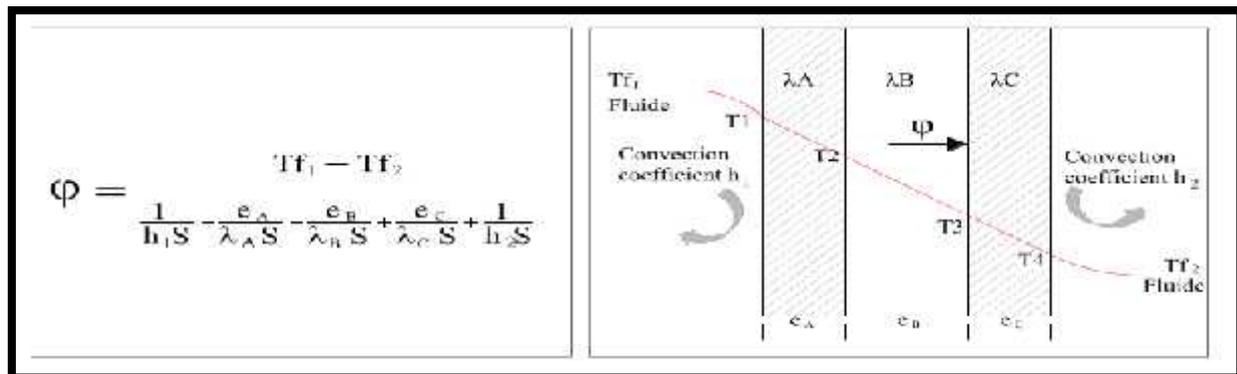


Figure I-09: Equation et schématisation du flux de chaleur dans un mur multicouches.

I.4.2.2 La convection :

La convection correspond aux échanges de chaleur entre le corps et l'air entourant. Elle dépend de la différence entre la température de l'air et celle de la surface exposée, peau ou vêtement en cas de convection naturelle. Quand l'air est chaud que la surface en contact, la convection résulte par un réchauffement du corps, mais si l'air est plus froid, le corps se refroidit [\[30\]](#) . L'échange convectif est calculé par l'équation suivante : [\[31\]](#)

$$C = fcl hc (tcl - ta)$$

Avec :

C- flux de chaleur convectif (W/m²) ;

fcl- : facteur d'habillement ;

hc- : coefficient d'échange convectif (W/m².K) ;

tcl- : température de la surface externe du vêtement (°C) ;

ta- : température d'air (°C).

I.4.2.3 Le changement de phase (évaporation) :

L'évaporation est le mode d'échange de chaleur dû au changement d'état de l'eau. Elle est le moyen essentiel pour évacuer la chaleur dans les ambiances chaudes par évaporation de la sueur à la surface cutanée. Elle est donnée par l'équation suivante [\[32\]](#) :

[\[30\]](#) : Nicole, F. (1993) « Thermal comfort, a handbook for field studies toward an adaptative model », University of east London.

[\[31\]](#) :A.S.H.R.A.E (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), (1997) « Indoor environmental health », in ASHRAE handbook of fundamentals. Chapter 9. SI Edition, Atlanta. U.S.A.

[\[32\]](#):Moujalled, B. (2007) « Modélisation dynamique du confort thermique », thèse de doctorat, présentée à l'institut des sciences appliquées de Lyon (France) le 19 janvier 2007.

$$E_{sk} = \omega (P_{sk,s} - P_a) / [R_{e,cl} + 1/(f_{cl}.h_e)]$$

Où :

E_{sk} - échange de chaleur évaporative cutanée (W/m²) ;

P_a - pression de vapeur d'air (KPa) ;

$P_{sk,s}$ - pression de vapeur à la surface de la peau (KPa), considérée saturée ;

$R_{e,cl}$ - résistance vestimentaire à l'évaporation (m².KPa/ W) ;

h_e - coefficient d'échange de chaleur par évaporation (W/ m². KPa) ;

ω - mouillure cutanée.

L'échange de chaleur peut aussi s'effectuer lors du changement de phase eau liquide - eau solide par congélation (chaleur latente).

I.4.2.3 Le rayonnement :

L'échange de chaleur radiatif est le mode d'échange de chaleur à distance entre deux corps par ondes électromagnétiques. Le corps humain émet en permanence une chaleur radiative liée à sa température cutanée et son émissivité. Le flux radiatif échangé par le corps correspond à la différence entre le rayonnement émis par celui-ci et le rayonnement reçu de son environnement. Si le rayonnement reçu par le corps est supérieur à sa propre émission, le corps réchauffe et se refroidit dans le cas inverse . En effet, une paroi froide absorbe la chaleur du corps, alors qu'un mur exposé au soleil toute la journée transmet sa chaleur le soir sans même le toucher. Une approximation linéaire est utilisée pour écrire l'équation du flux radiatif, l'expression est la suivante [\[33\]](#) :

$$R = h_r (\bar{T}_r - \bar{T}_{sk}) A_r F_{cl}$$

$$h_r = 4 \sigma \epsilon_{sk} \left(\frac{\bar{T}_r + \bar{T}_{sk}}{2} \right)^3$$

Où :

R : flux radiatif échangé par le corps humain (W/m²) ;

A_r : surface cutanée qui rayonne (m²) ;

h_r : coefficient d'échange par rayonnement (W/m².K) ;

T_r : température moyenne de rayonnement du milieu environnant (°C) ;

T_{sk} : température moyenne de la peau (°C) ;

F_{cl} : facteur lié à l'isolement vestimentaire ;

σ : constante de Stefan-Boltzman égale à $(5,67 \times 10^{-8} \text{ W. m}^{-2}. \text{K}^{-4})$;

ϵ_{sk} : émissivité cutanée (0,97).

I.5 LA PROBLEMATIQUE DU CONFORT THERMIQUE ET DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE DANS LE BÂTIMENT TERTIAIRE:

Le besoin de construire beaucoup, vite et pas cher, a engendré une rupture entre l'architecture, victime d'une nouvelle technologie de chauffage et de climatisation, et son environnement le plus proche.

[\[33\]](#) : Candas, V. (1998) « Confort thermique », Technique de l'ingénieur, traité du génie énergétique BE 9 085. France

Nous assistons aujourd'hui à la réalisation des bâtiments tertiaires, dont les plans type implanté n'importe où, caractérisés par des façades transparentes, à travers l'utilisation excessive du modèle d'enveloppe mur-rideau, à cela s'ajoute le non respect d'une meilleure conception architecturale soucieuse de la contrainte climatique et sans oublier la non-maîtrise des paramètres thermiques de l'enveloppe de l'édifice ; malheureusement ces bâtiments ne sont pas soumis à aucune exigence réglementaire sur le plan thermique et énergétique, les paramètres de conception sont d'ordre fonctionnel et architectural et la dimension énergétique du projet n'est pas toujours considérée comme significative, ce qui conduit à des bâtiments non confortables et énergivores.

Afin d'avoir un bâtiment confortable sur tous les plans mais surtout thermiquement, les utilisateurs de ces bâtiments ont surtout recours à la technologie en utilisant des équipements (pour la climatisation et le chauffage) ce qui augmente la consommation d'énergie. Dans le but de réduire les dépenses d'énergies consacrées au chauffage, à la climatisation et d'assurer un bon confort thermique à l'intérieur du bâtiment, nous avons besoin de savoir concevoir et réussir l'application du concept bioclimatique qui vise à utiliser les ressources naturelles.

I.6 INTEGRATION DE LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE POUR UNE UTILISATION RATIONNELLE DE L'ENERGIE

Afin de réduire la consommation d'énergie qui est de plus en plus croissante, il est plus que jamais nécessaire d'améliorer les performances énergétiques et environnementales des bâtiments. Au-delà des performances intrinsèques de l'objet bâtiment, encore très largement perfectibles, il convient d'agir également sur les impacts énergétiques et environnementaux respectifs, d'une part des différentes filières de construction utilisables (filière béton, filière bois, filière acier...) et des composants de construction, d'autre part des choix d'aménagement et d'implantation des bâtiments (accès aux sources et réseaux d'énergie, consommation de surfaces et d'espaces...)

Ce constat a aussi engendré un développement considérable de la recherche en énergétique afin de tendre vers une conception optimale du bâtiment. Les axes de recherche s'étendent de l'enveloppe (isolation, matériaux, vitrage etc...) jusqu'aux différents types d'installations techniques en incluant des systèmes de régulation et de gestion technique.

La performance énergétique du bâtiment est très mauvaise, du fait de la non prise en compte lors de sa conception, des conditions climatiques et du niveau de performance thermique requis. C'est pour cela qu'une bonne connaissance des systèmes passifs utilisés dans l'architecture bioclimatique et à utiliser lors de la conception des bâtiments tertiaires, est très importante afin de concevoir des bâtiments plus confortables avec une consommation énergétique moindre.

I.6.1 La Conception Architecturale Bioclimatique :

L'homme a toujours construit un abri pour se préserver des contraintes climatiques, construire bioclimatique, c'est accepter l'idée que chaque bâtiment est un projet individuel. Dans un même site, deux bâtiments côte à côte, peuvent être construits différemment parce qu'il n'auront pas les mêmes caractéristiques de terrain, de limites, d'orientation et de voisinage immédiat ^[34].

^[34] : Valin, M. « la maison met le cap au sud » article paru dans la revue science & vie "la maison du XXI^e siècle" n°241, décembre 2007; France.

L'architecture bioclimatique est donc une architecture qui cherche à tirer parti de l'environnement plutôt que de le subir, afin de rapprocher au maximum ses occupants des conditions de confort. Cette architecture va utiliser l'énergie solaire passive à son avantage pour réaliser une ambiance intérieure confortable ^[35], où en période froide, elle favorise les apports de chaleur gratuits, diminue les pertes de chaleur et assure un renouvellement d'air suffisant. En période chaude, elle réduit les apports calorifiques et favorise le rafraîchissement.

Selon Izard J-L ^[36], « cette architecture est basée sur la recherche d'une stratégie de réconciliation entre la forme, la matière et l'énergie ».

I.6.2 Principes et bases de l'architecture bioclimatique :

L'architecture bioclimatique recherche une synthèse harmonieuse entre la destination du bâtiment, le confort de l'occupant et le respect de l'environnement. profiter des avantages de l'environnement permettra au projet d'exploiter pleinement son potentiel. Chaque construction doit suivre ces trois phases:

Première phase:

une analyse environnementale complète du site, ainsi le constructeur disposera de tous les éléments ayant, de façon directe ou indirecte, un impact sur la conception du bâtiment.

Deuxième phase:

être en parfaite harmonie avec le site, en tirant le meilleur parti de ses avantages et s'adapter avec ses contraintes, ce qui aboutira à une construction intrinsèquement performante.

Troisième phase:

le choix pertinent des solutions architecturales pour la construction. Chaque site, est unique par ses caractéristiques environnementales.

Composer avec le site permet à l'architecture bioclimatique de réduire les besoins énergétiques et de créer une sensation de bien-être aux habitants. Ses principes sont fondés sur un choix judicieux de la forme et l'orientation du bâtiment, de son implantation, de la disposition des espaces intérieurs, et aussi des matériaux utilisés pour la construction. Pour faire le tour des principales bases de l'architecture bioclimatique, nous commencerons par les bases de conception d'ensemble qui conditionnent le choix d'un parti architectural, ensuite nous entamerons les bases de conception de détail.

I.6.2.1 Les bases de conception d'ensemble:

I.6.2.1.1 Implantation:

Le choix de l'implantation oblige à une étude urbanistique du site. Ses objectifs sont l'identification des vents dominants afin d'éviter la prise de vents froids tout en favorisant la ventilation naturelle, aussi l'incidence du soleil pour capter sa lumière et sa chaleur (figure I.12). Cette analyse permettra une délimitation de zones potentiellement intéressantes afin de procurer le confort nécessaire aux occupants.

^[35] : Actes de l'exposition « ma maison en 2030 : énergie maîtrisée, planète protégée », Paris, du 29 juin au 28 juillet 2006.

^[36] : Izard, J-L. «<archi bio>> édition parenthèses, France. 1979;

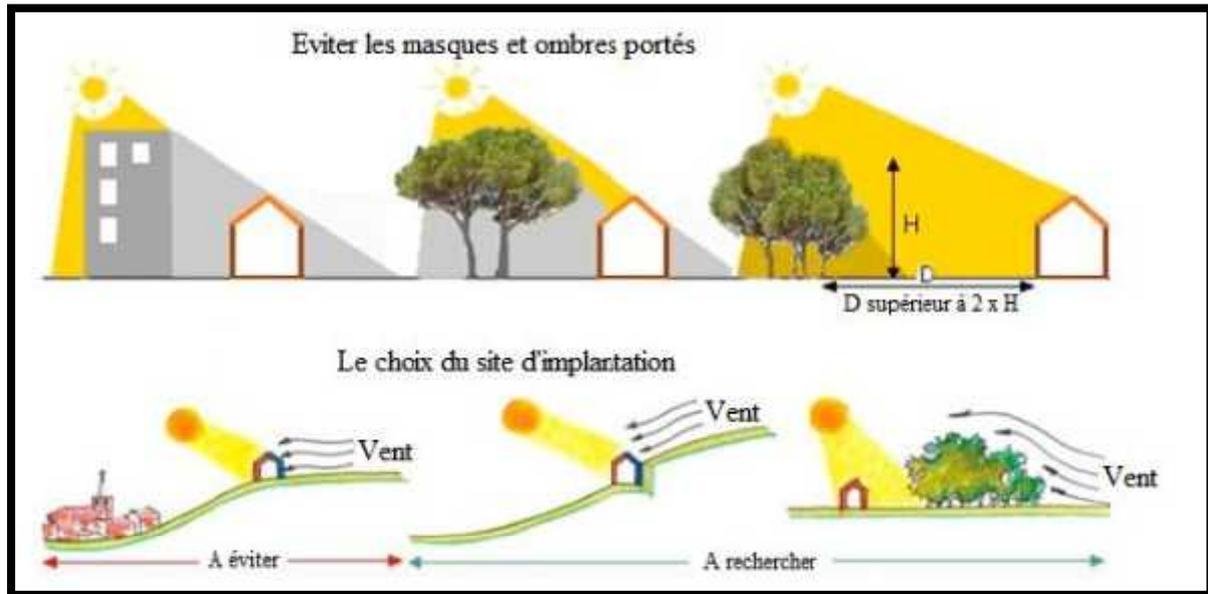


Figure I-10: Principe d'implantation d'un édifice .

La localisation du bâtiment dans son site, selon Pierre Fernandez ^[37] est un préalable de l'intégration de la composante énergétique dans la maîtrise des ambiances architecturales. Selon cet auteur, réussir une insertion du bâtiment, revient à exploiter le potentiel du site et procéder à l'analyse de l'interaction du projet avec les éléments caractéristiques de ce dernier, comme le relief, le contexte urbain, le type de terrain, la végétation, l'ensoleillement et enfin le vent.

Le processus de conception des bâtiments bioclimatiques, consiste en la recherche d'une méthode de création qui intègre tous les éléments importants de l'environnement, du site et du climat:

1-Environnement: type de région, nature du sol, végétation, profil du terrain, altitude et latitude, vue, bruit...etc. la prise en compte de ces paramètres permettra une protections naturelles au vent et au soleil estival par la topographie du terrain naturel et la végétation existante, et de l'ensoleillement hivernal en évitant les masques portés par la végétation, le relief et l'environnement bâti, ce qui aura un impact directe sur les apports solaires ainsi que sur le confort visuel.

2- Climat: l'ensoleillement, température, type de temps, luminosité, précipitations, humidité, vent...etc. La prise en considération de ces paramètres permet de profiter des apports solaires, plus ces apports sont importants, plus les besoins thermiques pour le chauffage en hiver et pour l'électricité sont réduits. Si en hiver, le bâtiment doit profiter de ces apports, en été il faut penser à éviter le risque d'échauffement excessif.

3- Autres: le contexte urbain, législation, matériaux locaux, alimentation en eau, en gaz ou en électricité...etc. Cette analyse offrira la possibilité au maître d'œuvre de limiter les effets des occupants sur l'environnement, et l'utilisation des matériaux locaux pour contribuer à la diminution des émissions de gaz à effet de serre.

L'implantation a une influence non-négligeable sur les besoins calorifiques et sur le confort thermique Mais le défaut d'apports solaires passifs peut être compensé par des améliorations coûteuses des caractéristiques thermiques de l'enveloppe du bâtiment.

^[37] : Fernandez, P. <<Stratégie d'intégration de la composante énergétique dans la pédagogie du projet d'architecture>>; thèse De doctorat, Ecole des mines de paris. 1996, p 98.

I.6.2.1.2 Forme et compacité :

les déperditions thermiques du logement se font par renouvellement d'air et à travers l'enveloppe ce qui rend le choix de la compacité du bâtiment source potentielle d'économies d'énergie.

La compacité est mesurée par un coefficient de forme, C_f [$C_f = S/V_h$], qui est le rapport entre la surface de l'enveloppe S (m^2) et le volume habitable V_h (m^3), il indique le degré d'exposition du bâtiment aux conditions climatiques ambiantes. Plus la surface de déperditions est grande, plus les pertes de chaleur augmentent, le bâtiment est plus économe en énergie quant le coefficient de forme prend des valeurs plus élevées.

Une forme compacte est souhaitable pour réduire le cout du confort thermique pour le chauffage et la climatisation du bâtiment, mais un bâtiments hyper compact n'est pas souhaitable point de vu architectural, donc un compromis doit être trouvés lors de la conception du projet.

Plusieurs facteurs sont pris en considération lors de l'évaluation thermique d'un bâtiment, ce qui fait de la compacité un critère intéressant mais difficile à appliquer. On peut, à partir d'une analyse géométrique (figure I.14) ^[38], comparer la variation de la compacité par rapport à la forme, la taille et le mode de contact.

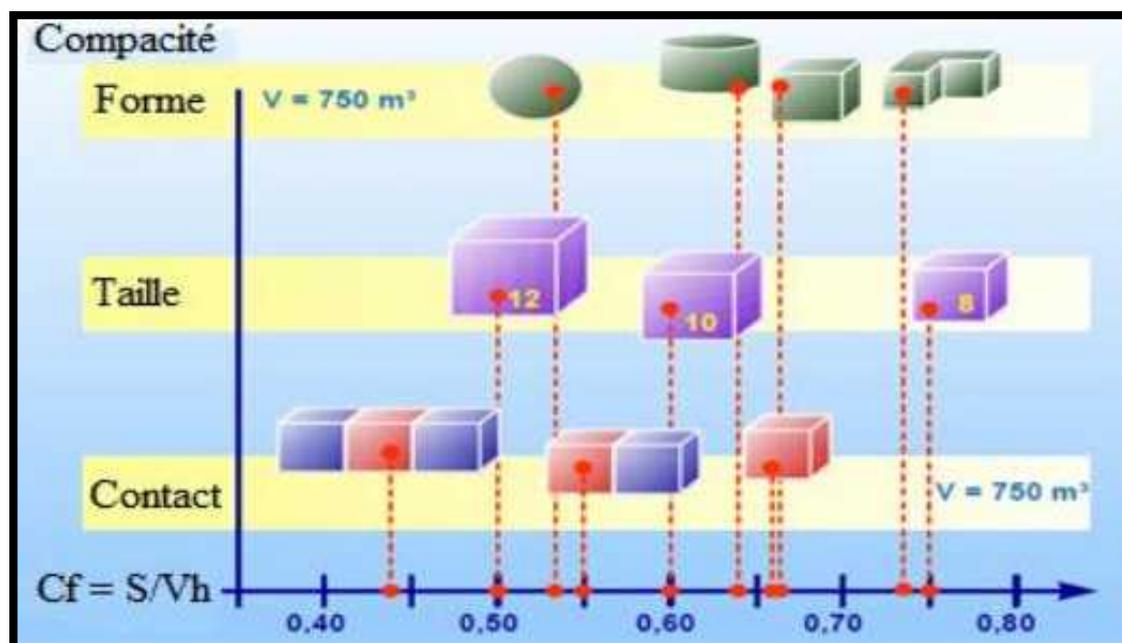


Figure I-11: Impact de la forme, la taille et la proximité d'autres volumes sur la compacité de formes simples

le coefficient de forme pourrait être critiqué par le fait qu'il ne prend pas en compte la répartition et la surface de vitrage et d'autre part que l'orientation du bâtiment est négligée.

^[38] : Liébard, A. et De Herde, A. << Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques >> Ed. le moniteur. Paris 2005. p 83b;

I.6.2.1.3 L'organisation intérieure:

L'occupation des divers espaces d'un bâtiment varie en fonction du rythme des journées et même des saisons. Définir ces différents espaces (zones) et caractériser leurs besoins thermique permet de les disposer rationnellement les un par rapport aux autres. Les zones habitées en permanence de jour ou de nuit étant ceux qui nécessitent le plus de chaleur en hiver sont séparés de l'extérieur par des espace intermédiaire, dits tampons qui jouent le rôle de transition et de protection thermique. La hiérarchisation des espaces assure la transition entre l'extérieur et l'intérieur. Les espaces intérieurs sont organisés en fonction de l'usage, de manière à ce que l'ambiance thermique corresponde aux activités et aux heures d'utilisation, c'est-à-dire rarement utilisés mais jouant un rôle protecteur vis-à-vis du froid. Pour optimiser l'approche thermique d'un bâtiment, l'idéal est d'organiser, dès la première formulation spatiale du bâtiment, les locaux suivant leurs besoins.

L'élaboration de zoning climatique (figure I-14 [\[39\]](#)) permet suivant le type d'activité et le taux de fréquentation de l'espace, de disposer les espaces suivant les besoins énergétiques, cela permet de réduire les besoins calorifiques et frigorifiques des bâtiments et d'en augmenter le confort.

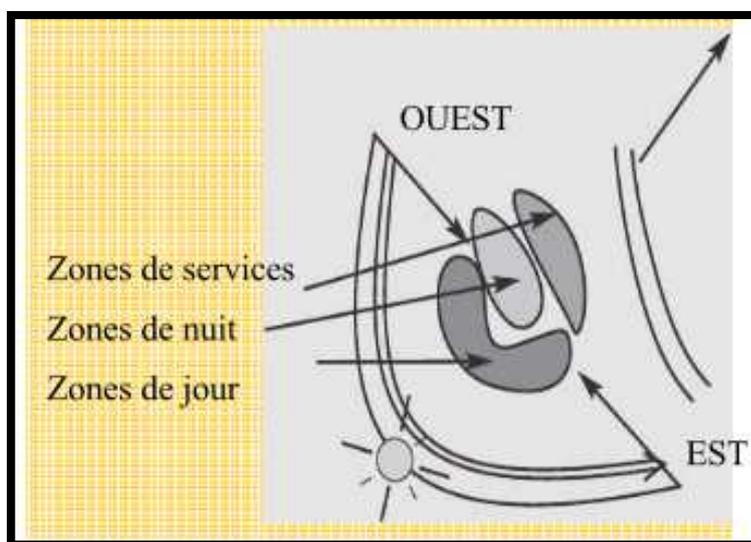


Figure I-12: Principe du zonage thermique

I.6.2.1.4 L'orientation :

L'orientation d'un édifice répond à sa destination: les besoins en lumière naturelle, l'intérêt d'utiliser le rayonnement solaire pour chauffer le bâtiment ou, au contraire, la nécessité de s'en protéger pour éviter la surchauffe, l'existence de vents pouvant refroidir le bâtiment en hiver ou le rafraîchir en été, sont autant de paramètres importants dans le choix de l'orientation. [\[40\]](#)

Dans le but d'optimiser le confort des occupants tout en préservant le cadre naturel de la construction, une attention toute particulière doit être portée à l'orientation du bâtiment: l'été, il s'agit de limiter les apports solaires et d'évacuer la chaleur, alors qu'en hiver, il convient de profiter au maximum des apports solaires, et de se protéger des vents dominants.

Orientation Sud , et Nord :

Une bonne orientation suppose une bonne compréhension de la géométrie solaire, elle permet la combinaison entre les apports solaires en hiver avec une protection du soleil en été et en mi-saison, il est admis que toute forme allongées suivant l'axe est- ouest (orientation sud) présente les meilleures performances thermiques [\[41\]](#) .

[\[39\]](#) : Hauglustaine, J.M et Simon.F << la conception globale de l'enveloppe et l'énergie>> guide pratique pour les architectes , février 2006.

[\[40\]](#) : Liébard, A.et De Herde, A<< Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques>> Ed. le moniteur. Paris 2005. P 64a

[\[41\]](#) : S.Mazouz, Eléments de conception architecturale, OPU(Office des Publications universitaires), 4 ème édition , 2008.

De façon générale, il est préférable d'avoir une exposition principale Sud à toute autre exposition, car c'est la seule à être à la fois avantageuse été comme hiver. En outre, une orientation Sud apporte évidemment un éclairage naturel satisfaisant aux heures les plus "intéressantes" de la journée, à midi et l'après-midi, ce qui garantira en plus des économies de chauffage une économie d'éclairage à condition que la maison aura la possibilité de faire des ouvertures au Sud-est, Sud ou Sud-ouest. En dehors du Sud, l'exposition principale orientée Nord, privera le logement de tout apports solaires utiles en saison froide.

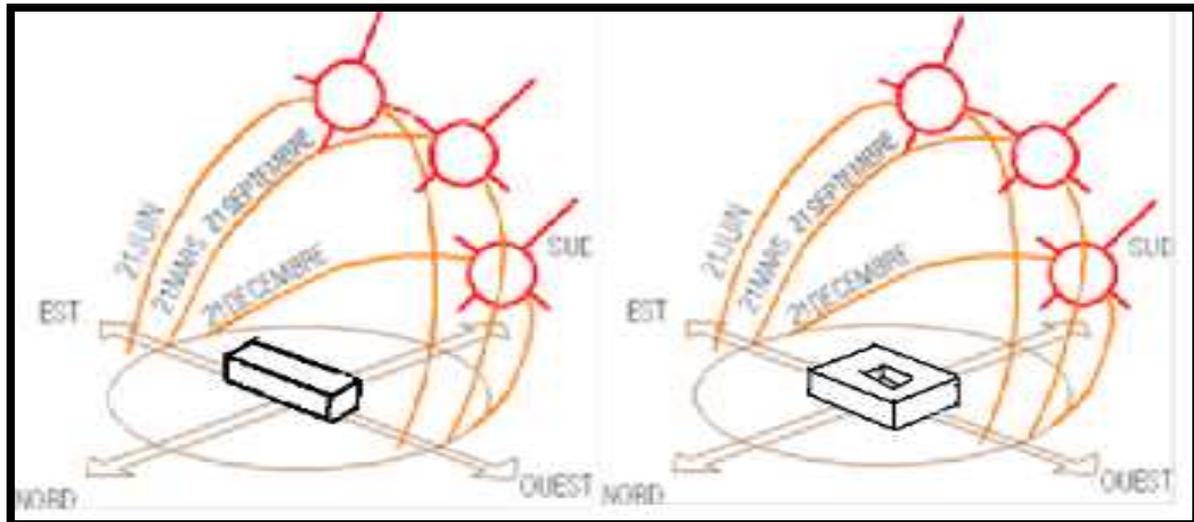


Figure I-13: Forme optimale par rapport au rayonnement solaire

Orientation Est, et Ouest:

Les expositions principales Ouest et Est sont à éviter, car les rayons du soleil frappent de plein fouet les ouvertures, qui sont alors difficiles à protéger. Ceci est particulièrement dérangent l'été, Les faces Est et Ouest du bâtiment seront à étudier avec prudence vue qu'elles correspondent à une incidence quasiment perpendiculaire au soleil et seront exposées aux apports solaires maximums en été, ce qui occasionne le plus souvent des surchauffes et une gêne visuelle.

Orientation et vent:

L'orientation du bâti doit également être pensée de manière à avoir des parois aussi étanches que possible à l'air, et qui minimisent l'effet des vents indésirables (vents froids d'hiver et vents chauds d'été).

Orientation et proportion de surface vitrée:

«Les théories préfèrent l'orientation Sud, car elle bénéficie des radiations intenses en hiver et des radiations minimales ou basses en été » ^[42], D'autres chercheurs (ANDERSSON et al. 1985; AL-OBAIDI & WOODS 2006; PORRITT et al. 2010; KORANTENG & ABAITEY 2010; BEKKOUCHE et al. 2013) ont démontré, par leurs calculs, que cette orientation reste la plus favorable, quelle que soit la latitude. Le seul fait d'orienter correctement une habitation et de positionner adéquatement ses fenêtres par rapport au parcours du soleil, réduit sa consommation énergétique pour le chauffage, pour la climatisation et même pour l'éclairage ;La figure I.16 ^[43] illustre ce dernier point en comparant les besoins annuels de chauffage d'une habitation selon l'orientation et la proportion de ses vitrages (rapport de la surface vitrée à la surface de la façade).^[44]

^[42] : OLGAY & OLGAY 1963.

^[43] : Liébard, A. et De Herde, A. << Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques >> Ed. le moniteur. Paris 2005. P 64b

^[44] : NEFISSA Belkacem, THÈSE de DOCTORAT. << Contribution à l'évaluation des performances énergétiques et environnementales d'un habitat individuel bioclimatique : cas de la maison pilote de Soudania –Alger- (Algérie) >>

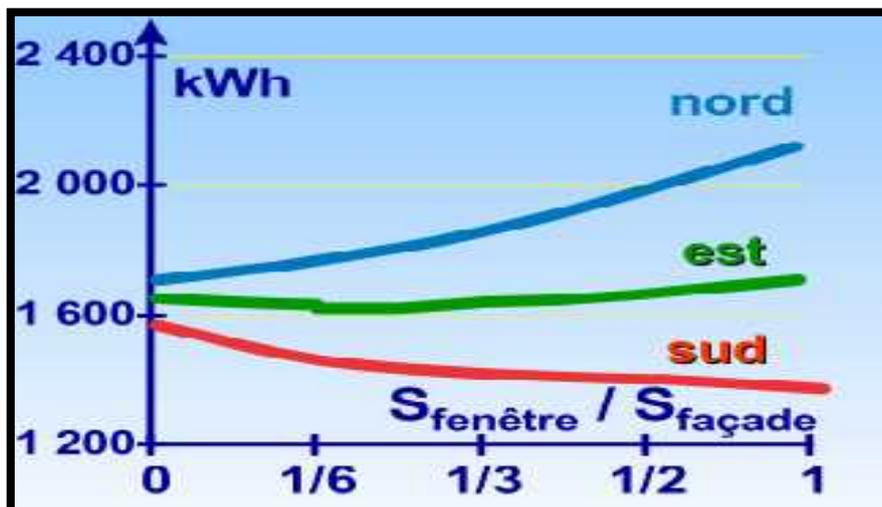


Figure I.14 Variation des besoins annuels de chauffage d'une habitation en fonction de l'orientation et de la proportion de surface vitrée

On constate une diminution importante des besoins de chauffage pour une orientation Sud, alors que ces besoins ne cessent d'augmenter pour une orientation Nord. L'écartement progressif des courbes reflète que la fenêtre : élément capteur de chaleur au Sud, devient surface déperditive quand elle est placée au Nord qui est la partie la plus froide, c'est la façade qui reçoit très peu de soleil quelle que soit la saison. Il faudra donc s'en protéger et limiter les ouvertures afin de minimiser les déperditions thermiques du bâtiment.

alors, Afin de capter un maximum de chaleur gratuite (apports passifs), il faut s'ouvrir au Sud. Le fait d'opter pour de grandes ouvertures au Sud sera bénéfique pour le confort des habitants, à condition de savoir éviter les surchauffes l'été. Aussi, une exposition aux vents est favorable en été, sans oublier de s'en protéger en hiver éventuellement par l'implantation de barrières végétales.

I.6.2.1.5 Les Protections solaires:

On entend par protection solaire tous éléments dont le rôle est d'éviter que tout ou seulement une partie du rayonnement solaire ne pénètre à travers une ouverture ^[45]

L'un des concepts de base de l'architecture bioclimatique en climat chaud et la protection du bâti face aux rayons solaires. Les matériaux isolants, les revêtements réfléchissants, les écrans ombrageants représentent quelques systèmes de protection. ^[46]

La protection solaire concerne toutes les parois extérieures du bâtiment, qu'elles soient transparentes ou opaques (non isolées thermiquement), elle permet de rendre le bâtiment thermiquement et énergiquement performant en limitant les surchauffes et les éblouissements. Elle est déterminée par le site et la localisation du bâtiment, son usage, les conditions climatiques, d'ensoleillement et les autres sources d'éclairage (tel que l'éclairage urbain) ainsi que par les stratégies globales de refroidissement, chauffage et de ventilation.

^[45] : A.Chatelet,P.Fernandez et P.Lavigne:<< l'architecture climatique; une contribution au développement durable, tome 2: concepts et dispositifs>> édition EDISUD-Aix-en-provence19986 p 37;

^[46] : Liébard, A.et De Herde, A<< Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques>> Ed. le moniteur. Paris 2005. P 138 a.

Les dispositifs de protection solaire peuvent bloquer le rayonnement direct (en général plus important), réduire dans des proportions variables les rayonnements diffus et réfléchis, et influencer l'éclairage naturel, l'éblouissement et la ventilation. Ils peuvent faire partie intégrante de l'enveloppe du bâtiment en offrant de grandes possibilités d'expression architecturale.

I.6.2.1.5.1 Les différents types de protections solaires:

De nombreux types de dispositifs de protection solaire existent, Ils peuvent, soit s'intégrer structurellement à l'architecture par des (porches, vérandas, brise-soleil, débord de toiture), ou s'appliquer à l'enveloppe (stores, peirciennes, volets). Ils peuvent également être fixe ou mobile, intérieures ou extérieures, verticales ou horizontales. Les protections solaires peuvent être aussi liées à l'environnement, autant naturel ou construit, comme la végétation, le relief ou même les masques provoqués par les bâtiments voisins.

• Les protection fixes:

La mise en œuvre de protection solaire fixes peut, dans certains cas, s'avérer particulièrement intéressante dans la mesure où leur effet sera indépendant de l'action des utilisateurs. Ainsi, un local équipé d'un brise-soleil adapté sera protégé de la surchauffe, indépendamment de son occupation. L'inconvénient est qu'il offre une protection différente selon la position du soleil. Le local ne profite donc que peu des apports solaires en hiver, leur dimensionnement doit donc être correctement réalisé pour qu'il soit efficace.

En général les typologies les plus usuelles sont les suivantes.

○ l'auvent: constitué d'une avancée horizontale au dessus de l'ouverture: auvent, débord de toit, débord de dalle, balcon filant, brise-soleil horizontal, linteau de fenêtre. L'occultation au rayonnement direct est bonne en été et la casquette laisse passer le soleil quelle que soit l'orientation de la façade en hiver.

○ Le flanc: constitué par des pans verticaux à coté de l'ouverture: décrochement de façade, saillie de refends, tableau de fenêtre. L'occultation est quasiment constante (mais faible) toute l'année en orientation sud. Elle est assez forte à l'est et à l'ouest en hiver, ce qui n'est généralement pas souhaité, et quasi nulle en été.

○ La loggia: combinée entre l'auvent et les flancs: loggia, tableau+linteau de fenêtre, balcon filant + séparation vertical, écran à lames croisées. La protection solaire est bonne l'été, du Sud-est au Sud-ouest. Elle est moyenne toute l'année à l'Est et à l'Ouest

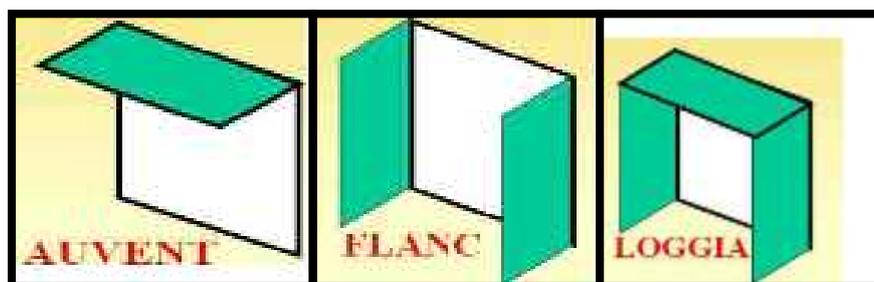


figure I.15: différents typologies de protection fixe.

- **les protections mobiles:**

- Les protection extérieures mobiles

Il s'agit de stores vénitiens (lamelles horizontales), de stores enroulables, de stores à lamelles (verticales), etc., disposés du côté extérieur de la fenêtre.

Avec ce type de protection solaire, la protection peut être adaptée constamment aux conditions extérieures et intérieures: Elle sont utilisées en fonction des besoins, et permettent une protection efficace en été tout en bénéficiant des apports solaires en hiver figure I.18. ^[47]

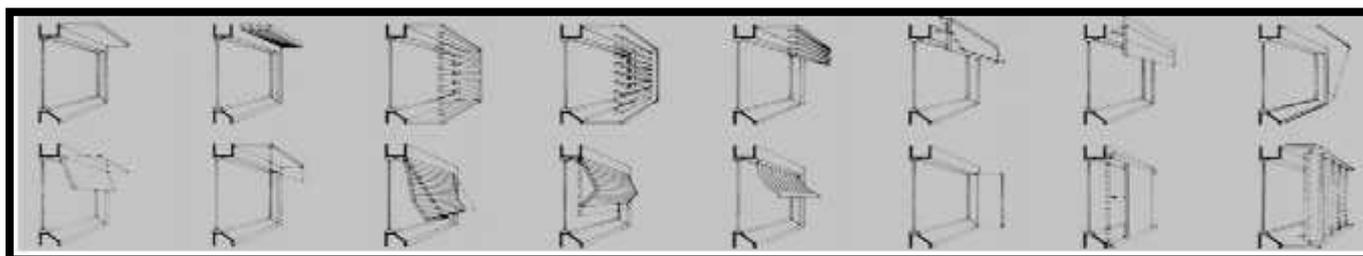


figure I.16: différents dispositifs de protections extérieures mobiles.

- Les protection intérieures mobiles

Stores extérieures, claustras, panneaux coulissant ..ect, elles sont utilisées en fonction des besoins, elles permettent d'éviter le rayonnement direct sur une personne. Les protection intérieures laissent en effet pénétrer le soleil dans la pièce, bénéficiant ainsi des apports solaires en hiver, mais elle ne sont pas très efficaces en été, puisque ce rayonnement solaire se transforme après en chaleur.

- La protection végétale

Par la végétation (arbre à feuille caduque, plantes autour du bâtiment) on peut se protéger des rayonnements solaires et leur feuillage persistant interceptent le rayonnement solaire et les empêchent d'atteindre les façades. De plus elle se comporte comme humidificateur réduisant la température de l'air par évaporation. En hiver, ce type d'arbre perd leur feuillage et laisse pénétrer le rayonnement solaire.(voir figure I.19)



figure I.17: La végétation à feuillage caduc comme protection solaire

^[47] : Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement « assurer une bonne protection solaire, recommandation pratique »in guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, n°ENE13; Belgique.2007

I.6.2.1.5.2 Détermination du niveau de protection solaire des baies (FS) :

La maîtrise du flux entrant s'apprécie par le facteur solaire (FS) de la baie munie de sa protection solaire. C'est un coefficient définissant le rapport entre l'énergie solaire qui pénètre à l'intérieur d'un local par une fenêtre ou une paroi opaque et l'énergie solaire incidente sur cette même surface. Le facteur solaire (FS) est un coefficient compris entre 0 et 1. Une protection solaire pour être efficace doit avoir un facteur solaire (FS) $\leq 0,20$.

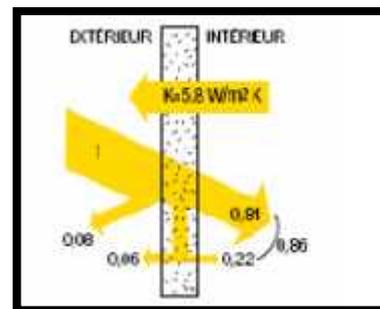


figure I.18: Facteur solaire d'un simple vitrage.

I.6.2.1.6 La ventilation Naturelle :

Dans la littérature, la ventilation naturelle est définie comme étant le mouvement d'air qui s'effectue à travers un espace sans l'influence d'appareillage mécanique. Les écoulements d'air naturels reposent sur les effets du vent et les variations de la densité de l'air dus aux différences de températures, elle est considérée comme principe de rafraîchissement passif.

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

L'approche bioclimatique utilise « la ventilation naturelle ». Cette stratégie s'avère efficace à contrôler les surchauffes des bâtiments si ceux-ci sont bien conçus et si les conditions climatiques le permettent : une disposition stratégique des ouvertures et une morphologie architecturale favorable à la circulation transversale et verticale de l'air permettront de générer suffisamment de changements d'air pour évacuer la surchauffe.

Les principaux types d'écoulement de ventilation naturelle dans les bâtiments sont :

I.6.2.1.6.1 La ventilation naturelle traversante:

la prise en compte de la position des ouvertures par rapport au vent est importante dans la création du déplacement d'air.

la ventilation traversante dans un local doit réunir deux conditions: la première est que le local comporte deux ouvertures, et la deuxième est que celles-ci soient sur deux façades opposées du local. la différence de pression entre le côté sous le vent du bâtiment et le côté face au vent va entraîner des écoulements d'air d'une ouverture à l'autre .

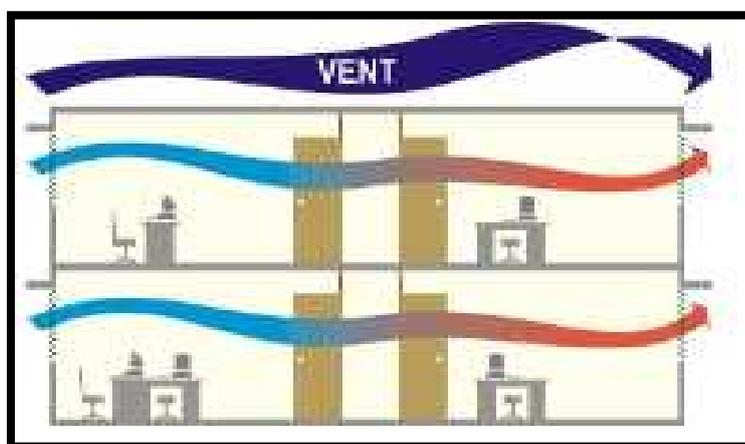


figure I.19: Ventilation traversante (l'abaissement température est fort)

Givoni B, estime que la meilleure condition de ventilation transversale est obtenue lorsque le flux d'air change de direction à l'intérieur de l'espace en se déplaçant de l'entrée vers la sortie .^[48]

I.6.2.1.6.2 La ventilation de simple exposition (par une seule façade) :

C'est le mode de ventilation naturelle le plus simple, il consiste en l'aération d'un espace sur une seule façade. Dans ce cas le bâtiment doit être muni d'ouvertures hautes dont l'air extérieur entre dans le local et l'air intérieur sort par la même ouverture, ou encore d'une ouverture en haut et d'une autre en bas de manière à favoriser l'établissement d'un tirage thermique qui permette à l'air extérieur plus frais d'entrer par les entrées basses, et à l'air intérieur de s'extraire par les orifices hauts. Si les fenêtres sont correctement dimensionnées.

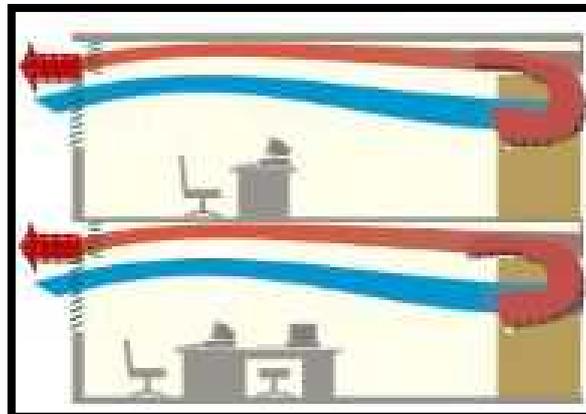


figure I.20: Ventilation unilatérale

I.6.2.1.6.3 La ventilation par tirage thermique :

Le tirage thermique est en général assuré par la différence de température entre l'air chaud intérieur et l'air plus frais de l'extérieur. Elle peut être aidée par le vent qui, en pratique, est sûrement la force motrice prédominante durant le jour. C'est donc un conduit vertical qui fournit la possibilité d'écoulement de l'air depuis les fenêtres situées sur une façade au vent (avec des pressions positives) à travers la pièce jusqu'à la zone de pression négative située en haut du conduit. Le plan neutre doit être situé au dessus du niveau de la fenêtre la plus haute.

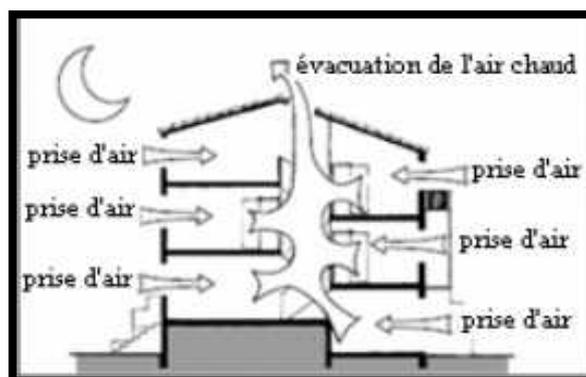


Figure I.21: Aération par tirage thermique.

On peut trouver deux stratégies différentes :

- **La tour à vent :**

dispositif destiné à capter les vents en hauteur afin de les diriger vers l'intérieur du local à ventiler. Elle est employée pour acheminer le flux d'air aux espaces intérieurs des bâtiments afin d'assurer un confort de vie pour les occupants.

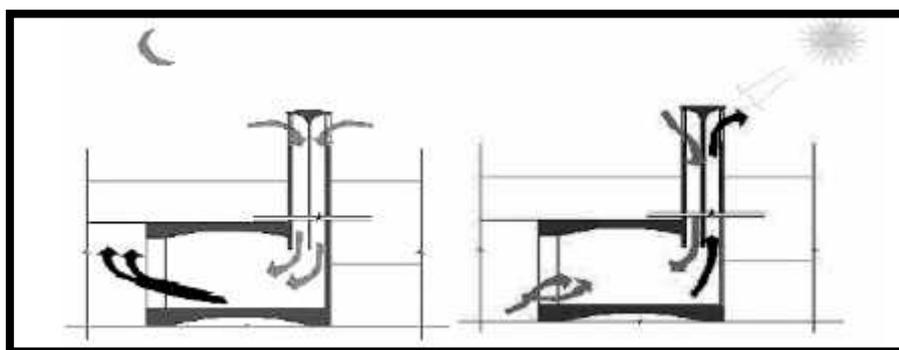


Figure I.22: fonctionnement de la tour à vent le jour et la nuit.

^[48] : Givoni.B., <<l'homme, l'architecture et le climat>> Edition le moniteur, paris 1978 p 285.

On peut trouver la tour à vent unidirectionnelle qu'on trouve dans les régions où les vents saisonniers et journaliers sont pratiquement fixes vers une seule direction. ; La tête de la tour aura une seule ouverture faisant face à cette direction.

• La cheminée solaire

la cheminée solaire est constituée d'une cheminée peinte en noir. Pendant le jour, l'énergie solaire réchauffe le conduit de cheminée et l'air contenu à l'intérieur, y créant un appel d'air.



Figure I.23: le système de cheminée solaire .

I.6.2.2 Les bases de conception de détail:

L'enveloppe du bâtiment joue un rôle de séparation thermique entre l'ambiance intérieure et extérieure, elle intervient comme stockage de la chaleur dans le bâtiment et comme distributeur de cette dernière à l'air intérieur et extérieur.

Pour assurer une bonne qualité thermique d'une ambiance intérieure, sans faire appel à des technologies complexes dont l'utilisation de l'énergie conventionnelle est importante, on peut intervenir sur les performances thermiques des matériaux de l'enveloppe, tout en assurant l'inertie thermique du bâtiment et l'isolation thermique de l'enveloppe.

I.6.2.2.1 matériaux de construction et leurs performantes thermiques:

Un bâtiment est un ensemble composé de divers matériaux en contact avec un environnement plus ou moins froid ou chaud en fonction de la saison, de l'heure ou des condition météorologiques. Les transfère de chaleurs se produisent en permanence. Pour satisfaire le confort des habitants sans dépenser de l'énergie, il convient de réguler les échange thermiques. Pour ce faire, il est nécessaire de contrôler les flux, qui dépend de l'épaisseur des matériaux et leurs propriétés thermophysiques. Les parois d'un bâtiment transmettent la chaleur résultante de leur exposition au rayonnement solaire comme suit : l'air ambiant extérieur et le rayonnement solaire chauffent les surfaces externe de l'enveloppe, la chaleur résultante chauffe la masse du mur et se transmet vert la surface intérieure. Cette chaleur est transmise à son tour vers l'air ambiant intérieur par convection et rayonnement. Les principale caractéristiques thermiques des matériaux de construction:

• la conductivité thermique (λ):

Chaque matériau possède une conductivité thermique propre. Pour classer les matériaux selon ce critère, on utilise le coefficient lambda (λ). Il s'exprime en watts par mètre kelvin (W/m.K ou par W/m°C), et représente la quantité de chaleur traversant

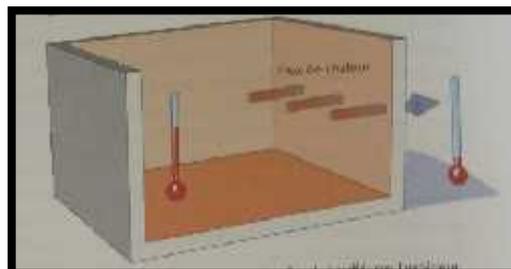


Figure I.24: Flux de chaleur à travers une paroi d'un local chauffé vers l'extérieur .

un mètre carré de matériau d'une épaisseur d'un mètre, soit un mètre cube, avec une différence de température d'un degré entre les deux faces, dans un temps donné, c'est une caractéristique constante et propre à chaque matériaux.^[49]

il est intéressant de noter que plus la conductivité thermique d'un matériau est grande, plus ce matériau sera conducteur et plus la conductivité est faible, plus il sera isolant.

• la capacité thermique (C):

La capacité thermique d'un matériaux désigne son aptitude à stocker de la chaleur. Symbolisée C, elle est exprimée en watt heure par mètre cube kelvin (Wh/m³.K). c'est la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température du matériau de 1°C. plus la capacité thermique d'un matériau est grande, plus la quantité d'énergie qu'il peut stocker et à lui apporter pour élever sa température est importante.

• la diffusivité thermique (a):

La diffusivité thermique d'un matériau exprime son aptitude à transmettre rapidement une variation de température. Elle croit avec la conductivité et décroît avec la capacité thermique, elle s'exprime en mètre carré par heure (m²/h).

Plus la diffusivité est faible, plus le front de chaleur mettra du temps à traverser l'épaisseur du matériau: le temps entre le moment où elle atteint l'autre face (déphasage) s'en trouve augmenté.

•L'effusivité thermique (b):

L'effusivité thermique d'un matériau caractérise sa capacité et sa rapidité à échanger de l'énergie avec son environnement, elle s'exprime en (W.h^{1/2} /m.K). Plus l'effusivité est élevée, plus le matériau absorbe de l'énergie sans se réchauffer notablement. Au contraire, plus elle est faible plus vite le matériau se réchauffe.

I.6.2.2 Vitrage et propriétés thermique:

Les baies vitrées et leurs distributions sur l'enveloppe sont des paramètres essentiels lors de la conception d'un bâtiment. Leur premier rôle est d'assurer le confort visuel et thermique des occupants et de gérer les apports solaires en toute saison. Par conséquent, l'évaluation des aspects positifs et négatifs de la paroi transparente, exige une grande attention à plusieurs éléments, comme le type de vitrage, la position, l'orientation et le type de protection solaire associée.....etc.

Comme tenu de ses effets sur l'éclairage naturel et son potentiel sur les apports solaire, les vitrages se caractérisent par trois facteurs thermiques, à savoir ^[50] :

- **Le facteur solaire**, Le coefficient de transmission énergétique, dit « facteur solaire », s'exprime en %, représente le pourcentage d'énergie solaire incidente, transmise au travers d'une paroi vitrée à l'intérieur d'un local: plus basse sera la quantité, moins il aura d'effet de serre, plus grand sera le confort d'été (Plus le facteur solaire est petit, plus les apports solaires sont faibles).
- **Le facteur thermique (U)**, Le coefficient de transmission thermique exprime la quantité de chaleur traversant un mètre carré de vitrage par degré de différence entre température intérieure et extérieure (W/m².°C). L'amélioration du coefficient de transmission d'un vitrage se fait en doublant voire en triplant le vitrage. Un faible coefficient thermique du vitrage signifie une meilleure isolation thermique.

^[49] : Thierry Gallauziaux et David Fedullo., <<Le grans livre de l'isolation>> p 15.

^[50] : <http://www.vitragevir.fr>

• **Le facteur lumineux (TI)**, Le coefficient de transmission lumineuse est le pourcentage de lumière solaire qui entre dans le bâtiment au travers du vitrage, qui ne mesure pas l'énergie calorifique transmise, mais seulement la lumière (on l'appelle aussi coefficient de transparence). Lorsque l'énergie solaire est interceptée par une paroi vitrée, une partie est réfléchi vers l'extérieur, une partie est transmise à l'intérieur et enfin une partie du rayonnement est absorbée par le vitrage, telle qu'illustrées dans la figure I.27 ci-dessous.

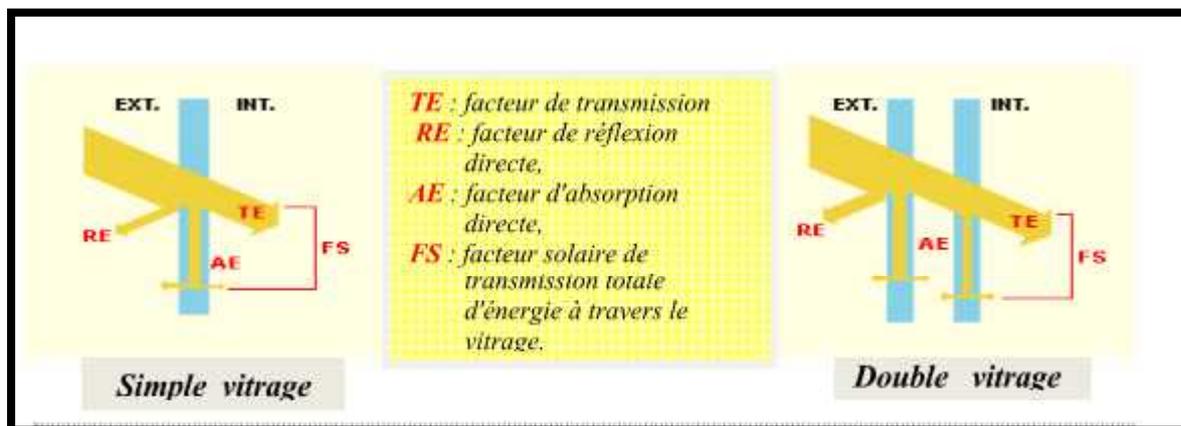


Figure I.25: Les facteurs énergétiques

La nature du vitrage a une influence sur la transmission énergétique du rayonnement solaire selon les caractéristiques suivantes:

- Les vitrages clairs sont connus pour leurs haute capacité de transmission de lumière et de rayonnement solaire.
- Les vitrages absorbants sont teintés et permettent au verre d'augmenter la fraction absorbée du rayonnement solaire au profit de la fraction transmise. Ils réduisent sensiblement la lumière et l'énergie transmise.
- Les vitrages réfléchissants sont caractérisés par la présence d'une très fine couche métallique réfléchissante et transparente, qui accroît la part du rayonnement solaire réfléchi. Ils sont surtout utilisés en bâtiment tertiaire dans le principal but de limiter l'éblouissement et les surchauffes en été, et donc réduire les éventuelles consommations de climatisation.

Les ouvertures et fenêtres jouent un rôle important dans la relation bâtiment- occupant- environnement. En effet, elles établissent le contact entre l'extérieur et l'intérieur et permettent ainsi d'améliorer le bien-être de l'occupant, Celles-ci influent aussi sur la consommation d'énergie à travers quatre aspects:^[51]

- C'est par elles que la majeure partie du rayonnement solaire pénètre. Elles doivent donc être conçues de façon qui permet de profiter au maximum de ce rayonnement pendant l'hiver, mais en évitant les surchauffes en été.
- A cause de leur résistance thermique plus faible que celle des parois opaques, elles engendrent des pertes thermiques importantes. Elles doivent donc être conçues de manière à minimiser ces pertes durant l'hiver.
- Elles seules assurent un renouvellement de l'air de la maison, c'est pour cette raison qu'elles doivent être pensées de façon à permettre une bonne ventilation tout en rejetant les infiltrations désagréables qui les accompagnent comme la pollution, le bruit...etc.

^[51] : Liébard, A. et De Herde, A. << Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques >>.

- Elles constituent une source de lumière naturelle, qui devrait être suffisante pour limiter les besoins d'éclairage artificiel. Tous ces paramètres devraient être pris en compte lors d'une bonne conception des ouvertures.

I.6.2.2.3 L'inertie thermique:

L'inertie thermique est une notion qui recouvre à la fois l'accumulation de chaleur et sa restitution, avec un déphasage* dépendant des caractéristiques physiques, dimensionnelles et d'environnement de la paroi de stockage. Une grande inertie thermique permet la récupération de la chaleur du jour afin de la restituer la nuit. Ceci est particulièrement intéressant dans les climats où la différence de température diurne et nocturne est importante. [\[52\]](#)

Lorsque les rayons du soleil frappent une paroi opaque, une partie de l'énergie rayonnée est absorbée, le reste est réfléchi. Un flux de chaleur s'établit alors entre la face externe et la face interne de la paroi. La chaleur qui se transmet par onde de l'extérieur à l'intérieur, se propage avec un certain déphasage et subit un amortissement. Le maximum de température atteint sur la face extérieure n'est pas immédiatement senti sur la face intérieure de la paroi; le temps de déphasage est fonction de l'épaisseur ainsi que la conductivité thermique des matériaux. [\[53\]](#)

Les caractéristiques de l'inertie thermique peuvent être regroupées en deux grandeurs: la diffusivité et l'effusivité thermique. Pour réduire l'amplitude du flux, les parois doivent présenter une faible diffusivité et une forte effusivité. [\[53\]](#). En outre, l'épaisseur du mur joue aussi un rôle primordial, plus les murs sont épais et les matériaux sont lourds, plus l'inertie thermique est importante.

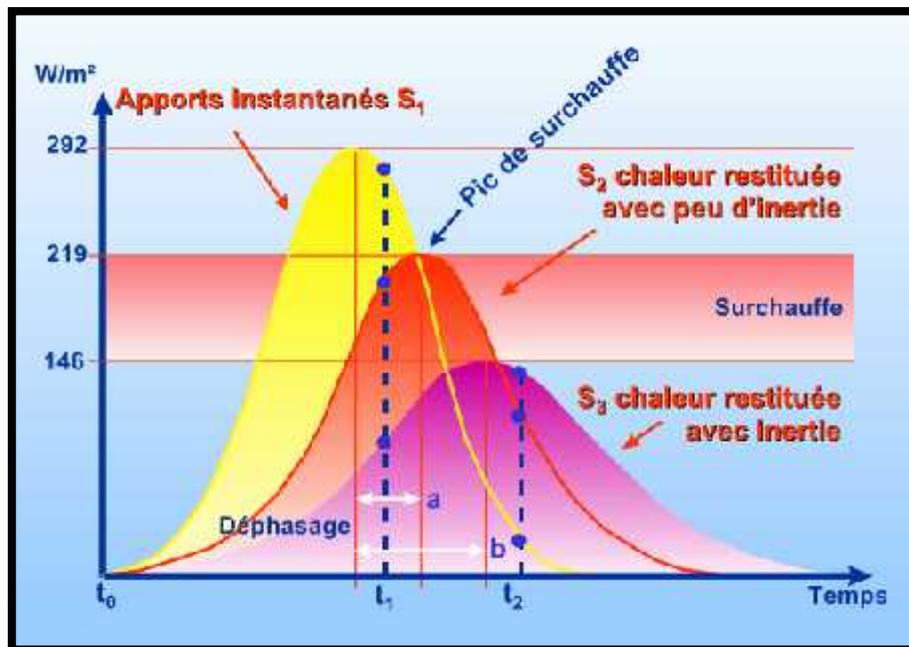


Figure I.26: Réaction d'un local à inertie forte et d'un local à inertie faible en présence d'apports solaires

[\[52\]](#) : Liébard, A. et De Herde, A. << Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques >>, p 91a

[\[53\]](#) : Liébard, A. et De Herde, A. << Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques >>, p 133a

*: Le déphasage caractérise le temps que met une onde de chaleur pour traverser une paroi et est fonction de l'épaisseur de la paroi et de la diffusivité du mur

La figure I-28 ^[54] compare la réponse d'un bâtiment à forte inertie (masse surfacique des parois > 400 kg/m²) à celle d'un bâtiment à faible inertie (masse surfacique des parois < 150kg/m²) en présence d'un apport de chaleur par rayonnement solaire. La surface jaune S1 représente l'évolution dans le temps de l'offre solaire. La surface S2 représente la réponse du local à faible inertie et la surface S3 celle du local à forte inertie.

L'incapacité d'un local, à faible inertie, de stocker la chaleur provoque des phases de surchauffe assez rapides en cas d'ensoleillement intense car le temps de déphasage (a) est très court. Inversement, le local à forte inertie pourra accumuler la chaleur (limitation de la surchauffe) et la restituer après un temps de déphasage (b) de plusieurs heures (b>a).

I.6.2.2.4 L'isolation thermique:

L'isolation thermique est la propriété que possède un matériau de construction pour diminuer le transfert de chaleurs entre deux ambiances. Elle a pour but de protéger les bâtiments et leurs occupants contre les effets de variations de températures et des conditions atmosphériques ainsi que de l'humidité ^[55].

Pour un bon fonctionnement de la maison bioclimatique l'isolation thermique est cruciale. En hiver, elle limite les déperditions thermiques et permet de garder le bâtiment bien au chaud. En été, elle rafraîchit l'habitat en réduisant les apports de chaleur. L'isolation permet aussi d'éviter les condensations et la désagréable sensation de "mur froid" ^[56].

En effet une maison chauffée perd sans arrêt une partie de sa chaleur, à travers l'ensemble de ses parois, comme le montre la figure I-29 ^[57]. , Isoler, consistera donc à réduire les déperditions, ou les apports indésirables suivant les possibilités de transmission de la chaleur (citées précédemment).

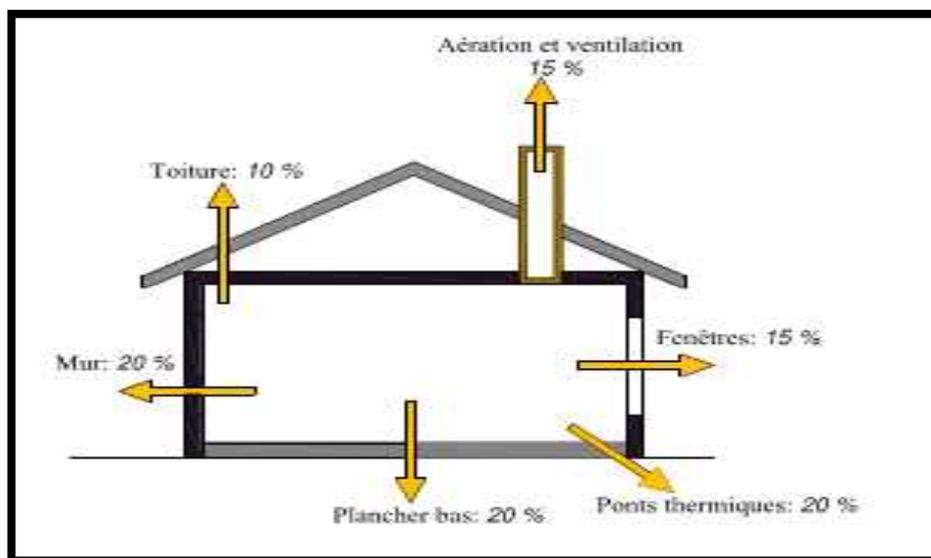


Figure I.27: Répartition moyenne des déperditions dans une maison individuelle neuve.

^[54] : Liébard, A. et De Herde, A. « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques », p 91b

^[55] : A. Bonhomme. Isolation thermique des bâtiments. 4^{ème} édition. Ed. du moniteur, Paris 1979, p 24.

^[56] : SALOMON 2000

^[57] : Ministère de l'emploi, de la cohésion sociale et du logement (2005) « Des bâtiments confortables et performants » in, document de la Direction générale de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction sur la réglementation thermique 2005, France.

Les déperditions thermiques peuvent être surfaciques, comme elles peuvent être linéiques par les ponts thermiques. Les déperditions surfaciques par transmission à travers une paroi sont calculées suivant la formule suivante [58]:

$$D_s = K \cdot A \text{ [W/ } ^\circ\text{C]}$$

Où :

- K: coefficient de transmission surfacique ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$).

l'amplitude d'une paroi à laisser passer la chaleur se mesure par le coefficient de transmission thermique K, encore appelé déperdition thermique surfacique des paroi. K s'exprime en W/m^2 . ce coefficient mesure le pouvoir isolant d'une paroi. La nature du matériau, sa composition, et son épaisseur sont prises en compte [59].

-A : surface intérieure de la paroi (m^2)

La valeur du coefficient K est [60] :

$$\frac{1}{k} = \sum R + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \text{ [m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W]}$$

Où :

- R : Somme des résistances thermiques [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$]

- $1/h_e + 1/h_i$: somme des coefficients d'échange superficiels [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$]

-R = e / résistance thermique [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$]

Plus la résistance thermique R est élevée, meilleure est la performance d'isolation, ce qui diminue les déperditions en hiver et les apports thermiques en été (transfert de chaleur par les parois).

Quant aux déperditions à travers les ponts thermiques, ils sont calculés selon la formule suivante :

$$D_{ll} = K_l \cdot L \text{ [W/} ^\circ\text{C]}$$

Où :

- K_l: coefficient de transmission linéique de la liaison [$\text{W / m } ^\circ\text{C}$]

-L: longueur intérieure de la liaison [m]

De ce qui précède, pour limiter les déperditions de chaleur ou minimiser les apports indésirables, nous allons faire recours aux isolants thermiques qui sont caractérisés par un faible coefficient de conductivité thermique et dont les secteurs d'application peuvent être très diversifiés comme le bâtiment, l'industrie et autres [61].

[58] : Ministère de l'habitat et de l'urbanisme (2007) « Réglementation thermique des bâtiments d'habitation. Règle de calcul de déperditions calorifiques » Document technique réglementaire (D.T.R) n° C 3-2, réalisé par le Centre National d'Etudes et Recherches Intégrées du Bâtiment, (C.N.E.R.I.B), Algérie.

[59] : Liébard, A. et De Herde, A. « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques », p 134 a

[60] : Chabi Mohammed .mémoire de Magister «étude bioclimatique du logement social-participatif de la vallée du m'zab : cas du ksar de tafilet.>>

[61] : Langlais, C. et Klarsfeld, S. (1997) « Isolation thermique à température ambiante. Bases physiques » Techniques de l'ingénieur, document n° BE 9 860. France.

Dans la pratique, ce coefficient ne suffit pas à indiquer la qualité isolante d'un matériau ou d'une paroi, mais on tient compte de l'épaisseur du matériau ou des différentes épaisseurs, on parlera alors de résistance thermique (R) comme nous venons de la définir plus haut. Il est à souligner qu'un isolant doit se trouver à l'abri de l'humidité car l'eau est 25 fois plus conductrice de chaleur que l'air.

Au plan architectural, si le concept de compacité règle les problèmes de déperditions thermiques, l'avènement de l'isolant comme matériau, libère l'architecture de la contrainte de la forme, plus les niveaux d'isolation thermiques sont poussés, plus l'architecte peut jouer librement avec l'enveloppe sans pour autant provoquer des consommations ou des déperditions excessives^[62].

I.6.2.2.4.1. Les différents types d'isolants:

On distingue trois groupes d'isolants: ceux à base minérale, ceux à base de plastique alvéolaire et ceux à base végétale:

•**Les isolants minéraux:** sont d'origine naturelle. Ce sont les plus couramment employés dans le bâtiment. Ils comprennent les laines de roche ou de verre, le verre cellulaire, la perlite, la vermiculite et l'argile expansée. Ils sont fabriqués industriellement à partir de matières premières abondantes et mélangés à d'autres matériaux pour être commercialisés sous toutes les formes (panneaux rigides, flocons, rouleaux vrac....) ^[63].

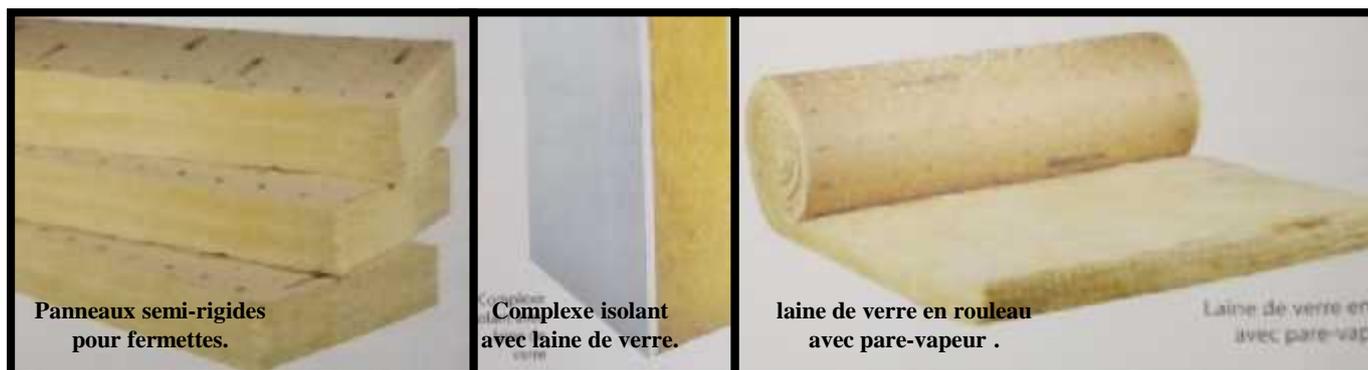


Figure I.28: Les isolants en laine de verre.

•**Les isolants synthétiques:** Ce sont des matériaux de synthèse produits par la chimie industrielle. Les matières plastiques forment un groupe important de matériaux qui se distinguent les uns des autres en fonction de la matière première employée et du mode de fabrication. ^[64]



Figure I.29: Polystyrène expansé.

^[62] : Charbonnier, S. Parant, C. et Pouget, A. (1992) « Guide de la thermique dans l'habitat neuf » Editions du Moniteur.

^[63] : :Thierry Gallauziaux et David Fedullo << le grand livre d'isolation >> p 120.

^[64] : :Thierry Gallauziaux et David Fedullo << le grand livre d'isolation >> p 114.

• **Les isolants d'origine végétale:** de nombreux végétaux produisent des fibres qui peuvent être mises à profit pour fabriquer des isolants efficaces et naturels. Différents modes et formes de mises en œuvre sont proposés pour répondre à tous les besoins en isolation thermique. Ils comprennent le chanvre, le lin, liège, la laine de coton ... [\[65\]](#).



Figure I.30: Les isolants en chanvre .

la figure I- 33 présente les caractéristiques de différents isolants. [\[66\]](#).

Types	Matériaux	Conductivité thermique λ W/m.K	Température de fusion °C	Résistance à la diffusion de vapeur comparativement à l'air	Protection contre les animaux et les micro-organismes
Isolants minéraux	Laine de roche	0,036	1 200	1 à 2	+
	Laine de verre	0,040	700	1 à 2	+
	Verre cellulaire	0,042	600	Infinie	+
	Perlite expansée	0,050	1 100	5 à 10	+
Mousses synthétiques	Polyuréthane	0,025	120	50	-
	Polystyrène expansé	0,036	80	20 à 150	-
	Polystyrène extrudé	0,028	80	150 à 300	-
Isolants à base de produits végétaux	Chanvre	0,040	120	1 à 2	+

Tableau I.03: Les caractéristiques des principaux matériaux isolants.

I.6.2.2.4.1. Les procédés d'isolation :

Pour isoler une paroi, deux possibilités s'offrent au concepteur et réalisateur, nous avons le choix entre :

• L'isolation des murs par l'extérieur:

L'isolation par l'extérieur est une solution extrêmement efficace, aussi bien dans la construction que dans la rénovation. Plusieurs solutions techniques sont possibles selon les performances à atteindre (qualité thermique, étanchéité à l'eau et à l'air), l'esthétique recherchée, la complexité de la façade et le prix. Quelque soit la solution choisie, il s'agit de systèmes relativement simples à la pose.

[\[65\]](#) : Thierry Gallauziaux et David Fedullo << le grand livre d'isolation >> p 114.

[\[66\]](#) : Liébard, A et de herde, A. 2005. p 134 b.

La mise en œuvre sera rapide lorsque de grandes surfaces ininterrompues sont couvertes, mais plus longues pour des surfaces morcelées. Elle s'applique généralement aux murs plans.

Le principal avantage de l'isolation par l'extérieur est de procéder à deux opérations en même temps : l'isolation du mur et le ravalement extérieur.

- Elle diminue considérablement les pertes de chaleurs d'un bâtiment en traitant la majorité des ponts thermiques délaissés par l'isolation classique.
- Elle protège les murs des variations climatiques améliorant ainsi le confort en hiver comme en été
- elle ne réduit pas l'espace exploitable.

Par contre son coût est élevé.

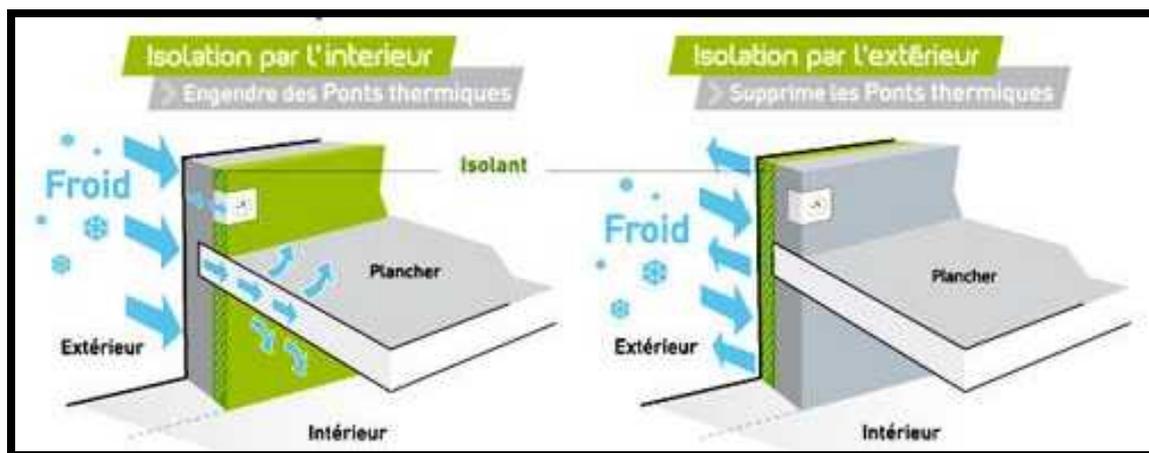


Figure I.31 : avantage de l'isolation par l'extérieur

• L'isolation des murs par l'intérieur:

C'est la technique la plus couramment utilisée car elle est la moins onéreuse et la mieux maîtrisée mais elle entraîne une réduction de la surface des pièces, des gênes possibles par exemple pour l'ouverture des fenêtres du fait de l'épaisseur additionnelle, une mise en œuvre qui peut être contraignante dans le cas de prises, canalisations ou autres équipements à démonter, elle ne permet pas de traiter tous les types de ponts thermiques (nez de dalle en plancher haut, etc.). Elle est généralement la solution retenue pour l'isolation des constructions anciennes dont le ravalement extérieur est en bon état.

Les deux solutions techniques les plus couramment utilisées sont :

-L'isolant quel qu'il soit est placé derrière une contre-cloison maçonnée en briques plâtrières ou en carreaux de plâtre ou encore en plaques de plâtre vissées sur des ossatures ou sur ossature : L'isolant est alors collé ou fixé mécaniquement au support.

-L'isolant est composé de panneaux composites ou complexes de doublage : Cette solution évite la contre-cloison puisqu'elle fait appel à des panneaux isolants de type polystyrène expansé, polystyrène extrudé, polyuréthane ou laine minérale déjà revêtus d'un parement en plâtre qui seront fixés tout simplement contre le mur par collage soit visser sur des tasseaux ce qui permet de ménager une lame d'air entre l'isolant et la paroi.

• Isolation répartie, intégrée au mur:

L'isolation répartie consiste à construire des murs avec des matériaux épais qui sont à la fois isolants et porteurs ce qui fait que leur mise en œuvre est rapide. On trouve principalement deux familles de matériaux : les blocs en béton cellulaire et les briques alvéolées en terre cuite. C'est un très bon compromis entre inertie thermique et isolation, elle permet d'assurer une bonne perméabilité à la vapeur d'eau, elle réduit les ponts thermiques.

I.6.3 Stratégies de l'architecture bioclimatique :

I.6.3.1 Stratégies du chaud (période froide):

Stratégie du chaud ou système de chauffage solaire passive est basé sur l'énergie solaire qui est une contribution importante au chauffage d'un bâtiment. Pour atteindre ce but, il faut maîtriser les quatre principes de base:

- **capter** :Capter la chaleur consiste à recueillir l'énergie solaire et à la transformer en chaleur.

- **Stocker la chaleur** : l'énergie captée est stockée pour une utilisation différée.

le rayonnement solaire produit souvent de la chaleur au moment où elle n'est pas nécessaire. Il est alors intéressant de pouvoir stocker cette énergie jusqu'au moment où ce besoin se fait sentir . Ce stockage a lieu au sein de chaque matériaux suivant sa capacité d'accumulation et permet ainsi d'absorber la chaleur et d'atténuer les fluctuations de température dans le bâtiment en tirant parti de son inertie.

Conserver la chaleur: en climat froid ou frais, on s'efforcera de conserver toute chaleur, qu'elle découle de l'ensoleillement, d'apports internes ou du système de chauffage. C'est essentiellement la forme, et l'étanchéité de l'enveloppe ainsi que les vertus isolantes de ses parois qui limiteront les déperditions thermiques du bâtiment.

- **Distribuer la chaleur:** distribuer la chaleur dans le bâtiment tout en la régulant consiste à la conduire dans les différents lieux de vie où elle est souhaitable. Cette distribution peut s'effectuer naturellement lorsque la chaleur accumulée dans un matériau durant la période d'ensoleillement est restituée à l'air ambiant par rayonnement et convection. Un autre mode de distribution de la chaleur est celui de la thermocirculation de l'air (migration naturelle des masses d'air chaud vers le haut). Enfin cette distribution peut être assurée par un circuit de ventilation forcée.

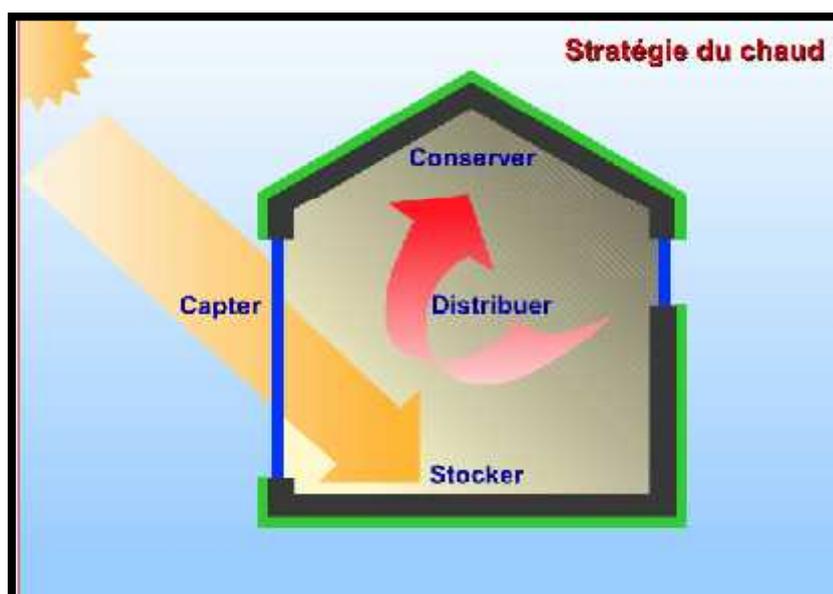


Figure I.32: Stratégie du chaud

I.6.3.2 Stratégies du froid(période chaude):

contrairement à l'hiver, les apports gratuits sont indésirables en saison chaude et contribuent à augmenter les besoins de rafraîchissement. Cette stratégie vise à Assurer le confort d'été en limitant au maximum la consommation d'énergie. Le principe étant de rafraîchir l'intérieur du bâtiment en proposant des protections solaires adaptées aux différentes orientations et en évitant les risques de surchauffe en adoptant une isolation appropriée ou une meilleure inertie du bâtiment, en dissipant l'air chaud et en le rafraîchissant. Les principes de base de cette stratégie sont:

•Protéger :

protéger le bâtiment, et particulièrement ces ouvertures, de l'ensoleillement direct afin de limiter les gains directs revient à ériger des écrans, extérieurs si possible, qui le mette à l'ombre. Ces écrans peuvent être permanents, amovibles ou saisonniers (végétation). Par ailleurs, afin d'éviter l'échauffement du bâtiment au droit des parois opaques, un niveau d'isolation suffisant doit empêcher la chaleur de s'accumuler dans la masse. En climat chaud, il faut particulièrement veiller à éviter les apports de chaleur provenant des parois et des toitures échauffées par le soleil. On y parvient en accroissant leur isolation ou leur inertie, en offrant des surfaces réfléchissantes au soleil ou encore en limitant les infiltrations d'air chaud dans le bâtiment.

•Minimiser les apports internes :

Minimiser les apports internes vise à éviter une surchauffe des locaux due aux occupants et aux équipements : l'éclairage artificiel, l'équipement électrique, la densité d'occupation des locaux, etc. certains rapports peuvent être facilement minimisés en favorisant, par exemple, l'éclairage naturel.

•Dissiper les surchauffes :

La dissipation des surchauffes peut être réalisée grâce à la ventilation naturelle, en exploitant un « effet de cheminée ».la pression du vent et la canalisation des flux d'air peuvent également être mises à profil pour évacuer l'air surchauffé du bâtiment.

•Refroidir les locaux :

Le refroidissement des locaux peut facilement être assuré par des moyens naturels. Une première solution consiste à favoriser la ventilation (surtout nocturne, afin de stocker la chaleur emmagasinée la journée) ou à augmenter la vitesse de l'air par des dispositifs naturels tels que des plans d'eau, des fontaines, de la végétation, des conduites enterrées, etc.

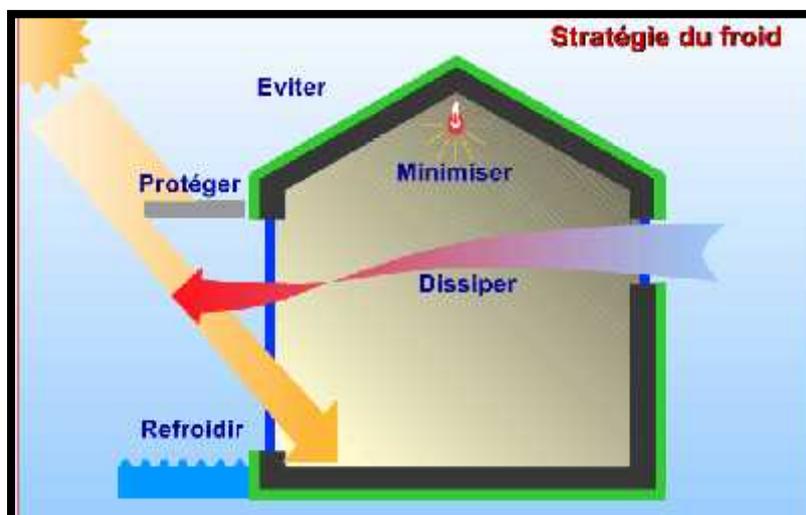


Figure I.33: Stratégie du froid

I.7. DOCUMENT RÉGLEMENTAIRE :

I.7.1. Document technique réglementaire DTR:

L'Algérie prend conscience de la nécessité de définir une politique d'efficacité énergétique; Aujourd'hui notre pays dispose d'un arsenal juridique important en matière de rationalisation de l'utilisation de l'énergie dans le bâtiment (des lois, décrit et arrêté interministériel;

La réglementation Algérienne s'est enrichie de documents techniques réglementaires, les DTRC initiés par le ministère de l'habitat et mis en œuvre par le CNERIB (Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment);

La réglementation thermique algérienne est basée sur deux documents techniques réglementaires (DTR). Le premier DTR est relatif à la période d'hiver, alors que le deuxième concerne la période d'été.

• **Le DTR.C 3-2:** qui établit les règles de calcul des déperditions calorifiques d'hiver pour les bâtiments à usage d'habitation; il vise la limitation de la consommation énergétique relative au chauffage des locaux à travers le calcul des déperditions thermiques;

Ce document a pour objet de fixer les méthodes de :

- Détermination des déperditions calorifiques des bâtiments;
- Vérification de la conformité des bâtiments à la réglementation thermique ;
- Dimensionnement des installations de chauffage des bâtiments; on introduit alors la notion de déperditions calorifiques de base ;
- Conception thermique des bâtiments;

Vérification d'hiver

Ce DTR stipule que les déperditions calorifiques par transmission à travers les parois calculées pour la période d'hiver doivent être inférieures à une valeur de référence.

$DT \leq 1.05 Dréf$

- DT (en W/°C) représente les déperditions par transmission du logement,
- Dréf(en W/°C) représente les déperditions de référence.

• **Le DTR.C 3-4:** 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;

Ce document a pour objet de fixer:

- Les méthodes de détermination des apports calorifiques des bâtiments;
- La méthode de vérification de la conformité à la réglementation thermique d'été des bâtiments;

Il s'applique aux locaux :

- À usage d'habitation;
- D'hébergement (chambres collectives, dortoirs, salles de repos, ...);
- À usage de bureaux;
- D'enseignement (classes, salles d'études, ...);
- D'accueil (bibliothèques, bureaux de poste, banques, ...);
- De réunion (salles de spectacle, lieux de culte, ...);
- De vente (boutiques, supermarché, ...);
- De restauration (café, restaurant, cantine, ...);
- À usage artisanal (salon de coiffure, laboratoire de boulangerie, petit atelier, etc.);

Vérification d'été

Ce DTR mentionne que les apports de chaleurs à travers les parois (opaques et vitrées) calculés à 15h du mois de juillet (considéré comme le mois le plus chaud de l'année), pour une température sèche intérieure de 27°C doivent être inférieurs à une limite appelée « Apport de Référence ».

$$\text{APO (15 h)} + \text{AV (15 h)} \leq 1.05 \cdot \text{Aréf (15H)}$$

- APO (en W) désigne les apports calorifiques à travers les parois opaques aériennes;
- AV(en W) désigne les apports calorifiques à travers les parois vitrées;
- Aréf (en W) désigne les apports calorifiques de référence.

La finalité de cette réglementation est le renforcement de la performance énergétique globale du bâtiment est sa mise en application permettra d'après l'APRU (Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie), de réduire les besoins calorifiques de nouveaux logements de l'ordre de 30 à 40 % pour les besoins en chauffage et en climatisation;

Le DTR Algérien n'est pas utilisé dans les logiciels de simulation que nous allons décliner ci-après, Nous allons introduire un autre document thermique réglementaire qui est la « RT2012 » (Réglementation thermique 2012) européenne

I.7.2. La réglementation thermique européenne RT 2012:

La réglementation énergétique impose progressivement des changements d'habitude que les problèmes énergétiques rendent indispensable;

Comme on le voit dans la figure II-18, la dernière étape de la réglementation française oblige les constructions neuves à opérer un bond énergétique presque aussi spectaculaire que celui qui leur avait été demandé en 1974, à l'occasion des politiques d'économie d'énergie qui suivirent le premier choc pétrolier. Et uniquement par rapport à ce qui était exigé en 2005, la moyenne des consommations vient de passer de 130 à 50 kWhEp/m².an, soit quasiment trois fois moins.

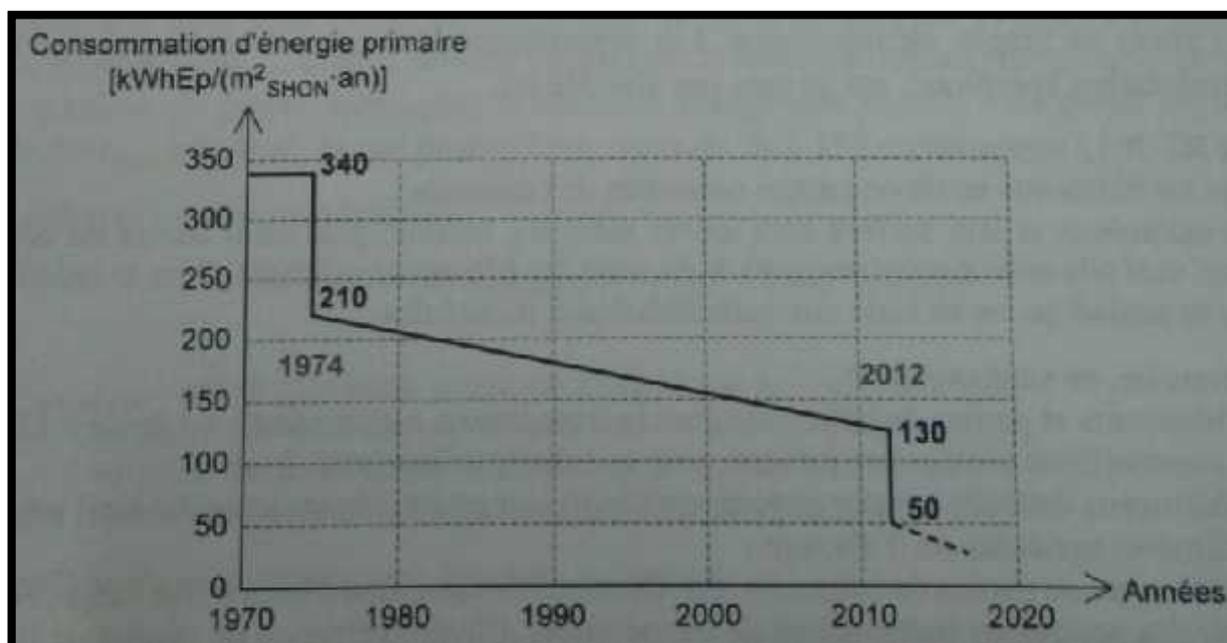


Figure I-34: évolution des consommations réglementaires

Cette RT 2012 a pour but de fixer une limite maximale à la consommation énergétique des bâtiments neufs pour le chauffage, la ventilation, la climatisation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage;

Succédant à plusieurs versions antérieures, aux exigences et aux champs d'application croissants, la nouvelle réglementation thermique 2012 a pour objectif de, notamment :

- Réduire les consommations énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre ;
- Encourager le développement de nouvelles technologies ;
- Contribuer à l'indépendance énergétique nationale;

la RT 2012 concerne:

- Tous les bâtiments neufs ou parois nouvelles de bâtiments;
- les extensions si leur surface hors œuvre nette atteint ou dépasse 150 m² et si elle atteint ou dépasse 30% de celle des bâtiments existants;

en revanche, en sont exclus:

- Les bâtiments et parties de bâtiments dont la température est inférieure ou égale à 12°C;
- Les constructions provisoires prévues pour une durée inférieure à 2 ans;
- Les bâtiments destinés à rester ouverts sur l'extérieur en fonction habituel ainsi que les bâtiments agricoles ou d'élevage;
- Les bâtiments ou parties de bâtiments qui, en raison de contraintes liées à leur usage, doivent garantir des conditions particulières de température, d'hygrométrie ou de qualité de l'air;
- Les bâtiments chauffés ou refroidis pour un usage dédié à un procédé industriel.

•L'efficacité énergétique de l'enveloppe:

Dès la demande de permis de construire, l'efficacité énergétique de l'enveloppe du projet doit être prouvée, y compris lorsque le bâtiment est livré sans équipement de chauffage.

Évaluation par le coefficient Bbio:

L'efficacité énergétique de l'enveloppe, que l'on peut aussi qualifier d'efficacité bioclimatique, est évaluée par le nouveau coefficient Bbio, qui définit l'ensemble des besoins d'énergie de l'enveloppe, à savoir:

- le besoin de chauffage;
- le besoin de refroidissement, s'il s'avère justifié;
- le besoin d'éclairage artificiel, qui bénéficie d'un facteur plus important que les deux autres.

Tous ces besoins sont calculés d'après les diverses caractéristiques énergétiques de l'enveloppe, en l'occurrence :

- La surface de ses diverses parois opaques;
- La surface de ses vitrages;
- L'exposition solaire de ceux-ci;
- Les qualités énergétiques unitaires de toutes ces parois;
- Les ponts thermiques résultant de la juxtaposition de celles-ci.

Exigences complémentaires:

-Surface totale des baies :

Pour les maisons individuelles ou accolées et pour les bâtiments collectifs d'habitation, la surface totale des baies mesurée, doit être supérieure ou égale au 1/6 de la surface habitable (soit 16,66%), si la paroi est translucide, cette surface totale minimum correspond alors à 12,5% de la surface habitable.

-ponts thermiques:

La valeur moyenne de tous les ponts thermiques linéiques devra être inférieure à 0.28 W/m.K

•L'efficacité énergétique globale:

à l'achèvement des travaux, il faudra fournir une évaluation bien plus exhaustive de la qualité énergétique du projet .

Le coefficient Bbio estimé lors du dépôt du permis de construire devra être revalidé à cette étape pour confirmer le faible besoin énergétique globale de la seule enveloppe. Mais il faudra surtout prouver la modestie de la consommation énergétique du bâtiment et son confort estival, qui dépendent aussi de l'efficacité des dispositifs techniques chargés de satisfaire ces besoins de l'enveloppe.

Évaluation du coefficient Cep:

la consommation totale du future bâtiment, définie par le coefficient Cep, doit être évaluée et exprimée en énergie primaire;

Alors que le Bbio exprimait spécifiquement le besoin total de son enveloppe, c'est-à-dire la quantité d'énergie à lui apporter, le Cep traduit ce besoin en consommation, c'est-à-dire en quantité d'énergie à fournir aux diverses installation pour qu'elle arrivent à satisfaire ce besoin, en tenant compte notamment de l'inertie thermique.

Évaluation du confort d'été:

Pour évaluer le confort d'été, on calcule la température intérieure conventionnelle du bâtiment (Tic). Cette évaluation résulte des éléments suivants:

-l'inertie thermique, « quotidienne » et si possible « séquentielle ». Dans la version actuelle de la RT 2012, elle ne doit pas encore être calculée mais évaluée arbitrairement par le concepteur.

-La surface ouverte des baies, qui doit représenter au moins 30 % de leur surface totale, ou seulement 10% si la différence d'altitude entre le point le plus bas et le point le plus haut des baies est de 4,50 m au minimum.

-L'éventuelle multiplicité des orientations de baies.

-Le facteur solaire de référence des baies, principalement, mais également de chaque parois. Pour chacune des ces parois, ce facteur dépend:

- De son exposition solaire et de son inclinaison,
- De la zone climatique et de l'altitude,
- De l'exposition au bruit des infrastructures de transport (parmi trois classes, selon le classement de la voie et la situation de la baie).

I.8. CONCLUSION

Le bâtiment est considéré comme un secteur économique clé, fortement consommateur d'énergie, dont la climatisation et le chauffage consomment une portion importante en matière d'énergie.

Selon De Herde, L'architecture bioclimatique apparait comme l'une des solutions pour réduire les consommations énergétiques et donc les émissions de gaz à effet de serre en profitant au maximum des apports bénéfiques de l'environnement et plus particulièrement du soleil comme source d'énergie inépuisable.^[67]

pour construire un bâtiment, nous avons besoins de connaitre le climat et l'environnement dans lequel s'implante: la température , l'ensoleillement, l'humidité....., sont les paramètres essentiels de l'architecture bioclimatique qui insiste sur l'optimisation de la relation qui existe entre le bâtiment et le climat en vu de créer des ambiances par des moyens spécifiquement architecturaux.

L'espoir suscité par cette nouvelle prise de conscience par les architectes, était de voir enfin l'aspect climatique et l'enveloppe du bâtiment, reconnu et intégré comme partie intégrante dans le processus de la conception architecturale. L'intérêt du bioclimatique va donc du plaisir d'utiliser un espace à l'économie de l'énergie , ce qui est en fait un élément fondamental de l'art de l'architecture ^[68].

^[67] : De Herde.A et Liébard,A . << guide de l'architecture bioclimatique, T4, système solaires>>, l'obsevatoire des énergies renouvelables, France. 2002.

^[68] : Izard J.L.,<<archi bio>> Edition parenthèses. Paris. 1979.

CHAPITRE II:

présentation du cas d'étude

II.1. INTRODUCTION

Toute conception architecturale intégrée à son environnement doit être la résultante d'une bonne connaissance des paramètres climatiques et l'adaptation des éléments de la conception à ces paramètres,

Ce chapitre se développera principalement sur trois aspects. D'une part, il sera présenté l'aspect géographique, climatique de la ville de Tiaret, d'autre part les caractéristiques architecturales et constructif de ce bâtiment, et aussi la réglementation thermique.

II.2. DESCRIPTION DU PROJET:

II.2.1. Présentation:

Le choix est porté sur une agence commerciale (SONELGAZ) à TIARET NORD sur la rue Rahou Mohamed, sur un terrain d'une superficie de 1248,24 m², c'est un équipement recevant du public, il a une capacité d'accueil de 105 personnes.



Figure II-01: Photo aérienne



Figure II-02: image 3D

II.2.2. Plan de masse:

Le plan de masse de l'agence commerciale (SONELGAZ) est composé principalement de deux volumes imbriqués, qui longent la rue Rahou Mohamed, cette agence s'inscrit dans un site urbain;

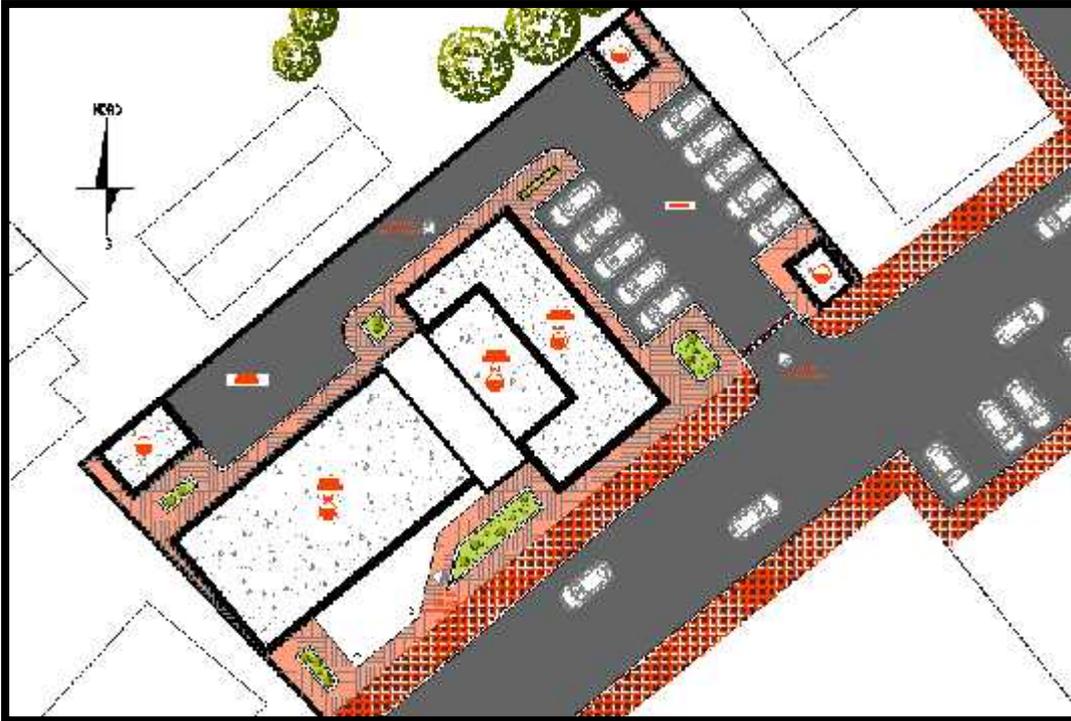


Figure II-03: Plan de masse

II.2.3. Plans des différents étages :

L'agence commerciale de SONELGAZ, d'une surface habitable totale de 1026.56 m², comporte 3 niveaux et est constitué de plusieurs pièces dont, un hall d'accueil et paiement, bureau de chef d'agence, magasin et archive, hall d'entrée et réception, wc et vestiaire au rez-de-chaussée, et de 07 bureaux, une salle de réunion et les sanitaires au 1^{er} étage, et au 2^{ème} étage.

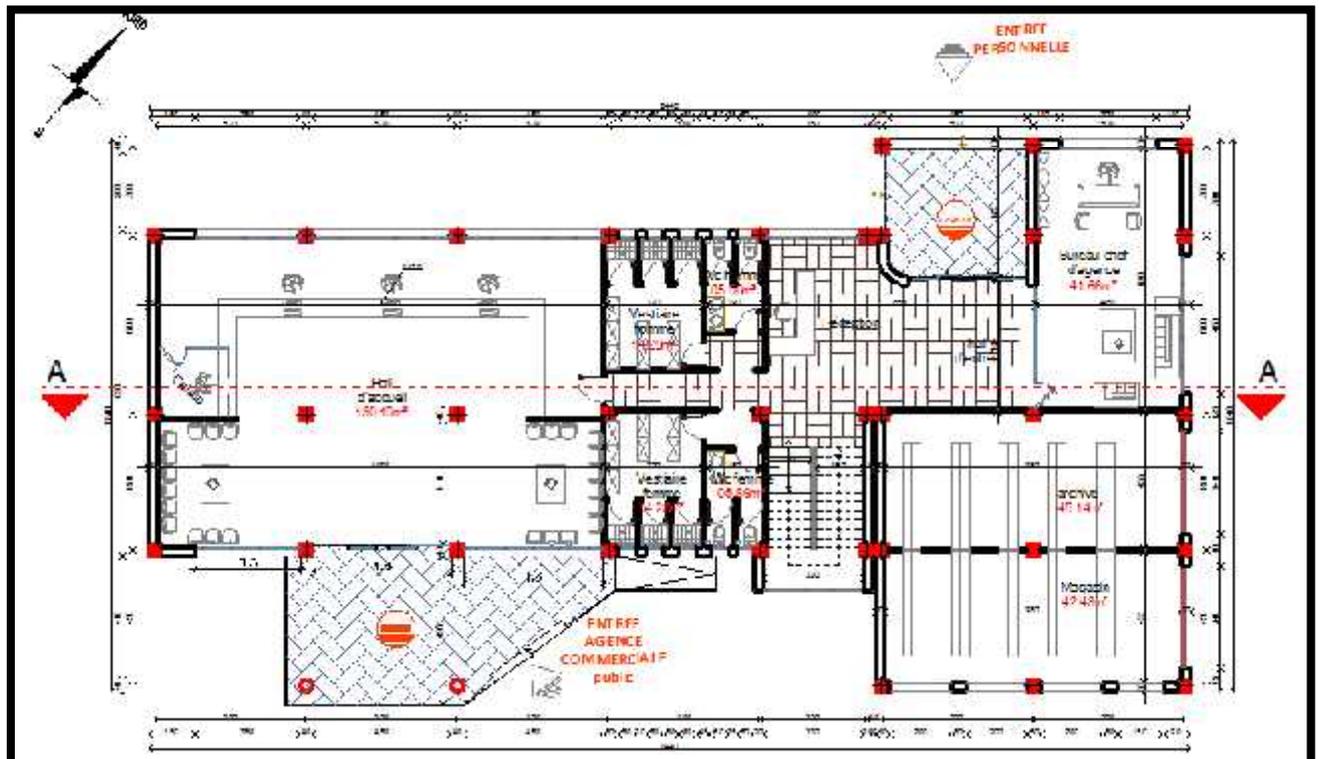


Figure II-04: Plan de RDC

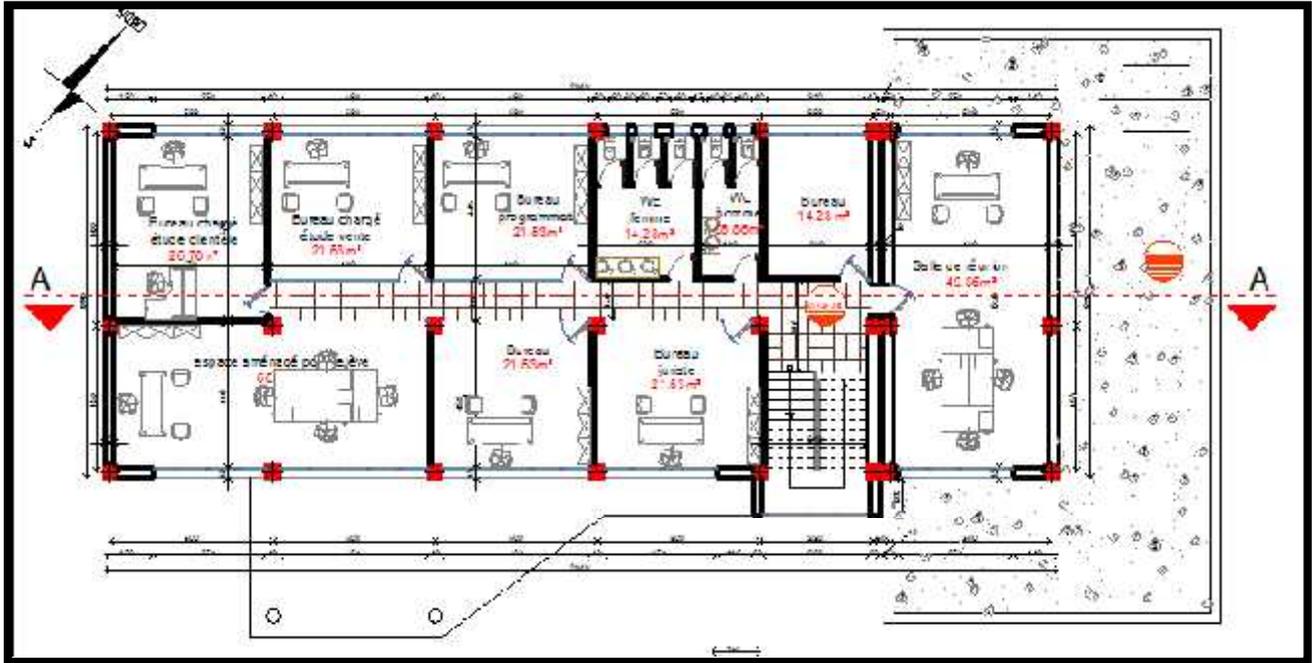


Figure II-05: Plan du 1^{er} et 2^{ème} étage

II.2.4. Orientation et degrés d'ouverture:

Les ouvertures affectent significativement les échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur. Une attention particulière quant à leurs dimensions est recommandée selon l'orientation,

L'orientation du bâtiment s'est établie en tenant compte du site urbain; la façade principale est orienté au sud-est, comprend une grande surface vitrée (52 % de la surface de la façade), la façade secondaire est orienté au nord-ouest, comprend aussi une grande surface vitrée (49 % de la surface de la façade), la façade nord-est ne comprend qu'une fenêtre de 9 m², et la façade sud-ouest est une façade opaque,

La surface vitrée représente **35.12%** par rapport la surface habitable;

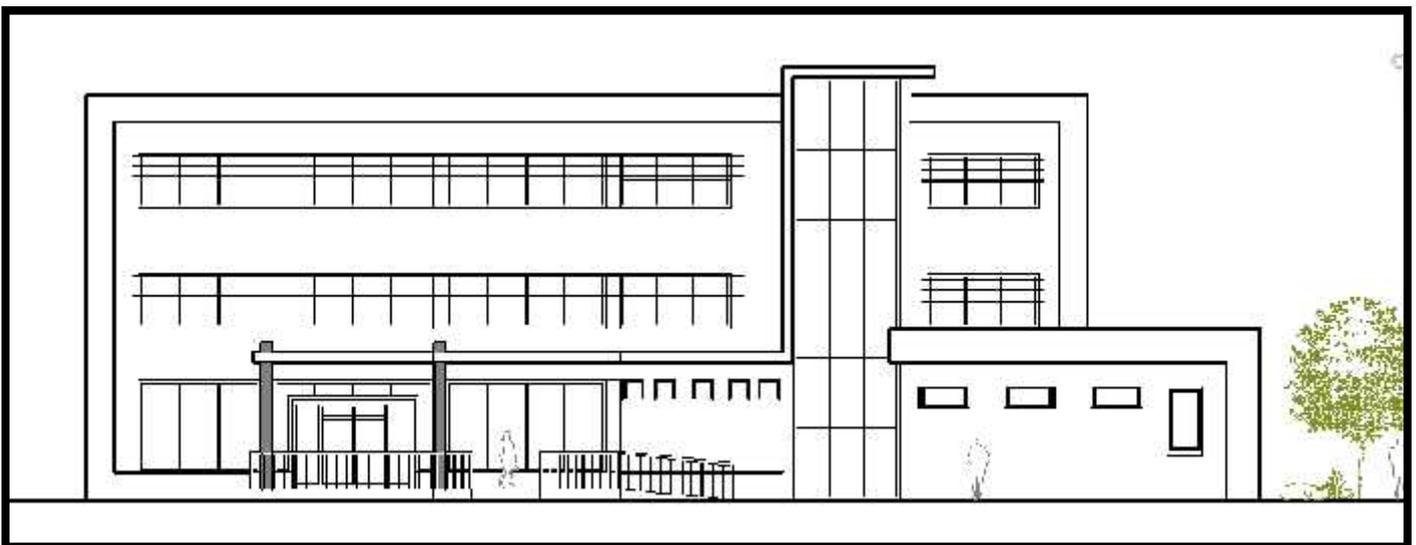


Figure II-06: Façade principale

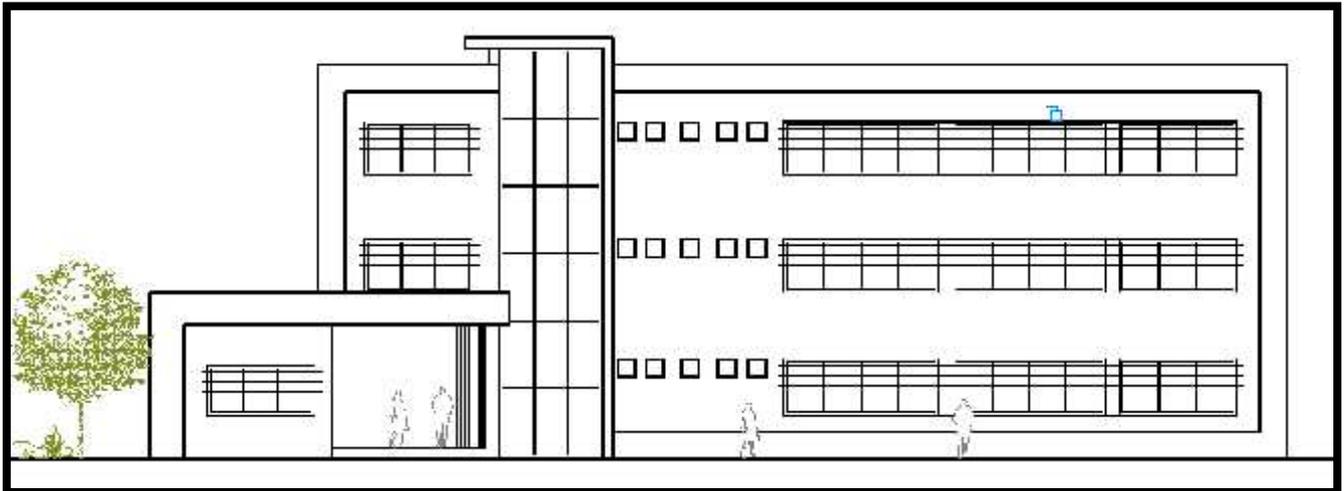


Figure II-07: Façade secondaire

II.2.5. Caractéristiques constructives, matériaux de construction et composition de l'enveloppe:

Les caractéristiques constructives et les matériaux de construction se résument comme suit:

- L'utilisation du système constructif en portique (structure poteaux, poutres) en béton armé;
- L'utilisation de la brique comme matériau de construction pour les murs extérieur et intérieur;
- L'enveloppe extérieure est constituée de murs en briques creuses avec une lame d'aire;
- Le revêtement extérieur est un ciment, celui de l'intérieur est en plâtre;
- Les murs intérieur sont construits en simple cloison de briques de 10 cm, avec un enduit en plâtre;
- Les planchers sont réalisés en poutrelles et hourdis avec dalle de compression coulée sur place;
- L'utilisation du simple vitrage pour les fenêtres
- Type d' ouvertures: Porte intérieur en bois , Porte extérieur en métal avec un simple vitrage; Les fenêtres : PVC simple vitrage dont les caractéristiques sont :
 - facteur solaire : 0.9 - coefficient U vitrage : $4.6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$ - pourcentage du vitrage : 70%
- L'absence des protections solaires extérieures au niveau des ouvertures;
- L'absence des matériaux d'isolation.

Type de paroi	Coupe schématique	matériau	E (cm)	λ (w/m.k)	ρ [kg/m ³]	R (m.k/w)	Rg (m.k/w)
Mur extérieur		1- enduit extérieur 2-brique creuse 3-lame d'air 4-brique creuse 5-enduit plâtre	1 15 5 10 1	1.15 0.48 0.09 0.48 0.35	1700 1035 1 690 1500	0.01 0.31 0.16 0.21 0.03	0.72
Mur intérieur		1- enduit plâtre 2-brique creuse	1 10 1	0.35 0.48 0.35	1500 690 1500	0.03 0.21 0.03	0.27
Mur rideau		1- verre plat 2-lame d'aire	0.4 0.7 0.4	1.16 0.06 1.16	2490 1 2490	0.00 0.11 0.00	0.11

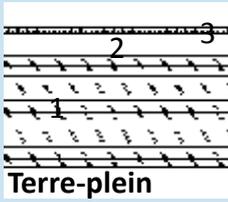
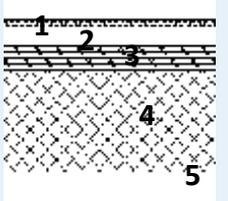
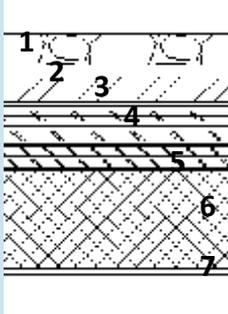
Type de paroi	Coupe schématique	matériau	E (cm)	λ (w/m.k)	ρ [kg/m ³]	R (m.k/w)	Rg (m.k/w)
Plancher bas		1- Béton	15	1.75	2300	0.09	0.13
		2-mortier	3	1.15	2000	0.03	
		3-carrelage	1	1.7	2300	0.01	
Plancher intermédiaire		1- carrelage	1	1.70	2300	0.01	0.22
		2- mortier	3	1.15	2000	0.03	
		3-dalle de compression	4	1.75	2300	0.02	
		4- hourdis	16	1.23	1300	0.13	
		5- enduit plâtre	1	0.35	1500	0.03	
Toiture		1- gravier	5	2	1700	0.03	1.29
		2- étanchéité bitumeuse	2	0.5	1700	0.04	
		3- panneau de liège	4	0.04	120	1	
		4- béton de pente	7	1.7	2400	0.04	
		5- dalle de compression	4	1.75	2300	0.02	
		6- hourdis	16	1.23	1300	0.13	
		7- enduit plâtre	1	0.35	1500	0.03	

Tableau II-01: Composition des parois et propriétés thermiques des matériaux de constructions

II.3. PRESENTATION DE LA VILLE DE TIARET:

II.3.1. Situation de la ville de Tiaret:

La ville et la région se trouvent au sud-ouest de la capitale d'Alger, dans la région occidentale des hautes plaines, dans l'Atlas Tellien et à environ 150 km de la côte méditerranéenne.

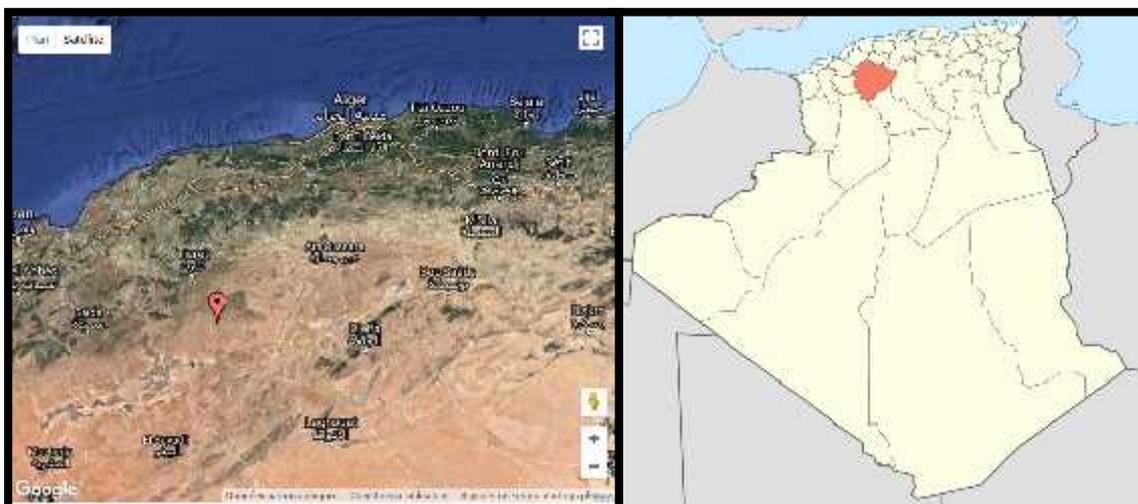


Figure II-08: Situation de la ville de Tiaret

Source: <http://www.carte-algerie.com/plan-2772-wilaya-de-tiaret.html>

II.3.2. Localisation:

La wilaya de Tiaret est située à l'ouest de l'Algérie, elle est délimitée :

- au nord, par les wilayas de Tissemsilt et de Relizane ;
- au sud, par les wilayas de Laghouat et de El Bayadh ;
- à l'ouest, par les wilayas de Mascara et de Saïda ;
- à l'est, par la wilaya de Djelfa.

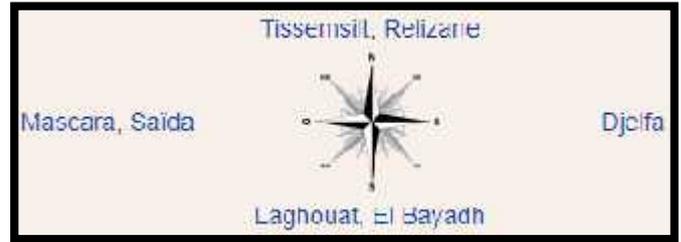


Figure II-09: délimitation de la ville de Tiaret

II.3.3 Relief:

La wilaya de Tiaret présente sur le plan physique trois grandes zones distinctes:

Au nord : une zone montagneuse de l'Atlas tellien;

Au centre : les hauts plateaux;

Au sud : des espaces semi arides.

II.3.4 Le climat de la ville de Tiaret :

La ville de Tiaret est située à une latitude de 35.3° au Nord, une longitude de 1.4° à l'est, et une altitude de 1 127 m, elle se caractérise par un climat continental dont l'hiver est rigoureux et l'été est chaud et sec, elle reçoit 300 à 400 mm de pluies en moyenne par an,

D'après la classification donnée par le ministère de l'habitat 1993, la ville de Tiaret est localisée dans la zone H2a d'hiver et E2 d'été dont :

- La zone d'hiver H2a: Atlas tellien- montagne; $1000\text{ m} < \text{altitude} < 1500\text{ m}$, cette zone est caractérisée par les hivers froids et un écart de température diurne important
- La zone d'été E2: subit l'influence de l'altitude, elle a des étés chauds et secs

II.3.4.1 Température :

Le climat de Tiaret est caractérisé par une saison chaude qui s'étend du mois de mai au mois d'octobre et une saison froide qui s'étend du mois de novembre au mois d'avril.

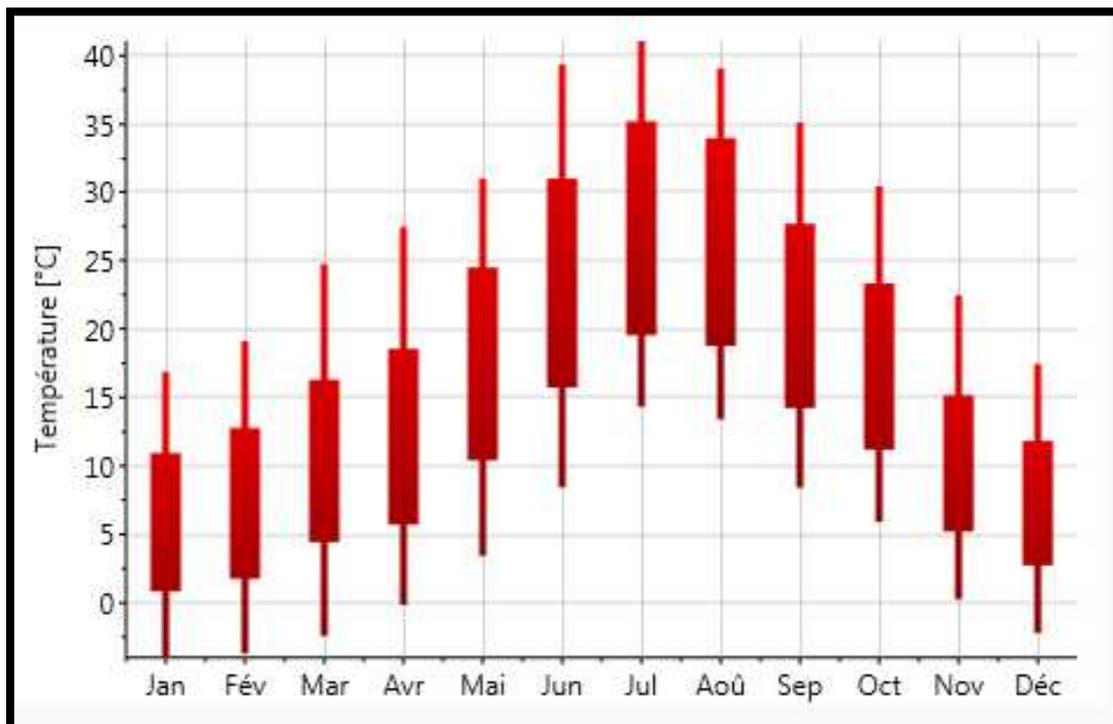


Figure II-10: diagramme de variation de températures annuelles

Les températures maximales sont atteintes au mois de juillet avec une valeur maximale de 40°C ; Tandis que les température minimales sont enregistrées le mois de janvier avec une valeur minimale de -0°C .

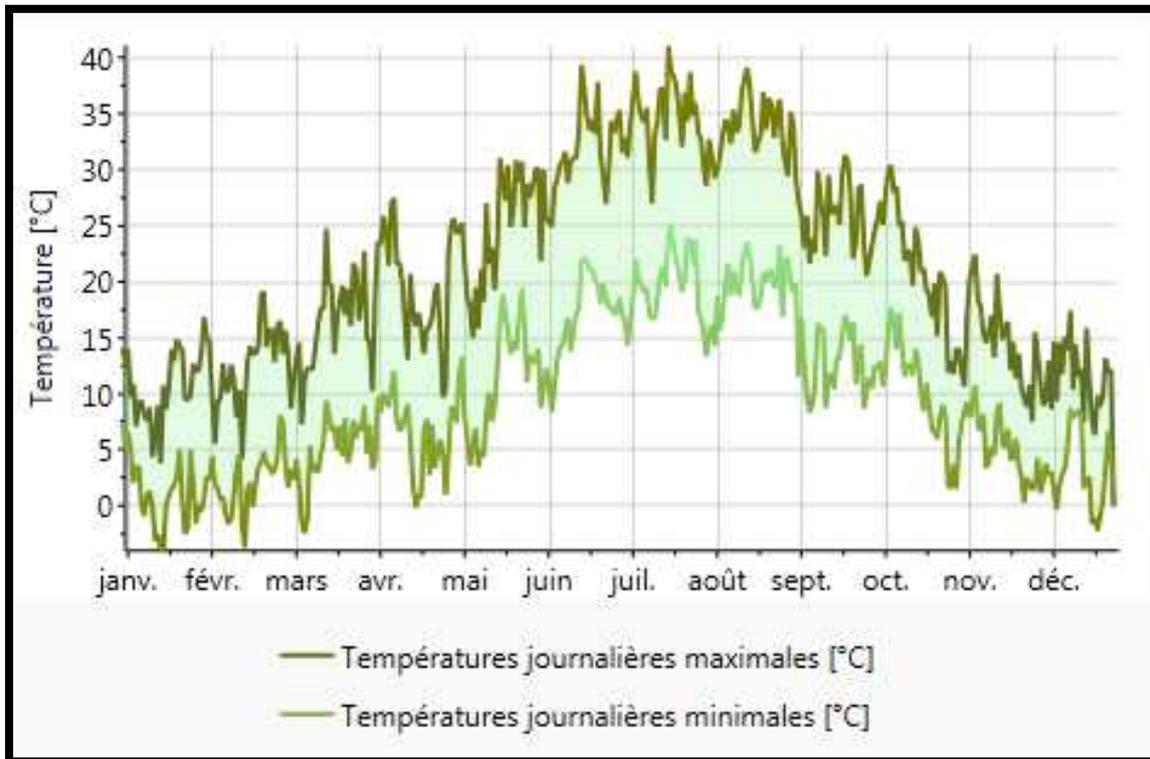


Figure II-11: diagramme de variation de températures journalière durant l'année

II.3.4.2 ensoleillement et durée d'insolation :

À Tiaret, le rayonnement solaire est une composante importante, il est maximal en mois de juillet avec une valeurs maximales de 9.5 KWh/m² par jour , tandis que le rayonnement global minimal est enregistré en moi de décembre avec une valeur minimale de 0.5 KWh/m² par jour .

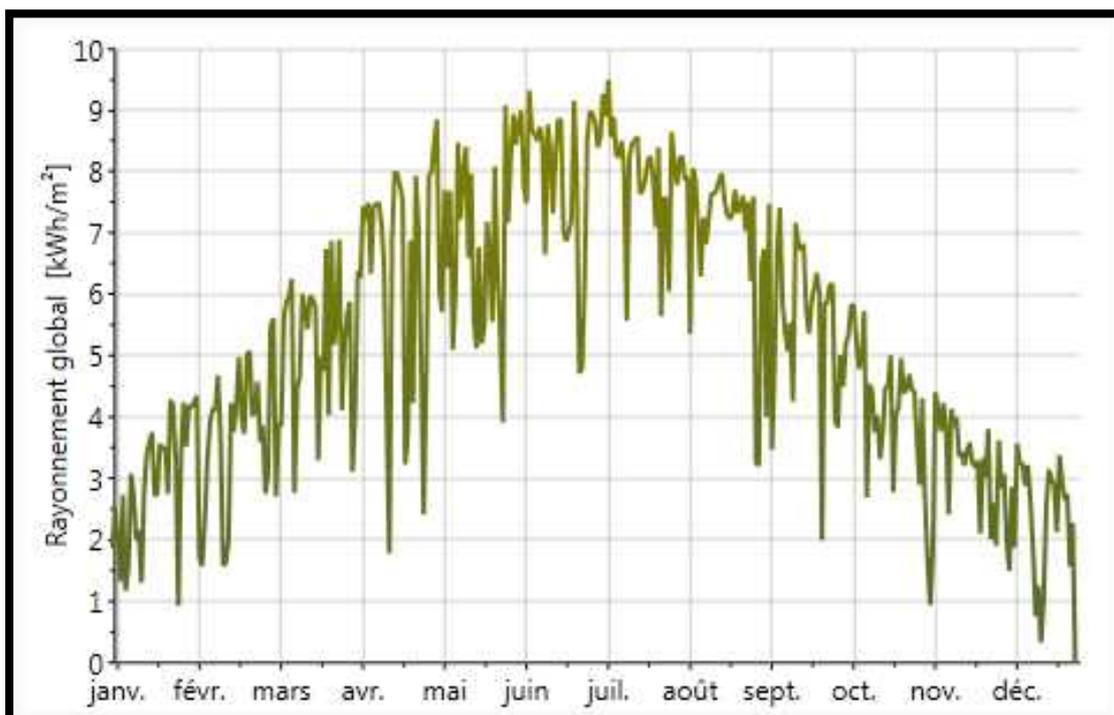


Figure II-12: graphe de rayonnement globale journalier

La figure II-13 représente le graphe du rayonnement global et diffus, nous remarquons dans la période estivale que le rayonnement globale atteint 240 KWh/m² en mois de juillet, et en période hivernale le rayonnement globale minimale est de 80 KWh/m² en mois de décembre.

C'est valeurs indiquent l'importance du rayonnement solaire dans la région qui peut être une source d'énergie gratuite pour le chauffage solaire passif en hiver mais aussi, une source de surchauffe en été ;

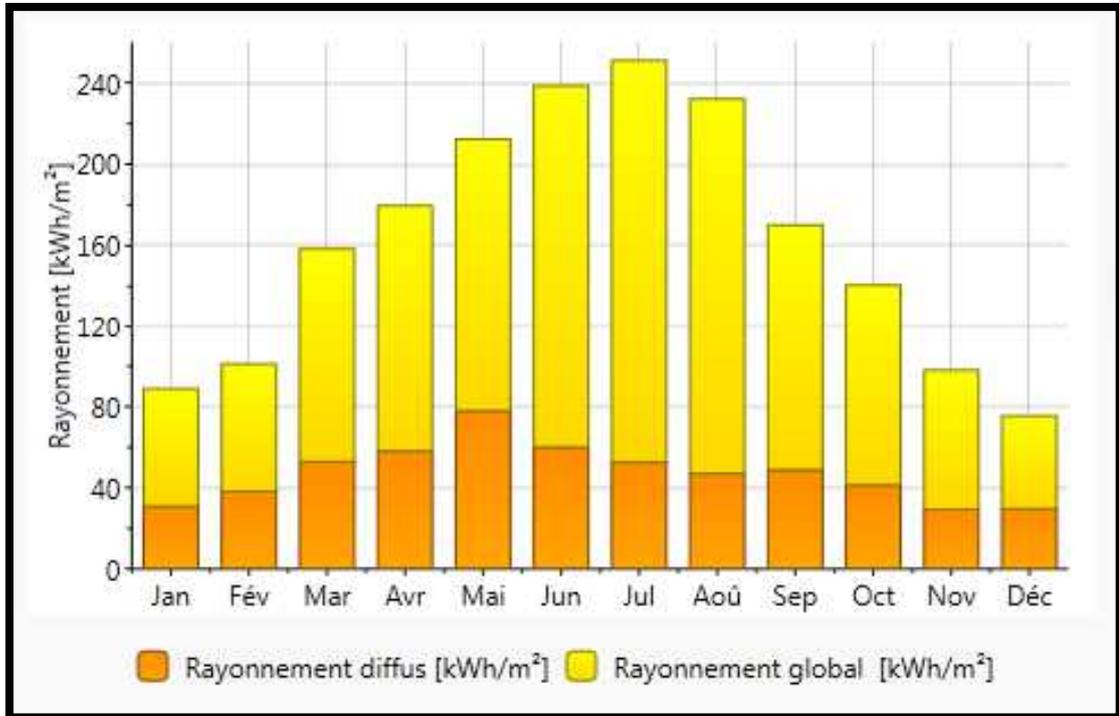


Figure II-13: graphe de rayonnement global et diffus

Le mois de décembre présente la durée d'ensoleillement la moins importante en moyenne 180 heures = 06 heures par jour, tandis que le mois de juillet est le plus ensoleillé de l'année, en moyenne 330 heures = 11 heures par jours

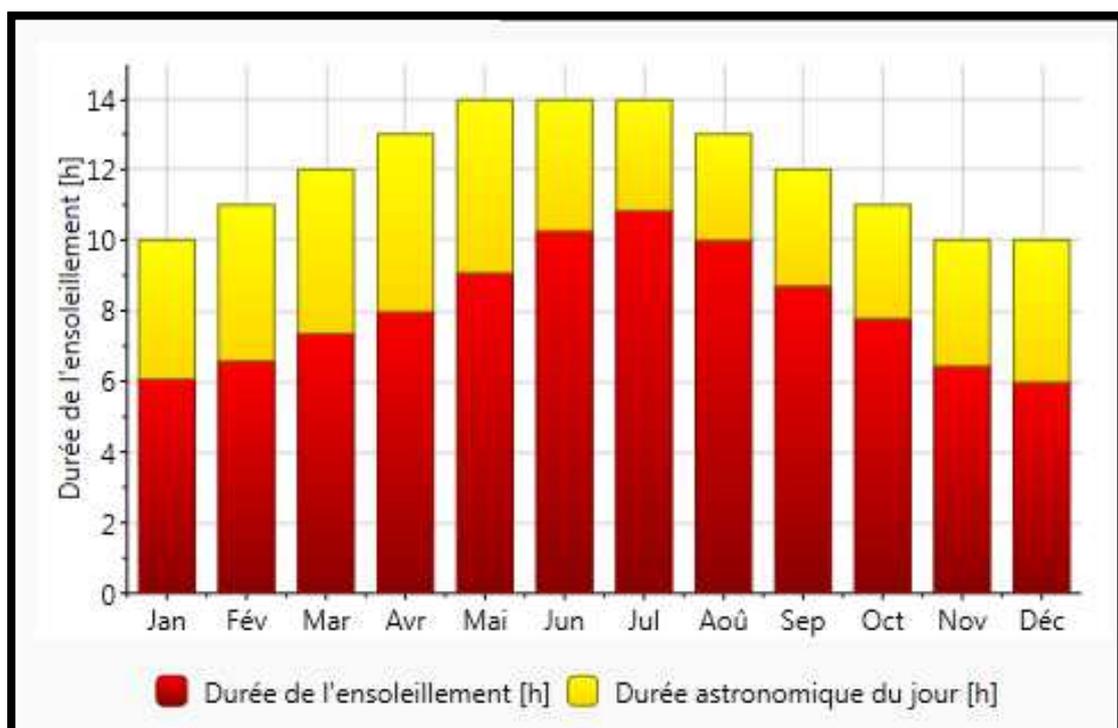


Figure II-14: diagramme de durée d'insolation

II.3.4.3 Les précipitation :

La répartition annuelle des précipitation est marquée par une périodes pluvieuse qui s'étend sur le mois de novembre, décembre et janvier; une période sèche qui s'étend sur les mois de juin, juillet et aout et des période d'une moyenne pluviométrie pour les autre mois .

Le mois de décembre est le plus pluvieux avec une valeur moyenne de 55 mm; le mois de juillet est le plus sec avec une valeur moyenne de 2 mm

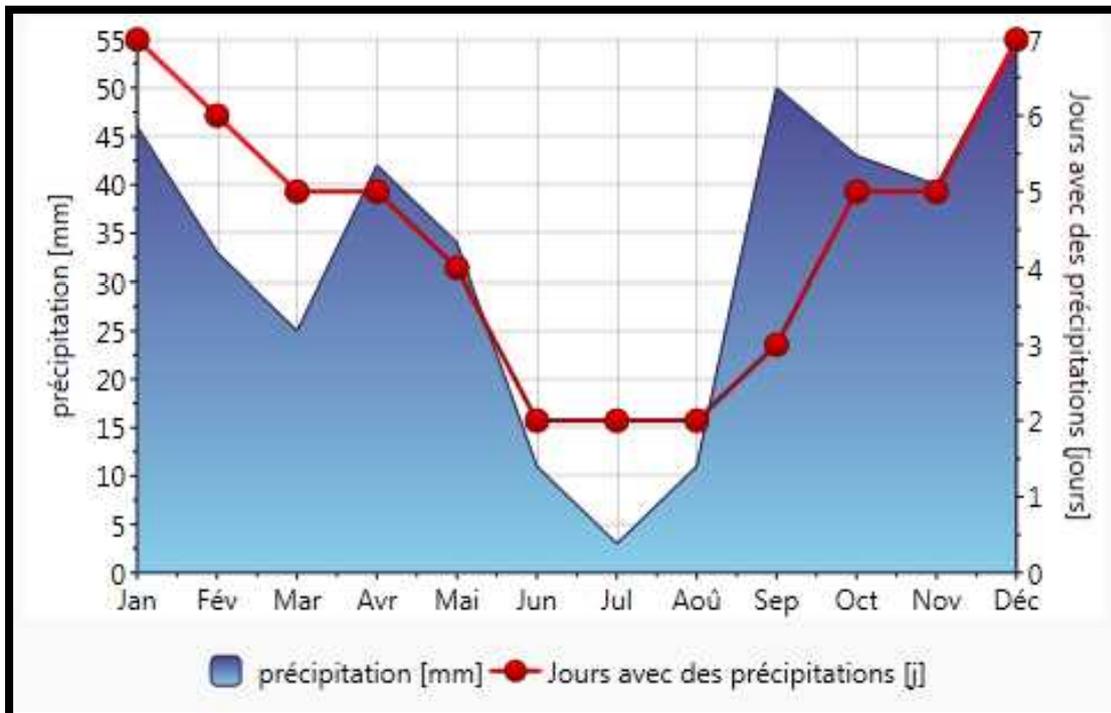


Figure II-15: diagramme de Précipitation (mm)

II.3.4.4 Autres données (détail de ressources solaires):

Les données d'irradiation sont obtenues par le logiciel Météonorm7

	Gh kWh/m ²	Dh kWh/m ²	Bn kWh/m ²	Ta °C	Td °C	FF m/s
Janvier	89	31	134	5,4	1,2	4,2
Février	101	38	130	6,9	2	4,1
Mars	158	53	182	10,1	4,1	4,3
Avril	180	58	188	12,3	5,3	4,3
Mai	212	78	196	17,3	7,4	3,9
Juin	239	60	263	23,8	8,3	3,6
Juillet	251	53	290	27,4	9,6	3,6
Août	232	47	268	26,3	10,8	3,5
Septembre	170	49	200	21	10,6	3,3
Octobre	141	41	188	16,8	8,9	3,8
Novembre	98	29	152	9,9	4,9	4,6
Décembre	76	30	114	6,8	3,2	4,6
Année	1943	567	2304	15,3	6,4	4

Tableau II-02: Données d'irradiation solaire de la ville de Tiaret

II.4. CONCLUSION :

Nous avons besoin de Connaitre les caractéristiques architecturales et constructifs du bâtiment, les caractéristiques climatiques du site; c'est –à-dire le régime de température, l'ensoleillement, Ainsi que les réglementations thermiques, pour l'évaluation du comportement thermique et des besoins énergétiques de bâtiment.

le bâtiment que nous avons choisi pour notre étude est caractérisé par sa compacité, ces façades vitrée, l'orientation au sud-est, le système constructif, matériaux de construction et composition de l'enveloppe utilisé dans tout les bâtiments en Algérie, sa situation géographique à Tiaret , dont le climat est rigoureux en hiver et chaud et sec en été;

dans les prochaines partie de notre travail, nous allons voir est ce que ces caractéristiques peuvent assurer un bon confort en été et en hiver, avec le minimum possible de la consommation d'énergie?

CHAPITRE III:

Modélisation

III.1. INTRODUCTION

Avec l'évolution technologique, le secteur du bâtiment s'est vu assisté par l'outil informatique. << par le terme logiciel de simulation du comportement dynamique des bâtiments, on entend un programme qui calcule, pour certains intervalles de temps, toutes les grandeurs déterminantes du bilan énergétique des bâtiments. >> [69].

les logiciels de simulation permettent d'estimer le comportement thermique et les consommations énergétiques d'un bâtiment à partir de ses propre caractéristiques (géométrie, matériaux, orientation...etc.) et les caractéristiques climatiques de son site d'implantation. Par ailleurs, ces outils permettent d'évaluer, de tester et de comparer entre plusieurs variantes possible afin de valider des options (implantation, structure, ouverture...etc.) susceptibles d'assurer le confort thermique.

Nous avons utilisé la simulation thermique Dynamique (STD) avec logiciel **pléiades+comfie** ce qui permet de faire vivre virtuellement le bâtiment sur une année entière afin d'étudier son comportement prévisionnel pour des résultats proches de la réalité.

III.2. PRESENTATION DU LOGICIEL:

III.2.1. Pleiade+Comfie (version 2.3):

Est un logiciel de calcul par simulation dynamique des échanges thermiques multizones dans les bâtiments; il est composé de plusieurs modules:

PLEIADES :

est le module de préparation de la saisie grâce à des bibliothèques d'éléments et de composition préenregistrées, la possibilité de créer des compositions et des vitrages,

COMFIE :

le logiciel repose sur le moteur de calcul Comfie développe par le laboratoire des Mines de Paris, Il calcule de façon précise et rapide les flux thermiques entre zones thermiques à partir du descriptif du bâtiment, de son environnement et des occupants et en tenant compte de l'influence de l'inertie sur les besoins de chauffage et sur le confort.

Il est indispensable de savoir utiliser pleiades+comfie avant de passer à ALCYONE, car ce dernier ne fait que générer un pré projet qu'il faudra ouvrir avec pleiades.

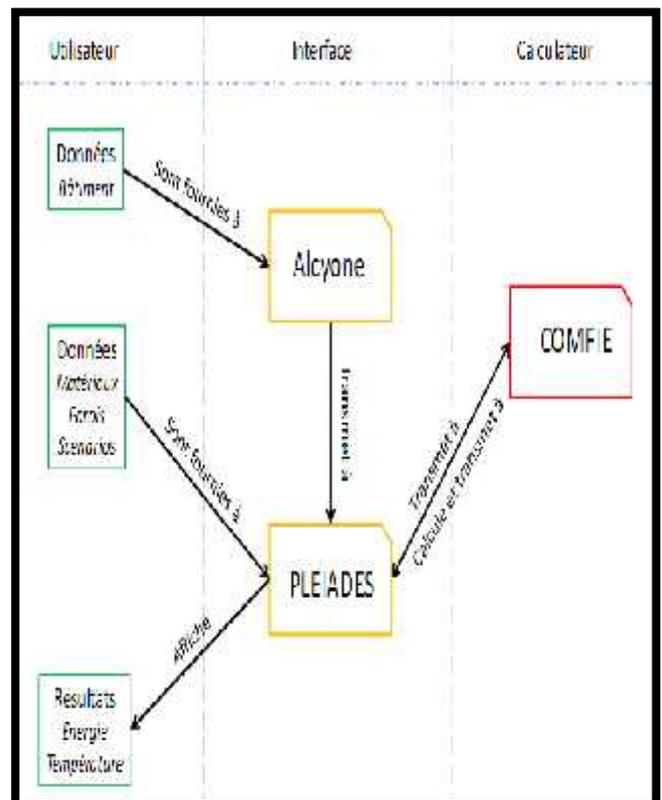


Figure III-1: Principe de fonctionnement du logiciel Pleiades+COMFIE

[69] Liébard, A. et De Herde, A. << Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques >>

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

III.2.1. Meteonorm 7

Le pack Stations MeteoNorm comporte plus de 220 stations météo Complémentaires (France métropolitaine, Belgique, Suisse, Luxembourg et pays du Maghreb) pour la Simulation thermique dynamique, il nous donne accès a des données météorologiques pour divers applications pour n'importe quel endroit dans le monde. Et Génère des fichiers de données météorologiques horaires au format TRY, requis par COMFIE, soit à partir de données mensuelles, soit à partir de données horaires disponibles.

III.3. PROCESSUS D'APPLICATION DES LOGICIELS:

La réalisation de l'étude STD se décompose en plusieurs étapes, résumées ci-dessous :



III.3.1. Saisie du bâtiment:

La première étape consiste en la saisie du bâtiment dans le logiciel, Cette saisie s'effectue à partir des données d'entrée recueillies (présentées dans le chapitre précédant)

PLEIADES dispose de vastes bibliothèques entièrement personnalisables comprenant :

- Des matériaux, des éléments constructifs (blocs, panneaux...) et des compositions de parois
- Des menuiseries
- Des scénarios de fonctionnement du bâtiment (température, ventilation, éclairage etc.)
- Des scénarios environnementaux (albédos, écrans végétaux)
- Des états de surface (absorption du rayonnement solaire et émission infrarouge) sur les deux faces de toutes les parois du bâtiment
- Des équipements de chauffage, de rafraîchissement, de ventilation
- Des modules photovoltaïques
- Des fichiers de données météorologiques

La saisie du bâtiment est elle-même décomposée en plusieurs étapes :

• Choix du site et des données météorologiques sous le logiciel méteonorme7



Figure III-2: interface du logiciel Meteonorm7 (après la définition de site)

• Choix du format du fichier:

Pour avoir format (.try)

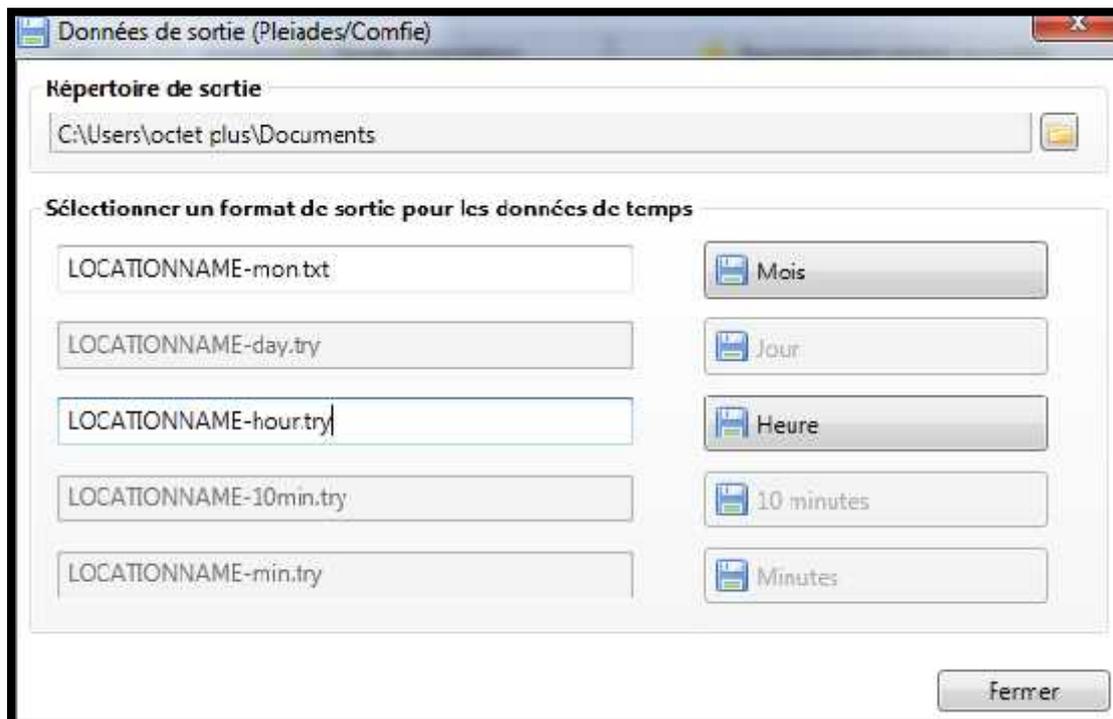


Figure III-3: choix du format

- **Identification de la station météorologique sous pleiade :**

Cette étape permet d'utiliser les paramètres météorologiques du site d'étude.

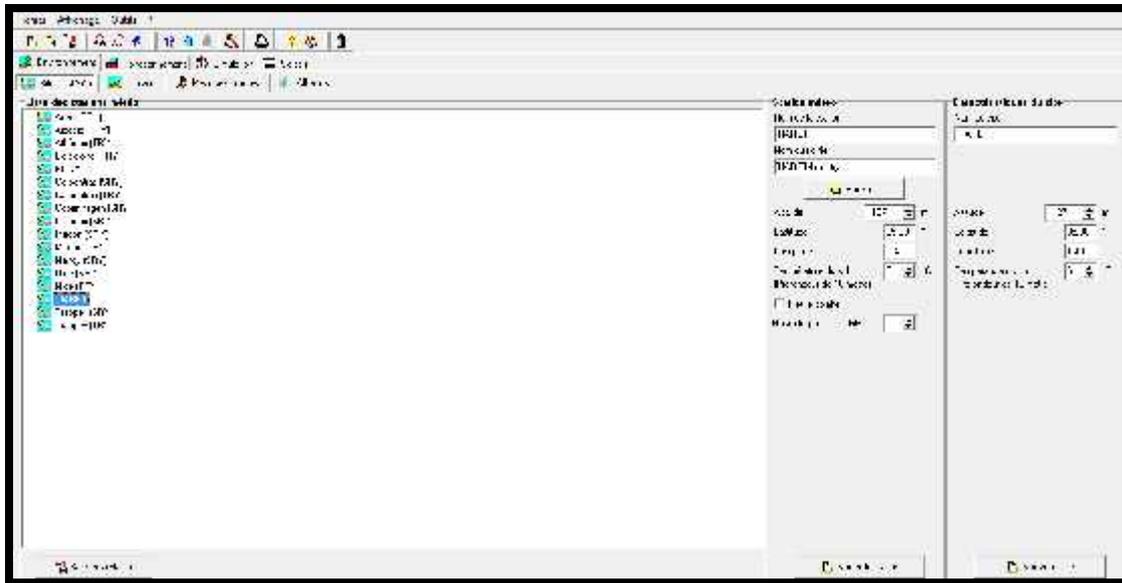


Figure III-4: identification de la station météorologique sous pleiade

- **Saisie des compositions de parois Sous PLEIADES .:**

Les différentes compositions de parois d'un projet sont créées et sauvegarder dans la bibliothèque du logiciel.

Extérieur

Intérieur

➔

Caractéristiques de la composition

Classe: Murs

Nom: MUR EXT 1.

Complément:

Origine:

Composants	T	cm	kg/m ²	λ	R
Enduit extérieur	M	1.0	17	1.15	0.01
Brique creuse de 15 cm	E	15.0	155	0.48	0.31
Lame d'air > 1.3 cm	F	1.5	0	0.09	0.16
Brique creuse de 10 cm	E	10.0	69	0.48	0.21
Enduit plâtre	M	1.0	15	0.35	0.03
Total		28.5	256		0.72

Extérieur
↓
Intérieur

1- enduit extérieur
2- brique creuse de 15 cm
3- lame d'air de 5 cm
4- brique creuse de 10 cm
5- enduit plâtre

Figure III-5: composition des murs extérieurs (double cloison)

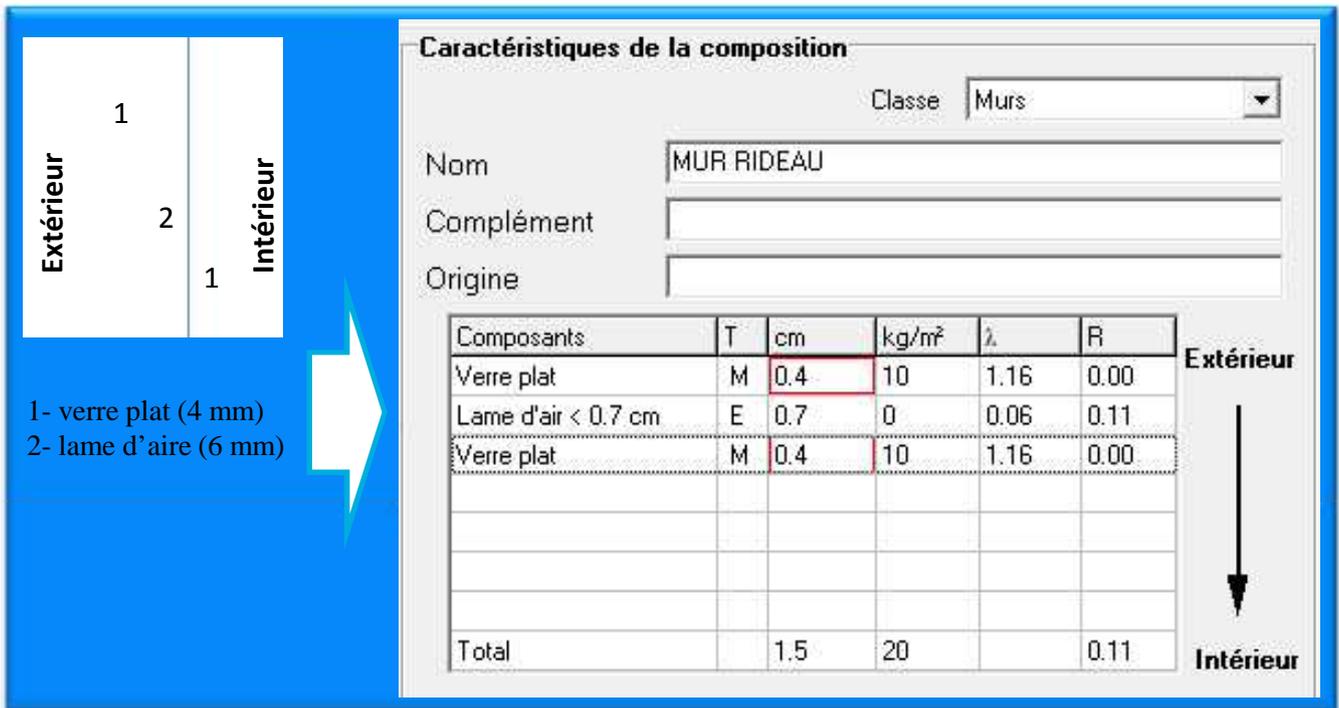


Figure III-6: composition des murs extérieurs (mur rideau)

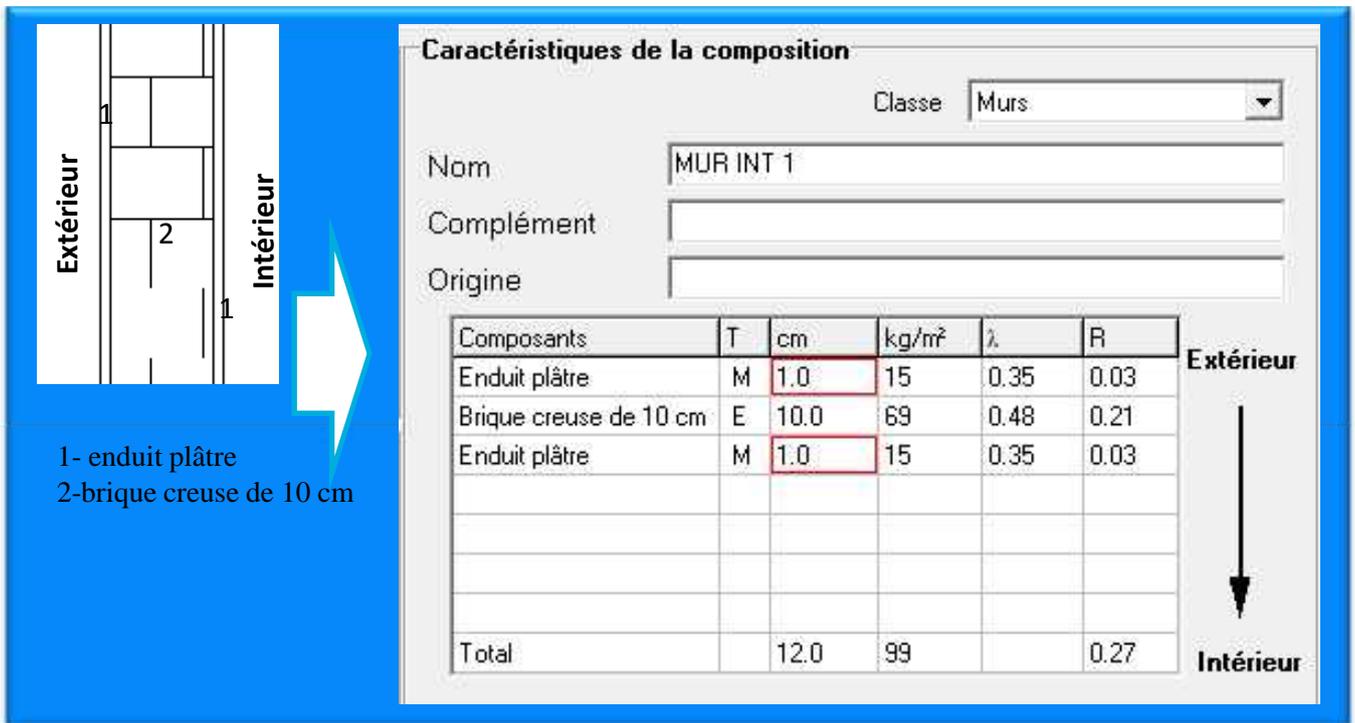


Figure III-7: composition des murs intérieurs.

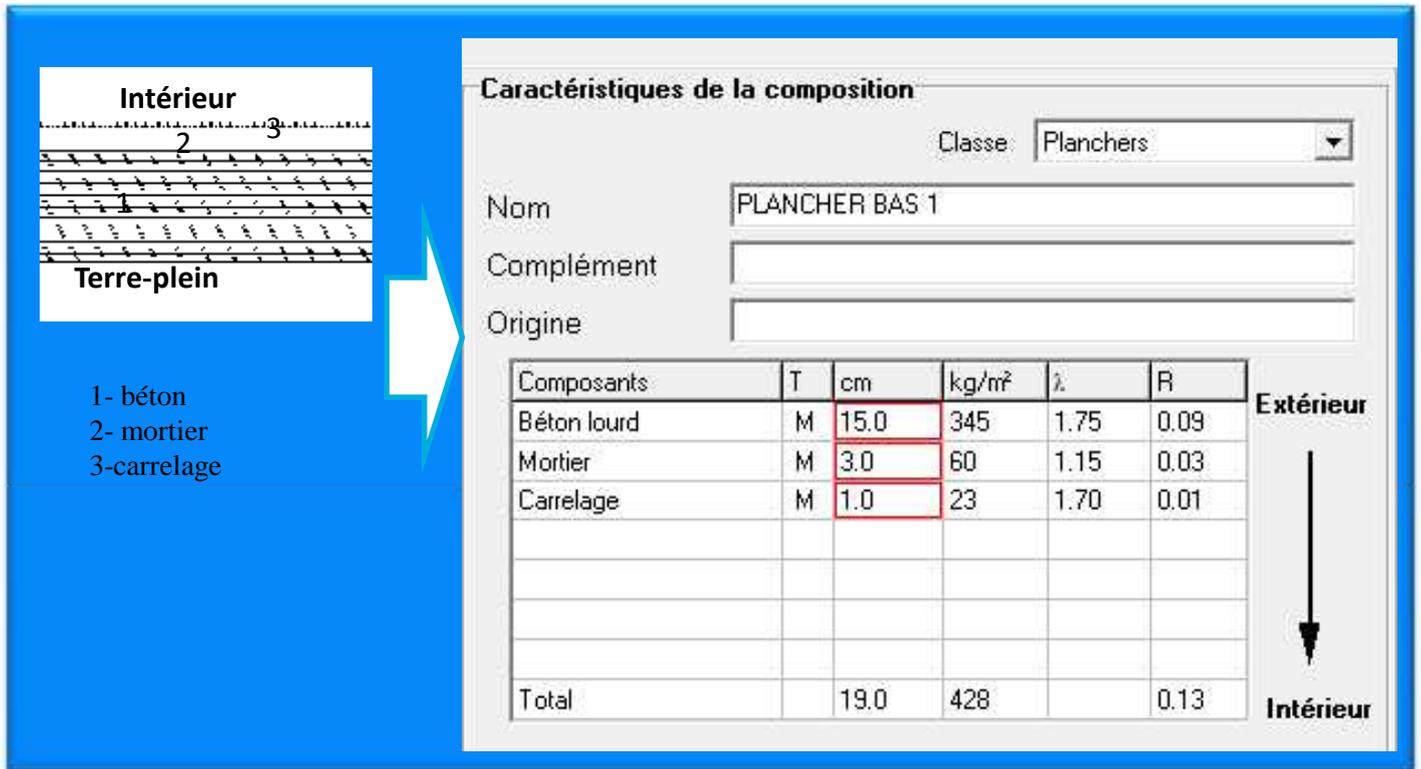


Figure III-8: composition du plancher bas.

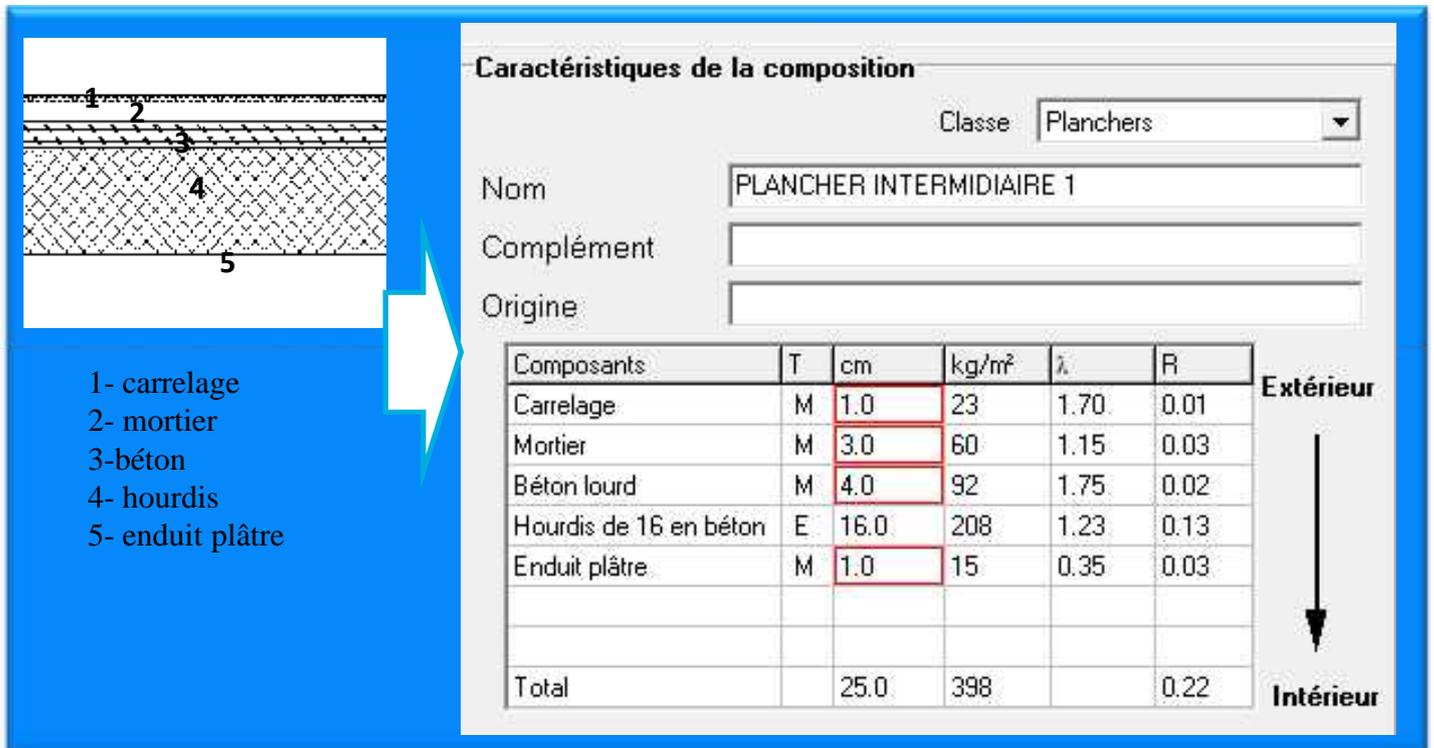


Figure III-9: composition du plancher intermédiaire.

Caractéristiques de la composition

Classe: Toitures

Nom: TOITURE 1

Complément:

Origine:

Composants	T	cm	kg/m ²	λ	R
gravier	M	5.0	85	2.00	0.03
Feutre bitumeux	M	2.0	34	0.50	0.04
Panneau de liège	M	4.0	5	0.04	1.00
BETON DE PENTE	M	7.0	168	1.70	0.04
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	1.0	15	0.35	0.03
Total		39.0	607		1.29

Extérieur

Intérieur

1- gravier
2- étanchéité bitumeuse
3- panneau de liège
4- béton de pente
5- dalle de compression
6- hourdis
7- enduit plâtre

Figure III-10: composition de la toiture.

•Saisie des menuiseries :

Caractéristiques du vitrage

Classe: Fenêtres

Nom: Fen PVC SV

Complément: --

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

Nombre de vitrages: 1 vitrage

Changer les caractéristiques

Facteur solaire moyen: 0.63

Coeff U moyen: 3.73 W/(m².K)

% de vitrage: 70 %

Vitrage

Facteur solaire: 0.90

Coeff U Vitrage: 4.60 W/(m².K)

Cadre

Coeff U Opaque: 1.70 W/(m².K)

Figure III-11: fenêtre PVC simple vitrage.

Caractéristiques du vitrage

Classe

Nom

Complément

Origine

Nombre de vitrages

Facteur solaire moyen

Coeff U moyen W/(m².K)

% de vitrage %

Vitrage		Cadre	
Facteur solaire	<input type="text" value="0.00"/>	Coeff U Opaque	<input type="text" value="5.00"/> W/(m ² .K)
Coeff U Vitrage	<input type="text" value="3.50"/> W/(m ² .K)		

Figure III-12: porte intérieur (en bois).

Caractéristiques du vitrage

Classe

Nom

Complément

Origine

Nombre de vitrages

Facteur solaire moyen

Coeff U moyen W/(m².K)

% de vitrage %

Vitrage		Cadre	
Facteur solaire	<input type="text" value="0.90"/>	Coeff U Opaque	<input type="text" value="1.70"/> W/(m ² .K)
Coeff U Vitrage	<input type="text" value="4.60"/> W/(m ² .K)		

Figure III-13: porte d'entrée (simple vitrage).

III.3.2. Définition des zones thermiques :

A partir de la saisie du bâtiment, le logiciel simule le comportement thermique du bâtiment en fonction d'un découpage choisi par l'ingénieur qui réalise l'étude. Le principal découpage s'effectue au niveau de zones thermiques, généralement une zone thermique étant associée à une pièce ou à un regroupement de pièces de même typologie, mais il faut passer par les étapes suivantes :

•définition les paramètres par défaut dans Alcyone :

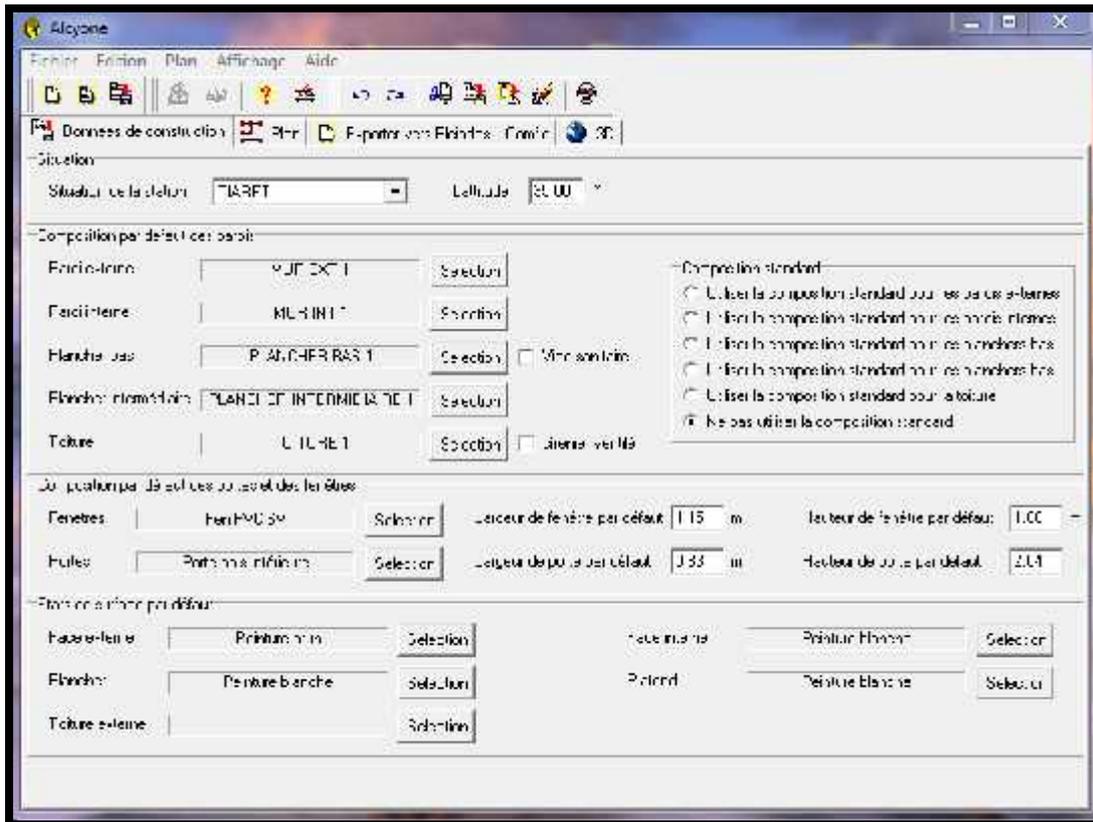


Figure III-14 : Paramètre par défaut à utiliser pour notre projet.

• Modélisation du projet: dessin du plan dans Alcyone :

- Définition de la position du nord.
- Définition de l'échelle.
- Définition des parois et des ouvrants
- Définition de la hauteur de chaque niveau
- Nomination des pièces
- Définition des zones:
 - zone 01: hall d'accueil et payement
 - zone 02: bureau (orienté au nord-ouest)
 - zone 03: bureau (orienté au sud-est)
 - zone 04: salle de réunion
 - zone 05: circulation
 - zone 06: vestiaire et wc
 - zone 07: magasin et archive



Figure III-15: plan de Rez-de-chaussée sous alcyone

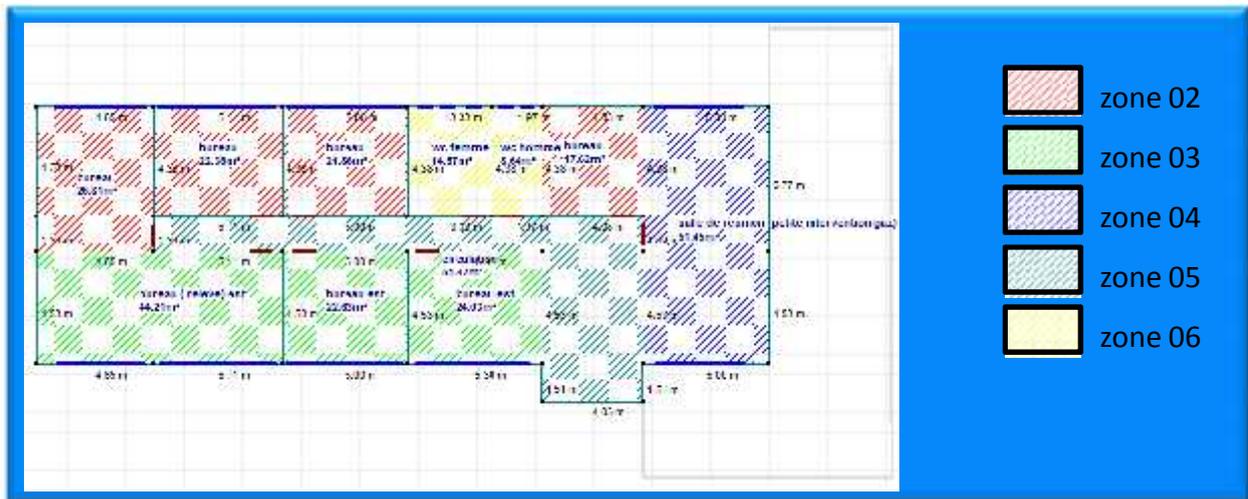


Figure III-16: plan du 1^{er} Etage sous alcyone



Figure III-17: plan du 2^{ème} étage sous alcyone

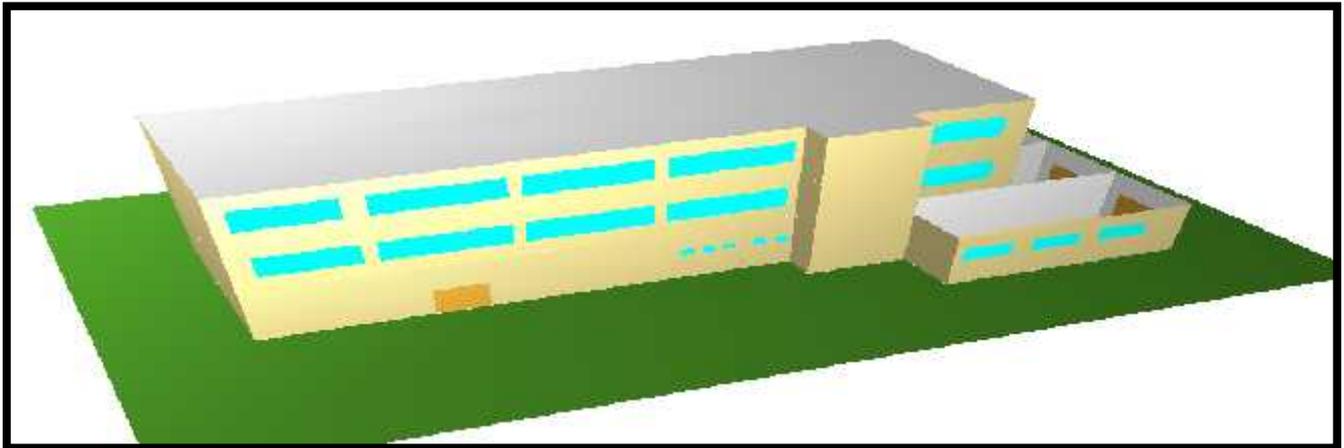


Figure III-18: La volumétrie dans alcyone

III.3.3. Exporter le projet vers pléiades:

Définition des scénario de fonctionnement :

• Scénario d’occupation:

Le scénario d’occupation permet de définir le nombre de personnes utilisant les différents espaces et leur fréquence de présence. Le but de ce scénario étant de reproduire la chaleur émise par la présence d’une personne.

Pour notre modélisation, nous avons décidé de créer un scénario pour chaque zone :

- scénario de **56** occupants dans la zone 01: hall d’accueil et payement

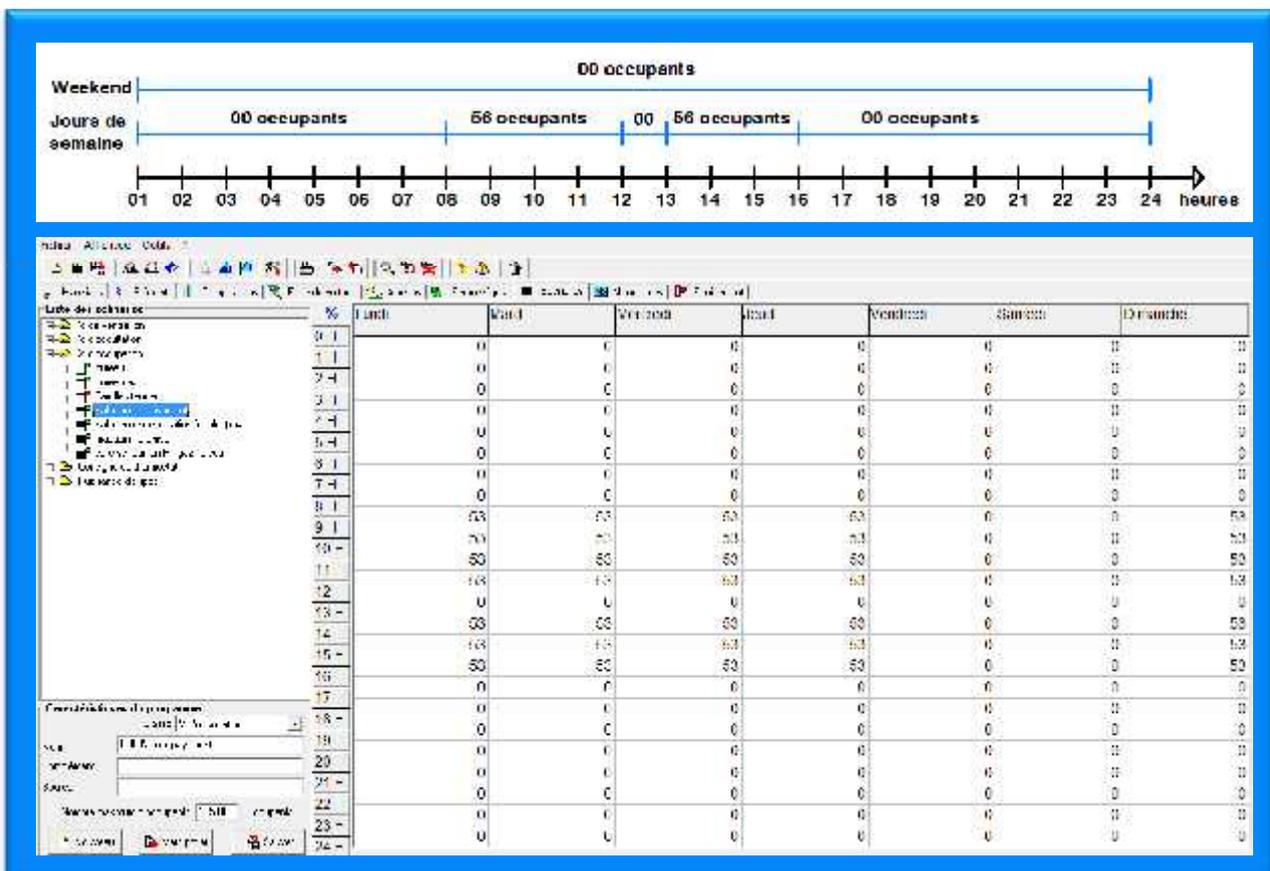


Figure III-19: scénario d’occupation de la zone 1

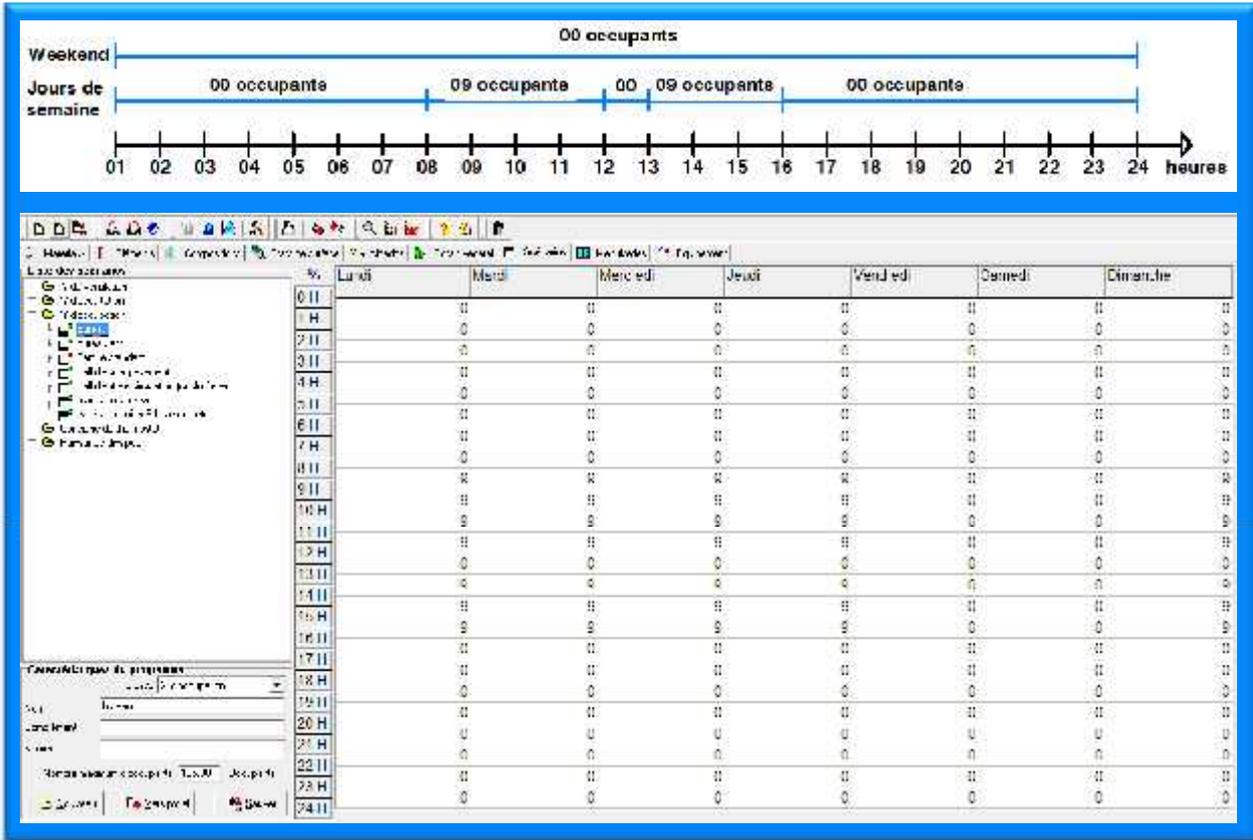


Figure III-20: scénario d'occupation de la zone 2

➤ scénario de 16 occupants dans la zone 03: Bureaux (orienté vers le sud-est)

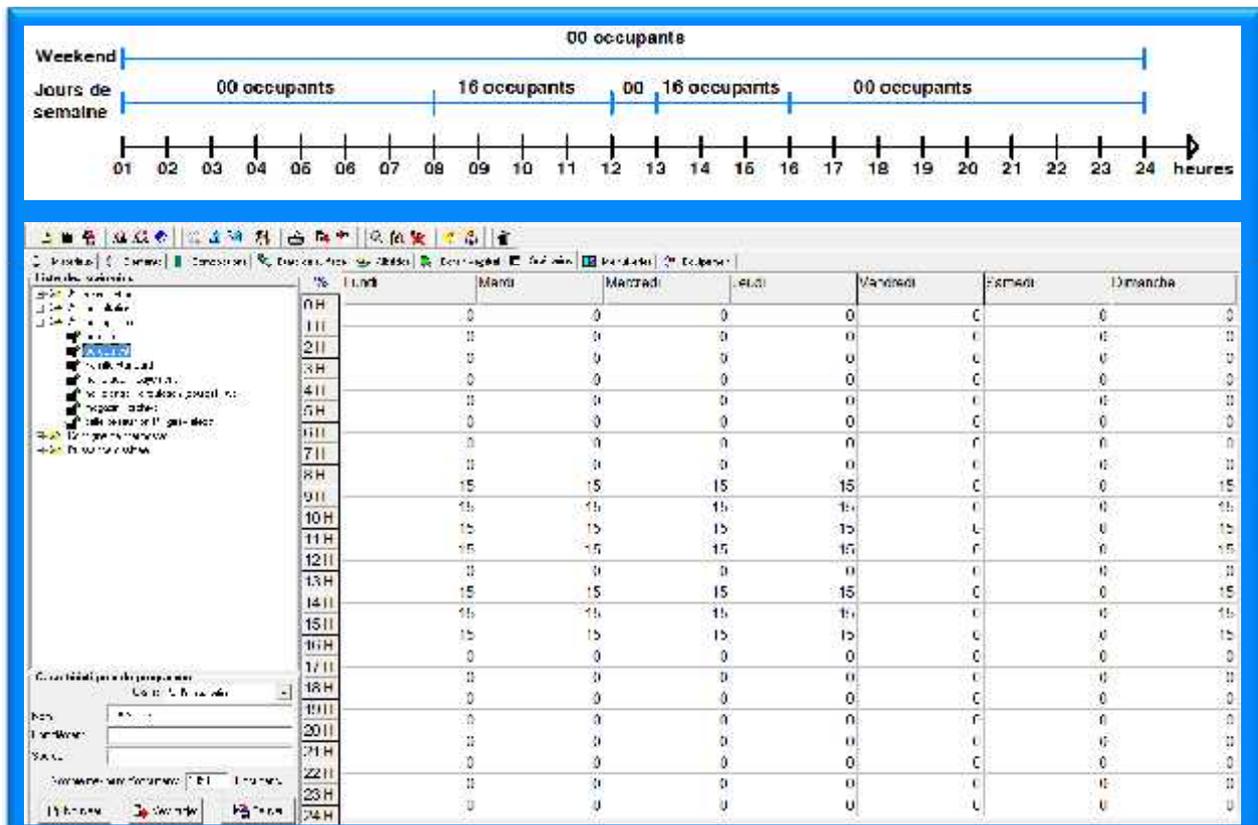


Figure III-21: scénario d'occupation de la zone 03

➤ scénario de 20 occupants dans la zone 04: salle de réunion

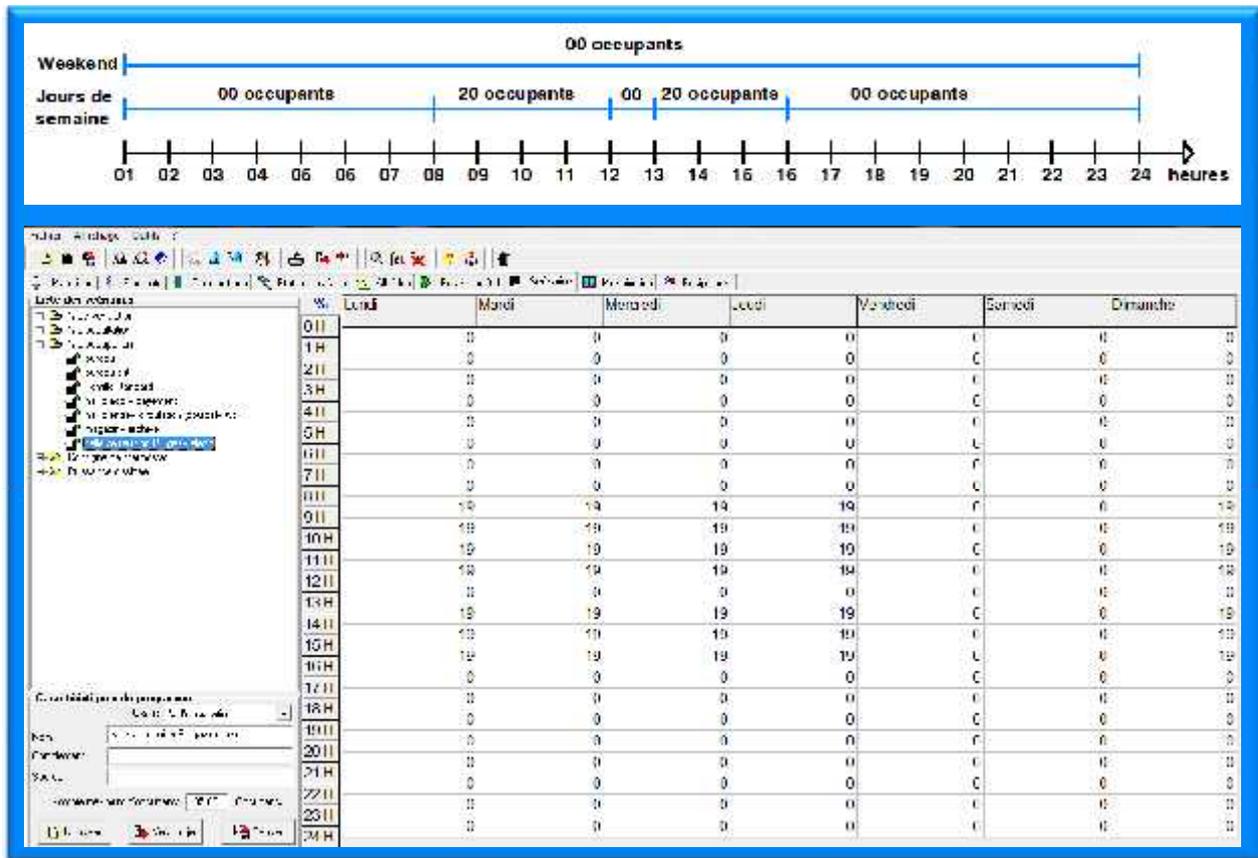


Figure III-22: scénario d'occupation de la zone 04

➤ scénario de 05 occupants dans la zone 05 et 06: hall d'entrée et circulation, wc et vestiaire

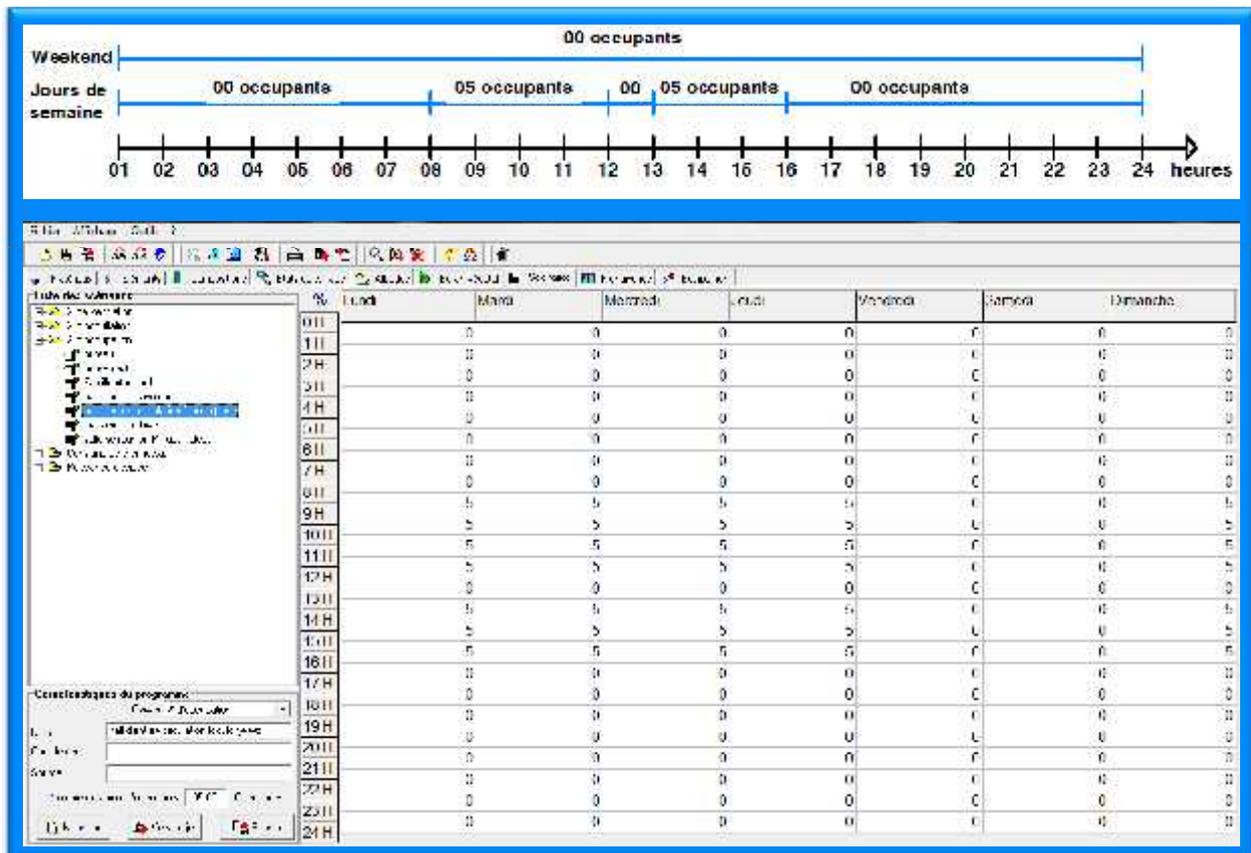


Figure III-23: scénario d'occupation de la zone 05, 06

➤ scénario de 05 occupants dans la zone 07:Magasin et archive

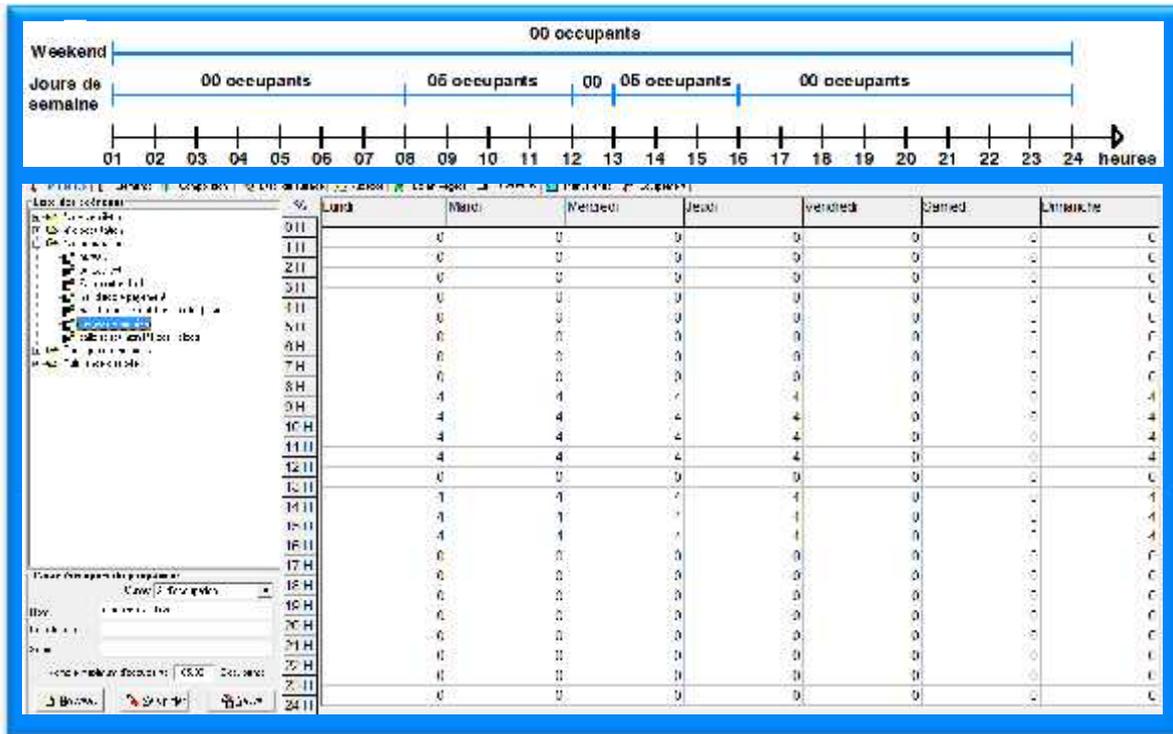


Figure III-24: scénario d'occupation de la zone 07

• scénario de consigne de thermostat :

Les consignes de thermostat ont pour fonction de déclencher le chauffage et la climatisation si la température dans la pièce descend ou bien augmente hors l'intervalle limite qu'on a fixé au préalable. Pour nous le consigne de thermostat c'est juste pour déterminer les besoins de chauffage et de climatisation.

➤ consigne de chauffage proposé

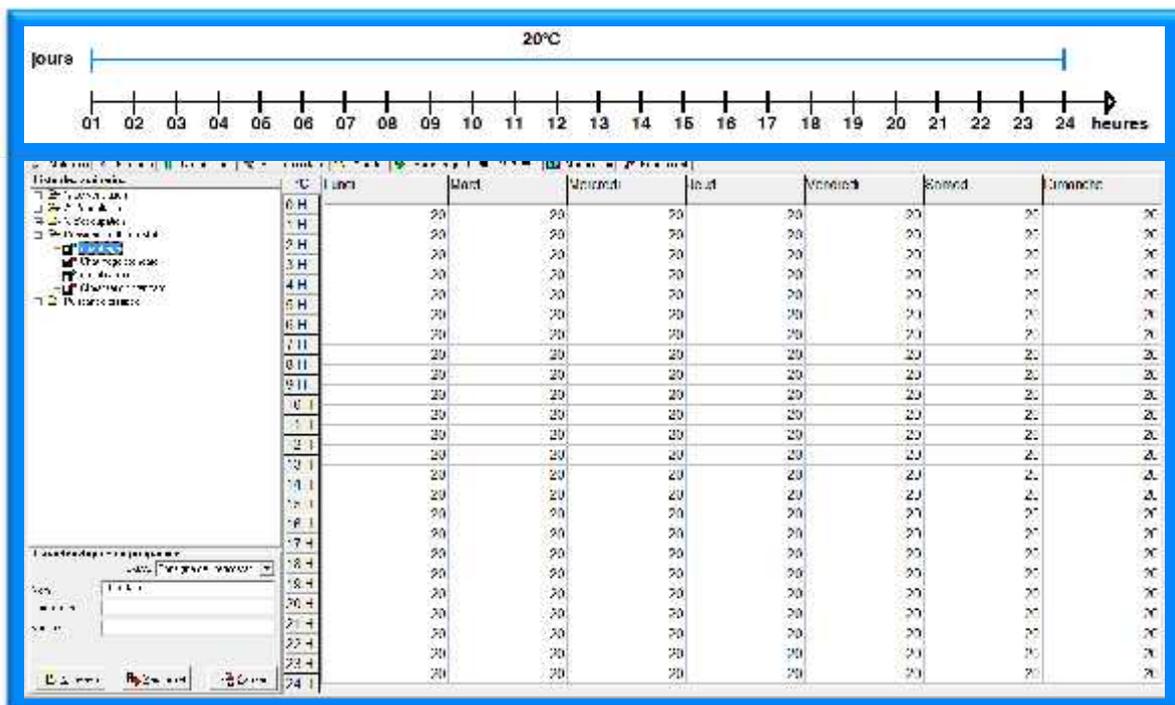


Figure III-25: scénario de consigne de thermostat de chauffage

➤ consigne de climatisation proposé

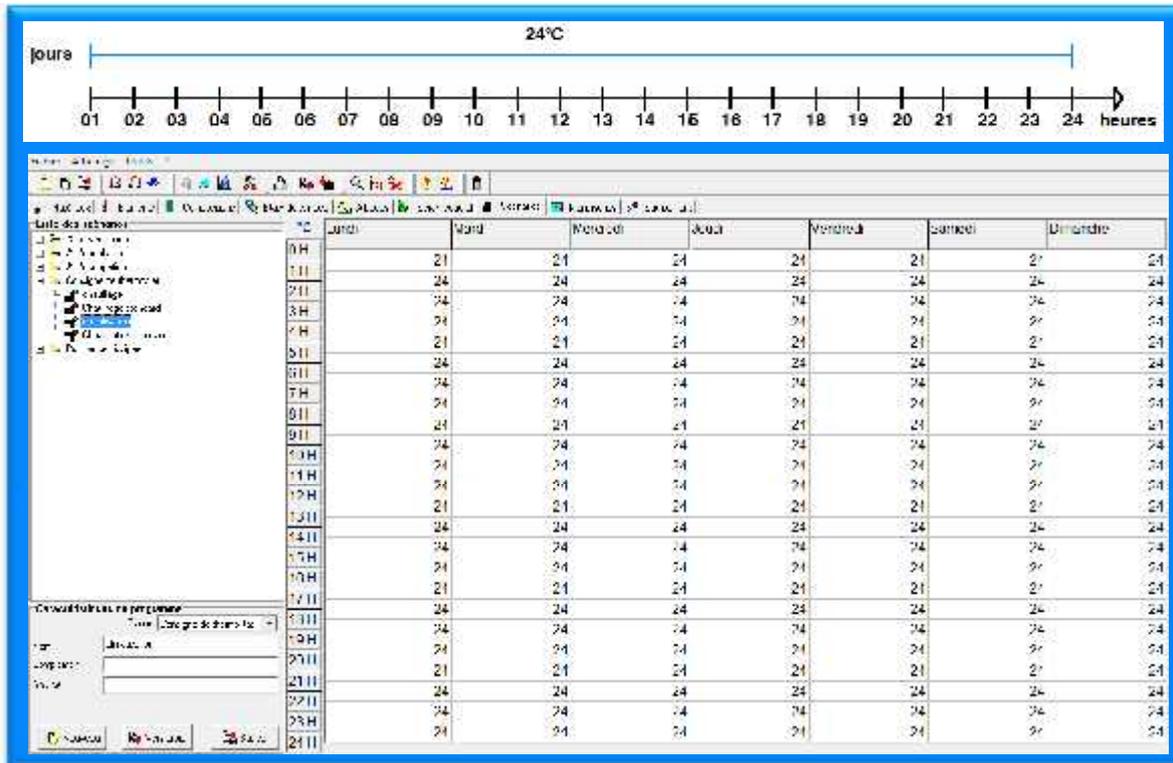


Figure III-26: scénario de consigne de thermostat de climatisation

• scénario de ventilation:

➤ consigne de ventilation proposé: On propose un taux de renouvellement standard

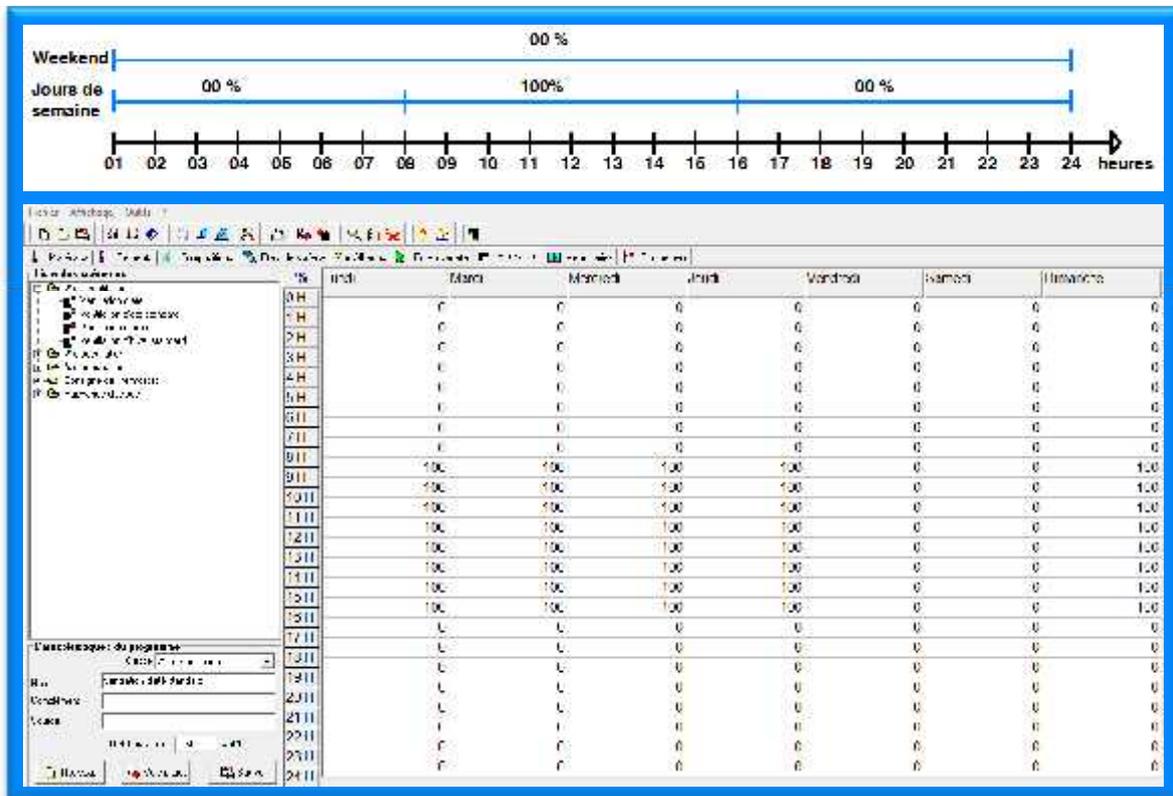


Figure III-27: scénario de ventilation estivale

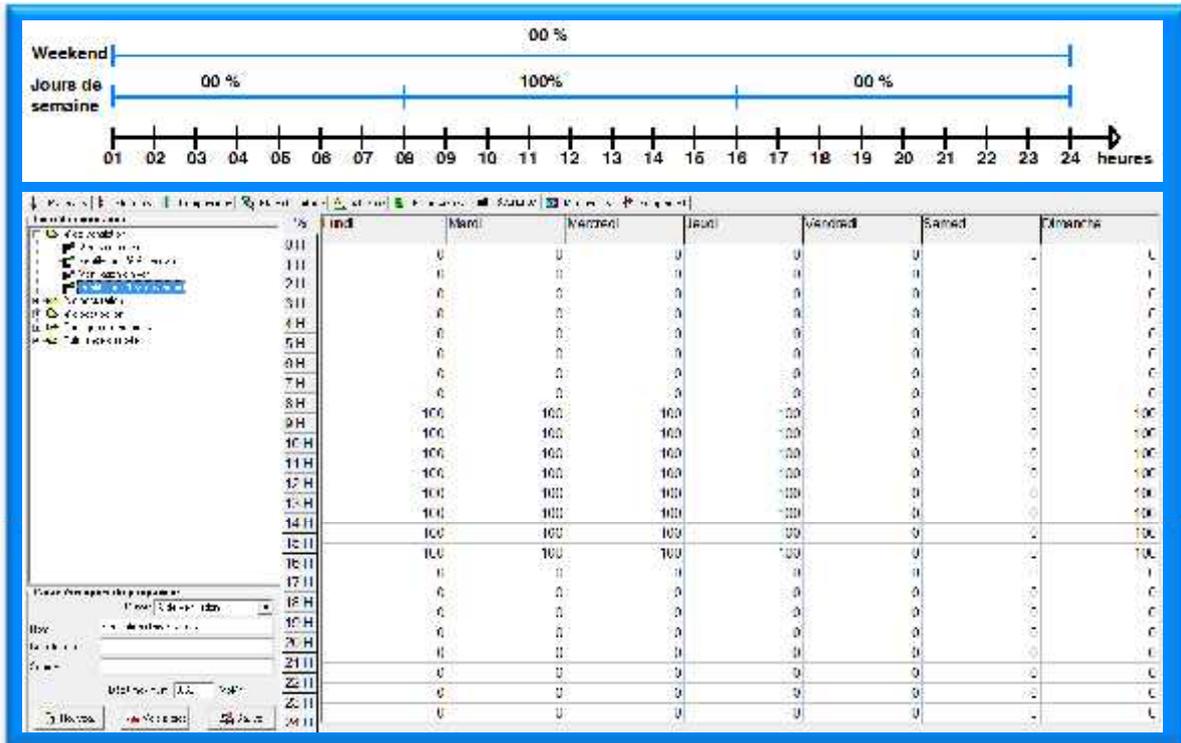


Figure III-28: scénario de ventilation hivernale

• scénario de puissance dissipée:

permet de simuler la chaleur émise par les appareils électriques 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:

- consigne de puissance dissipée de la zone 01: 06 ordinateurs (110 watts pour chacun) + 6 Lampes (33 watts pour chacune) + 6 imprimantes (20 watts pour chacune)= 978 watts

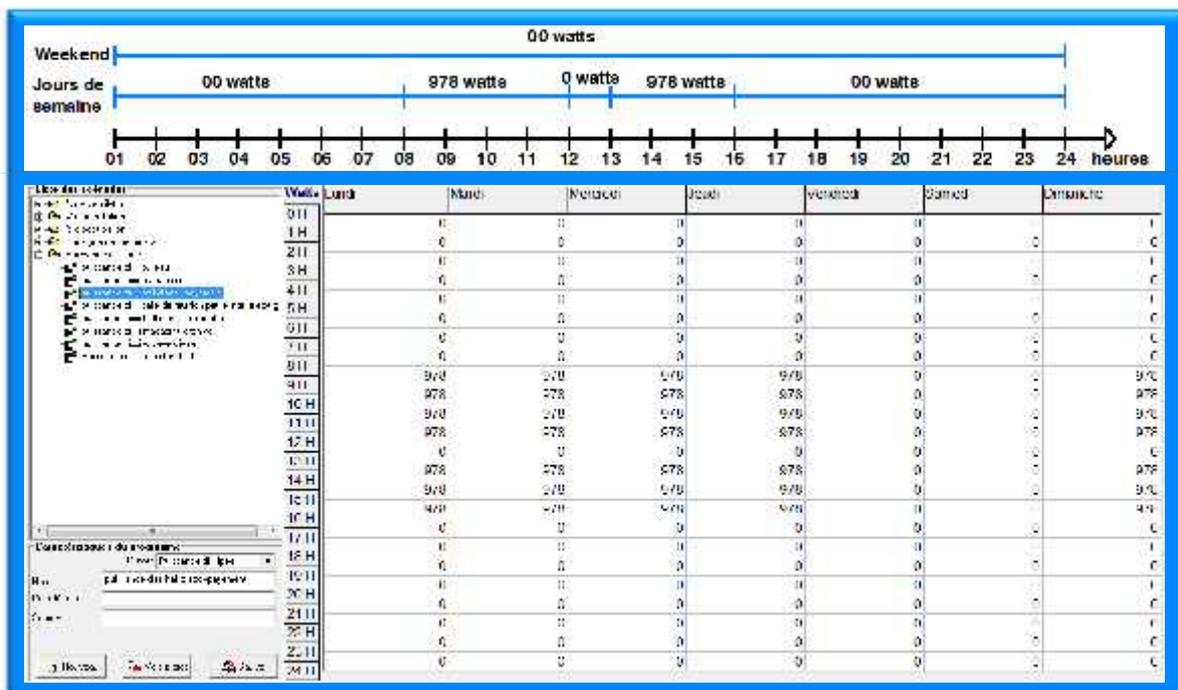


Figure III-29: scénario de puissance dissipée de la zone 01 (hall d'accueil et paiement)

➤ consigne de puissance dissipée de la zone 02: 9 ordinateurs (110 watts pour chacun) + 10 Lampes (33 watts pour chacune) + 9 imprimantes (20 watts pour chacune)+ 3 photocopieuses (1000 watts chacune + 1 téléphone fax (0.7watt) = 4500.5 watts

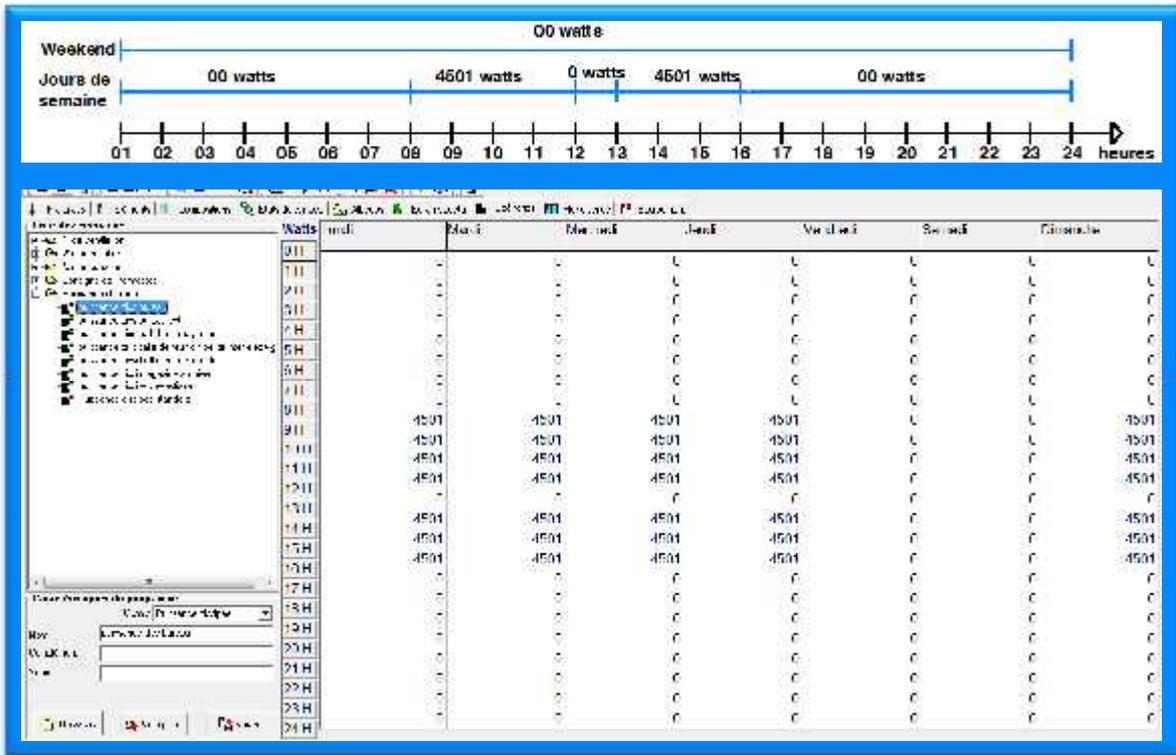


Figure III-30: scénario de puissance dissipée de la zone 02 (bureaux orientés vers le nord-ouest)

➤ consigne de puissance dissipée de la zone 03: 16 ordinateurs (110 watts pour chacun) + 4 Lampes (33 watts pour chacune) + 16 imprimantes (20 watts pour chacune)= 2212 watts

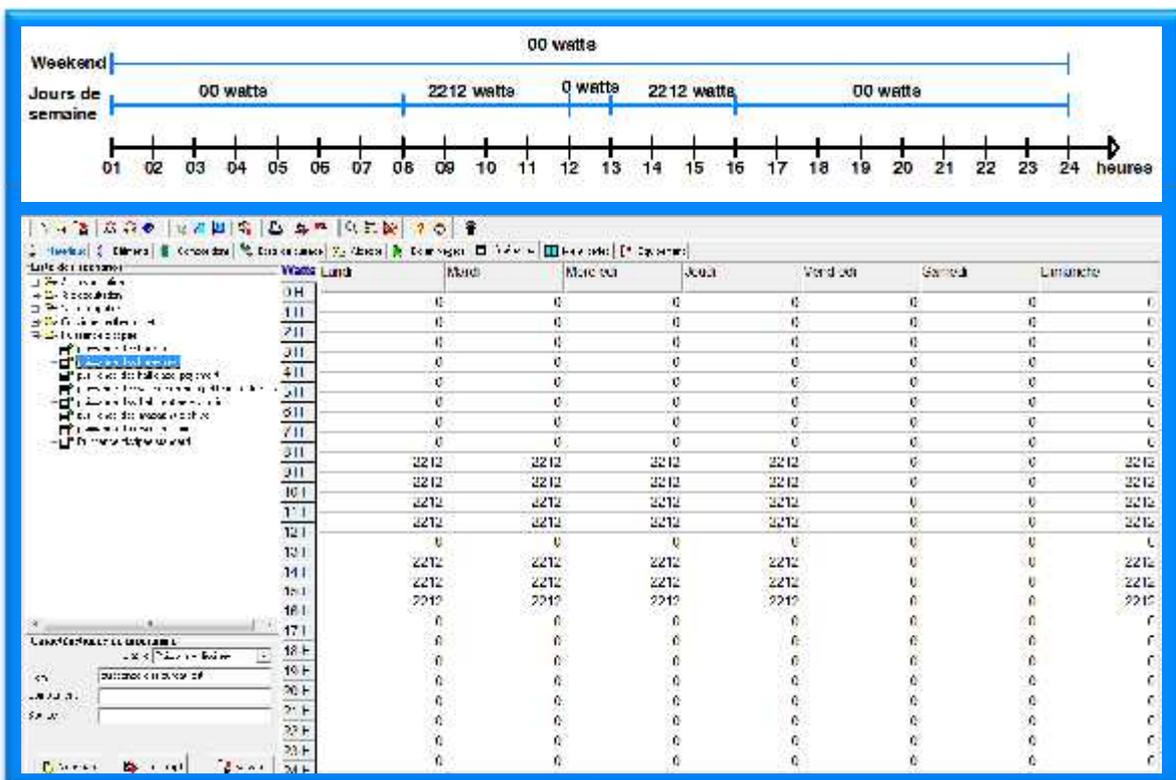


Figure III-31: scénario de puissance dissipée de la zone 03(bureaux orientés vers le sud-est)

➤ consigne de puissance dissipée de la zone 04: 4 Lampes (33 watts pour chacune)= 132watts

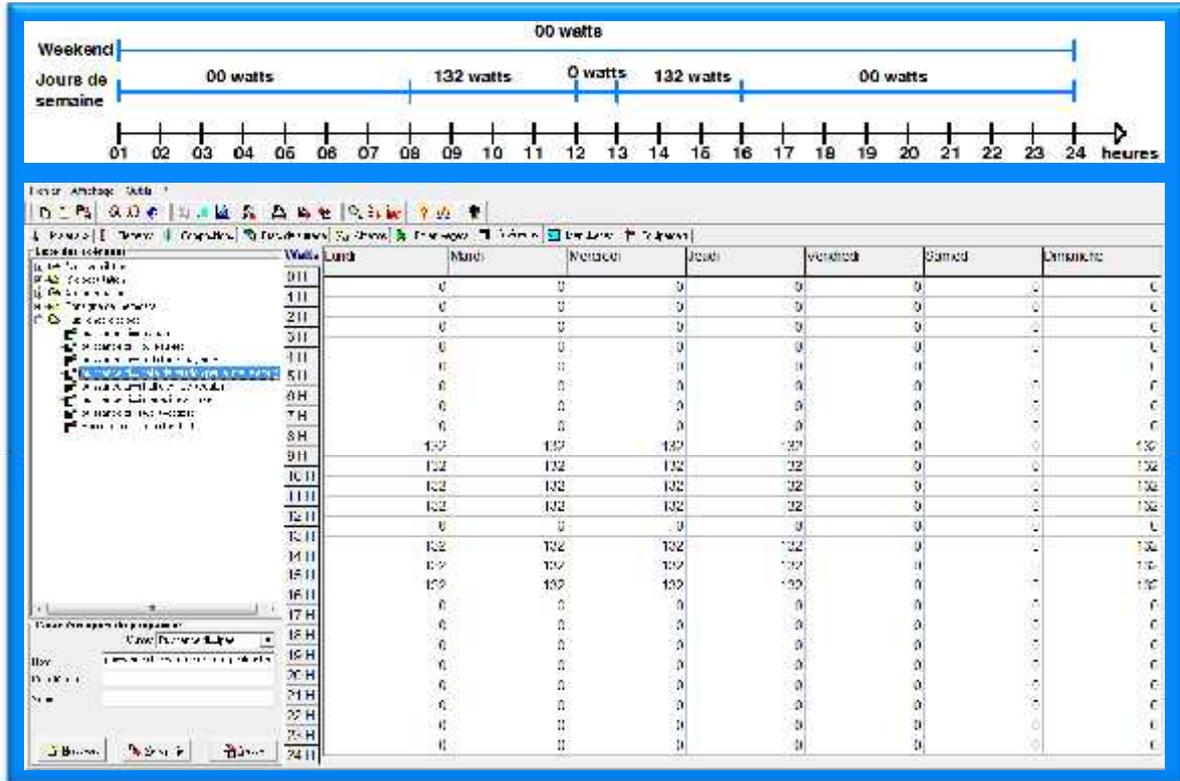


Figure III-32: scénario de puissance dissipée de la zone 04 salle de réunion

➤ consigne de puissance dissipée de la zone 05: 09 Lampes (33 watts pour chacune)= 297 watts

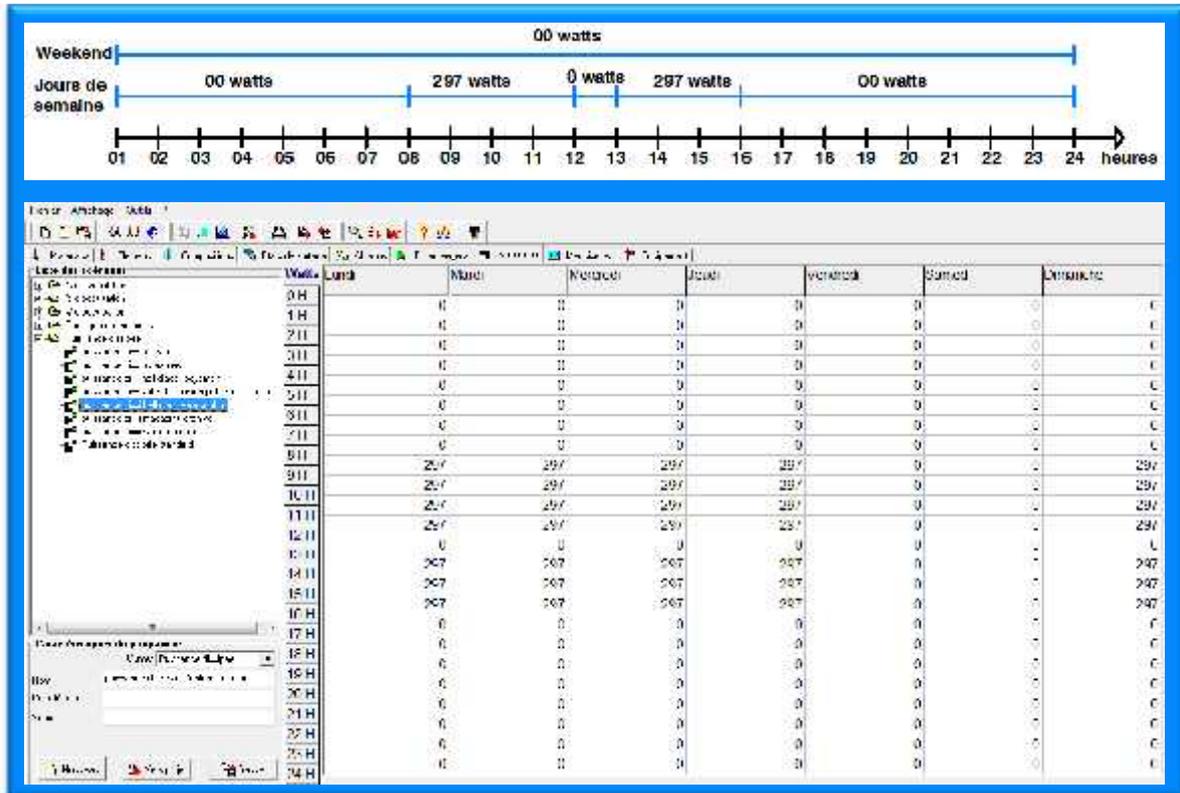


Figure III-33: scénario de puissance dissipée de la zone 05 (circulation)

➤ consigne de puissance dissipée de la zone 6: 28 Lampes (33 watts pour chacune)= 924 watts

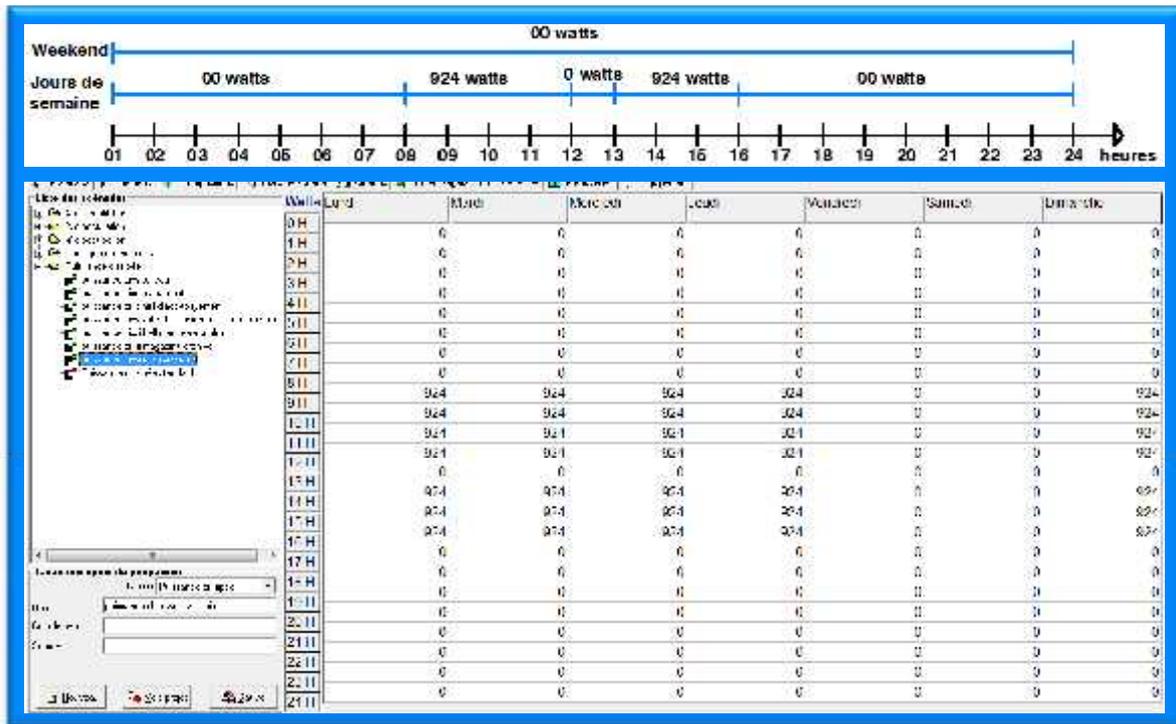


Figure III-34: scénario de puissance dissipée de la zone 06 (vestiaire et wc)

➤ consigne de puissance dissipée de la zone 7: 4 Lampes (33 watts pour chacune)= 132watts

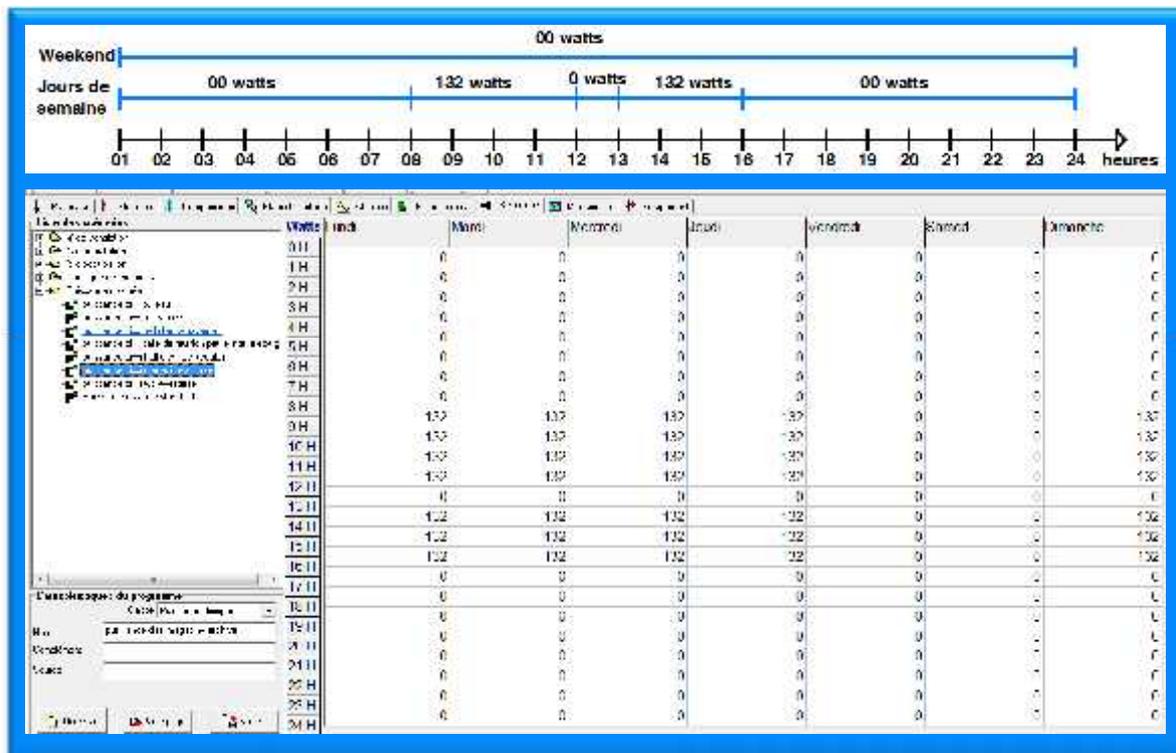


Figure III-35: scénario de puissance dissipée de la zone 07 (magasin et archive)

III.3.4 Lancement de la simulation :

la simulation est un moyen efficace pour mettre au point et étudier le comportement thermique des bâtiments en régime variable.

Une fois les éléments des étapes précédentes vérifiés, la simulation peut être lancée. La première simulation effectuée, appelée cas de base, correspond toujours au bâtiment dans son état initial. C'est la simulation de référence pour le projet.

III.4. CONCLUSION :

La modélisation intègre trois aspects : le site, le bâti (architecture, structure, enveloppe, matériaux, etc.) et l'utilisation du bâtiment (équipements actifs, occupation, ventilation, etc.).

Le site est représenté par des données climatiques horaires obtenues par le logiciel météoNorm 7

La géométrie du bâtiment a été décrite via le logiciel ALCYONE. Toutes les parois principales et les ouvertures intérieures (portes) et extérieures (portes et fenêtres) saisies respectent les dimensions, positions et orientations fournies par le plan du bâtiment pour chaque niveau. Pour simplifier le modèle, les pièces ont été regroupées en zones thermiques, Ces zones se distinguent par leur orientation;

tout les scénarios nécessaires, les consignes de températures, les occupations, les puissances dissipées par les équipements, les ventilations, ont été définis sur pléiade.

CHAPITRE IV:

Interprétation des résultats et proposition des solutions

IV.1. INTRODUCTION

Ce chapitre se focalisera sur la simulation de l'impact des mesures d'efficacité énergétique passives sur les besoins énergétiques du bâtiment de base,

Nous allons présenter les résultats obtenus après le lancement de la première simulation, Cette dernière consiste à simuler le fonctionnement de cet équipement tel qu'il est (bâtiment de base) , afin de connaître ces besoins énergétiques, des variantes sont ensuite simulées. Ces variantes peuvent intervenir sur l'isolation, les caractéristiques des vitrages, la présence des brises soleil.....,

L'objectif assigné à ce travail est de rendre le bâtiment efficace, en tenant compte des mesures précédemment citées. Cet objectif passe par la comparaison de l'influence de chaque mesure passive avec le cas de base.

Pour chaque mesure, nous allons effectuer deux simulations pour les deux longues saisons hiver et été:

- Simulation sans consigne de thermostat:

cette simulation nous permet de mesuré ou bien de voir clairement les températures a l'intérieur de notre bâtiment sans chauffage et sans climatisation,

- Simulation avec consigne de thermostat:

pour cette étape de simulation, on va simuler avec chauffage en hiver et avec climatisation en été, ce qui implique intégration des scénarios de consigne de thermostat, cette étape nous permet de quantifier les besoins énergétiques nécessaire pour réaliser un confort agréable à l'intérieur, qui possède des températures de confort entre 20°C-24°C.

IV.2. SIMULATION DE L'AGENCE COMMERCIALE DE SONELGAZ (Bâtiment initial):

IV.2.1. Résultats de simulation sans consigne de thermostat en hiver et en été (Bâtiment initial):

les scénarios de fonctionnement intégrés sont:

- scénario d'occupation
- scénario de ventilation
- scénario de puissance dissipée

Zones	Desoin: U ⁺	Desoin: U ⁻	Desoin: U ⁺	Desoin: U ⁻	T _{min}	T _{max}	T _{mo}
01	1000	1000	1000	1000	5.02	27.76	14.43
02	1000	1000	1000	1000	5.15	24.26	13.08
03	1000	1000	1000	1000	7.07	26.66	15.55
04	1000	1000	1000	1000	5.29	24.41	13.36
05	1000	1000	1000	1000	5.03	24.41	13.34
06	1000	1000	1000	1000	6.35	23.17	13.58
07	1000	1000	1000	1000	4.22	21.63	11.77
Total	1000	1000	1000	1000			

Zones	Desoin: C _{ref} : T _{ind}	Desoin: S _{chauffe} : T _{ind}	Desoin: S _{ref} : T _{ind}	T _{min}	T _{max}	T _{mo}
01	1000	1000	1000	5.02	27.76	14.43
02	1000	1000	1000	5.15	24.26	13.08
03	1000	1000	1000	7.07	26.66	15.55
04	1000	1000	1000	5.29	24.41	13.36
05	1000	1000	1000	5.03	24.41	13.34
06	1000	1000	1000	6.35	23.17	13.58
07	1000	1000	1000	4.22	21.63	11.77
Total	1000	1000	1000			

Figure IV-01: résultat de simulation en hiver sans consigne de thermostat.

Pour toute la période hivernale,

Dans la zone 01 hall d'accueil et paiement: la température maximale peut atteindre jusqu'à 27.76°C et diminue jusqu'à 5.02°C (température minimale), alors on aura une température moyenne de 14.43°C;

la zone 02 bureau (orienté au nord-ouest): nous avons une moyenne de 13.08°C avec une température minimale de 5.15°C et une température maximale de 24.26°C

la zone 03: bureau (orienté au sud-est): nous avons une moyenne de 15.55°C avec une température minimale de 7.07°C et une température maximale de 26.66°C

la zone 04: salle de réunion: nous avons une moyenne de 13.36°C avec une température minimale de 5.29°C et une température maximale de 24.41°C

La zone 05: circulation: nous avons une moyenne de 13.34°C avec une température minimale de 5.03°C et une température maximale de 24.41°C

la zone 06: vestiaire et wc: nous avons une moyenne de 13.58°C avec une température minimale de 6.35°C et une température maximale de 23.17°C

la zone 07: magasin et archive: nous avons une moyenne de 11.77°C avec une température minimale de 4.22°C et une température maximale de 21.63°C .

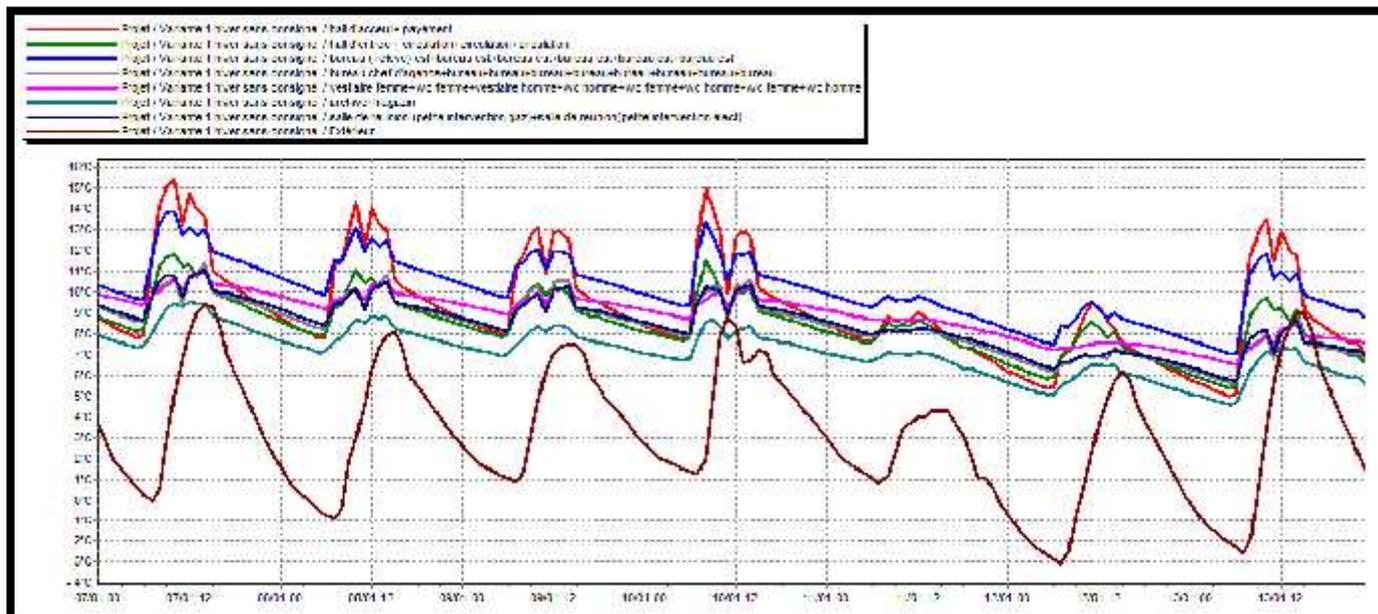


Figure IV-02 : Graphe de température des différentes zones en hiver sans consigne de thermostat (la semaine la plus froide) .

Synthèse : Selon la figure présenté, nous remarquons:

- La température intérieure est plus élevée que la température extérieure à cause des apports externes dont la façade vitrée provoque le phénomène d'effet de serre, ainsi que les apports internes;
- les températures intérieures des différentes zones restent tout de même largement au-dessus de la température extérieure qui descend jusqu'à -3°C pendant la nuit, Ceci s'explique par l'effet de l'inertie thermique de l'enveloppe qui est définie par la capacité thermique du matériau de construction à stocker la chaleur;
- pour le weekend (vendredi et samedi), on remarque une baisse de température qui varie entre 5 et 10°C , ceci est expliqué par l'absence des occupants et les puissances dissipées des appareils qui n'ont pas été utilisées, mais ces températures restent toujours plus élevées par rapport à la température extérieure, parce que pendant le dernier jour, l'enveloppe du bâtiment déjà chauffée a contribué au stockage de la chaleur de par son inertie thermique;
- nous remarquons aussi des pics de températures dans les jours de semaine, ceci est expliqué par l'absence des occupants et les puissances dissipées des appareils qui n'ont pas été utilisées pendant le repos à midi ($12\text{h} - 13\text{h}$);
- les températures intérieures des différentes zones suivent la température extérieure, quand cette dernière descend (pendant la nuit), les températures des différentes zones descendent aussi, mais la diminution de la température de la zone 1 (hall d'accueil et paiement) est importante par rapport aux autres zones, ceci est expliqué par les déperditions à travers la surface vitrée (mur rideau);

- La température intérieure de la zone 1 (hall d'accueil et paiement) et la zone 3 (bureau sud-est) sont plus élevées par rapport les températures des autres zones, a cause des apports solaire dont les façades vitrés sont orientées vers le sud-est, les apports internes, et la présences des occupants;
- La température intérieure de la zone 07 (magasin et archive) est la plus basse, ceci est expliqué par les façades non vitrés ,le nombre des occupants et les apports internes qui ne sont pas importants

Zone	Evén. Min	Evén. Max	Période Min	Période Max	T. Min	T. Moyenne	T. Max
01	5.51	42.50	21/07	21/07	5.51	28.06	42.50
02	5.92	39.88	21/07	21/07	5.92	27.28	39.88
03	5.98	41.89	21/07	21/07	5.98	29.56	41.89
04	6.02	40.73	21/07	21/07	6.02	28.08	40.73
05	5.71	39.84	21/07	21/07	5.71	27.34	39.84
06	6.09	38.80	21/07	21/07	6.09	27.59	38.80
07	4.22	36.37	21/07	21/07	4.22	24.73	36.37

Zone	Desons. U/m².h	Moyenne U/m².h	Evén. Min de T. (°C)	Evén. Max de T. (°C)	T. Moyenne (°C)
01	1.00	7.00	5.51	42.50	28.06
02	1.00	7.00	5.92	39.88	27.28
03	1.00	7.00	5.98	41.89	29.56
04	1.00	7.00	6.02	40.73	28.08
05	1.00	7.00	5.71	39.84	27.34
06	1.00	7.00	6.09	38.80	27.59
07	1.00	7.00	4.22	36.37	24.73

Figure IV- 03: résultat de simulation en été sans consigne de thermostat.

Pour toute la période estivale,

Dans la zone 01 hall d'accueil et paiement: la température maximale peut atteindre jusqu'à 42.50°C et diminue jusqu'à 5.51°C (température minimale), alors on aura une température moyenne de 28.06°C;

la zone 02 bureau (orienté au nord-ouest): nous avons une moyenne de 27.28°C avec une température minimale de 5.92 °C et une température maximale de 39.88 °C

la zone 03: bureau (orienté au sud-est): nous avons une moyenne de 29.56°C avec une température minimale de 5.98°C et une température maximale de 41.89 °C

la zone 04: salle de réunion: nous avons une moyenne de 28.08 °C avec une température minimale de 6.02 °C et une température maximale de 40.73°C

La zone 05: circulation: nous avons une moyenne de 27.34°C avec une température minimale de 5.71°C et une température maximale de 39.84 °C

la zone 06: vestiaire et wc: nous avons une moyenne de 27.59°C avec une température minimale de 6.09°C et une température maximale de 38.80°C

la zone 07: magasin et archive: nous avons une moyenne de 24.73°C avec une température minimale de 4.22°C et une température maximale de 36.37°C .

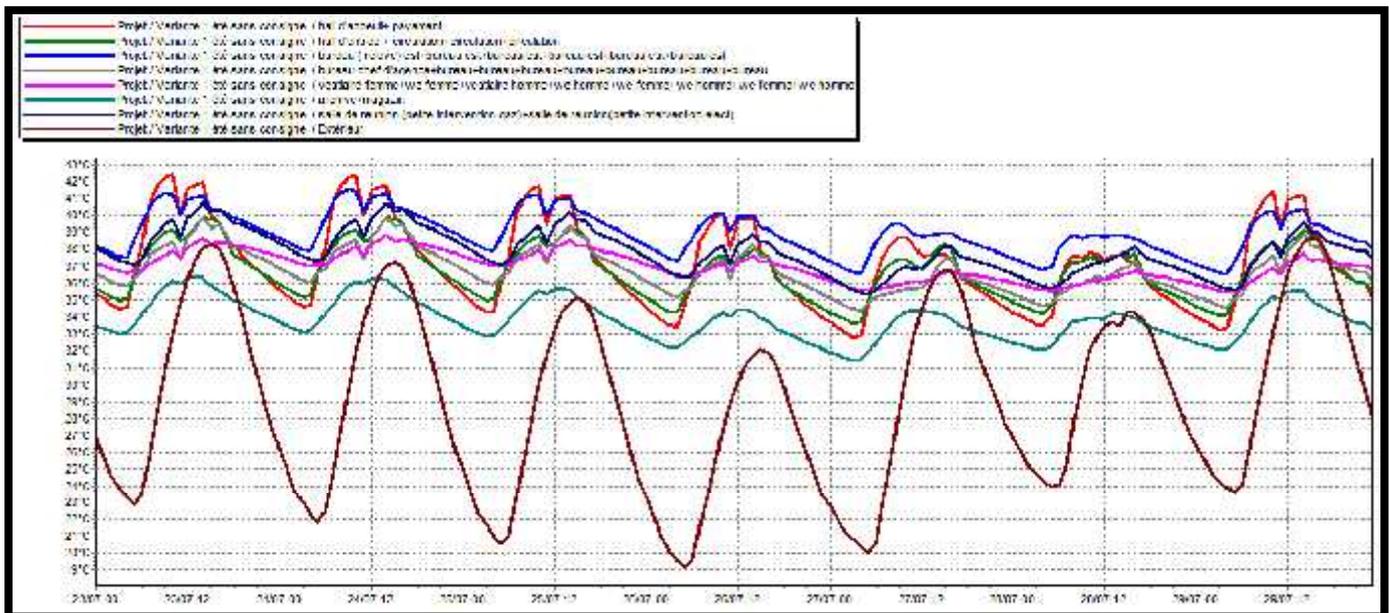


Figure IV-04: Graphe de température des différentes zones en été sans consigne de thermostat (la semaine la plus chaude) .

• Synthèse:

Selon la figure présenté, nous remarquons:

- La température intérieure est plus élevée que la température extérieure à cause des apports internes qui représentent une source de chaleur diffusée dans le bâtiment, Leur superposition à d'autres sources de chaleur (apports solaires) peut conduire à une élévation excessive de la température et à une situation d'inconfort, pour notre projet les façades vitrés sont orientées vers le sud-est, et nord-ouest, ces orientations ont un maximum de gains en été;
- Nous remarquons aussi des pic dans les jours de semaine, ceci est expliqué par l'absence des occupants et les puissances dissipée des appareils qui n'ont pas utilisées pendant le repos à midi (12h – 13h);
- La température intérieure de la zone 07 (magasin et archive) est la plus basse, ceci est expliqué par les façades non vitrés ,le nombre des occupants et les apports internes qui ne sont pas importants
- Les températures des différentes zones diminuent pendant le weekend a cause de l'absence des occupants, et les apports internes ,mais restent toujours élevées par rapport la température extérieure, ceci est expliquée par les apports solaires qui sont très importants, et l'effet de l'inertie thermique de l'enveloppe.

IV.1.2. Résultats de simulation avec consigne de thermostat en hiver et en été (Bâtiment initial):

les scénarios de fonctionnement intégrés sont:

- scénario d'occupation
- scénario de ventilation
- scénario de puissance dissipée
- scénario de la consigne de thermostat(chauffage et climatisation pour la zone 1, 2, 3,4 et 5)

Zone	Énergie In	Énergie Out	Auxiliary	Heat Loss	Gain	Température	Température
Raum							
Le chauffage électrique	2536 kWh	0 kWh	1 222 kWh	0 kWh	20 00 kWh	21 70 °C	21 01 °C
Le chauffage électrique (chauffage électrique)	1209 kWh	0 kWh	1209 kWh	0 kWh	19 79 kWh	21 16 °C	21 77 °C
Le chauffage électrique (chauffage électrique)	278 kWh	0 kWh	81 kWh	0 kWh	19 90 kWh	21 88 °C	21 74 °C
Le chauffage électrique (chauffage électrique)	2702 kWh	0 kWh	143 kWh	0 kWh	19 87 kWh	21 12 °C	21 63 °C
Le chauffage électrique (chauffage électrique)	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	16 40 kWh	21 70 °C	21 01 °C
Le chauffage électrique	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	8 30 kWh	21 71 °C	21 81 °C
Le chauffage électrique (chauffage électrique)	756 kWh	0 kWh	572 kWh	0 kWh	19 33 kWh	21 17 °C	21 73 °C
Total	2245 kWh	0 kWh	5412 kWh	0 kWh			

Zone	Besoin Chauffage	Besoin Climatisation	Amortissement Td	Autre Chauffage	Autre Climatisation
Zone 1 (zone 1)	13535 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh
Zone 2 (zone 2)	20402 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh
Zone 3 (zone 3)	5729 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh
Zone 4 (zone 4)	7646 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh
Zone 5 (zone 5)	19093 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh
Total	66405 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh

Figure IV-05: résultat de simulation en hiver avec consigne de thermostat

La simulation du cas de base a donné un besoin énergétique en chauffage total annuel de 66405 kwh soit 78.70 kwh/m² pour un confort agréable à l'intérieur:

- Les besoins en chauffage : 66405 kwh/843.68m².....78.70 kwh/m²
 - zone 01 est de 13535kwh/151.96 m²
 - zone 02 est de 20402kwh/220.47m²
 - zone 03 est de 5729kwh/181.74m²
 - zone 04 est de 7646 kwh /102.9m²
 - zone 05 est de 19093 kwh/186.81 m²

La figure IV-06 ci-dessous représente un histogramme de comparaison des besoins énergétiques de chauffage des différentes zones :

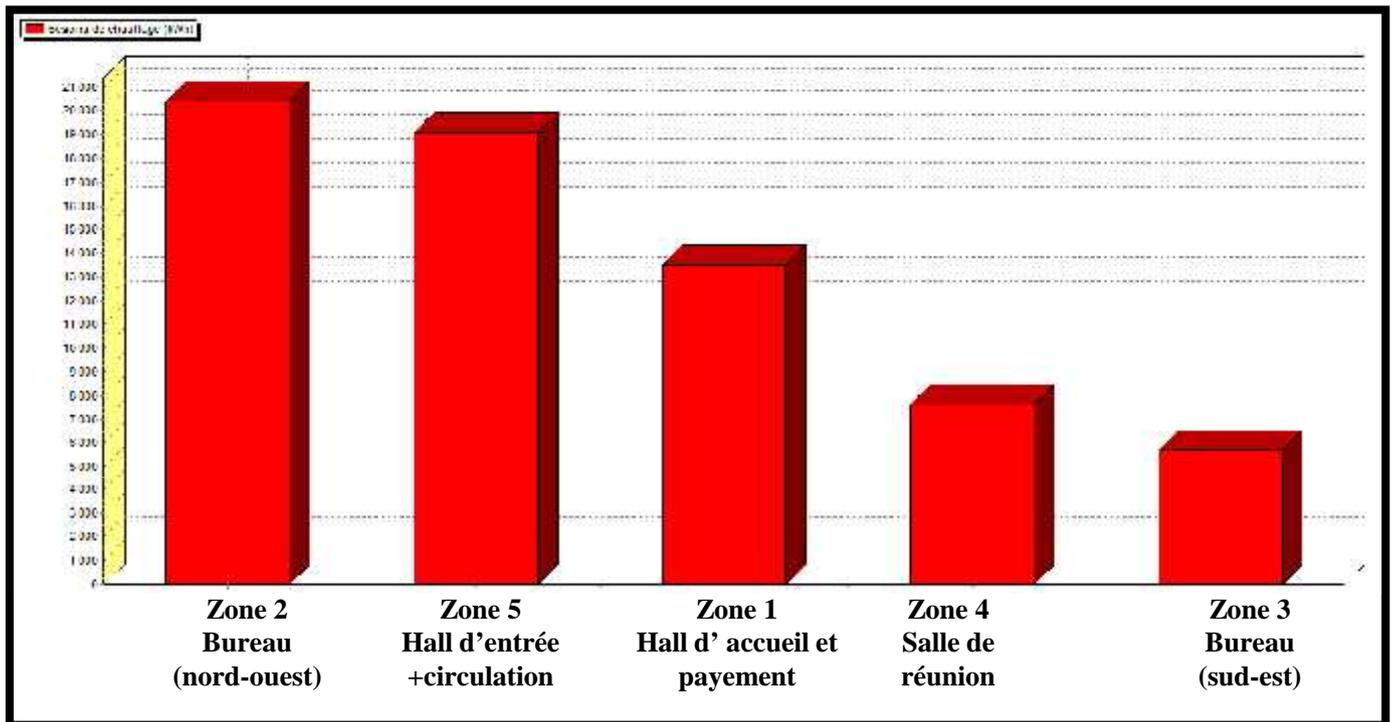


Figure IV-06: histogramme de comparaison des besoins énergétiques de chauffage des différentes zones

• **Synthèse:**

Nous remarquons que les besoins en chauffage de la zone 02(bureaux orientés vers le nord-ouest) et la zone 05 sont plus élevés par rapport aux besoins en chauffage des autres zones à cause de l'orientation, parce que En hiver, la course du soleil est limitée et seules les façades orientées au Sud apportent un complément solaire significatif;

Alors que les besoins en chauffage de la zone 3 (bureau orienté au sud-est) et la zone 4 (salle de réunion) sont les plus bas à cause de l'orientation vers le sud-est et donc les apports externes sont importants ,ainsi que le nombre d'occupant et les apports internes qui sont aussi importants;

Pour la zone 1 et 4 ont une orientation vers le sud-est et une autre vers le nord-ouest, mais les besoins de la zone 1 sont plus élevés par rapport à la zone 4 à cause de la surface vitrée qui est importante ce qui engendre des pertes d'énergie, et aussi le volume de la zone 4 qui n'est pas important par rapport à la zone 1.

• Synthèse :

Nous remarquons que les besoins en climatisation des différentes zones du projet sont plus élevés par rapport les besoins en chauffage, ceci est expliqué par l'importance des apports solaires, parce que en été la course du soleil est beaucoup plus longue et plus haute, et les façades Est et Ouest font l'objet de surchauffe et devront être équipées de dispositifs de protection, pour notre projet la façade principale est orienté vers le sud-est, et la secondaire vers le nord-ouest;

On remarque que les besoins en climatisation de la zone 3 sont plus élevés par rapport les autres zones, a cause de l'orientation (sud-est) ,les occupants et les apports internes qui sont importants.

L'analyse des résultats de simulation en période de froid nous montre que notre bâtiment a besoin toujours d'être chauffé malgré les apports intérieurs importants et l'occupation massive des bureaux, à cause des pertes de l'énergie à travers l'enveloppe du bâtiment, les besoins en climatisation sont aussi élevés, parce que les apports solaire sont importants, et les façades vitrées provoquent le phénomène d'effet de serre.

IV.3. SIMULATION DE L'AGENCE COMMERCIALE DE SONELGAZ (après amélioration):

Afin d'assurer le confort thermique et de réduire les besoins énergétique dans le bâtiment, on peut intervenir sur plusieurs paramètres à savoir:

- L' isolation performante;
- Le vitrage performant;
- L'utilisation des énergies renouvelable tout on profitant de la ventilation naturelle;
- Façades bien traitée sur le plan de protection solaire (ouvertures occultées).

IV.3.1. Isolation performante:

L'isolation limite les déperditions thermiques en hiver; et elle rafraîchit le bâtiment en réduisant les apports de chaleur en été;

• Isolant utilisé:Polystyrène extrudé:

- Le Polystyrène extrudé (XPS) est un matériau isolant thermique, utilisé dans le monde de la construction, tout comme le polystyrène expansé, son grand concurrent, le polystyrène extrudé est composé de pétrole brut et d'une mousse uniforme. Il est obtenu à partir d'un mélange de polystyrène et de gaz, qui donne un matériau léger de couleur bleue, souvent appelé de son nom commercial Polyfoam. Il se présente sous forme de grandes plaques qui peuvent servir pour l'isolation des chapes et de l'extérieur, principalement.

Performances thermiques de l'isolant:

- Conductivité thermique: 0.029 W/m.k
- masse volumique: 35 kg/m³

Avantages:

- Il est étanche à l'eau et à la vapeur d'eau
- il est utilisé pour l'isolation des sols et des toitures terrasse et les murs
- Sa résistance mécanique en compression lui confère une bonne tenue dans le temps, sans tassement;
- il résiste parfaitement aux cycles de gel et dégel
- il a une faible conductivité thermique (0.029 w/ m.k)
- matériau léger dont sa masse volumique est de 35 kg/m³.

Inconvénients:

- Il est cher
- Ne résiste pas aux feux
- mauvaise isolation acoustique

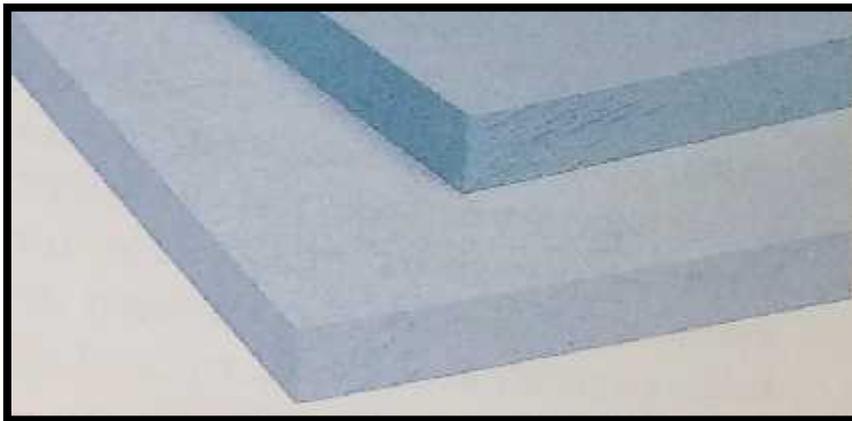


Figure IV-09 : panneaux de polystyrène extrudé (XPS)

Pour notre bâtiment, nous allons isoler les murs extérieurs, les murs intérieurs en contact avec les locaux non chauffés, plancher bas, et la toiture.

• Isolation des parois verticales:

Nous avons choisi l'isolation la plus efficace : isolation par extérieur ou ITE (isolation thermique extérieur)

• définition des parois extérieures après renforcement (sous pléiade) :

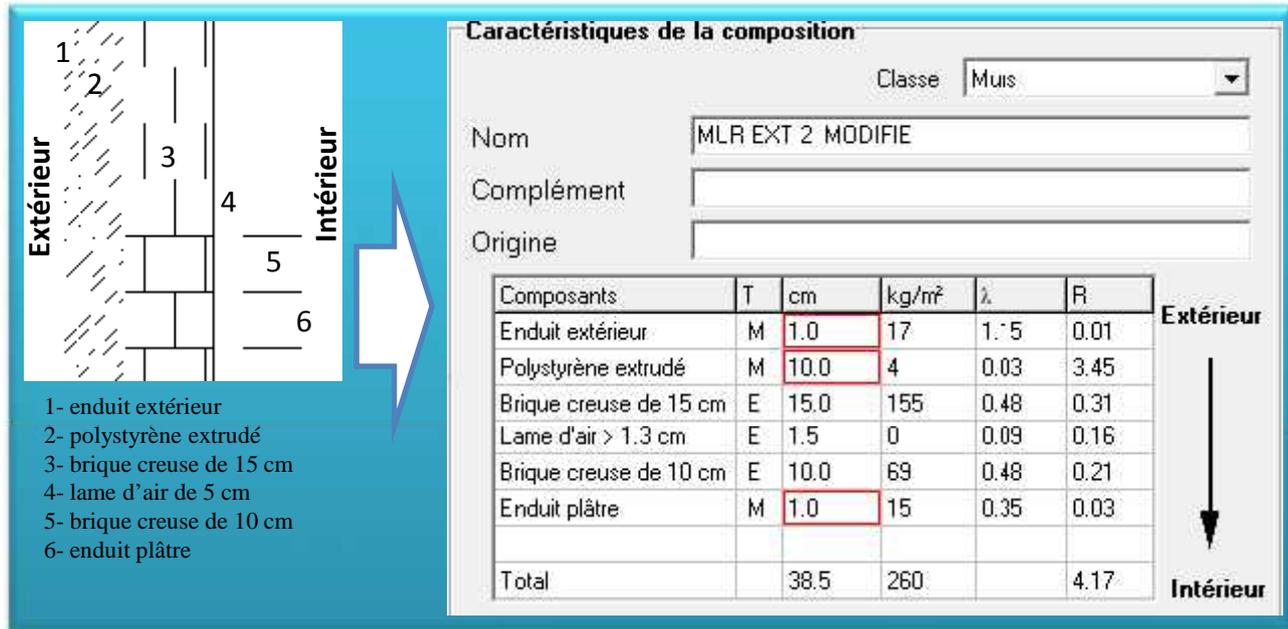


Figure IV-10: composition des murs extérieurs après renforcement

• définition des parois intérieures après renforcement (sous pléiade avec une coupe schématique) :

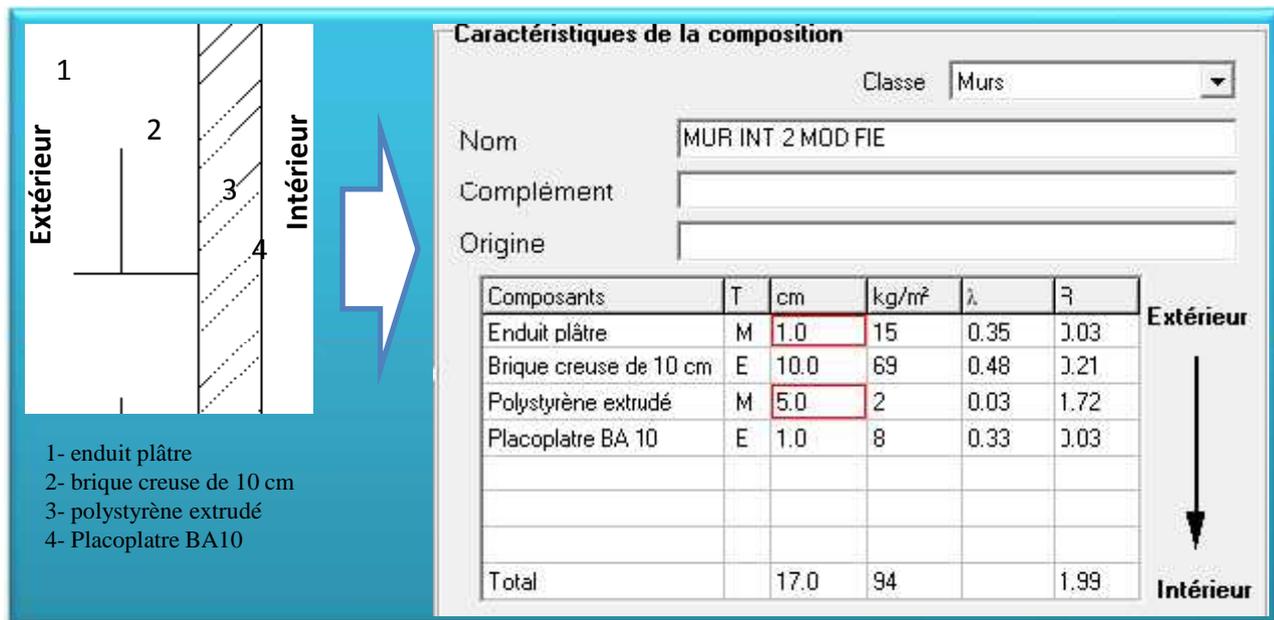


Figure IV-11: composition des murs intérieurs après renforcement
(mur intérieur en contact avec les locaux non chauffés)

- Isolation du plancher bas (sur terre-plein) :
- définition du plancher bas après renforcement (sous pléiade) :

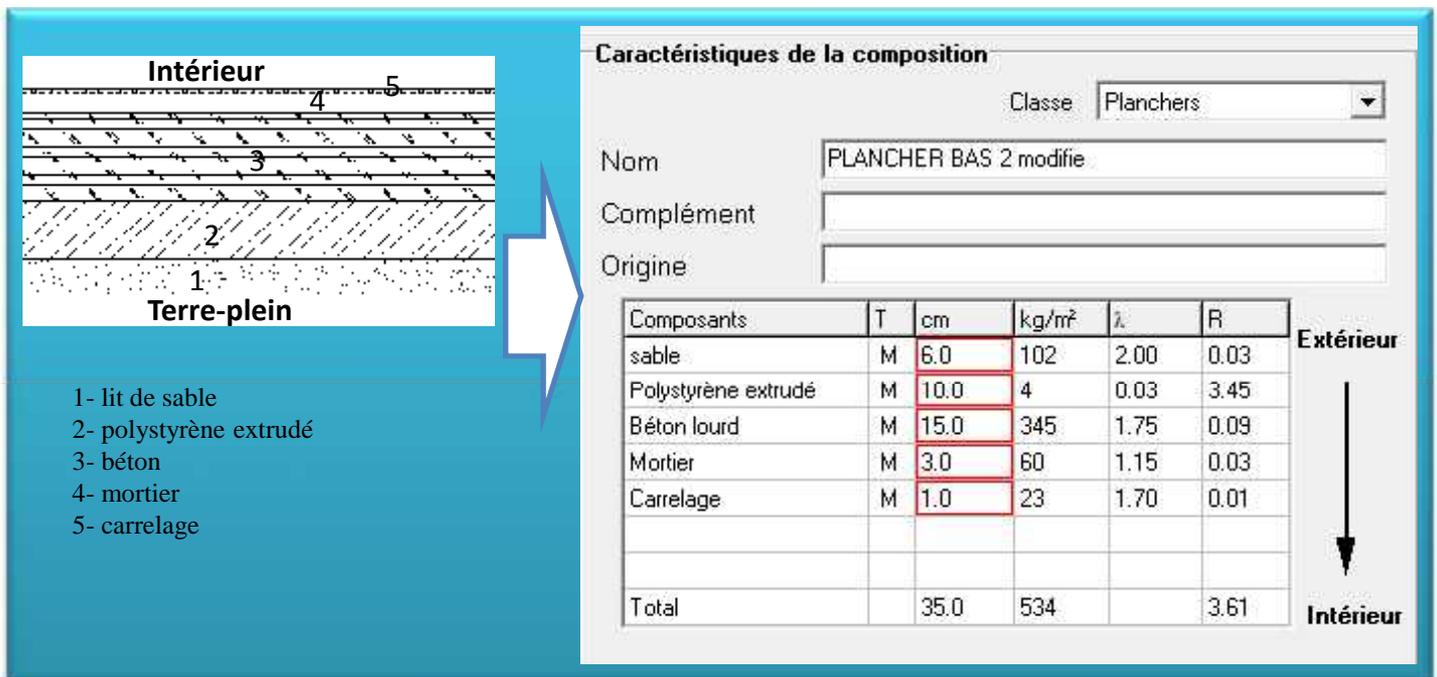


Figure IV-12 : composition de plancher bas après renforcement

- définition de la toiture après renforcement (sous pléiade) :

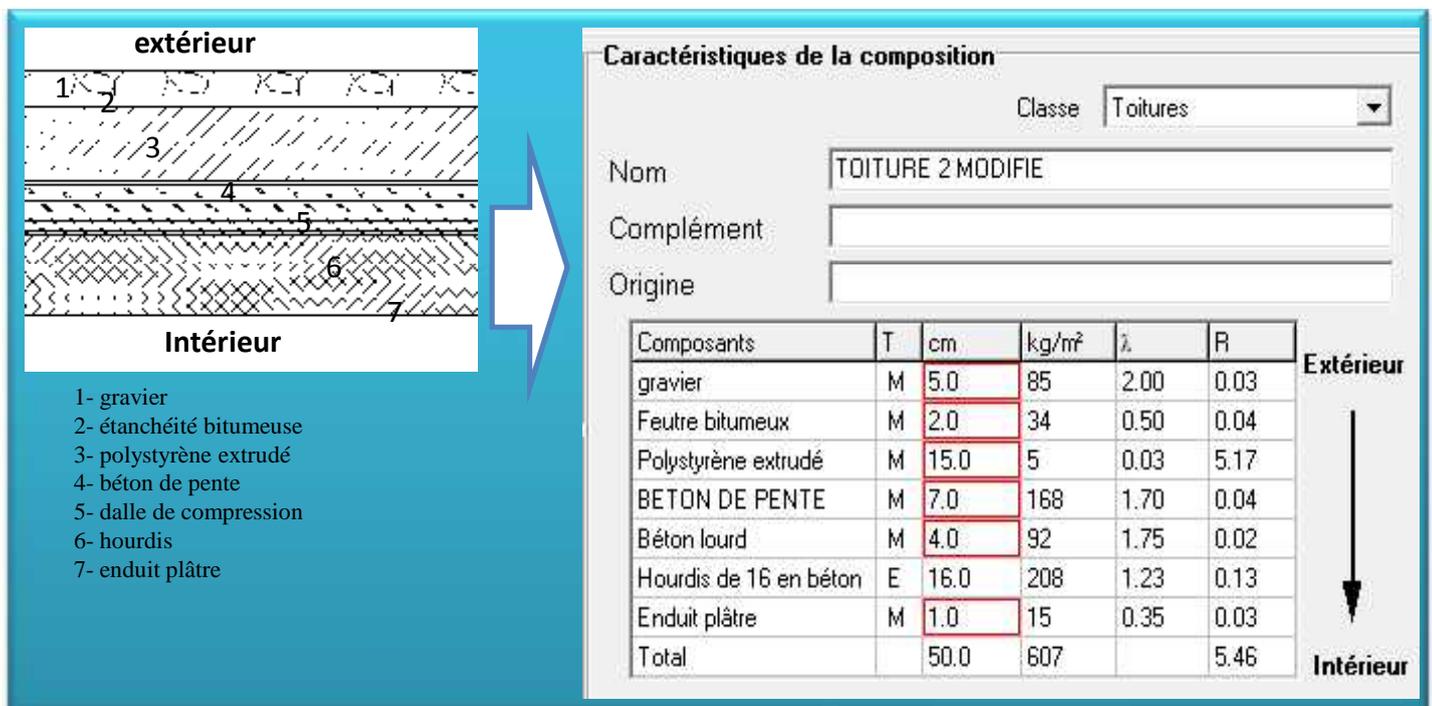


Figure IV-13 : composition de la toiture après renforcement

IV.3.1.1. Résultats de simulation sans consigne de thermostat en hiver et en été

Résultats							
Projet 12 - Zone :							
Zone	Volume (m³)	Surface (m²)	Surface (m²)	Surface (m²)	Surface (m²)	Température	Température
Hall d'accueil et payement	7100	7100	0%	0%	7777	15.77°C	20.77°C
Hall de vente - caisse - magasin - magasin - magasin	1000	1000	0%	0%	7777	17.77°C	20.77°C
Bureau - salle d'attente - estables - estables - estables	2000	2000	0%	0%	7777	16.77°C	20.77°C
Bureau - salle d'attente - estables - estables - estables	2000	2000	0%	0%	8477	18.77°C	20.77°C
Bureau - salle d'attente - estables - estables - estables	2000	2000	0%	0%	8877	19.77°C	20.77°C
Estable homme	7000	7000	0%	0%	7777	11.77°C	20.77°C
Estable femme - petite intervention - petite intervention - petite intervention	7000	7000	0%	0%	7777	12.77°C	20.77°C
Estable	1000	1000	0%	0%	7777	17.77°C	20.77°C

Zone							
Zone	Volume (m³)	Surface (m²)	Surface (m²)	Surface (m²)	Surface (m²)	Température	Température
Hall d'accueil et payement	7100	7100	1.77%	75.47%	7777	15.77°C	20.77°C
Hall de vente - caisse - magasin - magasin - magasin	1000	1000	0.27%	79.77%	7777	17.77°C	20.77°C
Bureau - salle d'attente - estables - estables - estables	2000	2000	10.00%	77.77%	7777	16.77°C	20.77°C
Bureau - salle d'attente - estables - estables - estables	2000	2000	0.00%	77.77%	7777	16.77°C	20.77°C
Bureau - salle d'attente - estables - estables - estables	2000	2000	0.00%	77.77%	7777	16.77°C	20.77°C
Estable homme	7000	7000	0.00%	77.77%	7777	11.77°C	20.77°C
Estable femme - petite intervention - petite intervention - petite intervention	7000	7000	0.00%	77.77%	7777	12.77°C	20.77°C
Estable	1000	1000	0.00%	77.77%	7777	17.77°C	20.77°C

Figure IV-14 : résultat de simulation en hiver sans consigne de thermostat.

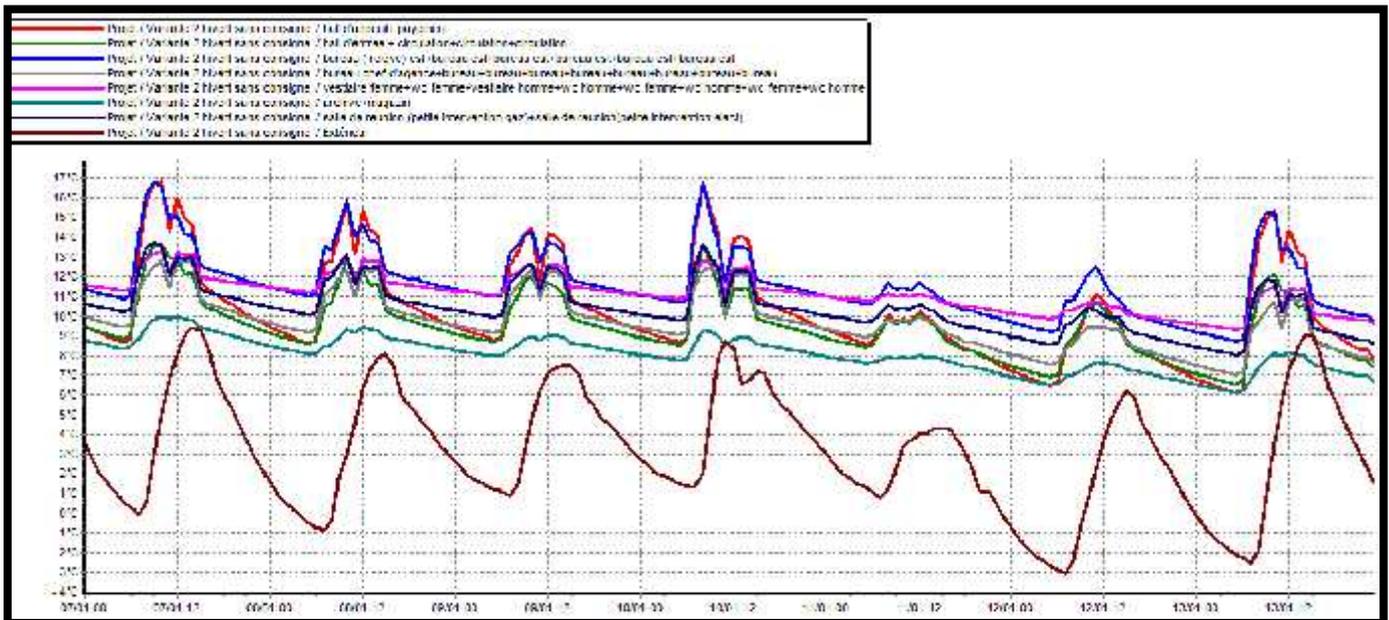


Figure IV-15 : Graphe de température des différentes zones en hiver sans consigne de thermostat (la semaine la plus froide) .

Synthèse :

Selon la figure présenté, nous remarquons une augmentation de température dans toutes les zones, parce que l'isolation permet de réduire les déperditions thermiques , et les apports solaires et internes s'accroissent à l'intérieur

le comportement thermique des différentes zones dépend de l'enveloppe de bâtiment et son contact avec l'extérieur, on prend par exemple L'augmentation de la température de la zone 01 (hall d'accueil et payement) est de 2°C, et de 3°C pour la zone 03 (bureau orienté au sud-est), ceci est expliqué par les pertes d'énergie à travers le vitrage, dont la surface vitrée de la zone 01 est supérieure à celle de la zone 03.

Zone	Temp. Min	Temp. Max	Temp. Moy	Temp. Min	Temp. Max	Temp. Moy	Temp. Min	Temp. Max
Zone 01	20.0	28.0	24.0	20.0	28.0	24.0	20.0	28.0
Zone 02	20.0	28.0	24.0	20.0	28.0	24.0	20.0	28.0
Zone 03	20.0	28.0	24.0	20.0	28.0	24.0	20.0	28.0
Zone 04	20.0	28.0	24.0	20.0	28.0	24.0	20.0	28.0
Zone 05	20.0	28.0	24.0	20.0	28.0	24.0	20.0	28.0
Zone 06	20.0	28.0	24.0	20.0	28.0	24.0	20.0	28.0
Zone 07	20.0	28.0	24.0	20.0	28.0	24.0	20.0	28.0
Zone 08	20.0	28.0	24.0	20.0	28.0	24.0	20.0	28.0

Figure IV-16: résultat de simulation en été sans consigne de thermostat.

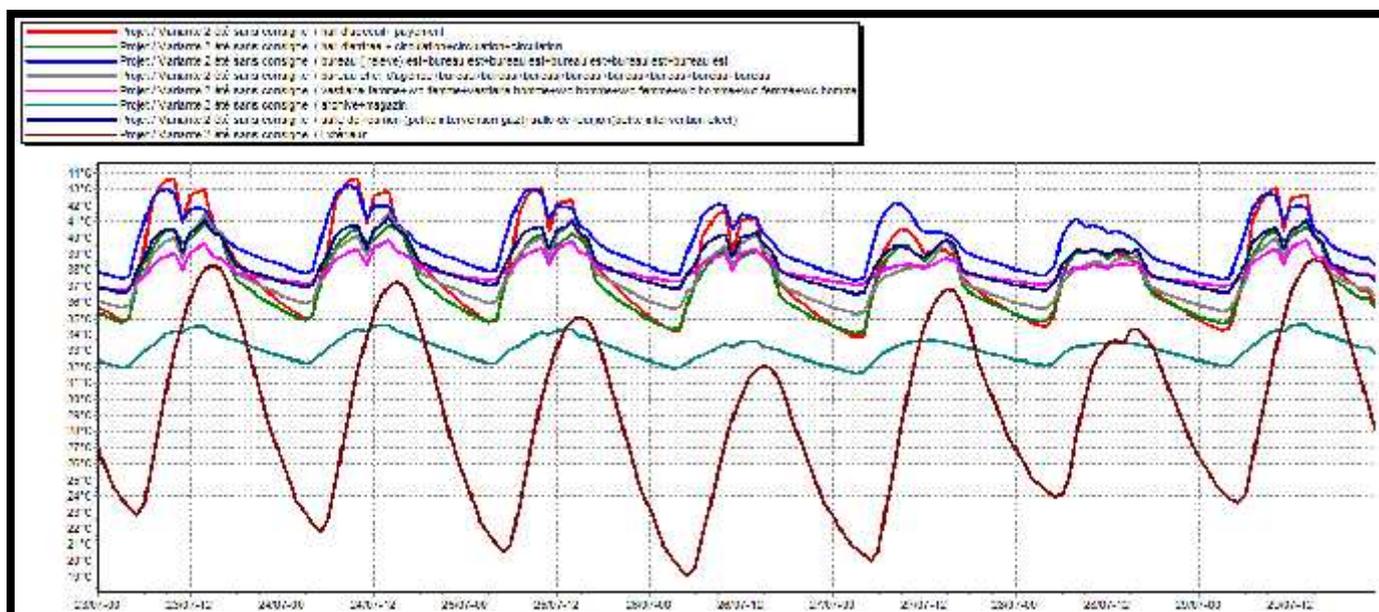


Figure IV-17 : Graphe de température des différentes zones en été sans consigne de thermostat (la semaine la plus chaude) .

Synthèse :

Les résultats obtenus en saison estivale durant la semaine la plus chaude, indiquent que les températures intérieures des différentes zones sont élevées par rapport le bâtiment de base, cette augmentation de température provoque chez les occupants une sensation d'inconfort, sauf la zone 07 (magasin et archive) la température diminue , ceci est expliqué par les façades non vitrés, parce que l'isolation permet de rafraîchir le bâtiment en été en réduisant les apports de chaleur,

Selon les résultats présentées en haut l'isolation des murs extérieurs, intérieurs, planchers et toitures est insuffisante pour diminuer la température intérieure, parce que les apports solaires sont principalement transmis par les fenêtres, dont notre projet présente une surface importante de vitrage.

Résultats								
Projet : Bâtiment - Des caractéristiques								
Zone	Surface (m²)	Volume (m³)	U surf (W/m².K)	U vol (W/m³.K)	T int (°C)	T ext (°C)	T Hiver (°C)	
Zones								
ballon eau chaude	2488 m²	0 m³	0 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	19.88 °C	2.06 °C	28.4 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	1 m²	0 m³	0 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	19.1 °C	2.1 °C	26.7 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	2332 m²	0 m³	4572 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	19.88 °C	2.35 °C	29.22 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	2332 m²	0 m³	5557 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	19.1 °C	2.27 °C	25.88 °C
plaque solaire - plaque solaire - plaque solaire - plaque solaire	1 m²	0 m³	0 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	19.1 °C	2.1 °C	26.44 °C
plaque solaire	2 m²	0 m³	0 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	8.28 °C	2.07 °C	20.78 °C
plaque solaire - plaque solaire - plaque solaire - plaque solaire	1 m²	0 m³	0 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	19.1 °C	2.1 °C	26.44 °C
Total	4227 m²	0 m³	35544 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C			
Zones								
Zone	Surface (m²)	Volume (m³)	U surf (W/m².K)	U vol (W/m³.K)	Température (°C)	T int (°C)	T ext (°C)	Température (°C)
ballon eau chaude	16.88	0 m³	0 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	22.78 °C	5.42 °C	22.88 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	1	0 m³	0 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	19.1 °C	2.1 °C	26.7 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	3.84	0 m³	5.32 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	22.72 °C	5.54 °C	22.81 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	1.5	0 m³	0 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	19.1 °C	2.1 °C	26.7 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	0.22	0 m³	2.00 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	4.92 °C	0.22 °C	2.00 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	0	0 m³	0 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	19.1 °C	2.1 °C	26.7 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	8.45	0 m³	2.00 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	5.91 °C	0.22 °C	4.35 °C

Figure IV-18: résultat de simulation en hiver avec consigne de thermostat.

• Les besoins en chauffage: 43017 kwh/ 843.68 m²..... 50.98 kwh/m²

Résultats								
Projet : Bâtiment - Des caractéristiques								
Zone	Surface (m²)	Volume (m³)	U surf (W/m².K)	U vol (W/m³.K)	T int (°C)	T ext (°C)	T Hiver (°C)	
Zones								
ballon eau chaude	2 m²	0 m³	17612 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	28.88 °C	2.78 °C	22.74 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	1 m²	0 m³	17612 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	28.14 °C	2.82 °C	21.31 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	2 m²	0 m³	16738 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	24.62 °C	2.77 °C	24.66 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	1 m²	0 m³	15176 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	29.1 °C	2.1 °C	1.81 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	2 m²	0 m³	0 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	23.28 °C	23.04 °C	22.74 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	1 m²	0 m³	0 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	8.44 °C	2.1 °C	1.32 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	1 m²	0 m³	0 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	20.52 °C	21.85 °C	14.82 °C
Total	2 m²	0 m³	71233 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C			
Zones								
Zone	Surface (m²)	Volume (m³)	U surf (W/m².K)	U vol (W/m³.K)	Température (°C)	T int (°C)	T ext (°C)	Température (°C)
ballon eau chaude	71.1	0 m³	0 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	19.1 °C	2.1 °C	26.7 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	2.07	0 m³	0.22 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	24.94 °C	0.22 °C	0.22 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	1.01	0 m³	0 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	19.1 °C	2.1 °C	26.7 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	5.89	0 m³	0.22 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	22.93 °C	2.02 °C	0.22 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	0.01	0 m³	0 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	19.1 °C	2.1 °C	26.7 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	2.00	0 m³	20.48 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	8.25 °C	0.22 °C	0.22 °C
ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon eau chaude - ballon	1.57	0 m³	0 W/m².K	0 W/m³.K	0 °C	19.1 °C	2.1 °C	26.7 °C

Figure IV-19 : résultat de simulation en été avec consigne de thermostat.

• Les besoins en climatisation : 71233 kwh/ 843.68m²..... 84.43 kwh/m²

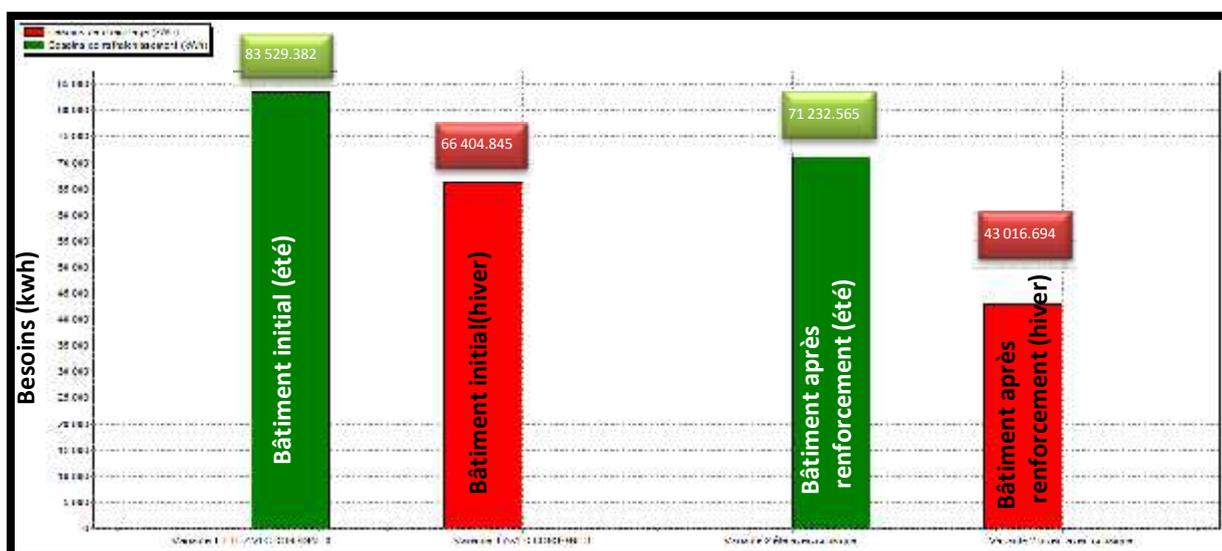


Figure IV-20 : histogramme de comparaison des besoins énergétique sans et avec isolation.

- **Synthèse:**

Après l'intégration d'une isolation renforcé et après élimination des ponts thermique, on constate une réduction de 12296 kWh en été, ce qui représente une économie de 14.72 % de climatisation;

L'optimisation la plus impressionnante est celle de l'hiver avec 23388 kWh, ce qui représente une économie de 35,22 % de chauffage.

IV.3.2. fenêtre performante :

les performances thermique des simples vitrages utilisé dans le bâtiment de base étant très faibles (U_g compris entre 5.7 et 6 $w/m^2.k$), alors pour économiser de l'énergie on va utiliser le double vitrage pour les fenêtre et pour le mur rideau;

- **Fenêtre en double vitrage:**

Nous allons utiliser fenêtre en aluminium double vitrage +argon 4.12.4:

L'argon est un gaz plus isolant que l'air, il est injecté dans l'espace entre les deux vitres;

- **Caractéristiques thermique de l'argon :**

- la conductivité thermique = 0.017 $w/m.k$,
- La masse volumique= 1.7 kg/m^3 ,
- Chaleur spécifique = 520 $j/kg.k$,

ce procédé permet d'améliorer les performances, on arrive donc a obtenir des vitrage avec un coefficient U_g de 1.1 à 1.7 $w/m^2.k$

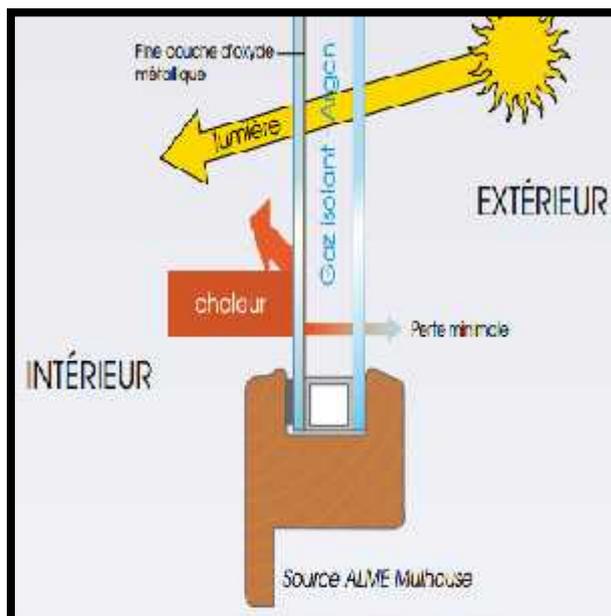


Figure IV-21 : principe de fenêtre Performante.

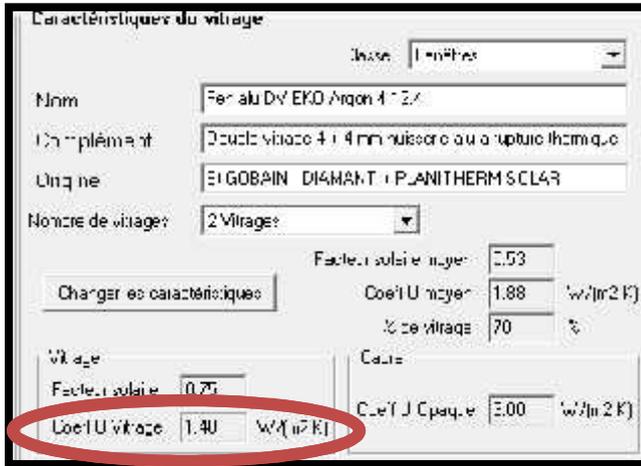


Figure IV-22 : fenêtre en aluminium double vitrage +argon 4.12.4 Coefficient Ug = 1.4 w/m².k

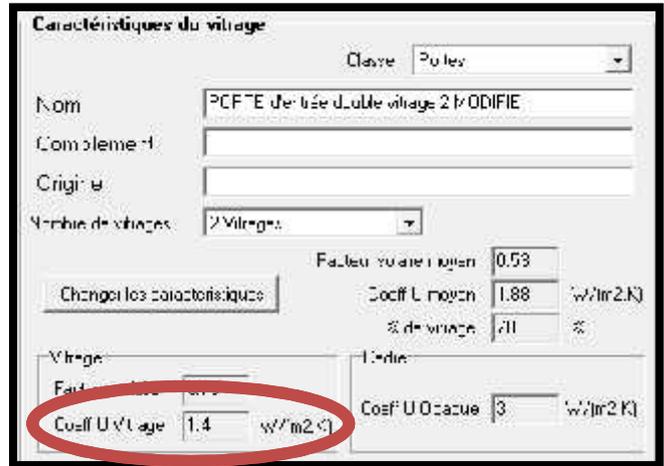


Figure IV-23: porte d'entrée (double vitrage) Coefficient Ug = 1.4 w/m².k

Caractéristiques de la composition

Classe Mur

Nom MUR RIDEAU 2 MOUSSE

Composition

Origine

Composants	T	cm	kg/m ³	λ	F
Vitre fictif	M	3.6	15	0.02	0.20
GAZ ARGON	M	1.2	0	0.02	0.7
Vitre fictif	M	3.6	15	0.02	0.78
Extérieur ↓ Intérieur					
Total		8.4	30		0.97

Figure IV-24 : mur rideau (double vitrage)

IV.3.2.1. Résultats de simulation sans consigne de thermostat en hiver et en été

Simulation

Tranche de temps: 1912-12-15 00:00 - 1912-12-15 00:00

Zones	Local	Local	Max. U _{air}	Max. U _{ext}	T _{air}	T _{ext}	T _{int}
Été							
hall	2 km	2 km	2 w	2 w	8.55 C	16.25 C	26.22 C
hall	2 km	2 km	2 w	2 w	11.7 C	17.7 C	27.7 C
hall	2 km	2 km	2 w	2 w	9.25 C	16.75 C	26.77 C
hall	2 km	2 km	2 w	2 w	7.7 C	17.7 C	27.7 C
hall	2 km	2 km	2 w	2 w	8.47 C	16.77 C	26.77 C
hall	2 km	2 km	2 w	2 w	5.77 C	19.77 C	29.77 C
hall	2 km	2 km	2 w	2 w	8.57 C	16.77 C	26.77 C
Total	2 km	2 km	2 w	2 w			
Hiver							
hall	2 km	2 km	2 w	2 w	14.88 C	7.00 C	7.00 C
hall	2 km	2 km	2 w	2 w	11.00 C	7.00 C	7.00 C
hall	2 km	2 km	2 w	2 w	11.00 C	7.00 C	7.00 C
hall	2 km	2 km	2 w	2 w	11.00 C	7.00 C	7.00 C
hall	2 km	2 km	2 w	2 w	11.00 C	7.00 C	7.00 C
hall	2 km	2 km	2 w	2 w	11.00 C	7.00 C	7.00 C
hall	2 km	2 km	2 w	2 w	11.00 C	7.00 C	7.00 C
Total	2 km	2 km	2 w	2 w	11.00 C	7.00 C	7.00 C

Figure IV-25: résultat de simulation en hiver sans consigne de thermostat.

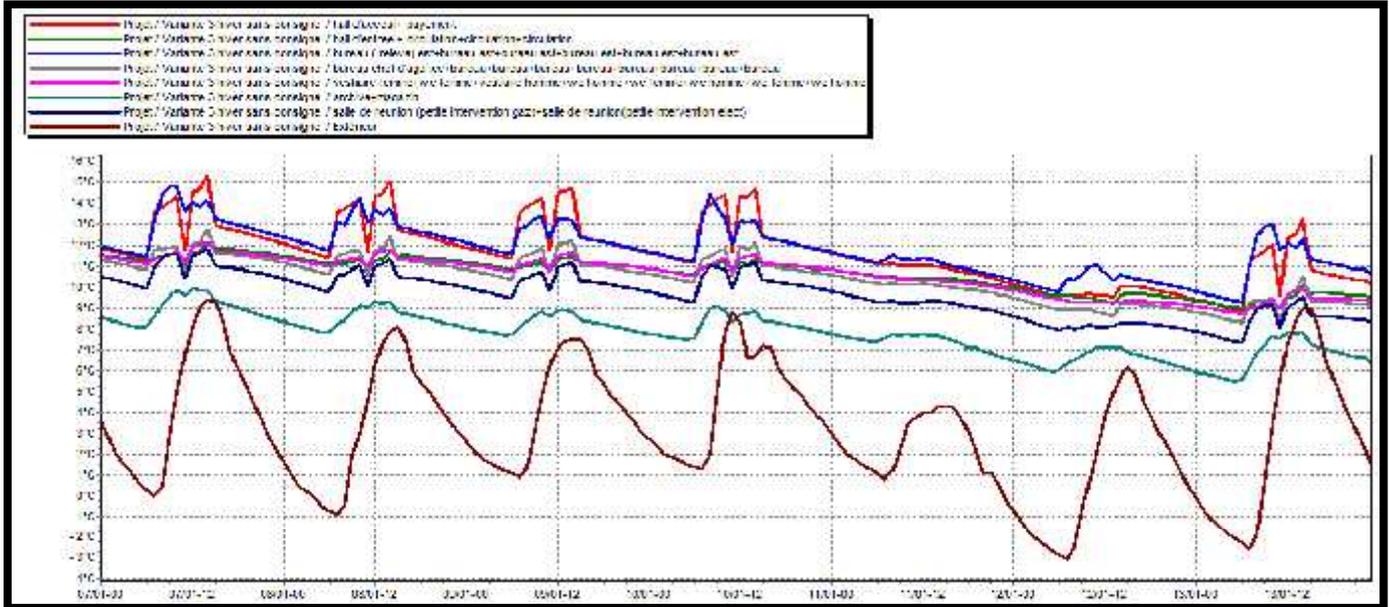


Figure IV-26 : Graphe de température des différentes zones en hiver sans consigne de thermostat (la semaine la plus froide) .

Synthèse

Nous remarquons:-

- une augmentation de température dans toutes les zones;
- la température intérieure de la zone 1 (hall d'accueil et paiement) pendant la nuit (1^{er} jour de la semaine) descend jusqu'à 08°C dans le bâtiment initial, mais après l'utilisation du vitrage performant diminue pour une température de 12°C;

Cette augmentation de température s'explique par les propriétés isolantes du gaz argon injecté dans l'espace entre les deux vitres (double vitrage), il évite les pertes de chaleur en hiver.

Zone	Scénario 1	Scénario 2	Nbs. Cts. A	Nbs. Cts. Y	Tmin	Tmax	Tmoy
Zone 1							
hall d'accueil - paiement	11.00	11.00	11.00	11.00	6.00	20.00	11.00
hall d'accueil - validation - validation	11.00	11.00	11.00	11.00	6.00	20.00	11.00
bureau - accueil - accueil - accueil - accueil - accueil	11.00	11.00	11.00	11.00	6.00	20.00	11.00
bureau - accueil - accueil - accueil - accueil - accueil	11.00	11.00	11.00	11.00	6.00	20.00	11.00
restauration - accueil - accueil - accueil - accueil	11.00	11.00	11.00	11.00	6.00	20.00	11.00
etage - accueil	11.00	11.00	11.00	11.00	6.00	20.00	11.00
etage - accueil - accueil - accueil - accueil - accueil	11.00	11.00	11.00	11.00	6.00	20.00	11.00
T. ext.							

zone	Requis (L1 et L2)	Hauteur sous plafond	Surface de vitrage	Surface de vitrage	Surface de vitrage
le d'accueil - accueil	1.00 (L1 et L2)	2.00 (L1 et L2)	10.00 (L1 et L2)	10.00	10.00
le d'accueil - accueil - accueil - accueil - accueil	1.00 (L1 et L2)	2.00 (L1 et L2)	10.00 (L1 et L2)	10.00	10.00
le d'accueil - accueil - accueil - accueil - accueil - accueil	1.00 (L1 et L2)	2.00 (L1 et L2)	10.00 (L1 et L2)	10.00	10.00
le d'accueil - accueil - accueil - accueil - accueil - accueil	1.00 (L1 et L2)	2.00 (L1 et L2)	10.00 (L1 et L2)	10.00	10.00
le d'accueil - accueil - accueil - accueil - accueil - accueil	1.00 (L1 et L2)	2.00 (L1 et L2)	10.00 (L1 et L2)	10.00	10.00
le d'accueil - accueil - accueil - accueil - accueil - accueil	1.00 (L1 et L2)	2.00 (L1 et L2)	10.00 (L1 et L2)	10.00	10.00
le d'accueil - accueil - accueil - accueil - accueil - accueil	1.00 (L1 et L2)	2.00 (L1 et L2)	10.00 (L1 et L2)	10.00	10.00

Figure IV-27: résultat de simulation en été sans consigne de thermostat.

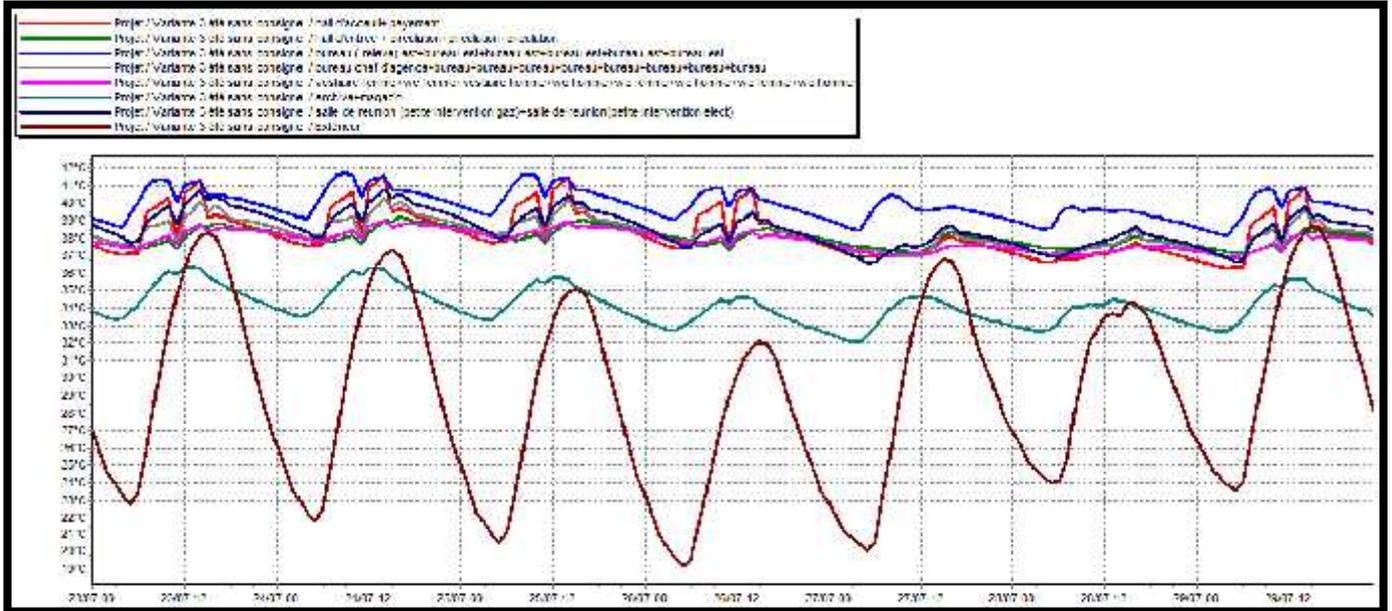


Figure IV-28: : Graphe de température des différentes zones en été sans consigne de thermostat (la semaine la plus chaude) .

Synthèse

- Nous remarquons une diminution de température pendant la journée dans la zone 1 (hall d'accueil et paiement), à cause de la grande surface vitrée (mur rideau) orienté au sud-est, dont le gaz argon a la particularité de limiter de façon significative la pénétration des rayons solaires dans le bâtiment, par contre les autre zone gardent la même température;
- pendant la nuit, la température extérieure descend jusqu'a 19°C, mais les températures intérieures enregistrées restent élevées, varient entre 37 et 39°C et elles sont supérieures à celles du bâtiment de base et du bâtiment isolé, à cause des propriétés isolantes du gaz argon, et les apports externes et internes s'accumulent à l'intérieur.

IV.3.2.2. Résultats de simulation avec consigne de thermostat en hiver et en été

Résultats							
Projet sélectionné : Bâtiment - 1000m² - 1000m² - 1000m²							
Zone	R. auto (°C)	R. auto (°C)	F. > 10m (°C)	F. > 1m (°C)	T°H (°C)	T°H hiver (°C)	T°H été (°C)
Zone 1	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 2	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 3	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 4	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 5	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 6	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 7	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 8	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 9	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 10	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 11	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 12	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 13	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 14	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 15	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 16	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 17	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 18	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 19	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 20	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 21	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 22	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 23	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 24	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 25	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 26	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 27	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 28	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 29	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 30	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 31	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 32	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 33	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 34	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 35	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 36	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 37	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 38	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 39	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 40	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 41	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 42	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 43	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 44	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 45	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 46	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 47	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 48	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 49	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00
Zone 50	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	18.00	22.00

Figure IV-29: résultat de simulation en hiver avec consigne de thermostat.

IV.3.3. protection solaire:

Les équipements d'occultation , stores, brise-vue les volets occultant sont destinés à remplir au moins une des fonction suivantes : protection solaire, protection contre les vents de sables en été , bénéficier des gains de chaleur en hiver; alors Les occultations permettent d'économiser l'énergie et d'améliorer la zone de confort;



Figure IV-32:exemple de volet occultant

Nous avons créé deux scénarios d'occultation en hiver et en été

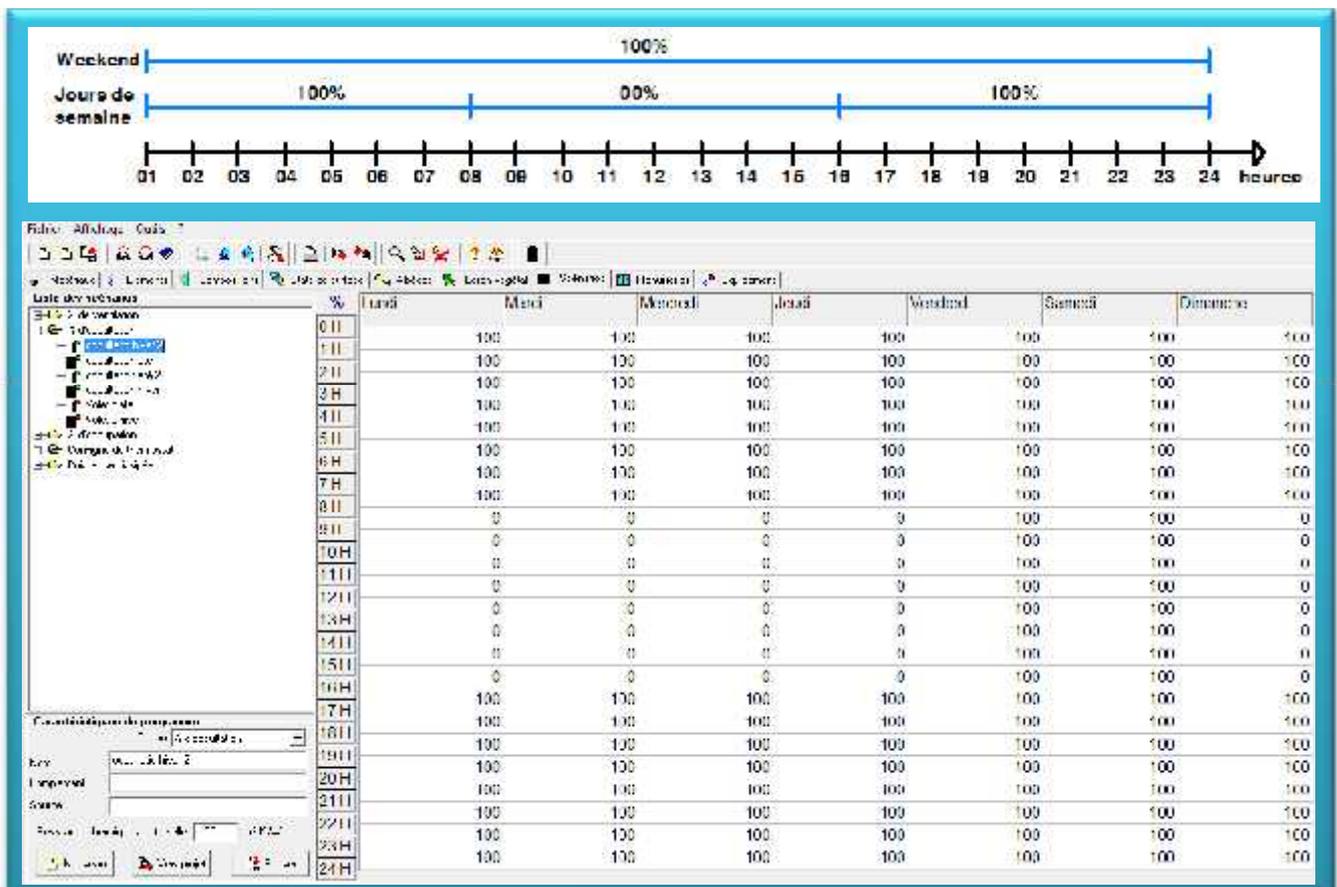


Figure IV-33: scénario d'occultation d'hiver

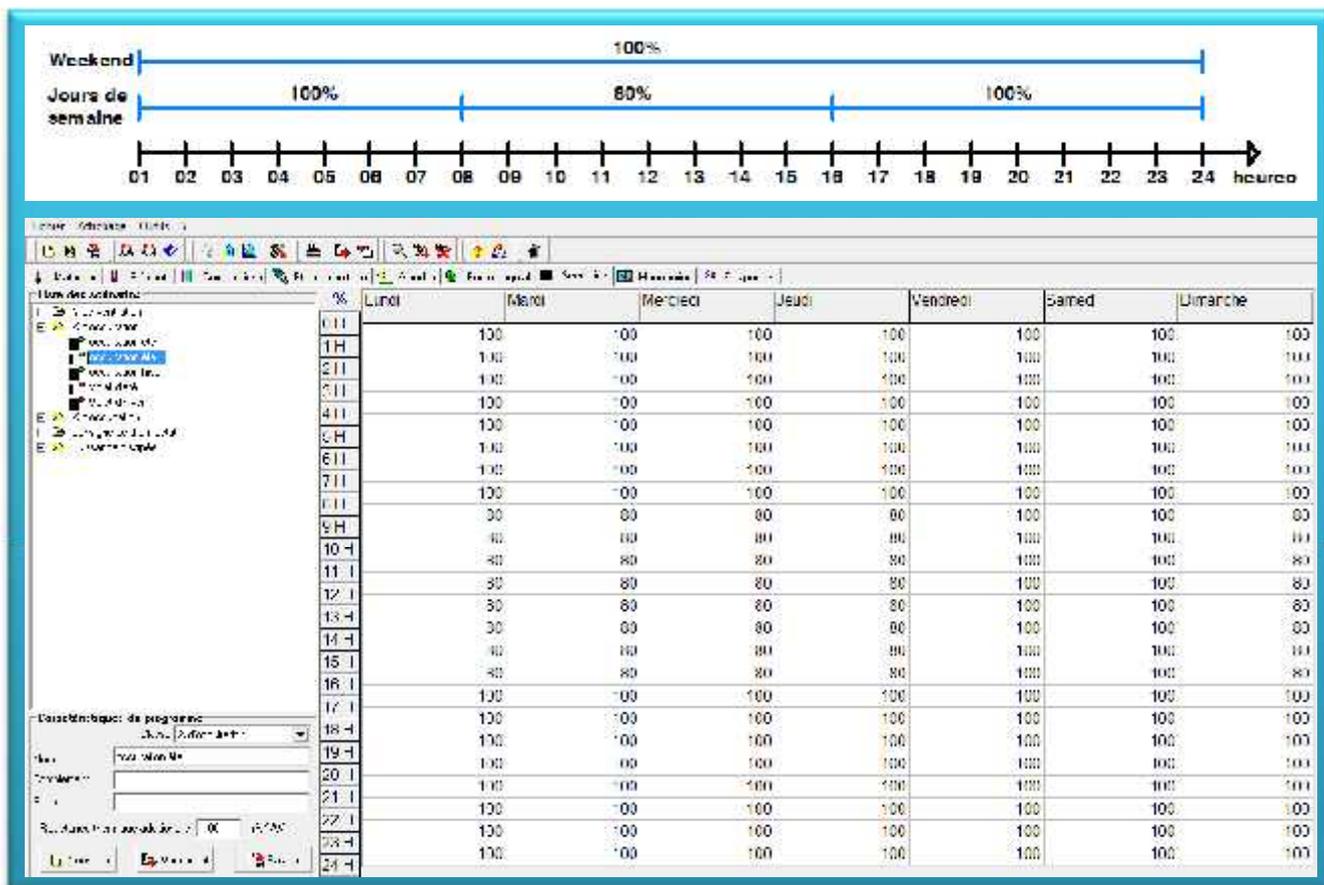


Figure IV-34: scénario d'occultation d'été

IV.3.2.1. Résultats de simulation sans consigne de thermostat en hiver et en été

Zone	Régime	Énergie (kWh)					
Ballon d'eau chaude	0.4h	1000	0.4h	0.4h	0.4h	9.447	14.801
Ballon d'eau froide	0.4h	1000	0.4h	0.4h	0.4h	5.820	10.497
Baies	0.4h	1000	0.4h	0.4h	0.4h	7.020	13.757
Baies (hors baies vitrées)	0.4h	1000	0.4h	0.4h	0.4h	5.110	10.110
Bois	0.4h	1000	0.4h	0.4h	0.4h	6.750	10.870
Bois (hors bois de chauffage)	0.4h	1000	0.4h	0.4h	0.4h	4.470	11.801
Bois de chauffage	0.4h	1000	0.4h	0.4h	0.4h	6.750	10.870
Total	0.4h	1000	0.4h	0.4h	0.4h		

Zone	Énergie (kWh)				
Bois de chauffage	2.00	6.47	10.870	22.89	11.8
Bois de chauffage (hors bois de chauffage)	2.00	0.22	10.870	24.17	11.8
Bois de chauffage (hors bois de chauffage)	2.00	1.85	10.870	22.89	11.8
Bois de chauffage (hors bois de chauffage)	2.00	0.22	10.870	24.17	11.8
Bois de chauffage (hors bois de chauffage)	2.00	0.22	10.870	24.17	11.8
Bois de chauffage (hors bois de chauffage)	2.00	0.22	10.870	24.17	11.8
Bois de chauffage (hors bois de chauffage)	2.00	0.22	10.870	24.17	11.8

Figure IV-35: résultat de simulation en hiver sans consigne de thermostat.

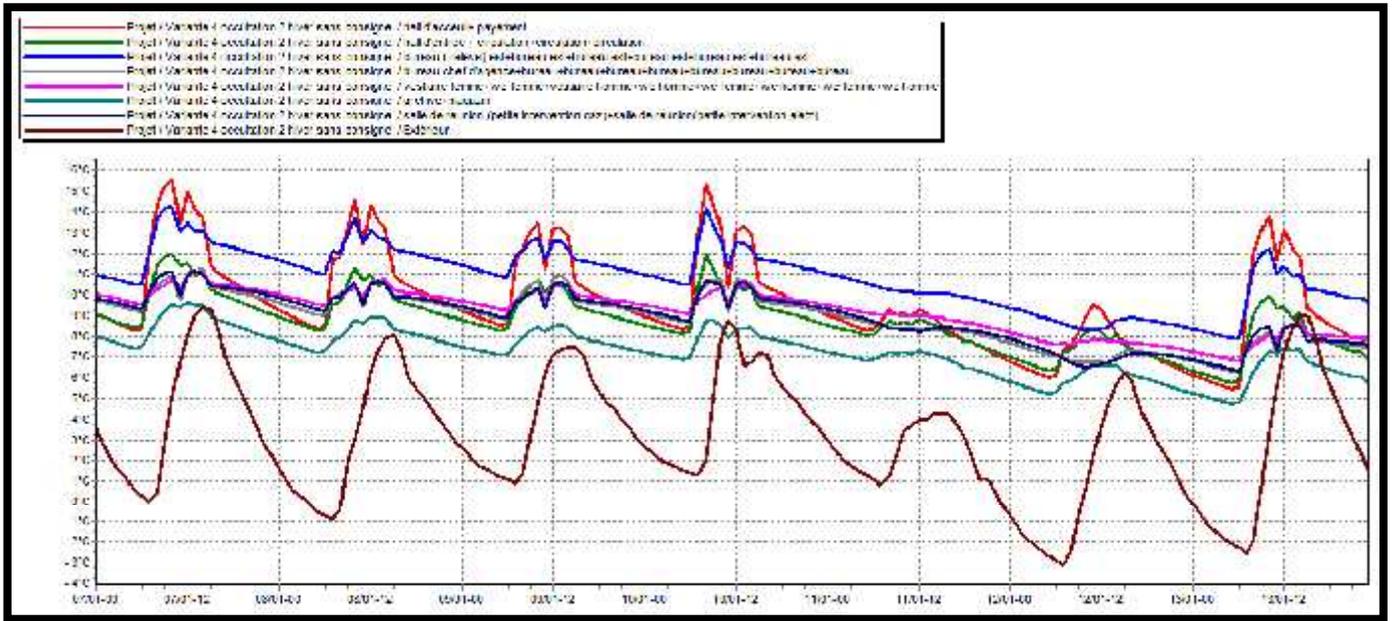


Figure IV-36: : Graphe de température des différentes zones en hiver sans consigne de thermostat (la semaine la plus froide) .

Synthèse

Les figures ci-dessus montrent une légère augmentation de température ceci due a la protection pendant la nuit;

Zone	R (m².K)	Surface (m²)	U (W/m².K)	Amplitude (°C)	UHT (°C)	Temp. (°C)	UHT (°C)
total	0.10	1100	0.09	40	10	28	40
hall	0.10	100	0.10	40	10	28	40
bureau	0.10	1000	0.10	40	10	28	40
laboratoire	0.10	100	0.10	40	10	28	40
couloir	0.10	100	0.10	40	10	28	40
escalier	0.10	100	0.10	40	10	28	40
plafond	0.10	1000	0.10	40	10	28	40
Total	0.10	1100	0.09	40	10	28	40

Zone	R (m².K)	Surface (m²)	U (W/m².K)	Amplitude (°C)	UHT (°C)	Temp. (°C)	UHT (°C)
plafond	0.10	1000	0.10	40	10	28	40
plafond	0.10	1000	0.10	40	10	28	40
plafond	0.10	1000	0.10	40	10	28	40
plafond	0.10	1000	0.10	40	10	28	40
plafond	0.10	1000	0.10	40	10	28	40
plafond	0.10	1000	0.10	40	10	28	40
plafond	0.10	1000	0.10	40	10	28	40
plafond	0.10	1000	0.10	40	10	28	40
plafond	0.10	1000	0.10	40	10	28	40
plafond	0.10	1000	0.10	40	10	28	40

Figure IV-37: résultat de simulation en été sans consigne de thermostat.

Zone	Volume (m³)						
Bâtiment initial (hiver)	54121	843.68	64.15				
Bâtiment initial (été)	29408						
Bâtiment avec occultation (hiver)	44648						
Bâtiment avec occultation (été)	29408						
Total	54121	843.68	64.15				

Zone	Besoins Chauffage (kWh)	Besoins Climatisation (kWh)	Besoins Eau Chaude (kWh)	Énergie Totale (kWh)	Énergie Totale (kWh/m²)
Bâtiment initial (hiver)	54121	0	0	54121	64.15
Bâtiment initial (été)	0	29408	0	29408	35.20
Bâtiment avec occultation (hiver)	44648	0	0	44648	53.90
Bâtiment avec occultation (été)	0	29408	0	29408	35.20
Total	54121	29408	0	83529	100.35

Figure IV- 40 : résultat de simulation en été avec consigne de thermostat.

- Les besoins en chauffage: 54121 kwh/ 843.68..... 64.15 kwh/m²

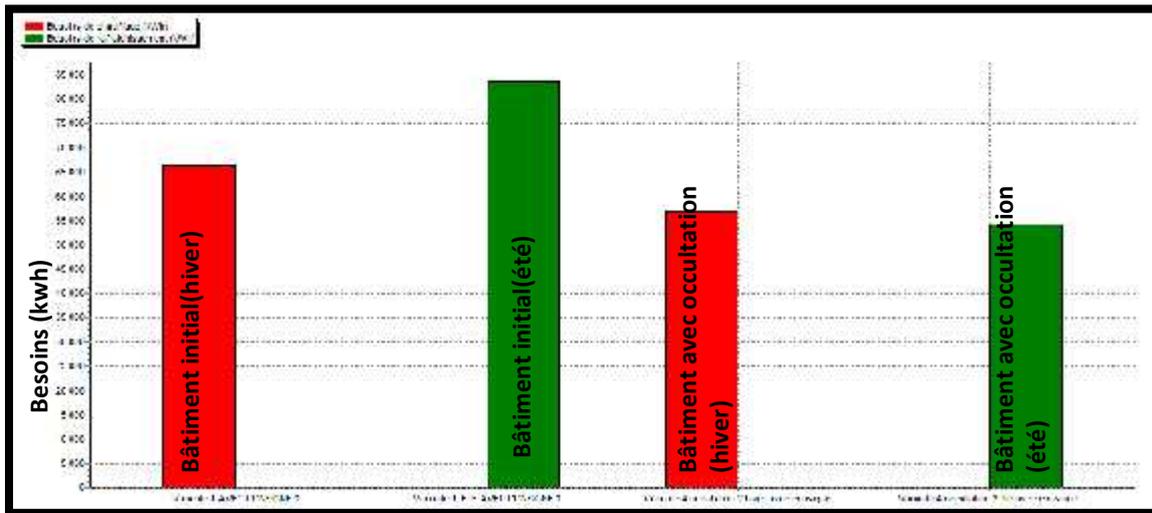


Figure IV- 41 : histogramme de comparaison des besoins énergétique sans et avec occultation

Synthèse

Après l’utilisation des volets occultant, on constate une réduction de 9473 kWh en hiver , ce qui représente une économie de 14.26 % de chauffage;

l’optimisation la plus impressionnante est celle de l’été avec 29408 kWh, ce qui représente une économie de 35.20 % de climatisation.

IV.3.4. ventilation améliorée :

La ventilation contribue à la qualité de l’air (par évacuation des polluants et de la vapeur d’eau) , et au rafraichissement des édifices en été (déstockage de la chaleur) ; pour notre projet, nous allons utiliser la ventilation nocturne en laissant les fenêtres entrouvertes , seule la ventilation permet d’évacuer la chaleur accumulée durant la journée.

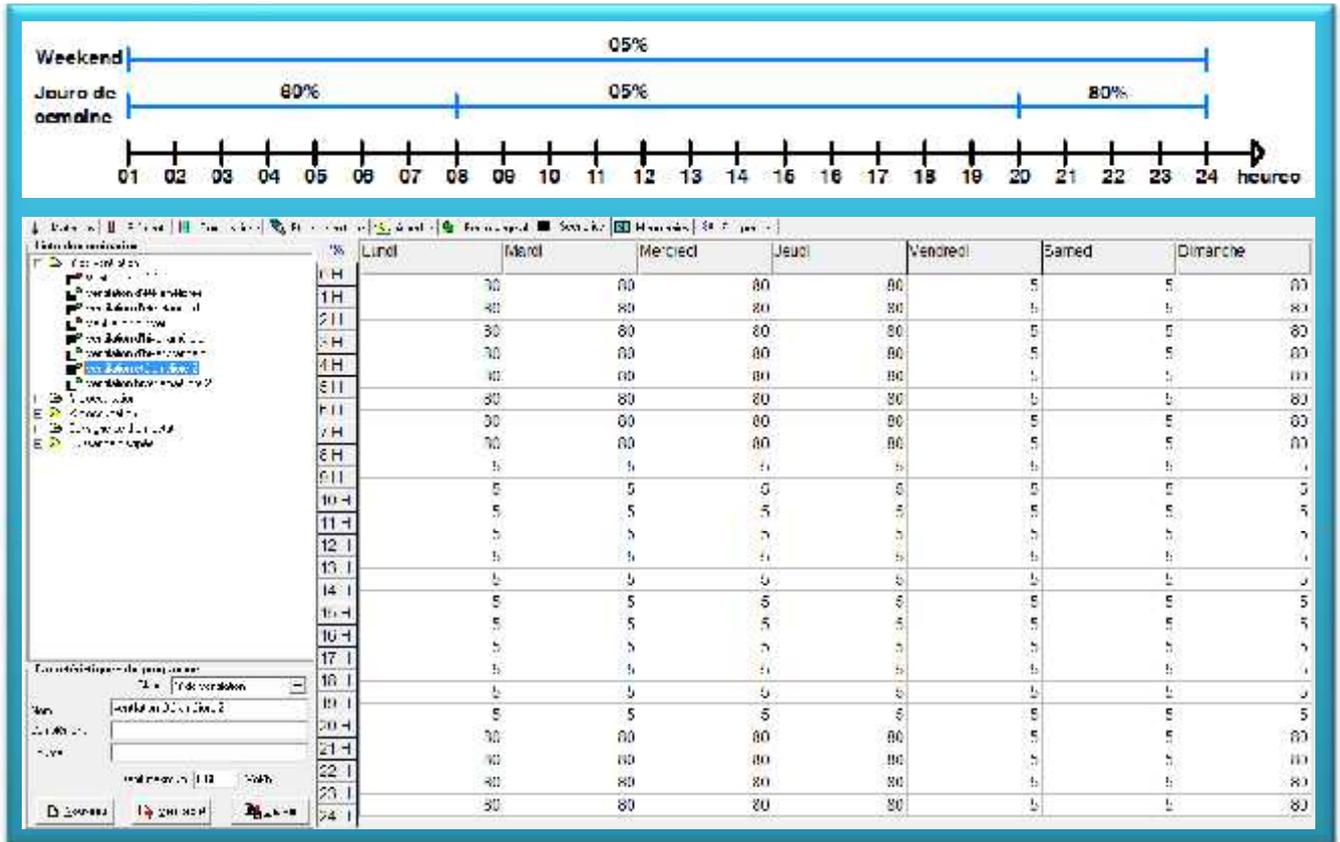


Figure IV- 42: scénario de ventilation d'été

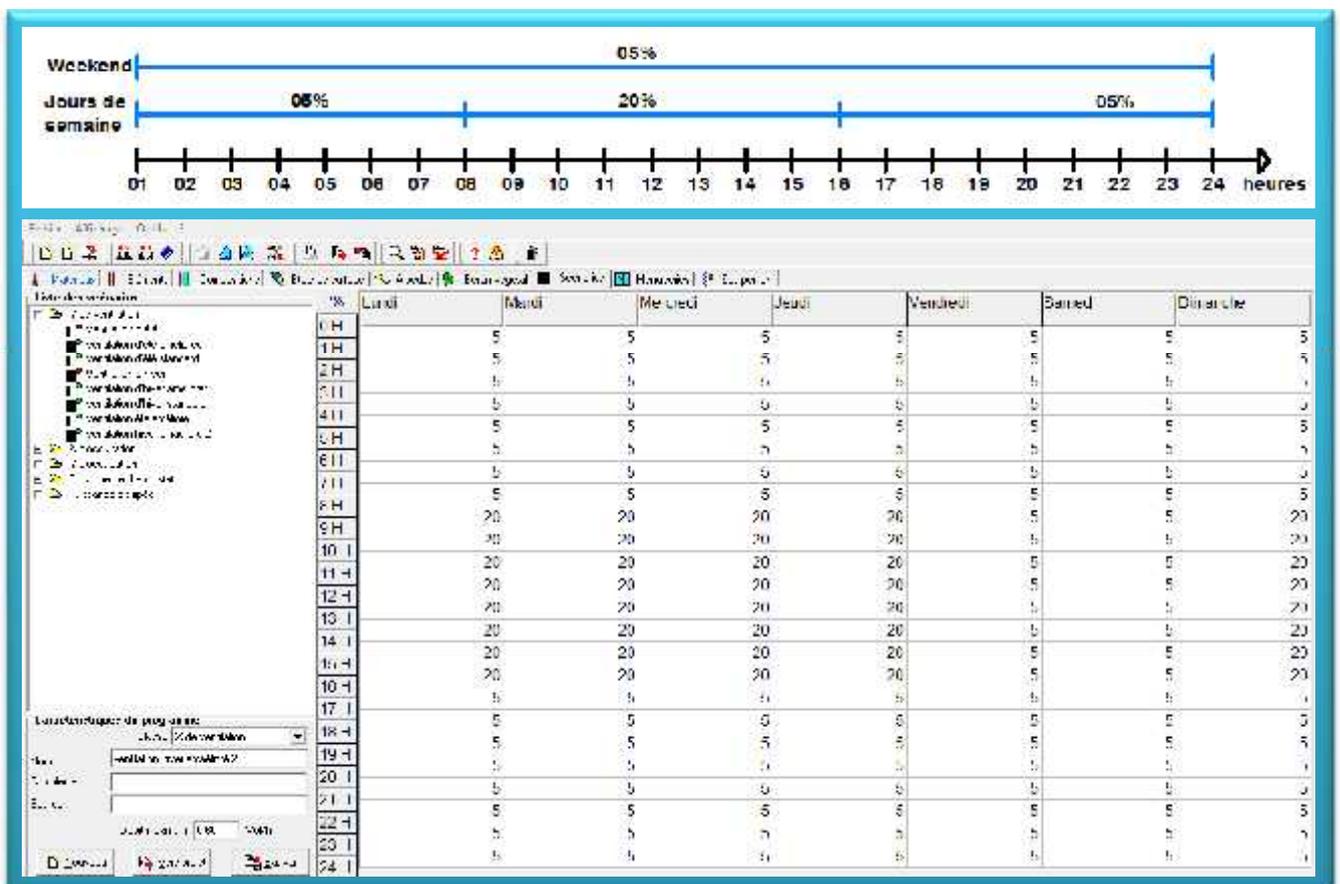


Figure IV- 43 : scénario de ventilation d'hiver

Résumé								
Projet de zone: [Projet de zone 5 ventilation améliorée 2 hiver sans consigne de thermostat]								
Zone	Surface Co	Besoins Co	Puis. Co. h	Flux Co.	Tmin	T Hygiene	Tmax	
Zones								
ballon de stockage	0.4-h	2.0W	0.4	0.4	0.0	5.12°C	1.00°C	20.00°C
ballon de stockage (ballon de stockage)	0.4-h	2.0W	0.4	0.4	0.0	5.00°C	1.00°C	20.00°C
ballon de stockage (ballon de stockage)	0.4-h	2.0W	0.4	0.4	0.0	5.12°C	1.00°C	20.00°C
ballon de stockage (ballon de stockage)	0.4-h	2.0W	0.4	0.4	0.0	5.00°C	1.00°C	20.00°C
ballon de stockage (ballon de stockage)	0.4-h	2.0W	0.4	0.4	0.0	5.12°C	1.00°C	20.00°C
ballon de stockage (ballon de stockage)	0.4-h	2.0W	0.4	0.4	0.0	4.88°C	1.00°C	20.00°C
ballon de stockage (ballon de stockage)	0.4-h	2.0W	0.4	0.4	0.0	5.12°C	1.00°C	20.00°C
Tot	0.4-h	2.0W	0.4	0.4	0.0			
Tones								
ballon de stockage	0.00 kWh/An							
ballon de stockage (ballon de stockage)	0.00 kWh/An							
ballon de stockage (ballon de stockage)	0.00 kWh/An							
ballon de stockage (ballon de stockage)	0.00 kWh/An							
ballon de stockage (ballon de stockage)	0.00 kWh/An							
ballon de stockage (ballon de stockage)	0.00 kWh/An							
ballon de stockage (ballon de stockage)	0.00 kWh/An							
Tot	0.00 kWh/An							

Figure IV- 44 : résultat de simulation en hiver sans consigne de thermostat.

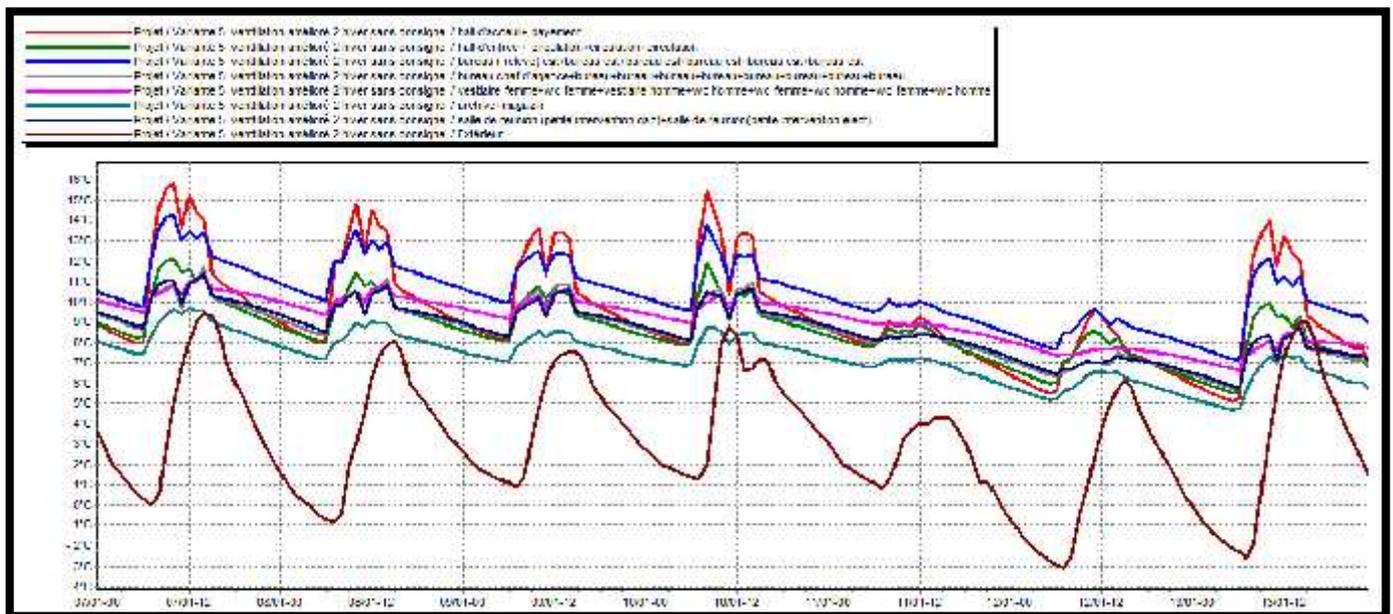


Figure IV-45: : Graphe de température des différentes zones en hiver sans consigne de thermostat (la semaine la plus froide) .

Synthèse

après l'amélioration de la ventilation, nous remarquons une légère augmentation de température.

IV.3.4.2. Résultats de simulation avec consigne de thermostat en hiver et en été

Projet de loi	Besoins DH	Besoins EE	Puis. Chauffage	Puis. EE	T. Int.	T. Ext.	T. Moyenne	T. Max
État initial	63191 kWh	79476 kWh	118 kW	182 kW	20.5°C	23.5°C	22.0°C	23.5°C
État initial - ventilation améliorée	100 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	20.5°C	23.5°C	22.0°C	23.5°C
État initial - ventilation améliorée - isolation	50 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	20.5°C	23.5°C	22.0°C	23.5°C
État initial - ventilation améliorée - isolation - isolation	843 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	20.5°C	23.5°C	22.0°C	23.5°C
État initial - ventilation améliorée - isolation - isolation - isolation	1 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	20.5°C	23.5°C	22.0°C	23.5°C
État initial - ventilation améliorée - isolation - isolation - isolation - isolation	1 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	20.5°C	23.5°C	22.0°C	23.5°C
État initial - ventilation améliorée - isolation - isolation - isolation - isolation - isolation	730 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	20.5°C	23.5°C	22.0°C	23.5°C
Total	63191 kWh	79476 kWh	118 kW	182 kW				

État	Besoins Chauffage	Besoins EE	Puissance Chauffage	Puissance EE	Coût Chauffage	Coût EE	Coût Total
État initial	63191 kWh	79476 kWh	118 kW	182 kW	20.5%	23.5%	22.0%
État initial - ventilation améliorée	100 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	20.5%	23.5%	22.0%
État initial - ventilation améliorée - isolation	50 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	20.5%	23.5%	22.0%
État initial - ventilation améliorée - isolation - isolation	843 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	20.5%	23.5%	22.0%
État initial - ventilation améliorée - isolation - isolation - isolation	1 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	20.5%	23.5%	22.0%
État initial - ventilation améliorée - isolation - isolation - isolation - isolation	0.23 kWh	0.00 kWh	0.00 kW	0.00 kW	20.5%	23.5%	22.0%
État initial - ventilation améliorée - isolation - isolation - isolation - isolation - isolation	8.75 kWh	0.00 kWh	0.00 kW	0.00 kW	20.5%	23.5%	22.0%

Figure IV-48: résultat de simulation en hiver avec consigne de thermostat.

• Les besoins en chauffage: 63191 kwh/ 843.68..... 74.9 kwh/m²

Projet de loi	Besoins DH	Besoins EE	Puis. Chauffage	Puis. EE	T. Int.	T. Ext.	T. Moyenne	T. Max
État initial	79476 kWh	1788 kWh	182 kW	0.09 kW	23.5°C	20.5°C	22.0°C	23.5°C
État initial - ventilation améliorée	1 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	23.5°C	20.5°C	22.0°C	23.5°C
État initial - ventilation améliorée - isolation	1 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	23.5°C	20.5°C	22.0°C	23.5°C
État initial - ventilation améliorée - isolation - isolation	1 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	23.5°C	20.5°C	22.0°C	23.5°C
État initial - ventilation améliorée - isolation - isolation - isolation	1 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	23.5°C	20.5°C	22.0°C	23.5°C
État initial - ventilation améliorée - isolation - isolation - isolation - isolation	1 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	23.5°C	20.5°C	22.0°C	23.5°C
État initial - ventilation améliorée - isolation - isolation - isolation - isolation - isolation	1 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	23.5°C	20.5°C	22.0°C	23.5°C
Total	79476 kWh	1788 kWh	182 kW	0.09 kW				

État	Besoins Chauffage	Besoins EE	Puissance Chauffage	Puissance EE	Coût Chauffage	Coût EE	Coût Total
État initial	79476 kWh	1788 kWh	182 kW	0.09 kW	23.5%	20.5%	22.0%
État initial - ventilation améliorée	1 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	23.5%	20.5%	22.0%
État initial - ventilation améliorée - isolation	1 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	23.5%	20.5%	22.0%
État initial - ventilation améliorée - isolation - isolation	1 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	23.5%	20.5%	22.0%
État initial - ventilation améliorée - isolation - isolation - isolation	1 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	23.5%	20.5%	22.0%
État initial - ventilation améliorée - isolation - isolation - isolation - isolation	1 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	23.5%	20.5%	22.0%
État initial - ventilation améliorée - isolation - isolation - isolation - isolation - isolation	1 kWh	1 kWh	10 kW	1 kW	23.5%	20.5%	22.0%

Figure IV-49: résultat de simulation en été avec consigne de thermostat.

• Les besoins en climatisation : 79476 kwh/ 843.68..... 94.2 kwh/m²

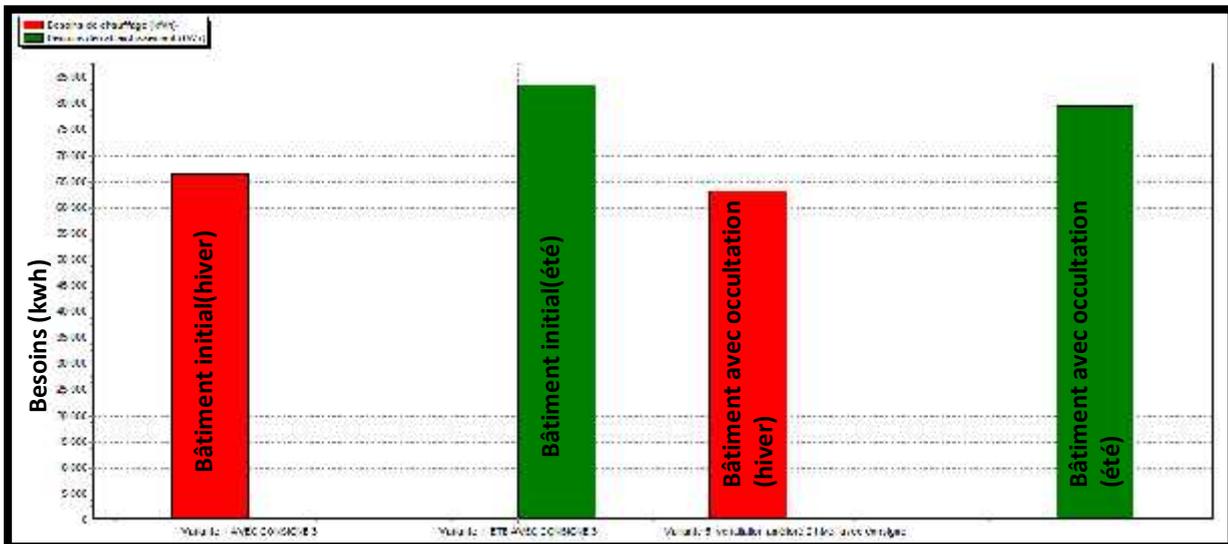


Figure IV-50 : histogramme de comparaison des besoins énergétique avant et après l'amélioration de la ventilation intégrée.

Synthèse

d’après les résultats obtenu , on constate une réduction de 3214 kWh en hiver , ce qui représente une économie de 4.84 % de chauffage;

Et une réduction de 4053 kWh en été , ce qui représente une économie de 4.85 % de climatisation.

IV.4. SIMULATION DE L’AGENCE COMMERCIALE DE SONELGAZ (Bâtiment final):

Dans cette étape nous allons intégrer les différentes mesures d’efficacité: isolation performantes; vitrage performant, l’utilisation des énergies renouvelable tout on profitant de la ventilation naturelle, façades bien traitée sur le plan de protection solaire (ouvertures occultées).

IV.4.1. Résultats de simulation sans consigne de thermostat en hiver et en été (Bâtiment final):

Type	Régime	Régime	Unité	Valeur	E.H.	E.H. (kWh)	Taux
Chauffage							
Chauffage - par vent	0 °C-h	2 kW	W	0.12	14872	2022 °C	28.7 %
Chauffage - par vent - par vent - par vent	0 °C-h	2 kW	W	0.12	14872	19.22 °C	26.25 %
Chauffage - par vent - par vent - par vent - par vent	0 °C-h	2 kW	W	0.12	14872	19.1 °C	26.77 %
Chauffage - par vent	0 °C-h	2 kW	W	0.12	14872	19.1 °C	26.77 %
Chauffage - par vent	0 °C-h	2 kW	W	0.12	14872	19.1 °C	26.77 %
Chauffage - par vent	0 °C-h	2 kW	W	0.12	14872	19.1 °C	26.77 %
Chauffage - par vent	0 °C-h	2 kW	W	0.12	14872	19.1 °C	26.77 %
Chauffage - par vent	0 °C-h	2 kW	W	0.12	14872	19.1 °C	26.77 %

Dates	Dates Chauffage	Moyenne Chauffage Hiv	Efficacité de TCR	Taux d'impact	Taux de besoins
01/01/2018 - 31/12/2018	01/01/2018 - 31/12/2018	11.13 (°C/h)	38.7 %	100 %	100 %
01/01/2018 - 31/12/2018	01/01/2018 - 31/12/2018	11.13 (°C/h)	38.7 %	100 %	100 %
01/01/2018 - 31/12/2018	01/01/2018 - 31/12/2018	11.13 (°C/h)	38.7 %	100 %	100 %
01/01/2018 - 31/12/2018	01/01/2018 - 31/12/2018	11.13 (°C/h)	38.7 %	100 %	100 %
01/01/2018 - 31/12/2018	01/01/2018 - 31/12/2018	11.13 (°C/h)	38.7 %	100 %	100 %
01/01/2018 - 31/12/2018	01/01/2018 - 31/12/2018	11.13 (°C/h)	38.7 %	100 %	100 %
01/01/2018 - 31/12/2018	01/01/2018 - 31/12/2018	11.13 (°C/h)	38.7 %	100 %	100 %
01/01/2018 - 31/12/2018	01/01/2018 - 31/12/2018	11.13 (°C/h)	38.7 %	100 %	100 %
01/01/2018 - 31/12/2018	01/01/2018 - 31/12/2018	11.13 (°C/h)	38.7 %	100 %	100 %

Figure IV-51: résultat de simulation en hiver sans consigne de thermostat.

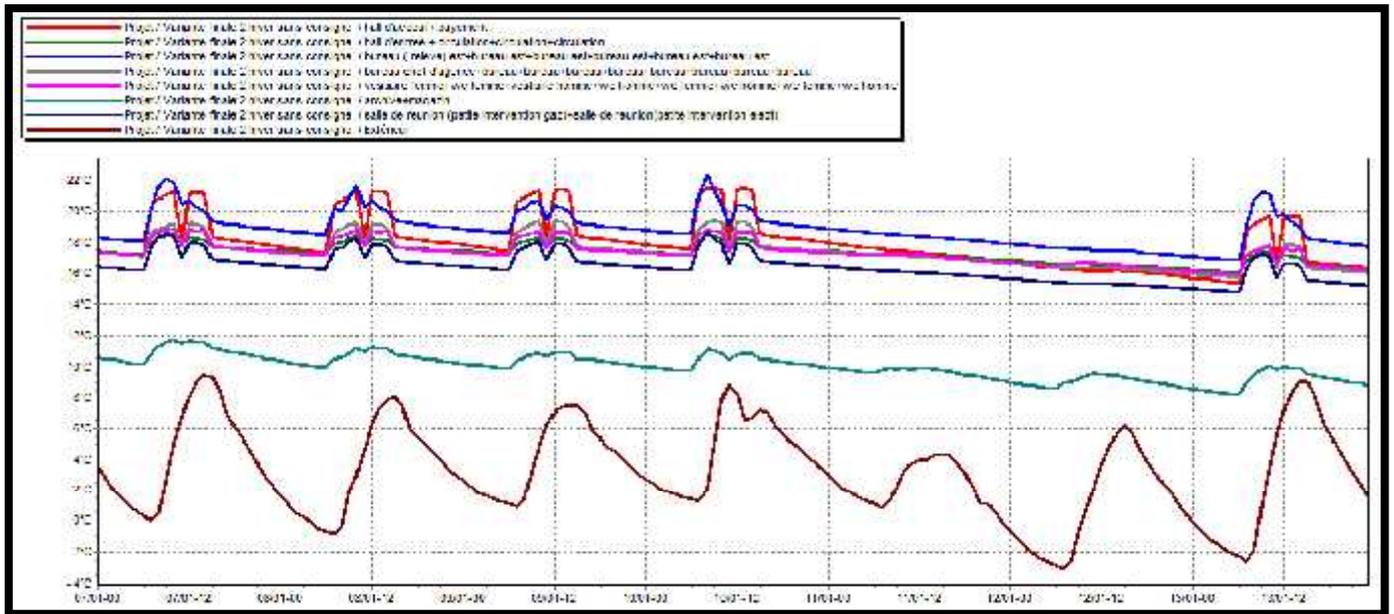


Figure IV-52 : Graphe de température des différentes zones en hiver sans consigne de thermostat (la semaine la plus froide) .

Synthèse

D’après les figures présentées en haut, nous remarquons qu’il y a une augmentation de température dans toutes les zones, le confort d’hiver est assuré.

Résumé							
Étape : 1 - Année : 2012-2013							
Zones	Beaux Jours	Beaux Soirs	Frais Jours	Frais Soirs	PMH	PMN	PMN
Zone							
Salles de réunion	0.4-h	0.4-h	0.4-h	0.4-h	19.8°C	14.4°C	17.2°C
Salles de réunion (sans chauffage)	0.4-h	0.4-h	0.4-h	0.4-h	10.6°C	11.30°C	11.6°C
Salles de réunion (sans chauffage) (sans chauffage)	0.4-h	0.4-h	0.4-h	0.4-h	11.0°C	11.05°C	11.15°C
Salles de réunion (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage)	0.4-h	0.4-h	0.4-h	0.4-h	10.6°C	11.4°C	11.1°C
Salles de réunion (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage)	0.4-h	0.4-h	0.4-h	0.4-h	10.6°C	11.86°C	11.88°C
Salles de réunion (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage)	0.4-h	0.4-h	0.4-h	0.4-h	17.0°C	11.7°C	11.52°C
Salles de réunion (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage)	0.4-h	0.4-h	0.4-h	0.4-h	10.6°C	11.40°C	11.82°C
Total	0.4-h	0.4-h	0.4-h	0.4-h			
Zones	Débit Chauffage	Puissance Chauffage	Amplitude de T°C	Tau de confort	Taux de besoin		
Salles de réunion	0.01 kWh/m²	50.22 W/m²	20.75 °C	60.00 %	0.00 %		
Salles de réunion (sans chauffage)	0.01 kWh/m²	25.11 W/m²	10.38 °C	29.44 %	0.00 %		
Salles de réunion (sans chauffage) (sans chauffage)	0.01 kWh/m²	51.21 W/m²	13.00 °C	60.7 %	0.00 %		
Salles de réunion (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage)	0.01 kWh/m²	25.11 W/m²	16.47 °C	48.44 %	0.00 %		
Salles de réunion (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage)	0.01 kWh/m²	50.22 W/m²	16.47 °C	59.44 %	0.00 %		
Salles de réunion (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage)	0.01 kWh/m²	25.11 W/m²	7.6 °C	37.44 %	0.00 %		
Salles de réunion (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage) (sans chauffage)	0.01 kWh/m²	40.22 W/m²	13.00 °C	52.00 %	0.00 %		

Figure IV-53: résultat de simulation en été sans consigne de thermostat.

Zone	Besoins (kWh)	Facteur de correction	Facteur de correction	Facteur de correction	Facteur de correction	T. H. (°C)	T. H. (°C)
Bâtiment initial (hiver)	63250	0.05	0.05	0.05	0.05	18.0	18.0
Bâtiment final (hiver)	63250	0.05	0.05	0.05	0.05	18.0	18.0
Bâtiment initial (été)	66430	0.05	0.05	0.05	0.05	24.0	24.0
Bâtiment final (été)	66430	0.05	0.05	0.05	0.05	24.0	24.0
Bâtiment initial (total)	129680	0.05	0.05	0.05	0.05	21.0	21.0
Bâtiment final (total)	129680	0.05	0.05	0.05	0.05	21.0	21.0

Figure IV-56 : résultat de simulation en été avec consigne de thermostat

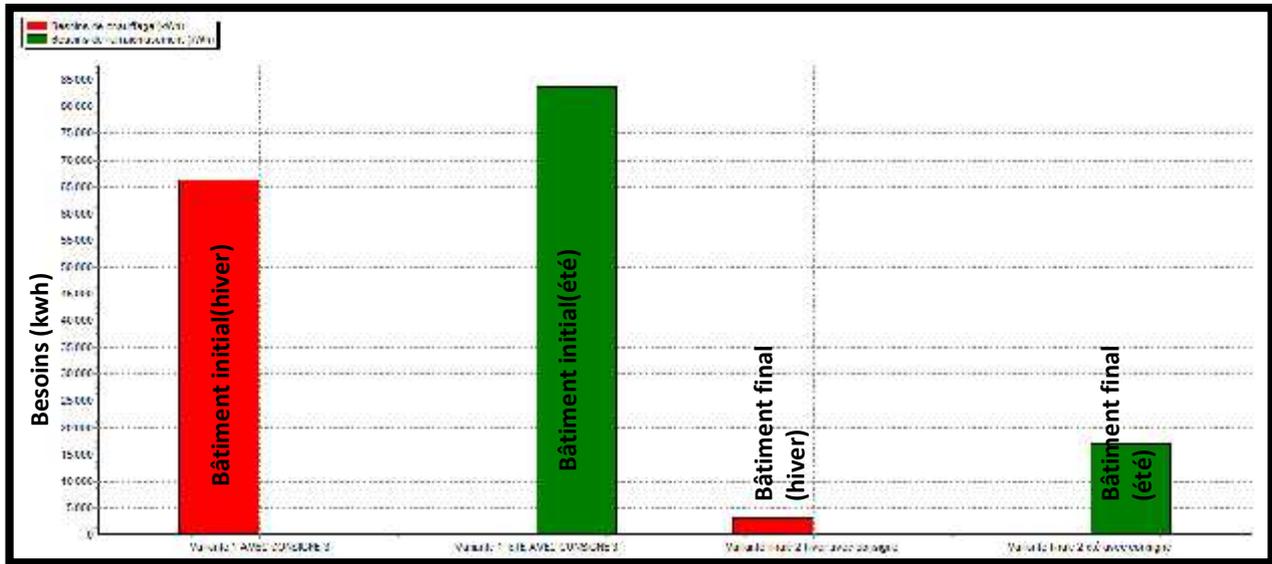


Figure IV-57 : histogramme de comparaison des besoins énergétique Avant et après amélioration

Synthèse

Après l’amélioration de notre bâtiment, on constate une réduction de 66430 kWh en été, ce qui représente une économie de 79.53 % de climatisation;

l’optimisation la plus impressionnante est celle de l’hiver avec 63250 kWh, ce qui représente une économie de 95.24 % de chauffage.

IV.5. COMPARAISON DES BESOINS ÉNERGÉTIQUE DES DIFFÉRENTES VARIANTES

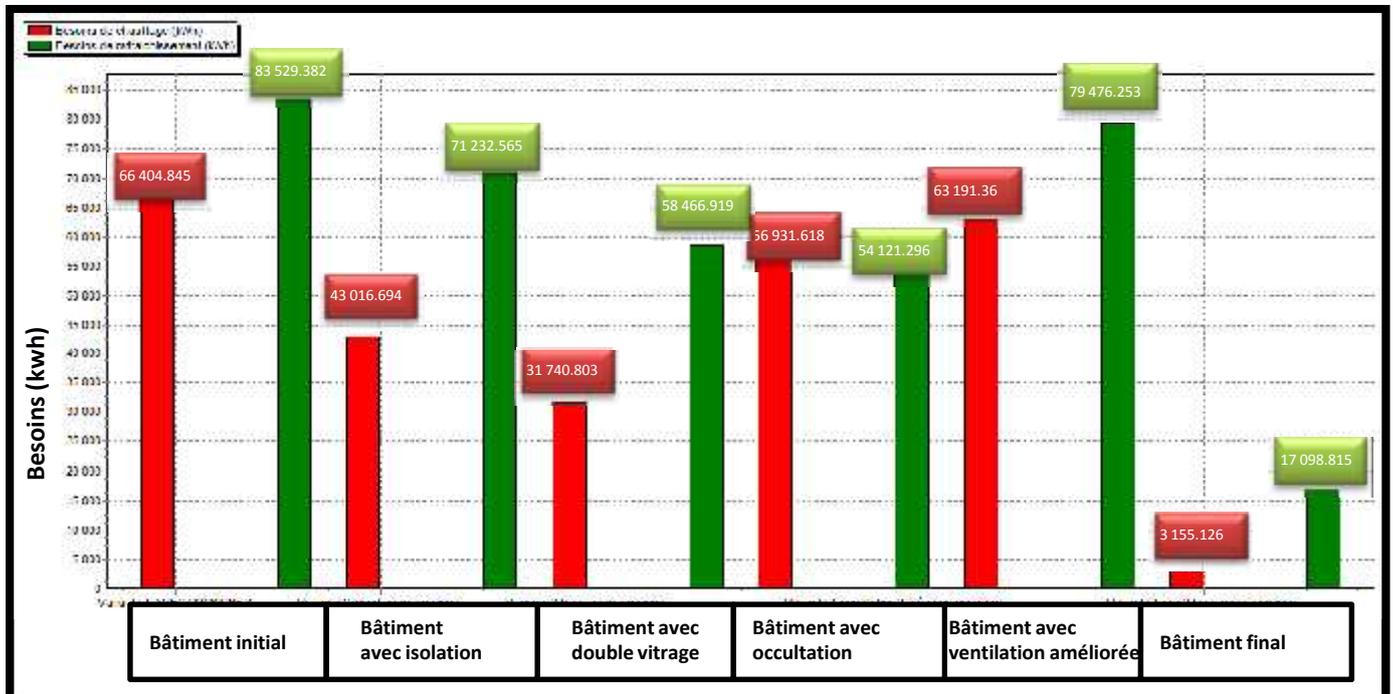


Figure IV-58 : histogramme de comparaison des besoins énergétique des différentes variantes

Les résultats obtenus ont montré que:

- l'isolation thermique de l'enveloppe et le type de vitrage sont parmi les solutions les plus efficaces qui permettent une réduction notable des besoins énergétiques de chauffage, Ils constitueront en effet une barrière aux échanges thermiques;
- Le type de vitrage et l'occultation sont les solutions qui permettent la réduction des besoins énergétiques de climatisation, ils constitueront la protection contre les rayons solaires;

Cette étude a permis d'optimiser 129680 kWh de chauffage et de climatisation, notre bâtiment ne consomme que 24 kWh/m².an, Il est considéré comme étant un bâtiment à basse consommation énergétique

IV.6. CONCLUSION

On retiendra de ce chapitre que le bâtiment étudié, présente des insuffisances en matière de prise en charge du confort intérieur dont la température maximale en hiver est de 15°C, elle est inférieure à la température de confort (20°C), en été, la surchauffe due à une température trop élevée, peut arriver à 42°C, ce qui engendre chez les occupants une sensation d'inconfort;

Le recours aux équipements de climatisation et de chauffage est nécessaire pour un bon confort intérieur, ce qui augmente la consommation d'énergie. La simulation du bâtiment initial a donné un besoin énergétique en chauffage total annuel de 66405 kwh soit 78.70 kwh/m², et un besoin en climatisation de 83529 kwh/ 843.68 soit 99 kwh/m²;

Dans le but d'améliorer le confort et de diminuer la consommation d'énergie, nous avons intégré plusieurs paramètres dans le bâtiment de base. Les résultats de simulation suggèrent que notre but peut être atteint par une combinaison de ces paramètres.

Le cas de base a subi les mesures d'efficacité énergétique passives, l'isolation des murs extérieurs et intérieurs (en contact avec les locaux non chauffés), le plancher bas et la toiture, l'utilisation du double vitrage avec le gaz argon, la protection solaire, et l'amélioration de la ventilation. Ces mesures ont permis un gain énergétique de 66430 kWh en été, ce qui représente une économie de 79.53 % de climatisation et 63250 kWh en hiver, ce qui représente une économie de 95.24 % de chauffage, le résultat final montre que notre bâtiment ne consomme que 24 kWh/m².an.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE:

Le secteur du bâtiment est celui dont toutes les attentions en termes d'efficacité énergétique doivent être tournées, étant partout dans le monde le secteur responsable de la plus grande part de la consommation énergétique, cela est toute en plus vrai pour l'Algérie qui en l'espace de quelque années a vu croître son parc de bâtiment sans la moindre prise en considération de la question de la maîtrise de l'énergie;

L'objectif visé à travers ce travail de recherche, est d'étudier la problématique de l'efficacité énergétique relative à notre cas d'étude (agence commerciale de Sonelgaz à Tiaret), chercher une adéquation entre la conception du bâtiment, le climat et l'environnement dans lequel il est intégré;

Maîtriser naturellement les confort d'été et d'hiver, en privilégiant des solutions simples est en fait une nécessité pour réduire les besoins énergétiques du bâtiment. Avec l'adaptation de la construction aux paramètres climatiques, les divers besoins domestiques sont énormément minimisés. Surtout que la mauvaise conception thermique induit un surdimensionnement des équipements et une surconsommation d'énergie ce qui a un coût financier et environnemental. L'architecture bioclimatique est donc la réponse à ces problèmes;

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés aux solutions passives, particulièrement aux performances de l'enveloppe du bâtiment, cette dernière est considérée comme étant l'élément principal de la régulation thermique des échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur. Une enveloppe de qualité pour limiter les déperditions par les parois, Les épaisseurs d'isolations doivent être renforcées, De plus on doit veiller à limiter au maximum les ponts thermiques, L'isolation par l'extérieur est donc à privilégier. Isoler juste les murs est insuffisant, un double vitrage est nécessaire, nous avons renforcé le vitrage avec un isolant qui est le gaz argon pour que les apports gratuits (solaires, et intérieurs) s'accumulent à l'intérieurs.

En été, il est nécessaire de protéger les surfaces vitrées par des protections solaires fixes ou mobiles afin d'éviter que le rayonnement solaire ne pénètre dans les locaux et contribue à les réchauffer fortement. Pour ralentir la surchauffe du bâtiment, il est important d'avoir suffisamment d'inertie pour stocker le surplus de chaleur en journée. La nuit lorsque les températures extérieures sont plus faibles, il est très efficace de ventiler le bâtiment pour évacuer la chaleur accumulée tout au long de la journée.

Pour la réalisation de notre étude, Nous avons utilisé le logiciel Pléiade+comfie, qui est un outil de simulation thermique dynamique permettant de prédire le comportement thermique du bâtiment. Après la première simulation (bâtiment initial) pour définir les besoins énergétiques, nous avons intégré les paramètres suivants pour réduire la consommation d'énergie :-

- L'isolation extérieure;
- Le double vitrage;
- L'occultation;
- La ventilation nocturne;

Cette étude a permis d'optimiser 66430 kWh en été, ce qui représente une économie de 79.53 % de climatisation, et 63250 kWh en hiver, ce qui représente une économie de 95.24 % de chauffage. L'enveloppe du bâtiment a donc un rôle déterminant sur sa future consommation. C'est en fonction de ses qualités que les demandes de chaleur et de refroidissement seront plus ou moins importantes.

BIBLIOGRAPHIE:

**Ouvrage, publication,
thèses, guides et actes de
séminaires**

1. Agence Internationale De l'énergie (AIE) , <<World energy Outlook>>, Head of communication and information office,2008 .Paris
2. Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE)
3. Grignon-Masse, L, <<développement d'une méthodologie d'analyse cout-bénéfice en vu d'évaluer le potentiel de réduction des impacts environnementaux liés au confort d'été: cas des climatiseurs individuels fixes en France métropolitaine.>>. Thèse de Doctorat, l'école nationale supérieure des mines de Paris, 2010;
4. Santamouris, M.Demosthenes et Asimakopoulos,N. 2001<<energy and climate in the urban built envirenment>>, james and james edition Ltd, 412 p.
5. Salagnac JL., Weckstein M. Changement climatique : un double défi pour le bâtiment. Géosciences, 2006
6. Salomon,T et Bedel,S << la maison des (méga, watts, le guide malin de l'énergie chez soi.>> édition. terre vivante.2004.
7. Chlela.F Développement d'une méthodologie de conception de bâtiment à basse consommation d'énergie. Thèse de doctorat. Université de la rochelle 2008.
8. Thiers.S bilan energetiques et environnementaux de bâtiments a énergie positive, écoles nationales supérieure des mines de paris 2008.
9. Thellier, Françoise. << l'homme et son environnement thermique- Modélisation>>. Etude menée à Université de Paul Sabatier de Toulouse, 1999.
- 10.Maugard, A.Millet; J.-R. Quenard, D. " vers des bâtiment à énergie positive " présentation du CSTB (centre scientifique des techniques du bâtiment) 2000 .
- 11.NEUF:<<Climat intérieur/confort, santé, confort visuel>> revue européenne d'architecture N°77, novembre-décembre 1978.

12. Bodart M., << création d'un outil d'aide au choix optimisé du vitrage du bâtiment , selon les critères physiques, économiques et écologique, pour un meilleur confort visuel et thermique>>, thèse de doctorat, université catholique de louvain, faculté des sciences appliquées, unité d'architecture – Belgique.2002.
13. Liébard, A. et De Herde, A << Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques>> Ed. le moniteur. Paris 2005
14. Frenot, M. et Sawaya, N. (1979) << L'isolation thermique, le répertoire des solutions pratiques pour l'habitat existant>>. Editions EDISUD, Aix en Provence, France.
15. Martinet, C. et Meyer, J-P. (1999) « Travail à la chaleur et confort physique » in revue „Note scientifique et technique » de l'I.N.R.S (Institut National de Recherche et de Sécurité) n° NS 184. France.
16. Cortés, H. et Blot, J. (1999) « Transferts thermiques, application à l'habitat » Editions Ellipses, Paris
17. Moujalled, B. (2007) « Modélisation dynamique du confort thermique », thèse de doctorat, présentée à l'institut des sciences appliquées de Lyon (France) le 19 janvier 2007
18. Izard, J-L. <<archi bio>> edition parenthèses, France. 1979;
19. Fernandez, P. <<Stratégie d'intégration de la composante énergétique dans la pédagogie du projet d'architecture>>; thèse De doctorat, Ecole des mines de paris. 1996
20. Hauglustaine, J.M et Simon.F << la conception globale de l'enveloppe et l'énergie>> guide pratique pour les architectes ,février 2006.
21. NEFISSA Belkacem, THÈSE de DOCTORAT. <<Contribution à l'évaluation des performances énergétiques et environnementales d'un habitat individuel bioclimatique : cas de la maison pilote de Souidania –Alger- (Algérie)>>

22. A.Chatelet,P.Fernandez et P.Lavigne:<< l'architecture climatique; une contribution au développement durable, tome 2: concepts et dispositifs>> édition EDISUD-Aix-en-provence19986
23. Givoni.B., <<l'homme, l'architecture et le climat>> Edition le moniteur, paris 1978
24. Thierry Gallauziaux et David Fedullo., <<Le grans livre de l'isolation>>
25. Chabi Mohammed .mémoire de Magister <<étude bioclimatique du logement social-participatif de la vallee du m'zab : cas du ksar de tafilelt.>>
26. Langlais, C. et Klarsfeld, S. (1997) « Isolation thermique à température ambiante. Bases physiques » Techniques de l'ingénieur, document n° BE 9 860. France.
27. Conception architecturale et RT 2012<<influence des facteurs énergétiques sur la forme des bâtiments>> sous la direction de jean-pierre .C ; edition le moniteur.
28. M'Mazari Mohammed <<etude et évaluation du confort thermique des batiment à caractère public: cas du département d'architecture de tamda (tiziouzou) >>mémoire de magister en architecture, 2012.
29. Saddok amel<< etude du confort thermique des salles de cours des établissements scolaires à différentes typologies>> mémoire de magister en architecture, 2016
30. Kesraoui Nadia<< intégration du concept bioclimatique et utilisation rationnelle de l'énergie dans le batiment tertiaire en climat méditerranéen (cas de l'Algérie)>>.2010