



Université Saâd Dahlab, Blida-1

Faculté de Technologie

Département des Énergies Renouvelables

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

ooOoo

Spécialité : Energies Renouvelables

Option : Habitat Bioclimatique

ooOoo

Présenté par :

BOUHAFS Oumeima

Thème :

Efficacité énergétique dans les mosquées en Algérie

Soutenu devant le jury composé par :

Monsieur Abdelkader Hamid	Professeur	USDB	Président
Monsieur Bouttout Abdelouahab	Maître de Recherche Classe B	CNERIB	Encadreur
Monsieur AMARA Mohamed	Maître de Recherche Classe A	CNERIB	Encadreur
Monsieur SEMMAR Djaffar	Professeur	USDB	Examineur

Septembre 2021

ملخص

يتضمن عملنا المقدم في هذا الموجز دراسة تم إجراؤها على مسجد عثمان بن عفان رضي الله عنه، الكائن ببلدية الرويبة الضاحية الشرقية للجزائر العاصمة، والذي يهدف إلى تقليل استهلاك الطاقة لاحتياجات التدفئة والتكييف، وإنتاج الكهرباء للإضاءة الداخلية للمسجد.

في هذا الصدد، تم إجراء عمليات المحاكاة باستخدام برنامج المحاكاة الحرارية الديناميكية "DesignBuilder"، بهدف التحقق من تأثير اختيار مواد البناء (العزل، النوافذ، إلخ) لتعزيز الراحة للمصلي ولكن بحيث يكون مربحًا.

تم أيضا دمج محطة للطاقة الكهروضوئية لتقليل استهلاك الطاقة للإضاءة الداخلية باستخدام الطاقة الشمسية لضمان كفاءة الطاقة في المساجد.

الكلمات المفتاحية: المسجد، كفاءة الطاقة، تقليل الاستهلاك.

Résumé

Notre travail présenté dans ce mémoire, comprend une étude qui a été faite sur la mosquée d'Othman-Ibn-Affan, (Puisse Dieu l'agréer) située sur la commune de Rouiba, dans la banlieue est d'Alger, et qui a pour objectif la réduction de la consommation énergétique pour les besoins de chauffage et de climatisations, et la production de l'électricité pour l'éclairage intérieur de la mosquée.

A ce propos, des simulations ont été effectuées à l'aide du logiciel de simulation thermique dynamique "DesignBuilder", dans le but de vérifier l'impact du choix des matériaux de constructions (isolants, fenêtres, etc.) pour favoriser le confort pour l'occupant mais de façon qu'il soit rentable.

Une centrale photovoltaïque a également été intégrée pour réduire la consommation énergétique de l'éclairage intérieur par l'utilisation l'énergie solaire pour assurer l'efficacité énergétique de la mosquée.

Les mots clés : mosquée, efficacité énergétique, réduction de la consommation.

Abstract

Our work presented in this brief, includes a study that was carried out on the Othman-Ibn-Affan (May the Lord be pleased with him) mosque, located in the municipality of Rouiba, the eastern suburb of Algiers, and which aims to reduce energy consumption for heating and air conditioning needs, and the production of electricity for interior lighting of the mosque.

In this regard, simulations were carried out using the dynamic thermal simulation software "DesignBuilder", with the aim of verifying the impact of the choice of construction materials (insulation, windows, etc.) to improve comfort for the occupant but so that it is profitable.

A photovoltaic power plant has also been integrated to reduce the energy consumption of indoor lighting by using solar energy to ensure the energy efficiency of the mosque.

The key words: mosque, energy efficiency, reduction of consumption.

Dédicace

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents Abd-El-Salem et Samia:

Jamais je ne saurais m'exprimé quant aux sacrifices et aux dévouements que vous consacrés à mon éducation et mes études. Les mots expressifs soient-ils restent faibles pour énoncer ma gratitude hautement profonde.

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

A mes frères : Lokman, Ibrahim et Djaber

A ma sœur Hadjer et son enfant Moataz

A ma chère tante Nadia et son fils Karim :

Merci d'être dans ma vie Merci pour votre soutien constant toutes ces années

Merci de croire en moi Merci pour votre confiance

Et surtout Merci pour votre amour

A mon amie Kaouthar

A toute personne m'ayant aidé de près ou de loin, trouve ici l'expression de ma connaissance.

Par : BOUHAFS Oumeima

Remerciement

Avant tout, je tiens à remercier ALLAH, le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail.

Je tiens à remercier mon encadreur M. Bouttout Abdelouahab pour m'avoir proposé un sujet très intéressant et pour ses conseils et remarques.

Mes respectables remerciements au président de jury et aux membres du jury qui me font l'honneur de juger ce travail.

Je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé dans ce travail de près ou de loin.

Mes sincères gratitudes à tous les enseignants des années précédentes

MERCI A TOUS

Nomenclature- Symboles-Acronymes

EnR : Energies renouvelables.

GES : Gaz à Effet de Serre.

APC : Assemblée populaire communale.

SDC : Sonelgaz.

Aprue : L'Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie.

TEP : tomographie par émission de positons.

GPLc: Gaz de Pétrole Liquéfié carburant.

GNC: Gaz naturel comprimé.

FNMEERC: Financement du programme national de l'efficacité énergétique.

SDE: Société de distribution de l'électricité et de gaz.

PVC: Polyvinyle de Chlorure.

EPDM: Elastomères spéciaux.

Ug: Coefficient de la conductivité thermique du vitrage de la fenêtre.

UV: Rayonnement ultraviolet.

CVC : Chauffage, ventilation et climatisation.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE11

CHAPITRE 1 :LE PROGRAMME NATIONAL D'EFFICACITE ENERGETIQUE.....13

I. INTRODUCTION 13

II.1 L'ENERGIE ELECTRIQUE EN ALGERIE 14

II.2 LE SECTEUR RESIDENTIEL, PREMIER CONSOMMATEUR D'ENERGIE EN ALGERIE..... 14

III.1 ENERGIES NOUVELLES, RENOUELABLES ET MAITRISE DE L'ENERGIE 15

III.2 PROGRAMME DES ENERGIES RENOUELABLES..... **ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.**

III.2.1 POTENTIEL DES ENERGIES RENOUELABLES **ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.**

III.2.2 PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUELABLES.. **ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.**

III.2.3 PROJETS ET ACTIONS DE LA PHASE 2011-2014 DU PROGRAMME NATIONAL DES ENR..... 20

III.3 EFFICACITE ENERGETIQUE 23

III.3.1 PROGRAMME NATIONAL D'EFFICACITE ENERGETIQUE..... **ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.** 23

III.3.2 PLAN D'ACTION EN MATIERE D'EFFICACITE ENERGETIQUE..... 23

III.3.3 POUR LE SECTEUR DU BATIMENT 24

CONCLUSION 24

CHAPITRE 2 :LES SOLUTIONS PASSIVES ET ACTIVES POUR ASSURER LE CONFORT THERMIQUE..25

I.1. INTRODUCTION 25

I.2 LE CONFORT THERMIQUE 26

I.3 LE CONFORT THERMIQUE D'UNE MOSQUEE 27

II. LE BESOIN ENERGETIQUE DES MOSQUEES EN ALGERIE 27

II.1 EXEMPLE DE LA WILAYA DE CONSTANTINE 27

II.2 L'AUDIT ENERGETIQUE DE LA MOSQUEE 28

II.3 LES MOSQUEES VERTES EN ALGERIE 30

III. LA SOLUTION BIOCLIMATIQUE PASSIVE 31

III.1 L'IMPLANTATION ET L'ORIENTATION 31

III.2 LA FORME ET LA COMPACITE..... 31

III.3 LA DISTRIBUTION INTERIEURE 32

III.4 ISOLATION THERMIQUE..... 33

III.5 L'INERTIE THERMIQUE 34

III.6 LA VENTILATION..... 35

III.7 SURFACES VITREES..... 36

III.8 LA VEGETATION 37

IV. LA SOLUTION ACTIVE 38

IV.1 LE PANNEAU SOLAIRE 38

IV.2 LA POMPE A CHALEUR 39

IV.3 LE PUIT CANADIEN 39

IV.4 EOLIENNE..... 40

CONCLUSION 40

CHAPITRE 3 :SIMULATION THERMIQUE SANS ISOLATION	41
I. INTRODUCTION	41
II.1 PRESENTATION DE CAS D'ETUDE: LA MOSQUEE D'OTHMAN-IBN-AFFAN	41
II.2 ORIENTATION ET FORME DU BATIMENT	45
II.3 SITUATION GEOGRAPHIQUE	45
II.4.1 LE CLIMAT DU SITE	46
II.4.2 ANALYSE DU CLIMAT DU SITE	50
III.1 PRESENTATION DE DESIGNBUILDER	51
III.2 APPLICATION SUR DESIGNBUILDER	53
IV. RESULTATS ET INTERPRETATION	68
IV.1 LA CONCEPTION DU CHAUFFAGE	68
IV.2 LA CONCEPTION DE LA CLIMATISATION	70
IV.3 L'EMISSION DE CO ₂	72
CONCLUSION	72
CHAPITRE 4 :CONSTRUCTION BIOCLIMATIQUE	73
I. INTRODUCTION	73
II. LA CONSTRUCTION BIOCLIMATIQUE	73
II.1 ISOLATION DES MURS EXTERIEURS.....	74
II.2 ISOLATION DE LA TOITURE TERRASSE.....	77
II.3 ISOLATION DE PLANCHER BAS	81
II.4 LE DOUBLE VITRAGE.....	82
II.5 LES LAMPES A LED	84
II.6 LA VENTILATION MECANIQUE	85
III. RESULTATS ET INTERPRETATION	87
III.1 LA CONCEPTION DU CHAUFFAGE	87
III.2 LA CONCEPTION DE LA CLIMATISATION	89
III.3. L'EMISSION DE CO ₂	91
CONCLUSION	91
CONCLUSION GENERALE.....	92

Liste des figures

Chapitre 1

FIGURE 1-1 : CARTE DE LA PRODUCTION D'ELECTRICITE POUR L'ALGERIE	14
FIGURE 1-2 : CONSOMMATION D'ENERGIE DANS LE SECTEUR RESIDENTIEL ALGERIEN..	15
FIGURE 1-3 : CARTE DE L'IRRADIATION GLOBALE DIRECTE ANNUELLE MOYENNE	16
FIGURE 1-4 : CARTE DE L'IRRADIATION DIRECTE ANNUELLE MOYENNE	16
FIGURE 1-5 : CARTE DU VENT ANNUEL MOYEN A 50M.....	17
FIGURE 1-6 : PROGRAMME NATIONAL EN ENERGIE RENOUVELABLES	19
FIGURE 1-7 : CENTRALE HYBRIDE SOLAIRE-GAZ DE 150 MW	20
FIGURE 1-8 : FERME EOLIENNE DE 10MW.....	20
FIGURE 1-9 : CENTRALE PILOTE PHOTOVOLTAÏQUE D'OUED N'CHOU 1,1 MWC	21
FIGURE 1-10 : CAPACITE INSTALLEE	21

Chapitre 2

FIGURE 2-1 : LA NOTION DE CONFORT THERMIQUE EN IMAGE	26
FIGURE 2-2 : L'ENTREE ET LA SORTIE DES FIDELES EN MEME TEMPS	27
FIGURE 2-3 : LAMPES ALLUMEEES EN PLEIN JOUR DANS LA MOSQUEE	28
FIGURE 2-4 : PRINCIPAUX ET SOUS-COMPOSANTS DU FORMULAIRE D'AUDIT ENERGETIQUE	29
FIGURE 2-5 : LA REGLE DE L'ORIENTATION DE LA MAISON.....	31
FIGURE 2-6 : FACTEUR DE FORME FAVORABLE ET DEFAVORABLE POUR LE BATIMENT.....	32
FIGURE 2-7 : EXEMPLE DE DISPOSITION BIOCLIMATIQUE DES PIECES	32
FIGURE 2-8 : ISOLATION PAR L'INTERIEUR DES MURS.....	33
FIGURE 2-9 : ISOLATION PAR L'EXTERIEUR DES MURS	33
FIGURE 2-10 : ISOLATION REPARTIE DES MURS	34
FIGURE 2-11 : L'INERTIE THERMIQUE DES MURS	34
FIGURE 2-12 : PRINCIPE DE LA VENTILATION NATURELLE.....	35
FIGURE 2-13 : PRINCIPE DE LA VENTILATION MECANIQUE	36
FIGURE 2-14 : SURFACE VITREE	37
FIGURE 2-15 : LA VEGETATION	37
FIGURE 2-16 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU CAPTEUR SOLAIRE THERMIQUE	38
FIGURE 2-17 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU CAPTEUR SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE.....	38
FIGURE 2-18 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA POMPE A CHALEUR.....	39
FIGURE 2-19 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN Puits CANADIEN	40
FIGURE 2-20 : EOLIENNE DOMICILE	40

Chapitre 3

FIGURE 3-1 :PHOTOS DE LA MOSQUEE OTHMAN-IBN-AFFAN.....	41
FIGURE 3-2 :PHOTOS DE LA MOSQUEE EN 3D	42
FIGURE 3-3 :PLAN DE SOUS-SOL	43
FIGURE 3-4 : PLAN DE R.D.C	43
FIGURE 3-5 :PLAN DE 1ER ETAGE.....	43
FIGURE 3-6 :PLAN DE TERRASSE	43
FIGURE 3-7 : PLAN DE FAÇADE LATERALE.....	44
FIGURE 3-8 :PLAN DE FAÇADE PRINCIPALE.	44
FIGURE 3-9 :PLAN DE PLAN DE FAÇADE EST	44
FIGURE 3-10 :PLAN DE PLAN COUPE A-A	44
FIGURE 3-11 :LOCALISATION DE LA COMMUNE DANS LA WILAYA D'ALGER	45
FIGURE 3-12 :CARTE GEOGRAPHIQUE DE LA MOSQUEE	46
FIGURE 3-13 :TABLEAU CLIMATIQUE ROUIBA	46
FIGURE 3-14 :TEMPERATURES ET PRECIPITATIONS MOYENNES DE LA VILLE DE ROUIBA.....	47
FIGURE 3-15 :NIVEAUX DE CONFORT SELON L'HUMIDITE DE LA VILLE DE ROUIBA	48
FIGURE 3-16 : PLUVIOMETRIE MENSUELLE MOYENNE DE LA VILLE DE ROUIBA	48
FIGURE 3-17 :NOMBRE TOTAL D'HEURES D'ENSOLEILLEMENT DE LA VILLE DE ROUIBA	49
FIGURE 3-18 :VITESSE MOYENNE DU VENT DE LA VILLE DE ROUIBA	50
FIGURE 3-19 :SCHEMA EXTRAIT DE LA "MAISON ECOLOGIQUE	50
FIGURE 3-20: MAQUETTE NUMERIQUE DE DESIGNBUILDER.....	52
FIGURE 3-21 :TEMPERATURE ET PERTES THERMIQUE DE LA MOSQUEE AVANT L'ISOLATION	68
FIGURE 3-22 :LE CONFORT D'ETE DE LA MOSQUEE AVANT L'ISOLATION	70
FIGURE 3-23 :L'EMISSION MENSUELLE DE CO ₂ DANS LA MOSQUEE AVANT L'ISOLATION...	72

Chapitre 4

FIGURE 4-1 : MOSQUEE CYBERJAYA EN MALAISIE ET MOSQUEE AL IRSYAD EN INDONESIE	75
FIGURE 4-2 : FINITION DE L'ISOLATION AVEC L'ENDUIT	75
FIGURE 4-3 :(A) MOSQUEE TRADITIONNELLE A TOIT PLAT SOUS CLIMAT HD (GRANDE MOSQUEE DE KAIROUAN, TUNISIE), (B) MOSQUEE TRADITIONNELLE A TOIT PYRAMIDAL SOUS CLIMAT HH (MASJID KAMPUNG LAUT, MALAISIE), (C) MOSQUEE CONTEMPORAINE AU TOIT EN DOME DANS LE CLIMAT HD (MOSQUEE SHEIKH ZAYED, ÉMIRATS ARABES UNIS), (D) MOSQUEE CONTEMPORAINE AU TOIT EN DOME DANS LE CLIMAT HH (MOSQUEE DE L'ÉTAT DE SELANGOR, MALAISIE)	77
FIGURE 4-4 : SCHEMA D'ISOLATION TOITURE TERRASSE.....	78
FIGURE 4-5 :DOUBLE VITRAGE.	82
FIGURE 4-6 : FENETRE BOIS-ALU	83
FIGURE 4-7 : ZOOM SUR LE FONCTIONNEMENT LED.	84
FIGURE 4-8 : TEMPERATURE ET PERTES THERMIQUE DE LA MOSQUEE APRES L'ISOLATION	87
FIGURE 4-9 :LE CONFORT D'ETE DE LA MOSQUEE APRES L'ISOLATION.	89
FIGURE 4-10 : L'EMISSION MENSUELLE DE CO ₂ DANS LA MOSQUEE APRES L'ISOLATION	91

Liste des tableaux

Chapitre 1

TABLEAU 1-2 : PROJET DES CENTRALES PHOTOVOLTAÏQUES EN ALGERIE	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
TABLEAU 1-1 : PROGRAMME NATIONAL EN ENERGIE RENOUVELABLES.	22

Chapitre3

TABLEAU 3-1: LES CARACTERISTIQUES DES MURS ET DES PLANCHERS DE LA MOSQUEE SANS ISOLATION.....	62
TABLEAU 3-2 : TEMPERATURE ET PERTES THERMIQUE DE LA MOSQUEEAVANT L'ISOLATION.....	68
TABLEAU 3-3:BESOIN ENERGETIQUE POUR LA CONCEPTION DE CHAUFFAGEAVANT L'ISOLATION.....	69
TABLEAU 3-4 : LE CONFORT D'ETE DE LA MOSQUEE AVANT L'ISOLATION... ..	70
TABLEAU 3-5:PUISSANCE DE DIMENSIONNEMENT DE LA CLIMATISATION AVANT L'ISOLATION.....	71

Chapitre 4

TABLEAU 4-1 : CARACTERISTIQUES DES MURS ET DES PLANCHERS APRES ISOLATION	73
TABLEAU 4-2 :TEMPERATURE ET PERTES THERMIQUE DE LA MOSQUEEAPRES ISOLATION.....	87
TABLEAU 4-3 : BESOIN ENERGETIQUE POUR LA CONCEPTION DE CHAUFFAGEAPRES ISOLATION	88
TABLEAU 4-4 :LE CONFORT D'ETE DE LA MOSQUEE APRES L'ISOLATION.....	89
TABLEAU 4-5 : PUISSANCE DE DIMENSIONNEMENT DE LA CLIMATISATION APRES L'ISOLATION.....	90

Introduction générale

Aujourd'hui, les principaux problèmes environnementaux mondiaux sont le réchauffement de la planète et l'appauvrissement des ressources naturelles. Afin de préserver l'environnement, il existe de nombreuses possibilités de réduire ces problèmes. Les secteurs qui sont considérés comme responsables de cette problématique sont : l'industrie, l'énergie, le transport et le bâtiment. Le secteur de la construction des logements joue un rôle important dans la consommation de ressources énergétiques et les émissions des GES dans l'atmosphère.

Le secteur de la construction a connu un grand programme de logements résidentiels durant les vingt ans précédents. En parallèle, le Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville a construit des mosquées, des écoles, des hôpitaux, des hôtels et des divers blocs administratifs [1].

La consommation d'énergie dans le secteur de la construction représente plus de 40% de la consommation nationale totale, principalement pour le chauffage, la climatisation et l'éclairage, d'où la nécessité d'améliorer l'efficacité énergétique dans ce secteur et de relever les défis environnementaux et énergétiques auxquels le monde est confronté. La forte consommation est due à l'utilisation de matériaux modernes dans la construction, à la "densité énergétique élevée", à l'application de prix de l'énergie et à la non-application de la régulation thermique du bâtiment, ce qui fait de l'amélioration des températures intérieures un enjeu économique et environnemental majeur pour ce secteur [2].

Pour cette raison, l'Algérie cherche à intégrer les énergies renouvelables dans le mix énergétique. Ceci constitue, en ce sens, un enjeu majeur en vue de préserver les ressources fossiles, de diversifier les filières de production de l'électricité et de contribuer au développement durable qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs.

Ainsi, la conception des bâtiments joue un rôle très important dans la consommation d'énergie. Cela conduit à trouver les bonnes solutions pour réduire ces coûts d'énergie. Ces solutions comprennent l'intégration de l'efficacité énergétique dans le secteur de la construction grâce à l'utilisation de matériaux d'isolation thermique et de fenêtres efficaces.

Parmi les structures les plus énergivores, et surtout gaspilleuses d'électricité en Algérie, les mosquées et les APC sont classées à la première place par la direction de distribution de l'électricité et du gaz (SDC) [3].

Des ventilateurs en marche et des fenêtres laissées ouvertes dans des mosquées, ou encore l'éclairage public en plein jour sont quelques-unes des causes de la surconsommation d'énergie électrique.

La wilaya d'Alger abrite des centaines de mosquées réparties dans ses 57 communes. Il s'agit d'une source importante de consommation énergétique dans les mosquées pour le chauffage et la climatisation en raison des conditions météorologiques extrêmes qui prévalent dans cette région (facture payée par la commune). Des efforts importants devront être réalisés pour rationaliser l'usage de la mosquée en fonction de la fréquentation du moment (variable durant la journée). L'APC paye la facture énergétique de l'ensemble des mosquées du territoire. Les comités qui gèrent les mosquées sont assez peu contrôlés sur l'utilisation de l'énergie dans les

mosquées. Les mosquées sont alimentées généralement par le gaz et l'électricité, avec pour principaux usages la fourniture d'eau chaude, le chauffage, la climatisation et l'éclairage [4].

À Tizi Ouzou, à titre d'exemple, les responsables de la SDC ont cité cinq mosquées dont la consommation d'électricité est jugée excessive. Entre autres, la mosquée Abou Bakr-Essedik (Puisse Dieu l'agréer) de Drâa Ben-Khedda dont la consommation annuelle dépasse largement les 300 000 DA, la mosquée de Redjaouna dont la facture dépasse les 285 000 DA et celle du centre de Fréha dont la consommation dépasse les 250 000 DA.

Sur les 980 mosquées que compte la wilaya de Tizi Ouzou, 250 d'entre elles dépassent la moyenne annuelle de consommation et totalisent un taux de 49% de la consommation annuelle d'électricité [3].

L'utilisation abusive de la climatisation, en continu, en laissant les fenêtres ouvertes et en laissant la télécommande entre les mains de n'importe quelle personne, et l'utilisation d'ampoules à forte consommation énergétique et de ventilateurs en même temps que la climatisation sont, selon le document de la SDC, autant de causes qui génèrent la hausse des factures dans les mosquées.

Face à cette situation, notre projet se propose de réaliser une étude sur la mosquée d'Othman-Ibn-Affan (Puisse Dieu l'agréer) pour améliorer son efficacité énergétique.

Parmi les solutions d'amélioration de l'efficacité énergétique, il est d'usage de distinguer les solutions dites « passives » qui consistent à réduire la consommation d'énergie des équipements et des matériaux grâce à une meilleure performance intrinsèque et les solutions dites « actives » selon les énergies renouvelables.

Ce mémoire a été rédigé selon une introduction générale, quatre chapitres et une conclusion.

Le premier chapitre définit le programme national d'efficacité énergétique et des énergies renouvelables, explique le rôle et l'importance que revêt ce programme sur la consommation d'énergie.

Le deuxième chapitre, en découvrant le principe du confort thermique et les solutions bioclimatiques passives et actives, nous a permis de tirer des recommandations nécessaires pour notre cas d'étude.

Le troisième chapitre comprend la simulation thermique à l'aide du logiciel de simulation thermique dynamique DesignBuilder de la mosquée sans isolation thermique.

Le quatrième et dernier chapitre comprend la simulation thermique utilisant le même programme pour la mosquée avec isolation thermique et intégrant des panneaux photovoltaïques pour produire de l'électricité.

Enfin, la conclusion générale illustre les principaux résultats obtenus en ce qui concerne le problème initialement identifié pour cette étude.

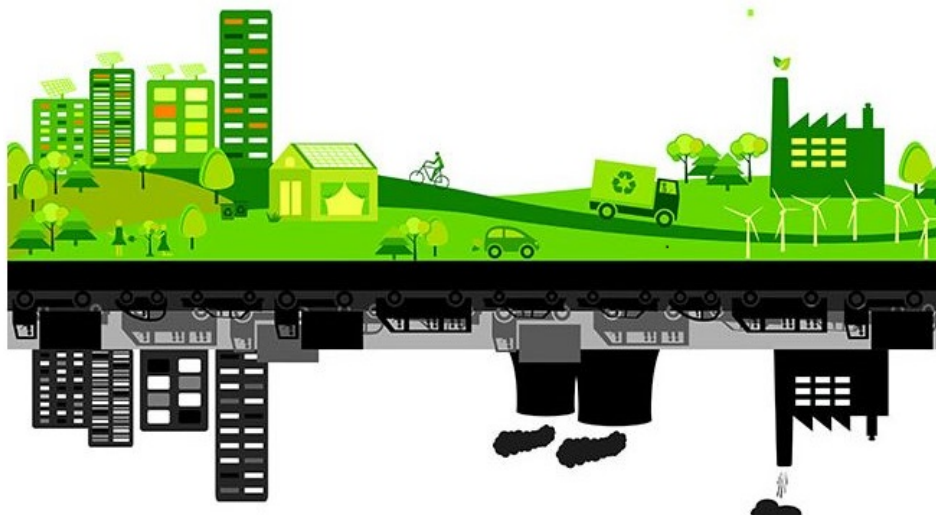
Chapitre 01 : Le programme national d'efficacité énergétique.

I Introduction

En économie, l'efficacité énergétique ou efficacité énergétique désigne l'état de fonctionnement d'un système pour lequel la consommation d'énergie est minimisée pour un service rendu identique. C'est un cas particulier de la notion d'efficacité. Elle concerne notamment les transports motorisés, les métiers du bâtiment et l'industrie.

L'efficacité énergétique s'appuie généralement sur l'optimisation des consommations, qui passe par la recherche de la moindre intensité énergétique (à service égal), une « utilisation rationnelle de l'énergie », des processus et outils plus efficaces. Le volet économies d'énergie cherche à réduire les gaspillages et les consommations inutiles. C'est donc aussi un élément important de la préservation de l'environnement. Dans certains cas, l'économie d'énergie peut même améliorer la qualité de service. Depuis quelques années, on lui associe souvent le concept d'énergie intelligente ou de réseau intelligent [5].

Nous nous intéressons dans ce chapitre à la consommation de l'énergie électrique en Algérie, au programme de développement des énergies renouvelables et au programme national d'efficacité énergétique.



II.1 L'énergie électrique en Algérie

Le programme de développement en moyens de production et transport d'électricité est accompagné du renforcement du réseau de distribution (lignes MT/BT et postes), pour assurer la fiabilité de l'approvisionnement et de la distribution de l'énergie électrique et garantir une meilleure qualité de service pour les citoyens.

A fin 2017 la longueur totale du réseau national de distribution de l'électricité, a atteint 328 996 km [5].

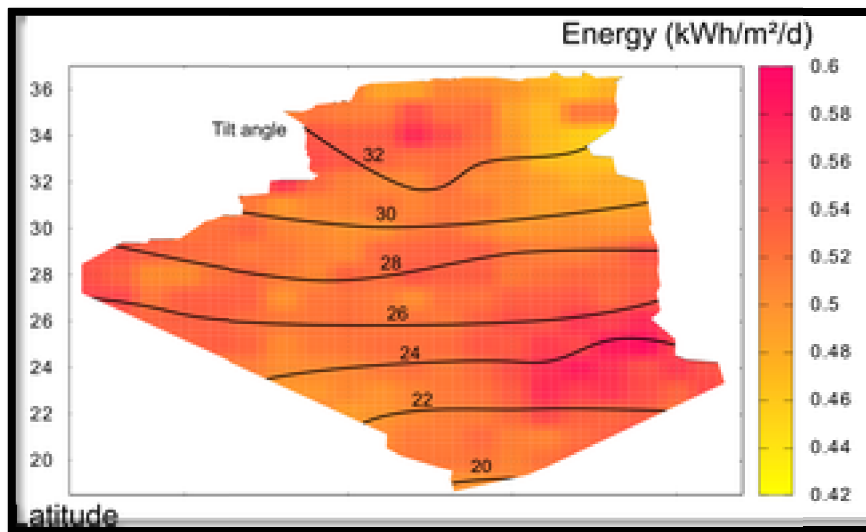


Figure 1-1: Carte de la production d'électricité injectée au réseau électrique pour l'Algérie [6].

Cela nous montre un index positif, mais c'est en fait un lourd fardeau surtout aux citoyens du sud à cause d'une panne éventuelle de courant continu et la difficulté d'atteindre certaines zones sans parler des factures élevées.

II.2 Le secteur résidentiel, premier consommateur d'énergie en Algérie

Selon l'Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (Aprue), le secteur du résidentiel est le premier consommateur d'énergie en Algérie, il absorbe 41% de la consommation totale d'énergie finale.

C'est un secteur non productif mais énergivore, puisqu'il consomme 41% de l'énergie finale, devançant le secteur agricole qui absorbe 33 % de l'énergie ainsi que le secteur industriel et celui des transports avec des taux respectifs de 19 % et 7 % [7].

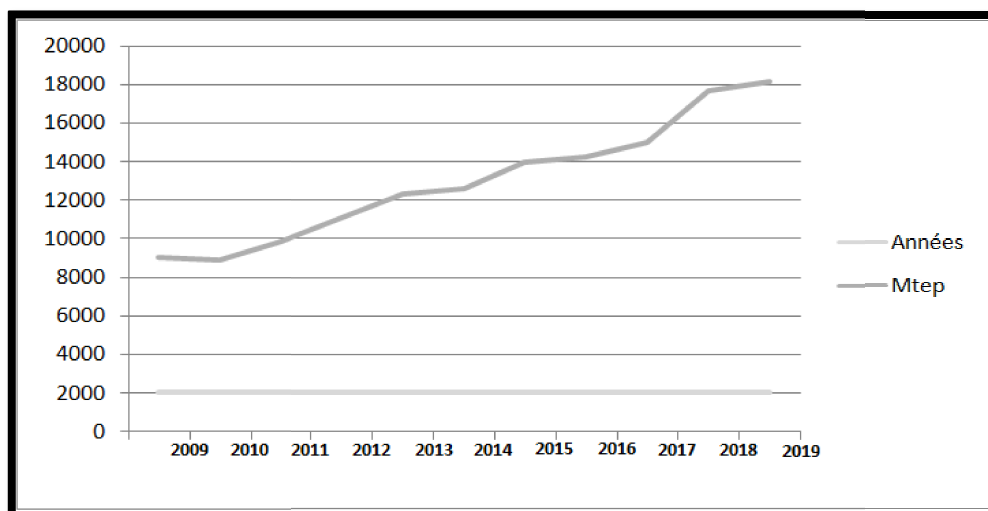


Figure 1-2 : Consommation d'énergie dans le secteur résidentiel algérien (2009-2019) [2].

III.1 Energies Nouvelles, Renouvelables et Maitrise de l'Energie

Le programme des énergies renouvelables actualisé consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de l'ordre de 22 000 MW à l'horizon 2030 pour le marché national, avec le maintien de l'option de l'exportation comme objectif stratégique, si les conditions du marché le permettent [2].

Le programme d'efficacité énergétique actualisé vise à réaliser des économies d'énergies à l'horizon 2030 de l'ordre de 63 millions de TEP, pour l'ensemble des secteurs (bâtiment, transport, industrie) et l'éclairage publique, grâce à l'introduction d'un éclairage performant, l'isolation thermique et les chauffe-eau solaires, les carburants propres (GPLc et GNc) et les équipements industriels performants [2].

Le programme de l'efficacité énergétique permettra de réduire les émissions de CO_2 de 193 millions de tonnes à l'horizon 2030.

III.2 Programme des énergies renouvelables

L'Algérie s'est engagée sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions globales et durables aux défis environnementaux et aux problématiques de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile à travers le lancement d'un programme ambitieux pour le développement des énergies renouvelables qui a été adopté par le Gouvernement en février 2011, révisée en mai 2015 et placée au rang de priorité nationale en février 2016, lors du Conseil Gouvernemental Restreint.

III.2.1 Potentiel des énergies renouvelables

➤ Potentiel solaire

En raison de sa localisation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara) [2].

L'énergie reçue annuellement sur une surface horizontale de 1 m² est près de 3 kWh/m² au nord et dépasse 5,6 kWh/m² au Grand Sud [2].

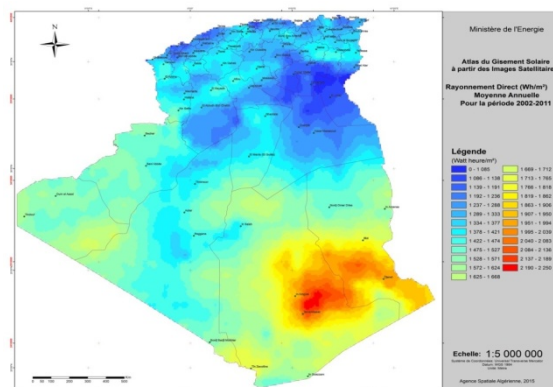
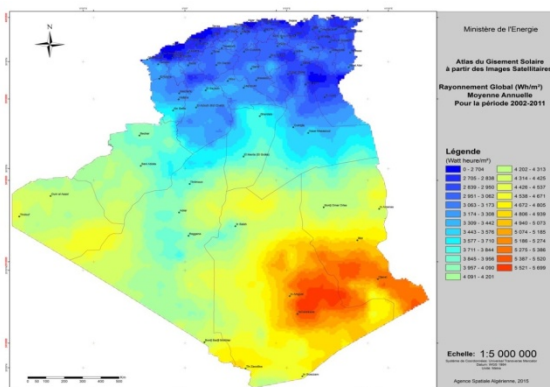


Figure 1-3: Carte de l'Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011) [2].

Figure 1-4: Carte de l'Irradiation Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011) [2].

➤ Potentiel éolien

La ressource éolienne en Algérie varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dû à une topographie et un climat très diversifiés. En effet, notre vaste pays, se subdivise en deux grandes zones géographiques distinctes. Le Nord méditerranéen qui est caractérisé, par un littoral de 1200 km et un relief montagneux, représenté par les deux chaînes de l'Atlas tellien et l'Atlas saharien [2].

Entre elles, s'intercalent des plaines et les hauts plateaux de climat continental. Le Sud, quant à lui, se caractérise par un climat saharien.

La carte représentée ci-dessous montre que le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement dans le Sud-Est, avec des vitesses supérieures à 7 m/s et qui dépassent la valeur de 8 m/s dans la région de Tamanrasset (In Amguel).

Concernant le Nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée. On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaïa et Annaba, sur les hauts plateaux de Tébessa, Biskra, M'sila et El Bayadh (6 à 7 m/s), et le Grand Sud (>8m/s).

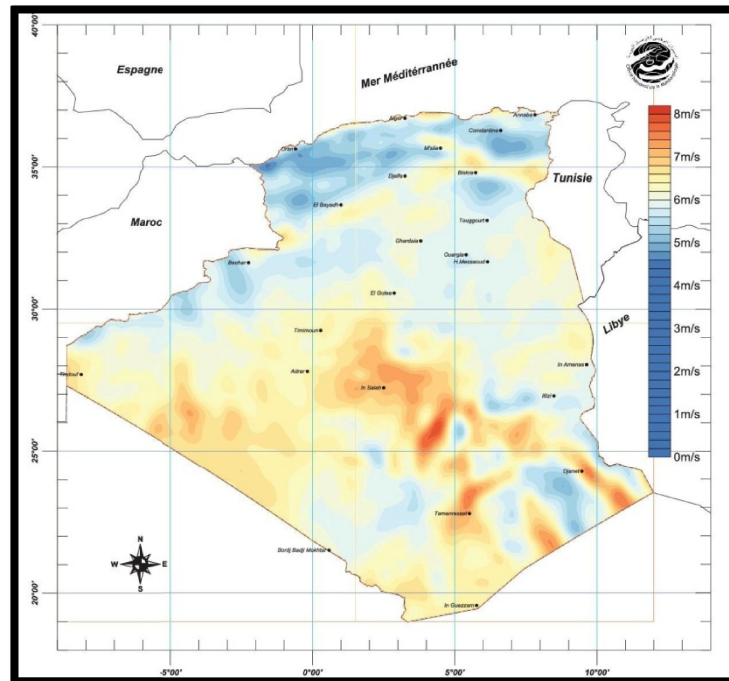


Figure 1-5: Carte du Vent Annuel Moyen à 50m (Période 2001-2010) [2].

➤ *Potentiel de l'Energie Géothermique*

La compilation des données géologiques, géochimiques et géophysique a permis d'identifier plus de deux cent (200) sources chaudes qui ont été inventoriées dans la partie nord du pays. Environ un tiers (33%) d'entre elles ont des températures supérieures à 45°C. Il existe des sources à hautes températures pouvant atteindre 118 °C à Biskra [2].

Des études sur le gradient thermique ont permis d'identifier trois zones dont le gradient dépasse les 5°C/100 m :

- Zone de Relizane et Mascara
- Zone d'Aïn Boucif et Sidi Aïssa
- Zone de Guelma et Djebel El Onk.

➤ *Potentiel Hydraulique*

Les quantités globales tombant sur le territoire algérien sont importantes et estimées à 65 milliards de m^3 , mais finalement profitent peu au pays : nombre réduit de jours de précipitation, concentration sur des espaces limités, forte évaporation, évacuation rapide vers la mer [2].

Schématiquement, les ressources de surface décroissent du nord au sud. On évalue actuellement les ressources utiles et renouvelables de l'ordre de 25 milliards de m^3 , dont environ 2/3 pour les ressources en surface.

103 sites de barrages ont été recensés. Plus de 50 barrages sont actuellement en exploitation [2].

III.2.2 Programme de développement des énergies renouvelables

A travers ce programme d'énergies renouvelables, l'Algérie compte se positionner comme un acteur majeur dans la production de l'électricité à partir des filières photovoltaïque et éolienne en intégrant la biomasse, la cogénération, la géothermie et au-delà de 2021, le solaire thermique. Ces filières énergétiques seront les moteurs d'un développement économique durable à même d'impulser un nouveau modèle de croissance économique.

37 % de la capacité installée d'ici 2030 et 27 % de la production d'électricité destinée à la consommation nationale, seront d'origine renouvelable [2].

Le potentiel national en énergies renouvelables étant fortement dominé par le solaire, l'Algérie considère cette énergie comme une opportunité et un levier de développement économique et social, notamment à travers l'implantation d'industries créatrices de richesse et d'emplois.

Cela n'exclut pas pour autant le lancement de nombreux projets de réalisation de fermes éoliennes et la mise en œuvre de projets expérimentaux en biomasse, en géothermie et en cogénération.

Les projets EnR de production de l'électricité dédiés au marché national seront menés en deux étapes:

Première phase 2015 - 2020 : Cette phase verra la réalisation d'une puissance de 4010 MW, entre photovoltaïque et éolien, ainsi que 515 MW, entre biomasse, cogénération et géothermie [2].

Deuxième phase 2021 - 2030 : Le développement de l'interconnexion électrique entre le Nord et le Sahara (Adrar), permettra l'installation de grandes centrales d'énergies renouvelables dans les régions d'In Salah, Adrar, Timimoun et Béchar et leur intégration dans le système énergétique national. A cette échéance, le solaire thermique pourrait être économiquement viable [2].

La stratégie de l'Algérie en la matière vise à développer une véritable industrie des énergies renouvelables associée à un programme de formation et de capitalisation des connaissances, qui permettra à terme, d'employer le génie local algérien, notamment en matière d'engineering et de management de projets. Le programme EnR, pour les besoins d'électricité du marché national, permettra la création de plusieurs milliers d'emplois directs et indirects.

◆ *Consistance du programme de développement des énergies renouvelables*

La consistance du programme en énergie renouvelables à réaliser pour le marché national sur la période 2015-2030 est de 22 000 MW, répartie par filière, est comme suit:

Unité : MW	à€: 1ère phase 2015-2020	2ème phase 2021-2030	TOTAL
Photovoltaïque	3 000	10 575	13 575
Eolien	1 010	4 000	5 010
CSP	-	2000	2 000
Cogénération	150	250	400
Biomasse	360	640	1 000
Géothermie	05	10	15
TOTAL	4 525	17 475	22 000

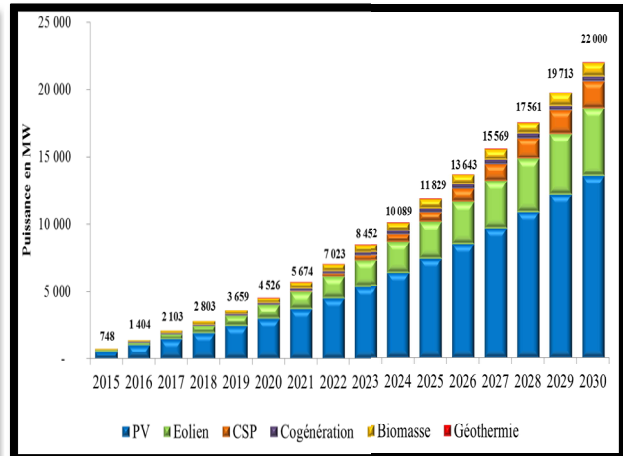


Tableau 1-1, Figure 1-6: Programme national en énergie renouvelables sur la période 2015-2030[2].

◆ Mesures incitatives

Sur le plan réglementaire, le ministère de l'énergie a procédé à l'adoption d'une série de mesures de soutien visant le développement des énergies renouvelables raccordées aux réseaux, à travers la mise en place d'un cadre juridique favorable et d'un Fonds National pour la Maîtrise de l'Énergie, pour les Énergies Renouvelables et la cogénération, CAS n°302-131 (FNMEERC) qui est alimenté annuellement de 1% de la redevance pétrolière et du produit de certaines taxes (telle que 55% de la taxe sur les activités de torchage).

Le cadre juridique, mis en place en 2013, pendant la 1^{ère} phase du lancement du programme national de développement des énergies renouvelables, était basé, notamment, sur le mécanisme des tarifs d'achat garantis (Feed-in Tarif), qui est de moins en moins pratiqué dans les pays développés.

Ce système garanti aux producteurs d'énergie renouvelable de bénéficier de tarifs leur octroyant une rentabilité raisonnable de leur investissement sur une durée d'éligibilité de 20 ans.

Les surcoûts engendrés par ces tarifs seront supportés par le FNMEERC au titre des coûts de diversification.

Dans ce cadre, le décret exécutif n°15-319, modifie et complète, fixant les modalités de fonctionnement du CAS 302-131 a été publié en décembre 2015.

Aussi, d'autres mesures incitatives sont prévues. Il s'agit de :

- Acquisition et mise à disposition des terrains éligibles à l'implantation de centrales EnR.
- Accompagnement dans tout le processus d'acquisition des autorisations nécessaires ;
- Identification du potentiel de toutes les régions concernées par les EnR.
- La construction de projets pilote dans chaque filière.
- Création d'organismes et de laboratoires d'homologation et de contrôle de la qualité et de la performance de composants, des équipements et procédés relatifs à la production d'électricité d'origine renouvelable et/ou aux systèmes de cogénération ;
- Accompagnement, par un plan de recrutement et de formation de techniciens, par les instituts de formation professionnelle et l'association des universités et organismes de recherche nationaux dans la recherche et la formation des ingénieurs

III.2.3 Projets et actions de la phase 2011-2014 du Programme national des énergies renouvelables (2011-2014)

La phase d'expérimentation du programme (2011-2014) a connu la réalisation de plusieurs projets et actions:

A. Centrales

A.1 Centrale Hybride Solaire-Gaz de 150 MW



Localité : Hassi R'mel (Laghouat).

Capacité : 150 MW.

Technologie :

- Système ISCC (Integrated solarCombined Cycle), 120 MW cycle combiné, 30 MW Solaire Thermique (CSP parabolique) ;
- Système HTF (Heat TransfertFluide) 393°C;
- Système de poursuite du soleil (Trackeur).

Mise en service : juillet 2011.

Figure 1-7 : Centrale Hybride Solaire-Gaz de 150 MW [2].

A.2 Ferme Eolienne de 10MW



Localité : Kabertène (ADRAR).

Capacité : 10,2 MW.

Technologie : Gamesa 850 KW (12 x 850 KW).

Mise en service : juin 2014.

Figure 1-8 : Ferme Eolienne de 10MW [2].

A.3 Centrale Pilote Photovoltaïque d'Oued N'Chou 1,1 MWc



Localité : Oued N'chou (Ghardaïa).

Capacité : 1 131 816 Wc.

Technologie : huit sous champs des quatre technologies (Monocristallin, polycristallin, amorphe et couche mince CdTe) montées sur des structures fixes et motorisées.

Mise en service : juin 2014.

Figure 1-9 : Centrale Pilote Photovoltaïque d'Oued N'Chou 1,1 MWc [2].

A.4 Projet de 343 MWc en centrales photovoltaïques



Figure 1-10 : Capacité Installée [2].

Wilaya	Localité	(MW)	Mise en Service
ILLIZI	Djanet	03	19/02/2015
ADRAR	Adrar	20	28/10/2015
ADRAR	Kabertene	03	13/10/2015
TAMANRASSET	Tamanrasset	13	03/11/2015
TINDOUF	Tindouf	09	14/12/2015
ADRAR	Zaouiet.Kounta	06	11/01/2016
ADRAR	Reggane	05	28/01/2016
ADRAR	Timimoun	09	07/02/2016
TAMANRASSET	In-Salah	05	11/02/2016
ADRAR	Aoulef	05	07/03/2016
LAGHOUAT	El Khnag (I)	20	08/04/2016
LAGHOUAT	El-Khnag (II)	40	26/04/2017
DJELFA	Ain-El-Ibel (I)	20	08/04/2016
DJELFA	Ain-El-Ibel (II)	33	06/04/2017
SOUKAHRAS	Oued El Keberit	15	24/04/2016
NAAMA	Sedrate Leghzal	20	03/05/2016
SAIDA	Ain-Skhouna	30	05/05/2016
SIDI-BEL-ABBES	Telagh	12	29/09/2016
EL BAYADH	Biodh Sidi Chikh	23	26/10/2016
M'SILA	Ain-El-Melh	20	26/01/2017
OUARGLA	El-Hdjira	30	16/02/2017
BATNA	Oued El-Ma	02	16/01/2018

Tableau 1-2: Projet des centrales photovoltaïques en Algérie [2].

B. Etudes

- Actualisation de l'atlas éolien national, en collaboration avec l'Office National de Météorologie (ONM) ;
- Identification des sites éligibles à l'implantation de fermes éoliennes dans la zone de Touggourt, Hassi Messaoud et Ghardaïa, en collaboration avec le Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) ;
- Elaboration de l'Atlas Solaire de l'Algérie, en collaboration avec l'Agence Spatiale Algérienne (ASAL).
- Identification d'un ensemble de sites à haut potentiel solaire pouvant accueillir des centrales électriques solaires, en collaboration avec l'Agence Spatiale Algérienne (ASAL) ;
- Impact de l'intégration des énergies renouvelables sur le réseau électrique algérien, Sonelgaz en collaboration avec RES4MED/CESI [2].

III.3 Efficacité énergétique

III.3.1 Programme national d'efficacité énergétique

Le programme d'efficacité énergétique obéit à la volonté de l'Algérie de favoriser une utilisation plus responsable de l'énergie et d'explorer toutes les voies pour préserver les ressources et systématiser la consommation utile et optimale.

L'objectif de l'efficacité énergétique consiste à produire les mêmes biens ou services, mais en utilisant le moins d'énergie possible. Ce programme comporte des actions qui privilégient le recours aux formes d'énergie les mieux adaptées aux différents usages et nécessitant la modification des comportements et l'amélioration des équipements.

Ce programme prévoit l'introduction des mesures d'efficacité énergétique dans les trois secteurs du bâtiment, de transport et de l'industrie et aussi l'encouragement de la création d'une industrie locale de fabrication des lampes performantes, des chauffe-eau solaires, des isolants thermiques par l'encouragement de l'investissement local ou étranger.

III.3.2 Plan d'Action en Matière d'Efficacité Energétique

L'efficacité énergétique est appelée à jouer un rôle important dans le contexte énergétique national, caractérisé par une forte croissance de la consommation tirée, notamment, par le secteur domestique avec la construction de nouveaux logements, la réalisation d'infrastructures d'utilité publique et la relance de l'industrie.

La réalisation de ce programme par une diversité d'actions et de projets, devrait favoriser l'émergence, à terme, d'un marché durable de l'efficacité énergétique en Algérie.

Les retombées économiques et sociales de l'intégration de la dimension efficacité énergétique dans les différents secteurs d'activité sont multiples. Cette intégration permet d'améliorer le cadre de vie du citoyen mais constitue, également, une réponse appropriée au défi de conservation de l'énergie avec ses implications bénéfiques sur l'économie nationale, en termes de création d'emplois et de richesse, en plus de la préservation de l'environnement.

Le programme se focalise sur les secteurs de consommation qui ont un impact significatif sur la demande d'énergie. Il s'agit principalement du bâtiment, du transport et de l'industrie.

III.3.3 Pour le secteur du bâtiment

Le programme vise à encourager la mise en œuvre de pratiques et de technologies innovantes, autour de l'isolation thermique des constructions existantes et nouvelles. Des mesures adéquates seront prévues au niveau de la phase de conception architecturale des logements.

Il s'agit également de favoriser la pénétration massive des équipements et appareils performants sur le marché local, notamment les chauffe-eau solaires et les lampes économiques: l'objectif étant d'améliorer le confort intérieur des logements en utilisant moins d'énergie.

La mise en place d'une industrie locale des isolants thermiques et des équipements et appareils performants (chauffe-eau solaires ; lampes économiques) constitue l'un des atouts pour le développement de l'efficacité énergétique dans ce secteur.

Globalement, ce sont plus de **30 millions de TEP** qui seront économisés, d'ici 2030 répartis comme suit :

- 1- Isolation thermique : l'objectif est d'atteindre un gain cumulé évalué à plus de 7 millions de TEP ;
- 2- Chauffe -eau solaire : l'objectif est de réaliser une économie d'énergie à plus de 2 millions de TEP ;
- 3- Lampe basse consommation (LBC) : Les gains en énergie escomptés, à l'horizon 2030 sont estimés à près de 20 millions de TEP ;
- 4- Eclairage public : l'objectif est de réaliser une économie d'énergie de près de un (01) million de TEP, à l'horizon 2030 et d'alléger la facture énergétique des collectivités.[2]

Conclusion

En résumé, la concrétisation sur le terrain du programme national d'efficacité énergétique permettra de réduire graduellement la croissance de la demande énergétique. Ainsi, les économies d'énergie cumulées engrangées seraient de l'ordre de 93 millions de TEP, dont 63 millions de TEP d'ici 2030 et le reste au-delà de cet horizon.

C'est dire toute l'importance que revêt ce programme d'économies d'énergie qui implique la concrétisation d'un certain nombre de mesures avec, notamment, l'implication des parties concernées, dont l'industrie publique et privée et l'adaptation du cadre juridique régissant l'efficacité énergétique.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons les notions de confort thermique dans l'habitat et les solutions bioclimatiques pour l'assurer.

Chapitre 02: Les solutions passives et actives pour assurer le confort thermique

1.1 Introduction

La notion de confort thermique est le plus souvent appliquée à l'être humain, bien qu'elle puisse s'appliquer à tout être vivant. En effet, la vie - et spécialement l'activité métabolique assurant les fonctions vitales - n'est possible que dans une certaine plage de température, qui varie d'une espèce à l'autre. Il existe cependant des conditions d'ambiance optimales qui seront ressenties par l'individu comme celle d'un état de confort thermique.

Sur un plan physique, le confort thermique correspond à un état d'équilibre thermique entre le corps humain et les conditions d'ambiance. Il dépend de la sensibilité, de l'habillement, du métabolisme et de l'activité physique de chaque individu, d'une part, mais aussi de la température de l'environnement (air, parois), des mouvements d'air, et de l'humidité, d'autre part. Au-delà d'un certain niveau de déséquilibre, l'individu va ressentir de l'inconfort, notamment parce qu'il va devoir réagir pour réduire ce déséquilibre.

Nous nous intéressons dans ce chapitre à la définition du confort thermique dans l'habitat et les solutions bioclimatiques pour l'assurer.



1.2 Le confort thermique

Le confort thermique se définit comme la satisfaction ressentie dans une ambiance thermique.

Pour qu'une personne se sente confortable, trois conditions doivent être réunies :

- Le corps doit maintenir une température interne stable.
- La sudation ne doit pas être trop abondante et la température moyenne de la peau doit être confortable.
- Aucune partie du corps ne doit être trop chaude ni trop froide (inconfort local).

Si le confort thermique est souhaitable, il est souvent difficile de l'obtenir dans plusieurs milieux de travail.

Les paramètres influençant le confort thermique :

- La température intérieure du local et sa distribution dans l'espace et le temps dans la zone de séjour au milieu du local à 1.5 m du sol.
- La température superficielle des parois du local (ou la température moyenne des parois)
- L'humidité relative dans l'air du local.
- La valeur de la vitesse de l'air et sa direction par rapport aux personnes à l'intérieur du local dans la zone de séjour.
- La pureté de l'air [8].

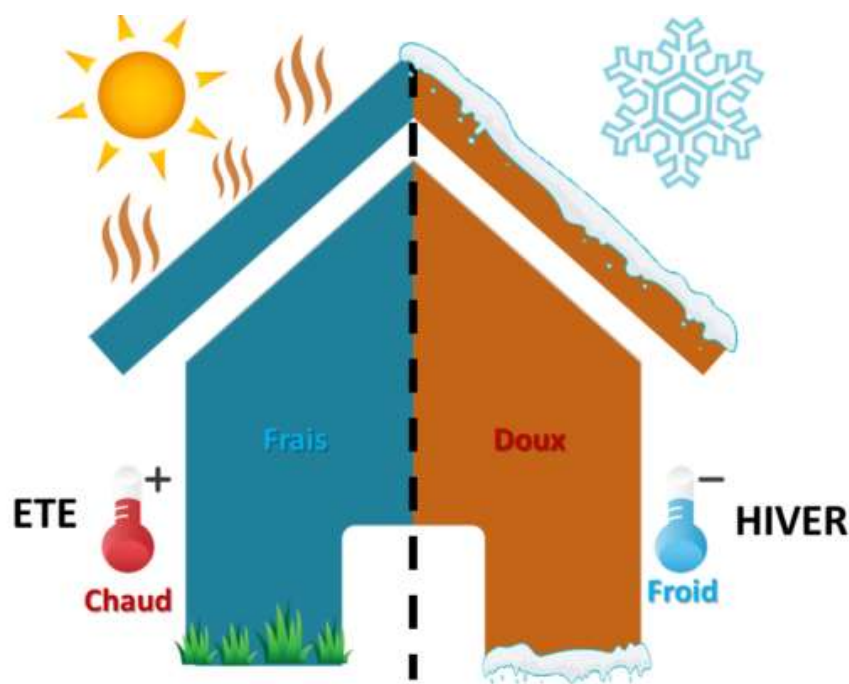


Figure 2-1: La notion de confort thermique en image [8].

1.3 Le confort thermique d'une mosquée

Dans les régions climatiques difficiles, les mosquées doivent être mécaniquement climatisées pour obtenir le confort thermique requis pour les fidèles. Les mosquées se caractérisent par un calendrier de fonctionnement unique par rapport aux autres types de bâtiments. Elles sont généralement occupées cinq fois par jour par intermittence toute l'année, chaque occupation variant en moyenne d'une fraction d'heure à une heure.

Les gens n'arrivent généralement pas à la mosquée ou ne la quittent pas exactement à la même heure pendant cette heure, mais plutôt au hasard et, par conséquent, une occupation maximale devrait se produire pendant l'exécution réelle de chaque prière qui dure environ 15 à 20 minutes. Certaines exceptions à ce modèle d'utilisation sont la prière hebdomadaire (vendredi) et la prière Taraweeh pendant les nuits du mois de Ramadan ainsi que lors d'autres occasions spéciales telles que les conférences et les séminaires où les gens ont tendance à rester plus longtemps dans la mosquée [9].



Figure 2-2 : L'entrée et la sortie des fidèles en même temps [4].

II. Le besoin énergétique des mosquées en Algérie

II.1 Exemple de la wilaya de Constantine

De l'aveu même des responsables de la société de distribution de gaz et d'électricité de l'est SDE (Sonelgaz), les mosquées de la wilaya de Constantine consomment autant d'énergie électrique qu'une ville moyenne. Selon les statistiques de le SDE, la facture de ces lieux de culte s'élèverait pour les trois dernières années à 9 milliards de centimes environ, ce qui

relève de l'absurdité selon les mêmes responsables qui dénoncent un gaspillage démesuré. Le coût de la consommation annuelle d'électricité pour les mosquées énergivores équivaut aux besoins énergétiques d'une ville entière. Les imams et responsables des affaires religieuses dans cette wilaya on, indirectement, imputé ce fait à l'incivisme des fidèles et autres personnes fréquentant les mosquées durant les canicules.

Rappelons que la facture d'électricité supportée par les budgets locaux est de 27 milliards de dinars annuellement. 56% de cette facture est consommé par l'éclairage public, 11% par les mosquées, 10% par les forages, 9% par les écoles et 8% par les établissements administratifs [3].



Figure 2-3: Lampes allumées en plein jour dans la mosquée [3].

II.2 L'audit énergétique de la mosquée

L'audit énergétique est un processus nécessaire pour identifier et quantifier les économies d'énergie et de coûts qui peuvent être réalisées en investissant dans des mesures d'économie d'énergie. L'audit énergétique sert à identifier tous les flux d'énergie dans une installation et à quantifier la consommation d'énergie selon des fonctions discrètes [10].

Une approche systématique de l'audit énergétique dans les mosquées a été développée pour fournir un compte rendu précis et pratique de la consommation et des performances énergétiques des mosquées. L'approche propose une procédure étape par étape qui prend en compte la diversité des types de mosquées, le caractère unique de la conception des mosquées et les types et le fonctionnement des systèmes énergétiques.

Chapitre 02: Les solutions passives et actives pour assurer le confort thermique

Afin de collecter des informations pertinentes auprès des mosquées lors des enquêtes de terrain, un formulaire spécial d'audit énergétique a été élaboré. Les informations recueillies pour chaque mosquée ont été classées dans les grandes catégories suivantes: informations générales; alentours; données physiques de la mosquée; zonage; informations de construction; système de fenêtre; système d'éclairage; Système A / C; système de circulation d'air; système d'eau chaude; source de courant; et une zone pour les commentaires supplémentaires [11].

Mosque "ENERGYAUDIT" Form

Date:-----, AuditTeamMembers:1. ----- 2. -----

- **GENERAL INFORMATION**
 - City : -----
 - NeighbourhoodA : -----
- **SURROUNDINGS** [Show necessary information on plan sketch]
 - North: ----- South :----- East :----- West:-----
 - The mosque was renovated recently :NoΔYesΔ, Year of renovation: ----
:NoΔYesΔ
- **MOSQUE PHYSICAL DATA**
 - Mosque Dimensions (WxL xH) m (as measured): W: ----- L: ----- H:-----
Number of Structural Modules :-----
- **ZONING** [Show different zones on plan sketch]
 - Jumah, "Friday" Mosque :NoΔYesΔ
 - Closed/Open Court :NoΔYesΔ, Air-conditioned:NoΔYesΔ Area, m²----
- **WINDOW SYSTEM**
 - , Typical Size (WxL): -----, -----
 - Number of Windows Type :OperableΔ FixedΔ
:NoneΔVenetian BlindsΔCurtains ΔOthers,-----
 - Number of Entrances to Air-conditioned Areas: -----
- **LIGHTING SYSTEM**
 - :Fluorescent ΔIncandescentΔOther-----
 - Number of Interior Units/Lamps :-----, -----, -----
 - Lighting Voltage :220Δ110Δ
- **HVAC SYSTEM**
 - A/C Type :CentralΔSplit unitsΔFan-Coil UnitsΔWindow unitsΔOther:--
 - Number of units: -----, -----, -----, -----, -----
 - A/C Voltage: 220 Δ110 Δ, Location: [Indicate Location of A/C Unit on Plan Sketch]
 - Type :Ceiling FansΔfixed on the WallΔStand-alone floor FansΔ
- **HOT WATER SYSTEM**
 - Number of Hot Water Heaters : -----, -----, -----
- **POWER SUPPLY**
 - : NoΔYesΔ, Number: Location:
[Indicate on Plan Sketch]
- Electricity Consumption Meter(s): No ΔYesΔ, Number:-----

Figure 2-4: Principaux et sous-composants du formulaire d'audit énergétique de la mosquée [11].

II.3 Les mosquées vertes en Algérie

Le ministère de l'intérieur et des collectivités locales a programmé pour 2020 la réalisation d'une centaine de mosquées fonctionnant à l'énergie propre.

Le service des projets d'énergie renouvelable au niveau du ministère de l'Intérieur, a lancé en 2019, un programme d'une mosquée verte par wilaya [9].

Les responsables du ministère de l'Intérieur estiment que cet objectif pourra être facilement réalisé par les collectivités locales et, dans le fond, il vise à déclencher un effet d'entraînement et d'exemplarité, qui va pousser à la réalisation d'autres projets dans une même wilaya.

L'objectif de ce projet pilote est de donner l'exemple afin d'inciter les constructeurs des mosquées à utiliser des équipements liés à l'énergie renouvelable. Les responsables du ministère de l'Intérieur, comptent ; à l'avenir, exiger de ceux qui construisent les mosquées d'introduire des équipements d'énergie propre comme condition pour la délivrance des permis de construction. Ceci leur permettra aussi de bénéficier d'une subvention de l'Etat [9].

Outre le programme des mosquées vertes, le ministère de l'Intérieur a prévu des projets visant à faire baisser considérablement la facture d'électricité des collectivités locales.

Ainsi, un programme de réalisation de l'éclairage public utilisant de l'énergie solaire sera lancé l'année prochaine. Des lampes et luminaires performants seront utilisés avec des variateurs de tension et des capteurs de présence pour réduire au minimum la consommation électrique [9].

Aussi, est-il programmé de réaliser des projets d'électrification photovoltaïque dans les zones isolées. L'objectif est d'assurer de l'énergie des services de base au profit des populations des zones isolées non électrifiées.

III. La solution bioclimatique passive

III.1 L'implantation et l'orientation

L'objectif est de récupérer au maximum les apports solaires passifs en hiver et de les réduire en été pour respecter le confort d'été. La bonne règle : le maximum de fenêtres sera orienté au sud.

Il vaut mieux éviter les expositions directes est et ouest qui suivent la courbe du soleil qui occasionne le plus souvent des « surchauffes » et un inconfort visuel. Au nord, Il faudra limiter les ouvertures afin de minimiser les déperditions thermiques du bâtiment. De manière générale, il est conseillé de respecter un ratio de surface vitrée d'environ 20% de la surface habitable, répartie comme suit : 50% au sud, 20 à 30% à l'est, 20% à l'ouest et 0 à 10% au nord, comme le montre la figure 2-5.

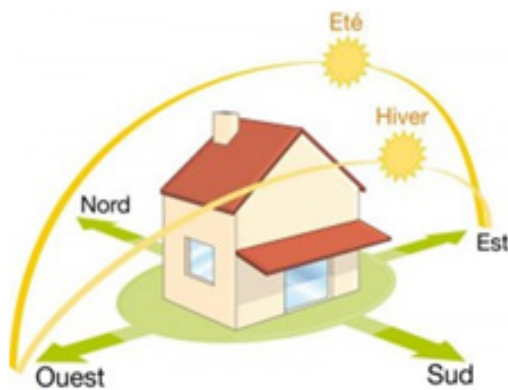


Figure 2-5: La règle de l'orientation de la maison [12].

Cette règle est très importante car la bonne maîtrise des apports solaires peut représenter un gain gratuit de 15 à 20% de besoins d'énergie (réduction de la consommation) [12].

III.2 La forme et la compacité

Le choix de la compacité du bâtiment est une source très importante d'économie aussi bien en énergie qu'en investissement. Les pertes de chaleur sont en fonction de la surface des parois en contact avec l'extérieur ou avec le sol : pour un même volume et une même surface, une habitation plus compacte consomme moins d'énergie [13].

Bien sûr, la conception bioclimatique n'a pas pour objectif l'hyper-compacité. Il est cependant important de savoir, lors de la conception d'une habitation, que toute diminution de la compacité génère automatiquement des consommations d'énergie et des coûts d'investissement plus élevés.

Un bâtiment compact est un bâtiment qui a un rapport faible entre la surface des parois extérieures et la surface habitable. Sans brider la conception architecturale, il est plus économique et bénéfique pour l'efficacité thermique de retenir des formes plutôt compactes. Les pertes sont donc d'autant plus réduites que ces surfaces sont optimisées par rapport aux volumes habitable. La réduction des décrochés de façades et l'optimisation de la compacité du bâtiment sont les clés de la réussite d'un projet sur le plan énergétique.

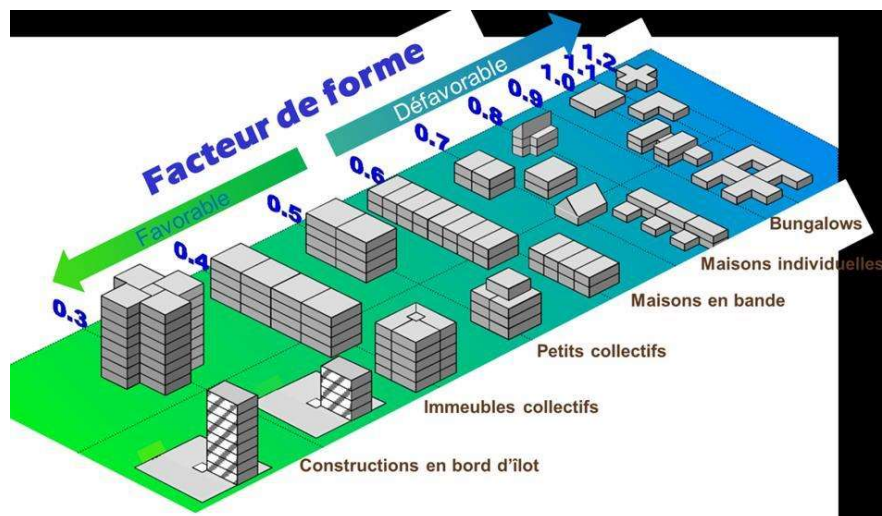


Figure 2-6: Facteur de forme favorable et défavorable pour le bâtiment [14].

III.3 La distribution intérieure

Le zonage d'un habitat permet d'adapter des ambiances thermiques appropriées à l'occupation et l'utilisation des divers espaces.

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.

Les pièces occupées en permanence durant la journée devraient de préférence être orientées au sud. Les chambres seront plutôt situées au sud et à l'est, profitant du lever du soleil. Elles garderont ainsi leur fraîcheur en fin de journée. Il faudra veiller à limiter dans la cuisine les apports solaires sur les vitrages sud-ouest, souvent générateurs de surchauffe. Une véranda placée au sud permet, tout en apportant de la chaleur en hiver, de créer un espace intermédiaire entre l'intérieur et l'extérieur..., comme dans l'exemple illustré à la figure 2-7 [14].

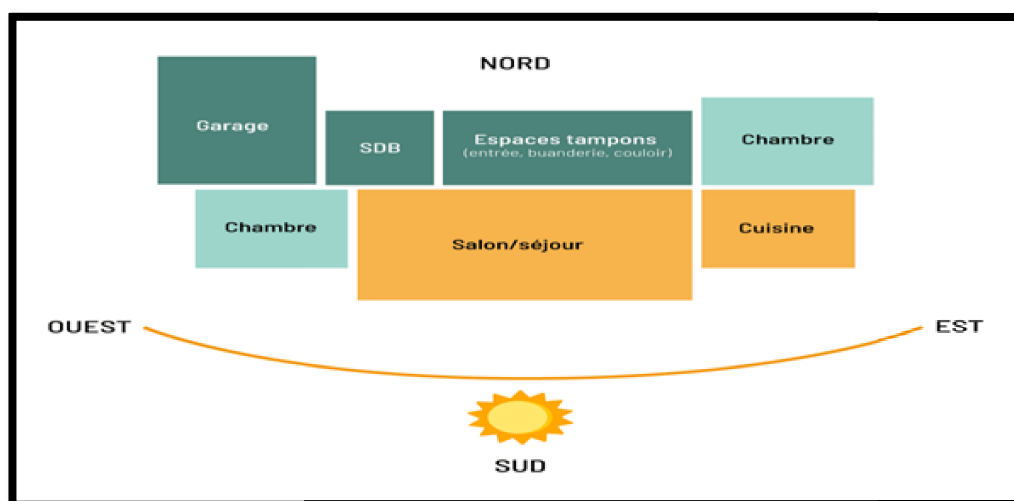


Figure 2-7: Exemple de disposition bioclimatique des pièces [14].

III.4 Isolation thermique

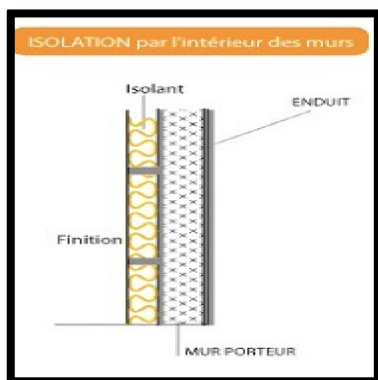
La Palice dirait qu'un matériau isolant thermique est un matériau à basse conductivité thermique apparente. Avec épaisseur relativement faible, il présente une résistance thermique suffisante pour les besoins envisagés. C'est donc un matériau qui transmet mal la chaleur, que ce soit par conduction, convection ou rayonnement.

Dans le bâtiment, l'aspect économique est primordial: c'est l'air immobilisé qui est l'isolant utilisé dans le bâtiment. L'air est immobilisé dans des mousses ou entre des fibres. Les parois des alvéoles des mousses, ainsi que les fibres, font aussi écran au rayonnement [15].

L'isolation thermique a trois fonctions principales dans un logement. La première consiste à augmenter le confort thermique en hiver comme en été. La deuxième est de minimiser la consommation énergétique pour le chauffage et / ou la climatisation. Alors que la troisième est de rendre l'habitat plus écologique en diminuant les pollutions liées au rejet des gaz à effet de serre dans l'atmosphère [16].

Il existe trois types d'isolation thermique :

➤ L'isolation intérieure

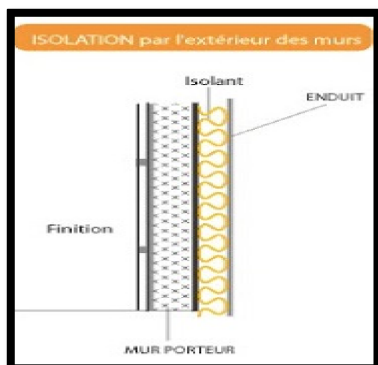


Le principe d'une isolation des murs par l'intérieur consiste à renforcer la résistance thermique d'un bâtiment grâce à l'ajout de matériaux isolants de l'intérieur.

Alors que ses inconvénients sont plus importants car elle diminue l'espace habitable, supprime les bienfaits de l'inertie thermique, provoque la condensation des parois et n'élimine pas les ponts thermiques comme illustré dans la figure 2-8 [16].

Figure 2-8: Isolation par l'intérieur des murs [16].

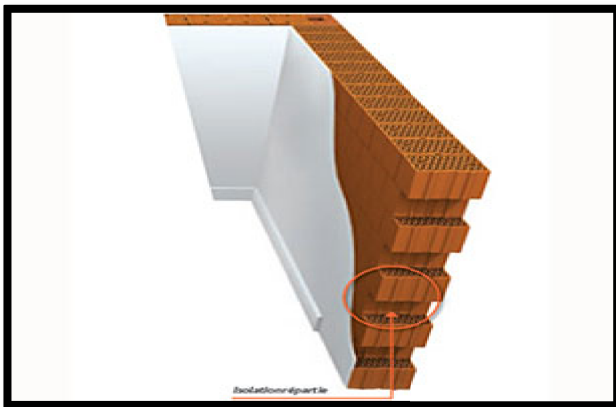
➤ L'isolation extérieure



Elle consiste à installer l'isolant sur la surface extérieure du mur. C'est souvent la solution la plus coûteuse mais aussi la plus performante. Elle constitue la meilleure isolation pour le confort d'été et d'hiver car elle permet de conserver l'inertie thermique forte des murs intérieurs et supprime les ponts thermiques.

Figure 2-9: Isolation par l'extérieur des murs [17].

➤ L'isolation répartie



Elle est caractérisée par l'utilisation de l'isolation en tant que matériau de construction. Son rôle majeur est la stabilité de la construction, le remplissage et l'isolation en même temps [16].

Figure 2-10 : Isolation répartie des murs [16].

III.5 L'inertie thermique

L'inertie thermique est la capacité d'un matériau à stocker l'énergie, traduite par sa capacité thermique. Plus l'inertie est élevée et plus le matériau restitue des quantités importantes de chaleur (ou de fraîcheur). Elle est utilisée en construction pour atténuer les variations de température extérieure, et permet de limiter un refroidissement ou une surchauffe trop importante à l'intérieur.

La variation extérieure est due aux amplitudes thermiques du climat et aux effets du rayonnement solaire sur les parois d'enveloppe externe. En face de cette variation, l'inertie thermique agissante sera l'inertie thermique de transmission, celle qui s'oppose au transfert du flux à travers la paroi et ce sont les parois d'enveloppe exclusivement qui sont concernées.

La variation intérieure due à l'intermittence des sources de chaleur interne et à la pénétration solaire par les baies (systèmes passifs à apports directs) face à laquelle on invoquera l'inertie par absorption et où les parois concernées sont toutes les parois internes y compris les planchers et le cloisonnement [28].

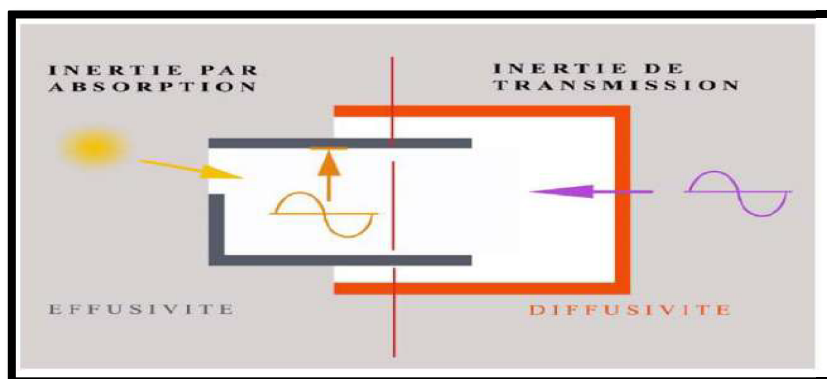


Figure 2-11: L'inertie thermique des murs [18].

III.6 La ventilation

La ventilation contribue au confort et à la qualité de l'air en évacuant les polluants (odeurs, humidité, produits de combustion des appareils de chauffage, microbes, etc.) et en satisfaisant les besoins en oxygène. Elle participe également à préserver le bâti en évitant les désordres dus à une aération insuffisante qui provoque la condensation et le développement de moisissures [19].

Il existe deux types de ventilation :

➤ *Ventilation naturelle*

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. Cette technique est assurée par deux ouvertures, l'une basse par laquelle entre l'air frais extérieur et l'autre haute par laquelle s'échappe l'air intérieur vicié, ceci par effet thermosiphon [19].

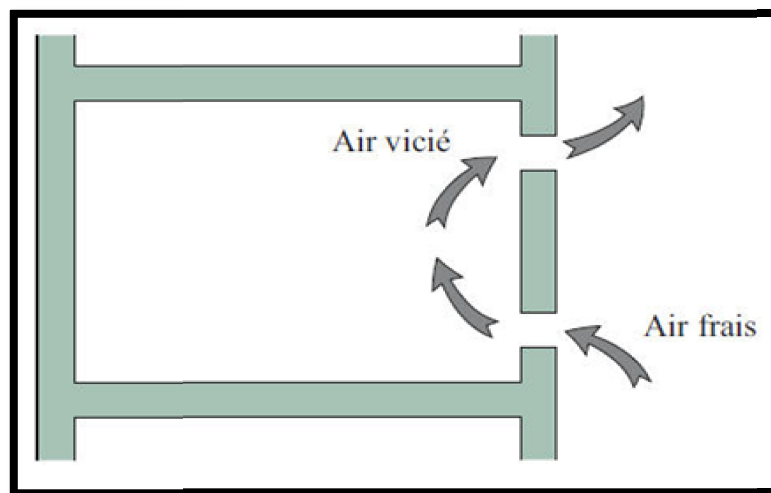


Figure 2-12: Principe de la ventilation naturelle [19].

➤ *Ventilation mécanique*

Pour maîtriser l'extraction de l'air vicié, des systèmes de « ventilation mécanique Contrôlée » (VMC) sont utilisés. Les systèmes à simple flux permettent l'extraction de l'air vicié par un ventilateur placé en toiture sur une gaine collective. Des gaines de distribution relient la gaine collective aux bouches d'extraction situées dans les pièces d'eau et la cuisine. Dans les systèmes à double flux, l'air frais est introduit par soufflage dans les pièces au moyen de gaines et d'un ventilateur.

Les calories de l'air extrait sont récupérées par l'intermédiaire d'échangeurs statiques (le plus souvent des échangeurs à plaques). La ventilation mécanique contrôlée double flux permet également d'éviter les entrées directes du bruit extérieur [19].

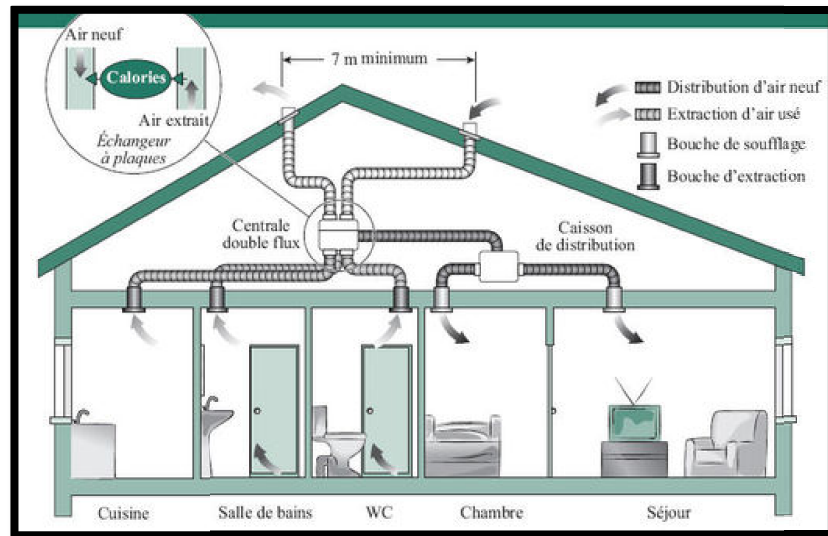


Figure 2-13: Principe de la ventilation mécanique [19].

III.7 Surfaces vitrées

Autrefois, la taille des fenêtres était limitée pour éviter les déperditions excessives en hiver. Aujourd'hui, avec des fenêtres performantes équipées de volets efficaces, cet aspect s'atténue considérablement.

Les caractéristiques nécessaires d'une fenêtre sont:

- Éclairage et occultation.
- Vue dehors (ouverture visuelle).
- Pénétration du soleil et protection solaire (gain solaire).
- Étanchéité et ventilation.

Le composant de construction le plus utilisé par l'énergie solaire passive est la fenêtre. C'est l'élément de captage le plus répandu. Les fenêtres apportent à la fois chaleur et lumière et permettent d'accumuler directement et très simplement la chaleur.

Au cours d'une année, la perte d'énergie, pour la plupart des fenêtres, est plus importante que le gain en énergie. Les fenêtres à haut rendement thermique peuvent réellement fournir de l'énergie utile, elles ont un meilleur rendement en termes d'énergie utile annuelle que les parois isothermes les mieux isolées [13].



Figure 2-14: Surface vitrée [13].

III.8 La végétation

La végétation clarifie et met en valeur l'espace urbain. Elle assure la protection contre les vents, les radiations solaires et l'éblouissement. Elle influence aussi le climat local, où les recherches montrent qu'il y a une différence de température de 3,5 °C entre la ville et la banlieue. D'autant plus que la minéralisation des sols et la réduction du couvert végétal perturbent le bilan hydrique et raréfient l'eau sous toutes ses formes et privent la ville du refroidissement naturel par la consommation de chaleur latente. Certaines plantes peuvent aussi contribuer à la purification de l'air. Le lierre et la sansevière par exemple absorbent le benzène (10 µg par cm² de feuille), ainsi que le formaldéhyde (2 à 3 µg par cm² de feuille). Les plantes servent également de filtre contre les poussières en humidifiant l'ambiance, un ficus par exemple peut émettre de 10 à 20 g d'eau par heure. Par ailleurs, les jeunes arbres captent plus efficacement le carbone et favorisent son stockage [20].



Figure 2-15: La végétation [20].

IV. La solution active

IV.1 Le panneau solaire

Un panneau solaire est un dispositif convertissant une partie du rayonnement solaire en énergie thermique ou électrique, grâce à des capteurs solaires thermiques ou photovoltaïques respectivement, le principe de leur fonctionnement est illustré dans les figures suivantes [5].

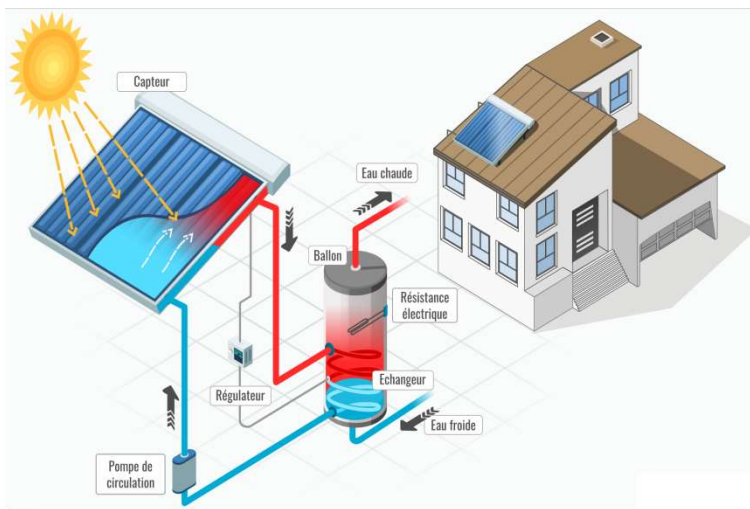


Figure 2-16: Principe de fonctionnement du capteur solaire thermique [21].

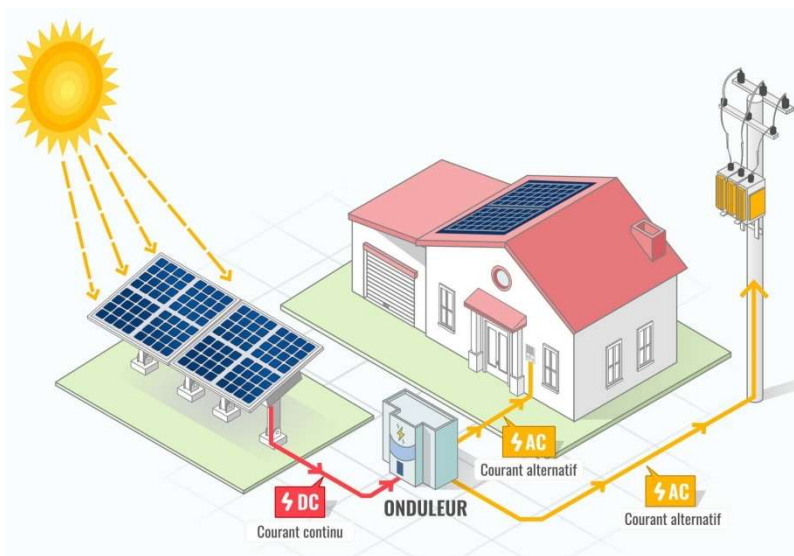


Figure 2-17 : Principe de fonctionnement du capteur solaire photovoltaïque [21].

IV.2 La pompe à chaleur

La pompe à chaleur (parfois appelée PAC) est un appareil qui utilise un dispositif thermodynamique, qui permet de transférer de la chaleur provenant d'un milieu froid vers un lieu à chauffer. Autrement dit, c'est le contraire d'un réfrigérateur [22].

Les pompes à chaleur permettent de chauffer un logement grâce aux calories contenues dans la terre, l'eau, l'air qui nous entoure. Il existe donc de multiples combinaisons différentes de pompes à chaleur, suivant la source de la chaleur pompée à la source froide, et suivant l'endroit où cette chaleur extraite est ensuite restituée à la source chaude. Celle-ci peut également être de différents types de milieu [22].

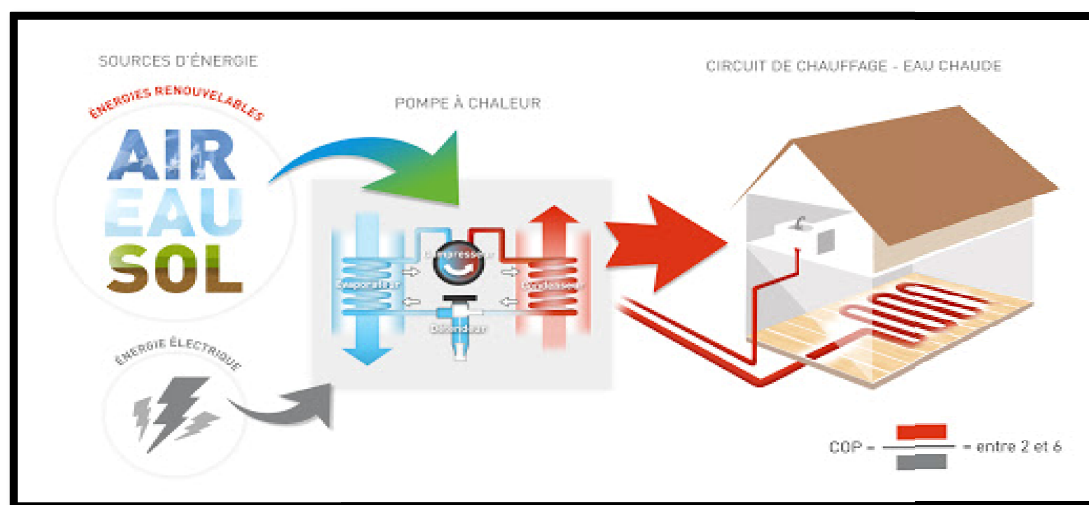


Figure 2-18: Principe de fonctionnement de la pompe à chaleur [22].

IV.3 Le puits canadien

Le puits canadien consiste à faire passer, avant qu'il ne pénètre dans la maison, une partie de l'air neuf de renouvellement par des tuyaux enterrés dans le sol, à une profondeur de l'ordre de 1 à 2 mètres.

En hiver, le sol à cette profondeur est plus chaud que la température extérieure. L'air froid est alors préchauffé lors de son passage dans ce circuit souterrain [23].

En été, de la même manière, l'air passant dans les tubes enterrés récupère la fraîcheur du sol et l'introduit dans la maison, même par +30 °C extérieur, l'air peut arriver entre 15 et 20 °C. Dans ce cas, le puits canadien est appelé puits provençal [23].

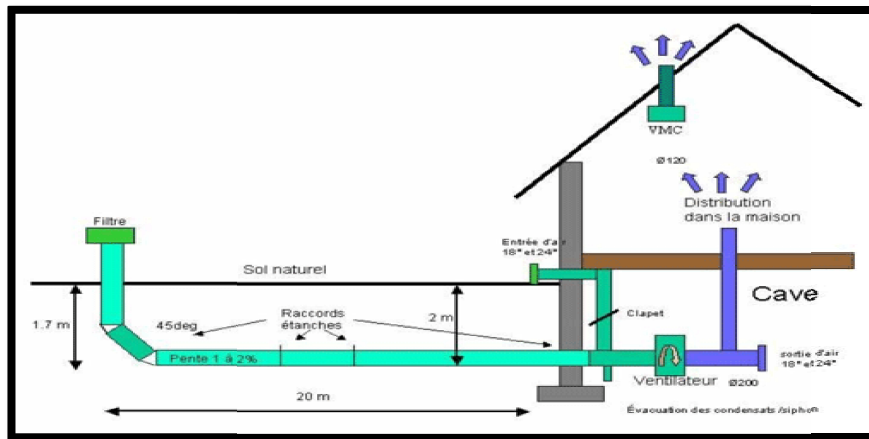


Figure 2-19: Principe de fonctionnement d'un puits canadien [23].

IV.4 Eolienne

Une éolienne est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, dite énergie éolienne, laquelle est ensuite le plus souvent transformée en énergie électrique. Les éoliennes produisant de l'électricité sont appelées aérogénérateurs, tandis que les éoliennes qui pompent directement de l'eau sont parfois dénommées éoliennes de pompage ou pompe à vent. Une forme ancienne d'éolienne est le moulin à vent [5].



Figure 2-20: Eolienne domicile [5].

Conclusion

Dans ce chapitre, on a découvert le principe du confort thermique, et les solutions bioclimatique passives et actives pour y parvenir.

Ainsi que les mesures d'efficacité énergétique visant à atteindre le confort thermique sont bénéfiques pour les consommateurs car elles réduisent les niveaux au minimum d'énergie requise.

Dans le chapitre suivant, nous allons dessiner notre cas d'étude dans le logiciel DesignBuilder pour une simulation thermique dynamique.

Chapitre 03 : Simulation thermique sans isolation

I. Introduction

Dans ce chapitre nous allons étudier la mosquée d'Othman-Ibn-Affan (Puisse Dieu l'agréer) par le logiciel DesignBuilder pour faire une simulation dynamique nous permettons de calculer la conception de chauffage et de climatisation, faire une simulation de l'émission de CO_2 , dans le but de proposer des solutions passives et actives pour diminuer la consommation d'énergie et assurer le confort des occupants.

II.1 Présentation de cas d'étude: La mosquée d'Othman-Ibn-Affan (Puisse Dieu l'agréer)

La mosquée Othman-Ibn-Affan (Puisse Dieu l'agréer) est située à la cité 150 logements à Rouiba, wilaya d'Alger [1].



Figure 3-1: Photos de la mosquée Othman-Ibn-Affan (Puisse Dieu l'agréer) [24].

◆ *Le projet en 3D*



Figure 3-2 : Photos de la mosquée en 3D.

◆ *Le plan de la mosquée*

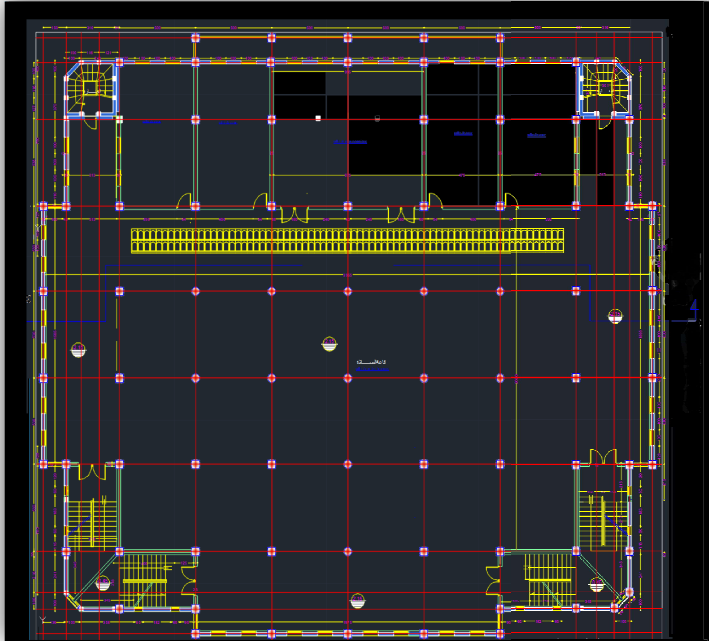


Figure 3-3: Plan de sous-sol.

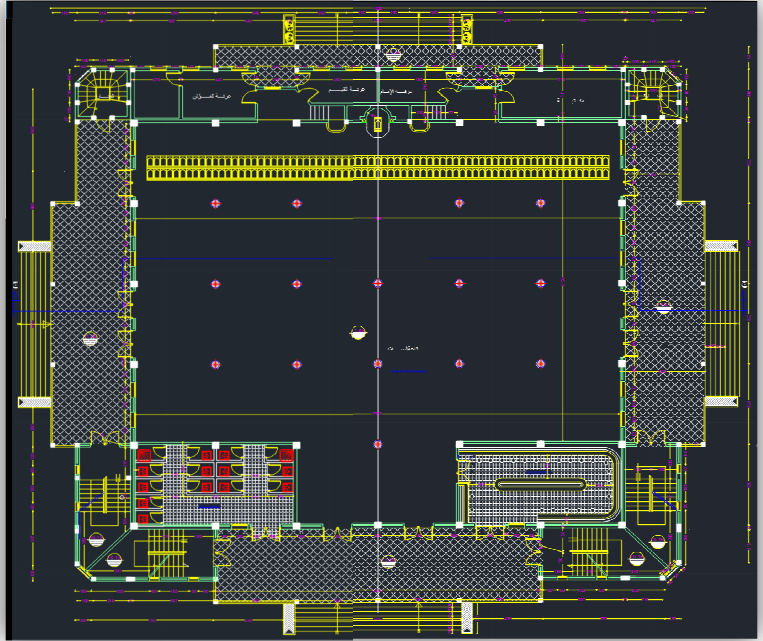


Figure 3-4: Plan de R.D.C

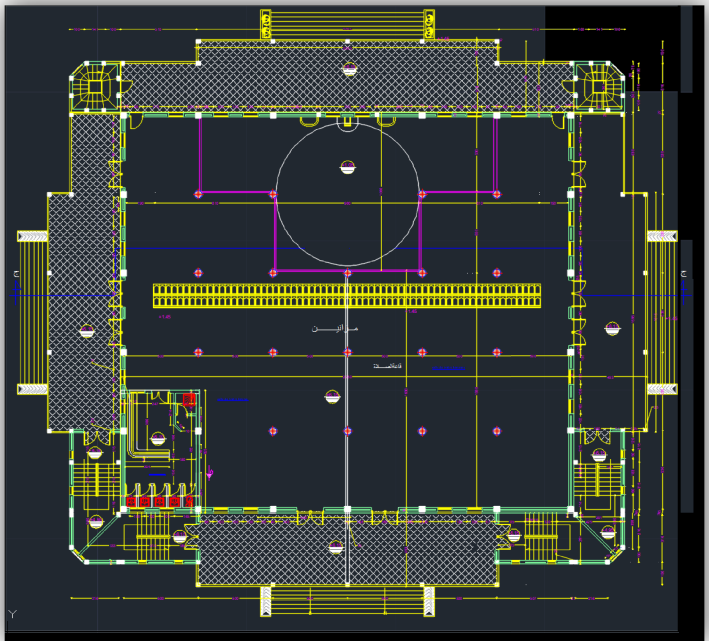


Figure 3-5: Plan de 1^{er} étage.

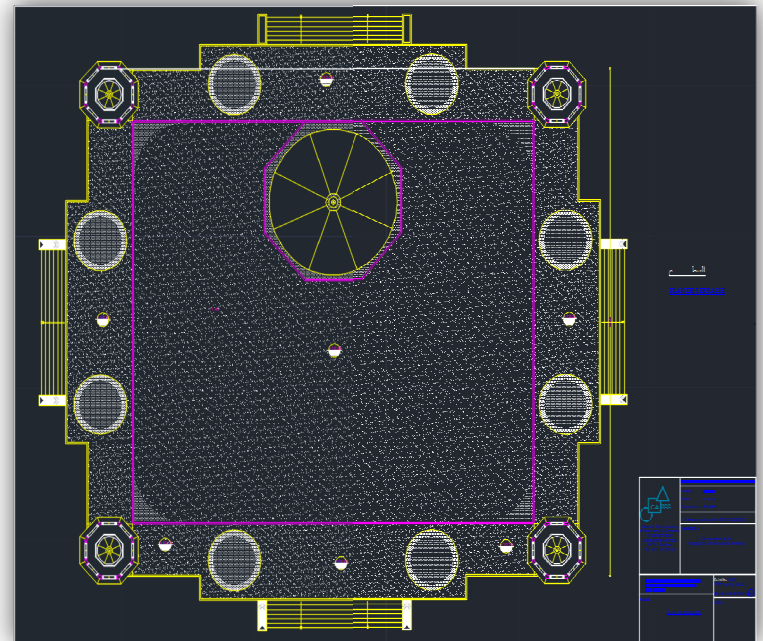


Figure 3-6: Plan de terrasse.

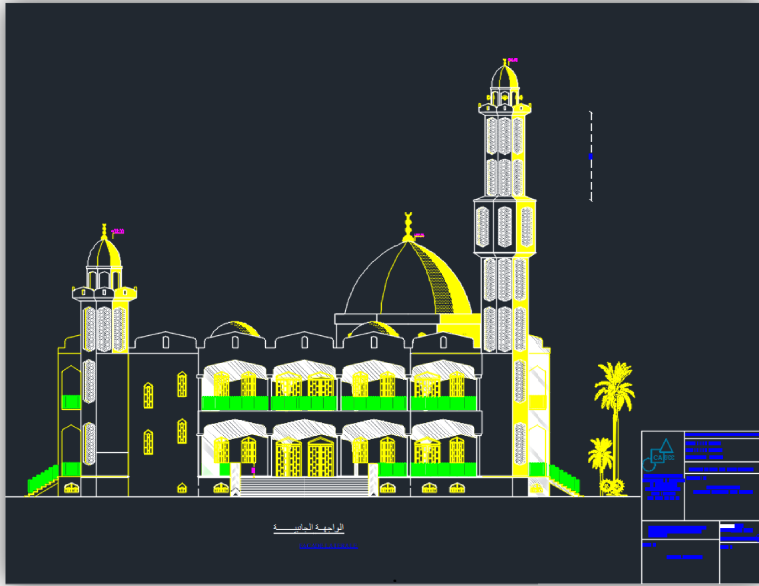


Figure 3-7: Plan de façade latérale.

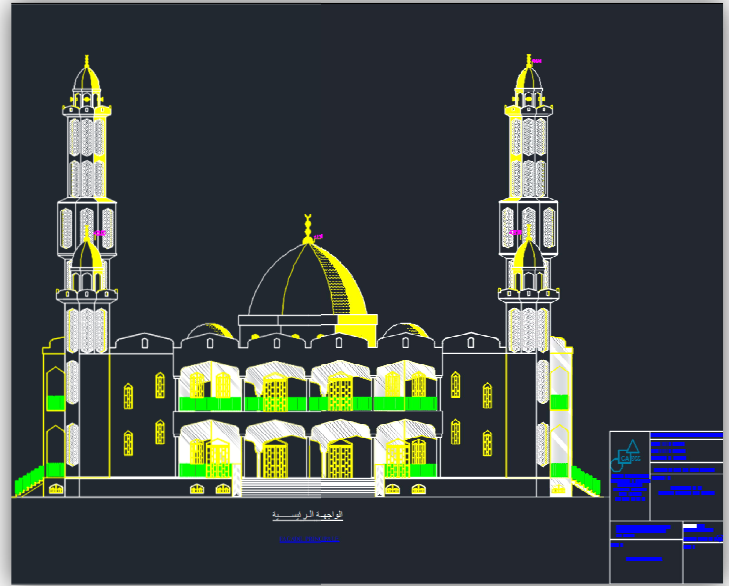


Figure 3-8: Plan de façade principale.

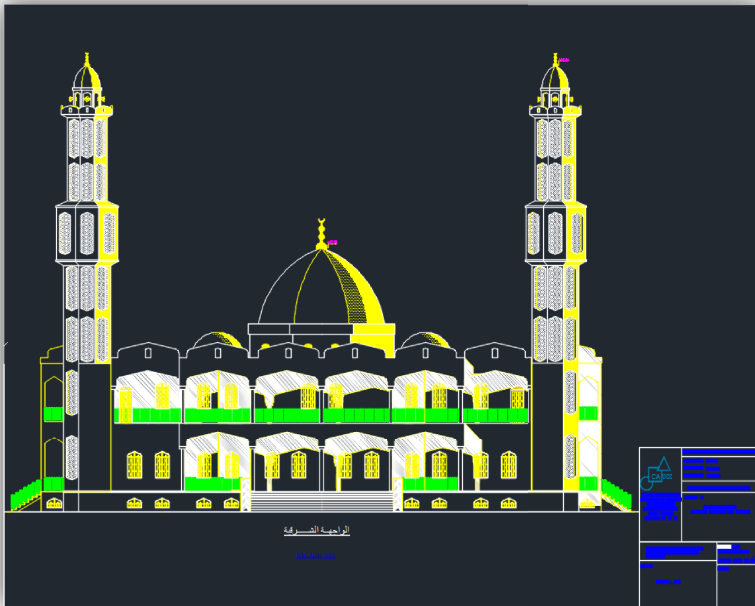


Figure 3-9: Plan de plan de façade est.

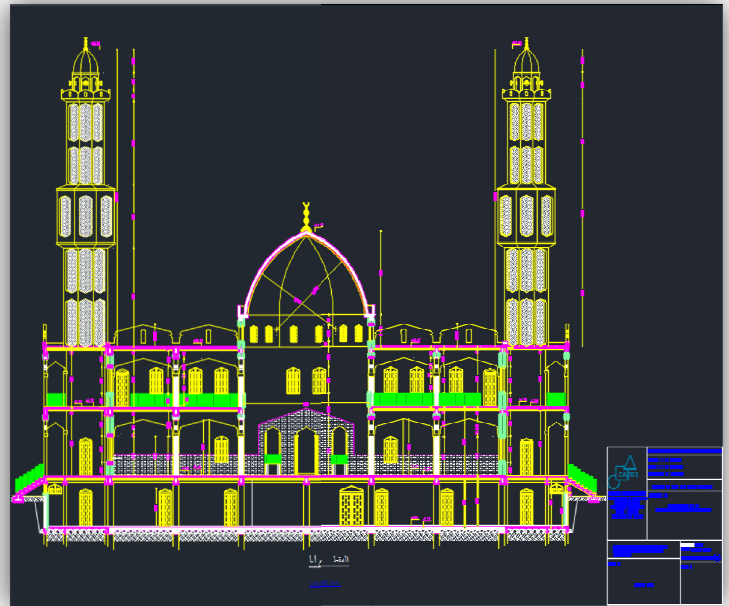


Figure 3-10: Plan de plan coupe A-A.

II.2 Orientation et forme du bâtiment

L'orientation des mosquées est déterminée par la Qiblah (direction par rapport à la Sainte Kaabah dans la ville de La Mecque). Par conséquent, l'orientation est fixe par rapport à la Mecque plutôt que d'être une variable de conception. Les mosquées sont généralement de forme allongée avec le long axe faisant face à la Qiblah avec un rapport d'aspect typique allant de 2: 1 à 3: 1 dans le but d'avoir le plus grand nombre de personnes effectuant la prière dans les premières rangées d'une mosquée. Cette orientation est différente d'une zone à l'autre en fonction de son emplacement par rapport à La Mecque. Par conséquent, les mosquées dans les régions à l'est de La Mecque sont orientées vers l'ouest, et celles à l'ouest sont orientées vers l'est et ainsi de suite. Cependant, des variations se produisent à La Mecque elle-même et autour de Kaabah où les gens prient vers Kaabah de toutes les directions sous une forme circulaire [25].

Longitude : 3.2844291.

Latitude : 36.7442235.

II.3 Situation géographique

Rouïba est située à 21 km à l'est du centre d'Alger.

La commune de Rouïba est entièrement dans la partie orientale de la plaine de Mitidja à une altitude d'environ 20 m et qui peut aller jusqu'à 10 m près de l'oued El-Biar à l'extrémité Est et 50 m au nord, près de la ride de H'raoua, qui marque une exception de la nature plate de Rouïba. À l'ouest, la commune est limitée par l'oued El Hamiz caractérisé par ses faibles pentes ce qui augmente le risque d'inondation [5].



Figure 3-11 : Localisation de la commune dans la wilaya d'Alger [5].



Figure 3-12: Carte géographique de la mosquée [24].

II.4.1 Le climat du site

Chaque site est unique soit dans ses contraintes physiques, soit dans son microclimat et, par conséquent, il est difficile de décrire spécifiquement le microclimat d'une région du monde. Cependant, les données météorologiques publiées disponibles fournissent généralement des représentations raisonnables pour les régions ayant des caractéristiques climatiques similaires qui peuvent être modifiées pour s'adapter au site spécifique.

Le climat y est chaud et tempéré. L'hiver à Rouiba se caractérise par des précipitations bien plus importantes qu'en été. D'après Köppen et Geiger, le climat y est classé Csa (climat méditerranéen à été chaud). Rouiba affiche une température annuelle moyenne de 18.0 °C. Sur l'année, la précipitation moyenne est de 627 mm [26].

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep- tembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	10.5	10.7	13.1	15.6	18.8	23.2	26.5	26.8	23.6	20.3	14.8	11.7
Température minimale moyenne (°C)	6.7	6.6	8.5	10.5	13.4	17.1	20.2	21	18.7	15.7	11.1	8.1
Température maximale (°C)	15.2	15.6	18.3	20.8	24.2	29.2	32.7	33	29.3	26	19.4	16.2
Précipitations (mm)	84	72	69	66	52	9	2	10	34	60	90	79
Humidité(%)	76%	74%	72%	71%	69%	60%	56%	58%	64%	67%	72%	75%
Jours de pluie (j/ée)	9	7	6	7	5	1	0	1	5	6	9	8
Heures de soleil (h)	6.9	7.6	8.8	10.0	11.1	12.4	12.4	11.4	10.2	8.9	7.4	6.9

Figure 3-13 : Tableau climatique Rouiba [26].

➤ Températures et précipitations moyennes

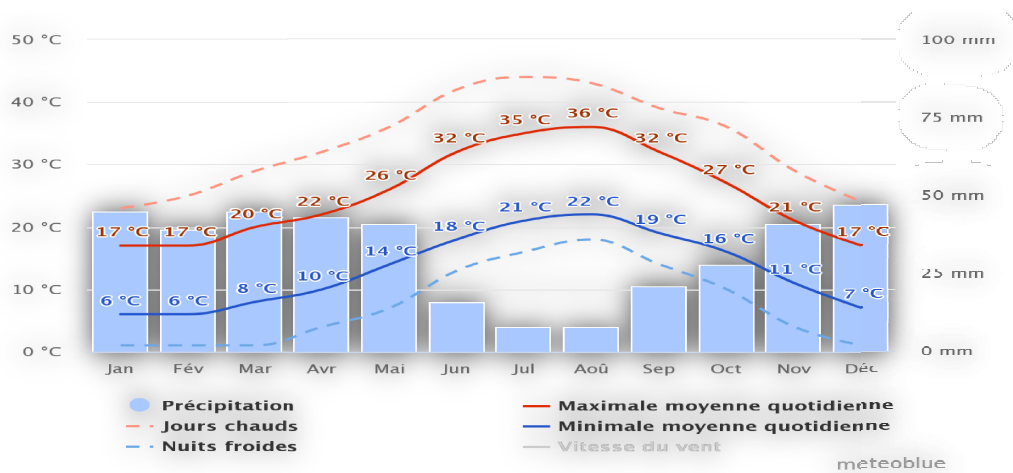


Figure 3-14: Températures et précipitations moyennes de la ville de Rouiba [27].

La "maximale moyenne quotidienne" (ligne rouge continue) montre la température maximale moyenne d'un jour pour chaque mois pour Rouiba. De même, «minimale moyenne quotidienne" (ligne bleue continue) montre la moyenne de la température minimale. Les jours chauds et les nuits froides (lignes bleues et rouges en pointillé) montrent la moyenne de la plus chaude journée et la plus froide nuit de chaque mois des 30 dernières années.

Le graphique des précipitations est utile pour la planification des effets saisonniers. Précipitations mensuelles supérieures à 150 mm sont pour la plupart humides, en dessous de 30mm généralement sèches [27].

➤ Humidité

Nous estimons le niveau de confort selon l'humidité sur le point de rosée, car il détermine si la transpiration s'évaporera de la peau, causant ainsi un rafraîchissement de l'organisme. Les points de rosée plus bas sont ressentis comme un environnement plus sec et les points de rosée plus haut comme un environnement plus humide. Contrairement à la température, qui varie généralement considérablement entre le jour et la nuit, les points de rosée varient plus lentement. Ainsi, bien que la température puisse chuter la nuit, une journée humide est généralement suivie d'une nuit humide.

Rouiba connaît des variations saisonnières extrêmes en ce qui concerne l'humidité.

La période la plus humide de l'année dure 4 mois, du 7 juin au 11 octobre, avec une sensation de lourdeur, oppressante ou étouffante au moins 18 % du temps. Le jour le plus lourd de l'année est le 9 août, avec un climat lourd 72 % du temps [27].

Le jour le moins lourd de l'année est le 25 janvier, avec un climat lourd quasiment inexistant.

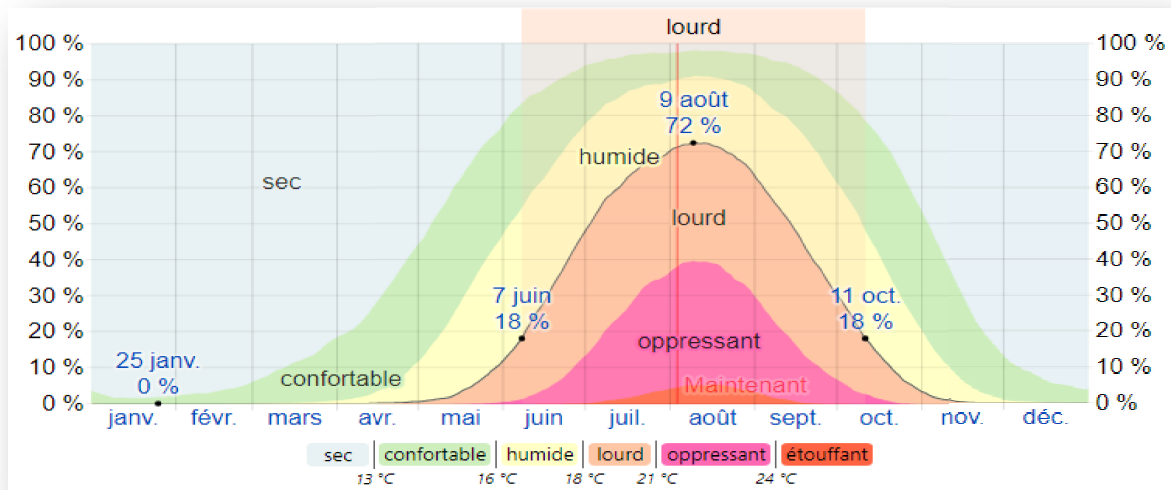


Figure 3-15: Niveaux de confort selon l'humidité de la ville de Rouiba [27].

➤ **Pluviométrie**

Pour montrer la variation au cours des mois et pas seulement les totaux mensuels, nous montrons l'accumulation de pluie au cours d'une période glissante de 31 jours centrée sur chaque jour de l'année. Rouiba connaît des variations saisonnières considérables en ce qui concerne les précipitations de pluie mensuelles.

La période pluvieuse de l'année dure 9 mois, avec une chute de pluie d'au moins 13 millimètres sur une période glissante de 31 jours. La plus grande accumulation de pluie a lieu au cours des 31 jours centrés aux alentours du 3 décembre, avec une accumulation totale moyenne de 70 millimètres.

La période sèche de l'année dure 2 mois, du 9 juin au 31 août. La plus petite accumulation de pluie a lieu aux alentours du 21 juillet, avec une accumulation totale moyenne de 2 millimètres.

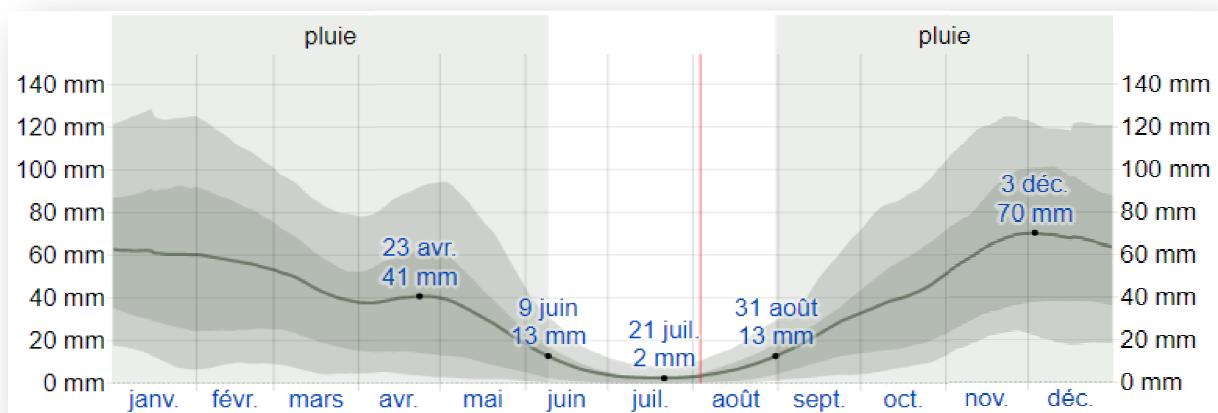


Figure 3-16 : Pluviométrie mensuelle moyenne de la ville de Rouiba [27].

➤ *L'ensoleillement*

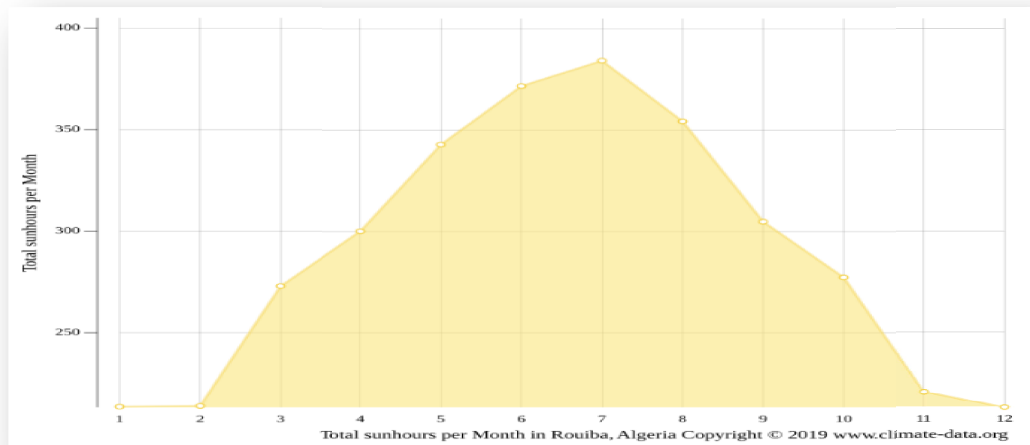


Figure 3-17: Nombre total d'heures d'ensoleillement de la ville de Rouiba [27].

A Rouiba, le mois avec le plus d'ensoleillement quotidien est Juillet avec une moyenne de 12.39 heures d'ensoleillement. Au total, il y a 384.24 heures d'ensoleillement en Juillet.

Le mois avec le moins d'heures d'ensoleillement quotidien à Rouiba est Janvier avec une moyenne de 6.88 heures d'ensoleillement par jour. Au total, il y a 213.27 heures d'ensoleillement en Janvier.

Environ 3469.91 heures d'ensoleillement sont comptées à Rouiba tout au long de l'année. Il y a en moyenne 113.96 heures d'ensoleillement par mois [27].

➤ *Vent*

Cette section traite du vecteur vent moyen horaire étendu (vitesse et direction) à 10 mètres au-dessus du sol. Le vent observé à un emplacement donné dépend fortement de la topographie locale et d'autres facteurs, et la vitesse et la direction du vent instantané varient plus que les moyennes horaires.

La vitesse horaire moyenne du vent à Rouiba connaît une variation saisonnière modérée au cours de l'année.

La période la plus venteuse de l'année dure 5,5 mois, du 30 octobre au 15 avril, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 14,5 kilomètres par heure. Le jour le plus venteux de l'année est le 24 décembre, avec une vitesse moyenne du vent de 16,6 kilomètres par heure.

La période la plus calme de l'année dure 6,5 mois, du 15 avril au 30 octobre. Le jour le plus calme de l'année est le 9 juin, avec une vitesse moyenne horaire du vent de 12,4 kilomètres par heure.

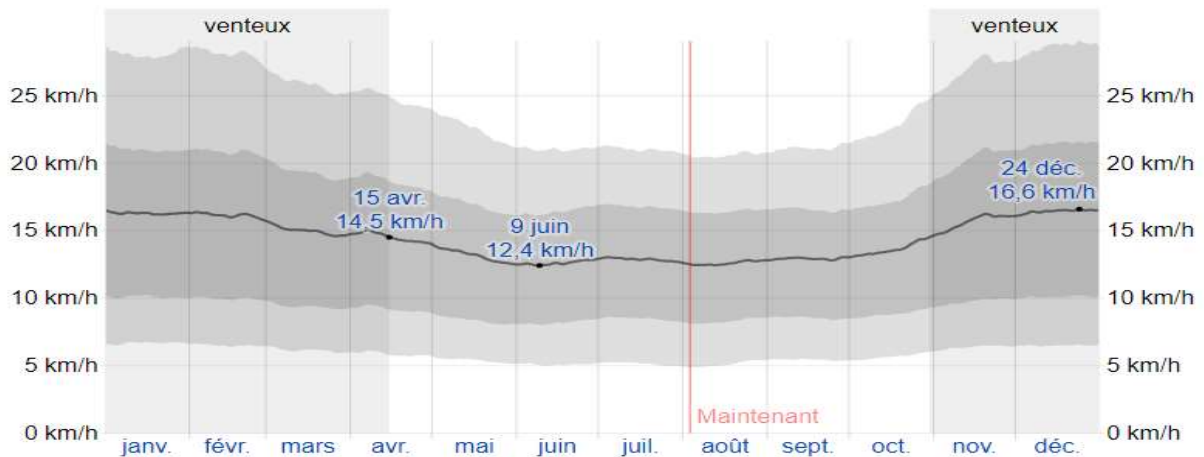


Figure 3-18: Vitesse moyenne du vent de la ville de Rouiba [27].

II.4.2 Analyse du climat du site

On voit que notre terrain est très ensoleillé, surtout du côté sud, les ouvertures doivent être protégées des rayons du soleil, afin de se protéger contre la surchauffe en période estivale, et cette protection se fait par l'utilisation de brise-soleil et des casquettes bioclimatiques.



L'été, le soleil est haut dans le ciel. La casquette protège les pièces du soleil grâce à l'ombre qu'elle génère. Elle permet d'apporter de la fraîcheur comme un auvent pourrait le faire [28].

L'hiver, le soleil est bas dans le ciel. Ses rayons passent sous la casquette, traversent les baies vitrées et chauffent les pièces bien exposées. C'est un moyen de chauffage économique et écologique [28].

Figure 3-19: Schéma extrait de la "Maison Ecologique" [28].

Avec ces deux modes de protection, on a l'avantage de profiter de deux aspects essentiels de la mosquée : un bon ensoleillement donne un bon éclairage des panneaux, qui générera de bons rendements pendant cette période. Le second est une protection contre la surchauffe.

On profite de cet ensoleillement en installant des panneaux photovoltaïques qui profitent de la température élevée du site dans la meilleure position et direction, et travaillent pour réduire la facture d'électricité due à l'allumage des climatiseurs et des ventilateurs.

D'autre part, la luminosité du soleil est liée à un autre indicateur pour analyser l'emplacement, qui est la direction des vents dominants.

D'après les données climatiques de la wilaya d'Alger, nous concluons que les vents sont saisonniers dans :

L'hiver, vents froids soufflant du nord-ouest.

L'été, vent chaud soufflant du nord-est.

Le terrain étant situé en zone bâtie, les barrières contre le vent ne manquent pas surtout en hiver.

III.1 Présentation de DesignBuilder

DesignBuilder est un logiciel de simulation dynamique, possédant une interface graphique offrant de **nombreuses fonctionnalités non disponibles simultanément dans les logiciels existants** :



- Calcul des déperditions/gains thermiques de l'enveloppe en hiver/été.
- Dimensionnement du chauffage.
- Dimensionnement du rafraîchissement par ventilation naturelle et/ou climatisation.
- Simulation dynamique (STD) restituant des données de confort, de bilan thermique, ventilation, etc.
- Construction en 3D réaliste avec vue des ombres portées (maquette BIM).
- Modeleur du bâtiment incluant des assistants de création de fenêtre, composition de la construction, détection automatique du type de paroi qui vous évitent de nombreuses saisies ou dessin.
- Gestion de l'occupation, de la ventilation mécanique, des ouvertures de fenêtre, de l'occultation des baies, des apports internes ... par planning paramétrable selon le type de jour, les mois, les heures (ou infra horaire).
- Economie d'énergie : free-cooling, récupérateur d'énergie sur air extrait, ventilation nocturne, gradation de l'éclairage selon la luminosité, régulation des températures d'air soufflé selon la demande, volume d'air variable ... déjà disponible en quelques clics.
- Carte d'éclairement naturel en FLJ et Autonomie lumineuse.
- Calculs LEED concernant ASHRAE 90.1 et EAp2.
- Calcul en coût global à l'aide de fonction puissante d'estimation des coûts de construction, d'énergie, de cycle de vie basé sur la maquette BIM.
- Module d'optimisation vous permettant de déterminer les paramètres du bâtiment offrant le meilleur compromis coût, confort, GES [29].

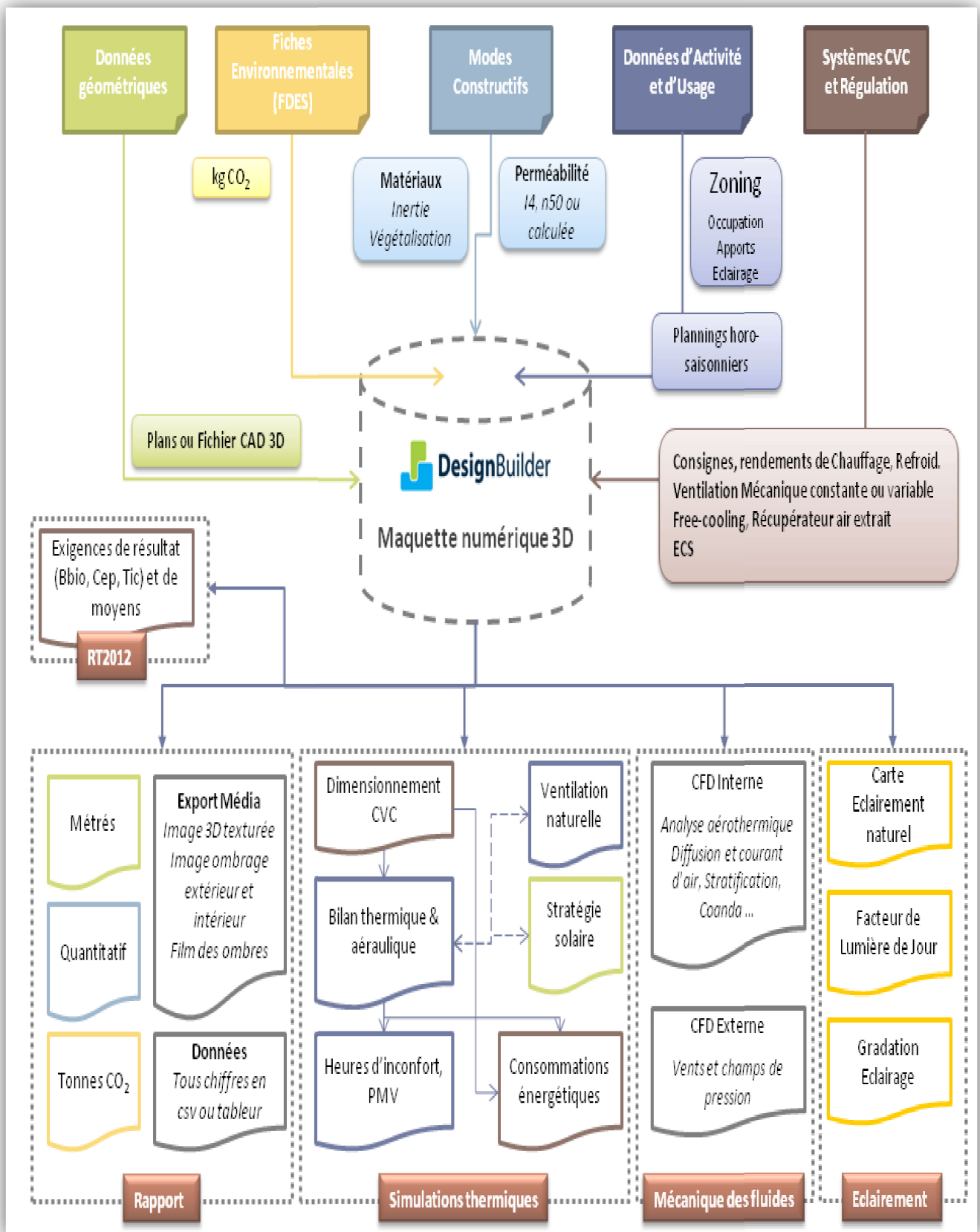


Figure 3-20 : Maquette numérique de DesignBuilder [29].

III.2 Application sur DesignBuilder

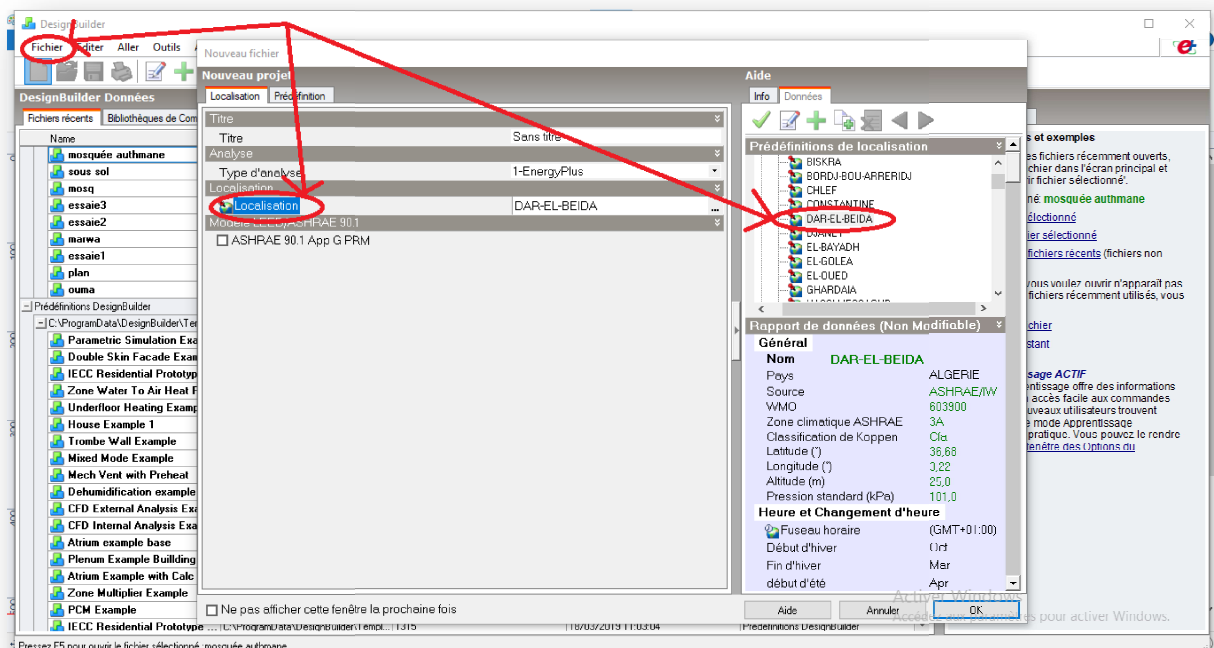
Le plan a été dessiné dans l'application AutoCAD, il se compose de 3 parties principales, sous-sol, rez-de-chaussée et premier étage, on doit les séparer et les convertir en version DXF pour faciliter le dessin de la mosquée dans DesignBuilder.

Le sol est attaché à la hauteur de -2,15m, le rez-de-chaussée est attaché à la hauteur de 1,45m, le 1^{er} étage à la hauteur de 6,15m et la terrasse à 10,25m.

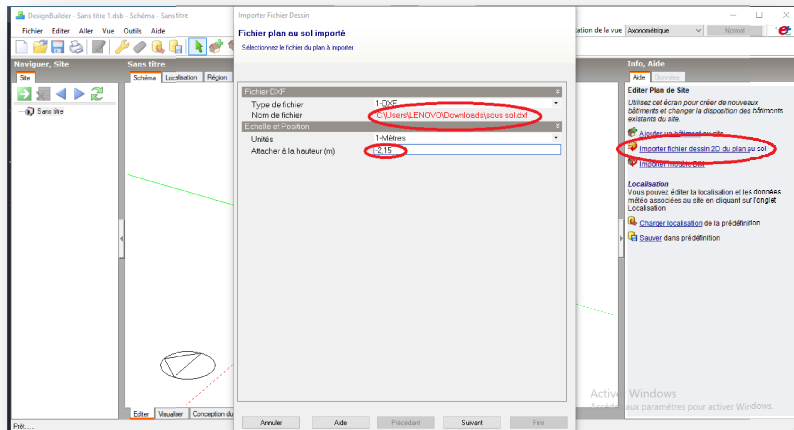
Par conséquent la hauteur des murs sera comme suit :

- Murs du sous-sol : 3,6m.
- Murs du rez-de-chaussée : 4,7m.
- Murs du 1^{er} étage : 4,1

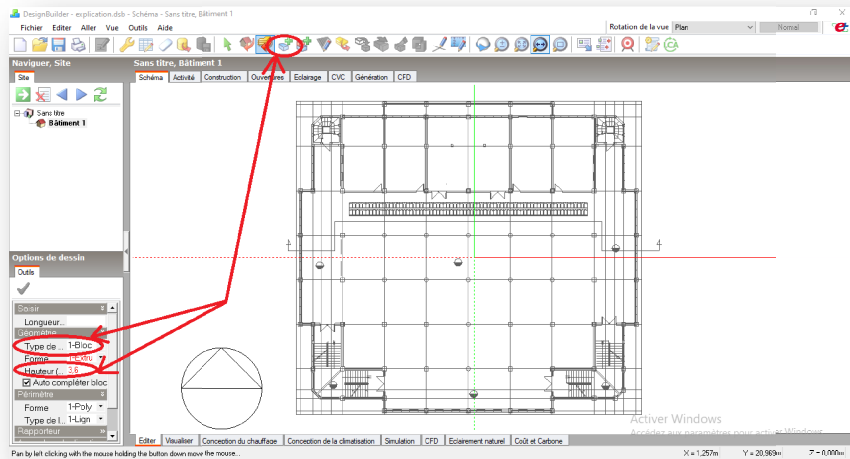
On ouvre DesignBuilder et clique sur un « Nouveau fichier », on choisit notre localisation, dans notre cas, la localisation la plus proche pour notre cas d'étude est "Dar-El-Beida".



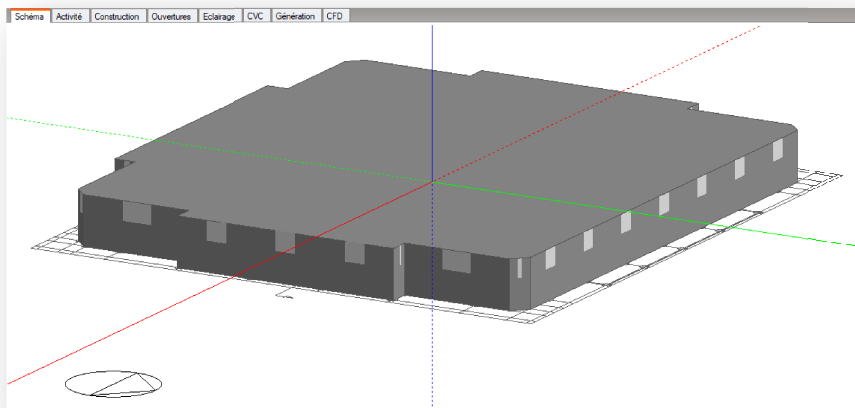
On clique sur « Importer un fichier de dessin 2D du plan d'étage », on choisit notre fichier qui est le sous-sol, on indique la hauteur par rapport au niveau 0, dans notre cas, le sous-sol de la mosquée est attaché à une hauteur de -2,15 m.



On clique sur « Ajouter nouveau bâtiment », « Nouveau bloc », on choisit le type « Bloc de bâtiment », on indique la hauteur des murs et on commence à dessiner les murs extérieurs.

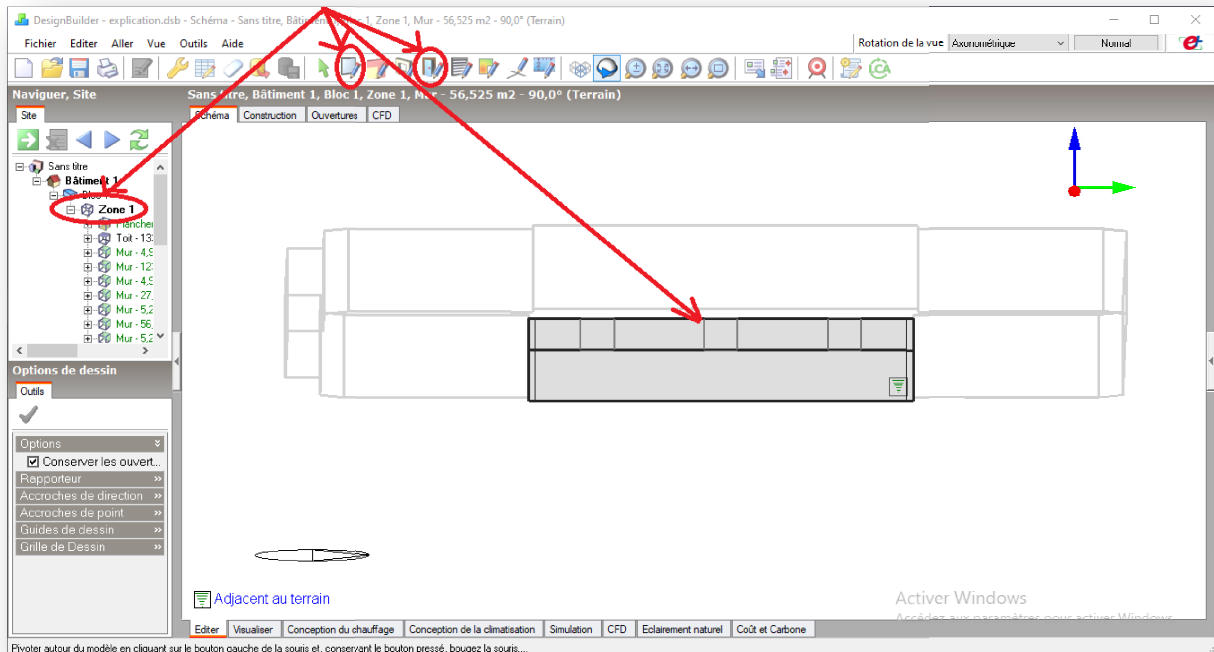


On obtient ce bâtiment avec des fenêtres proposées par le logiciel :

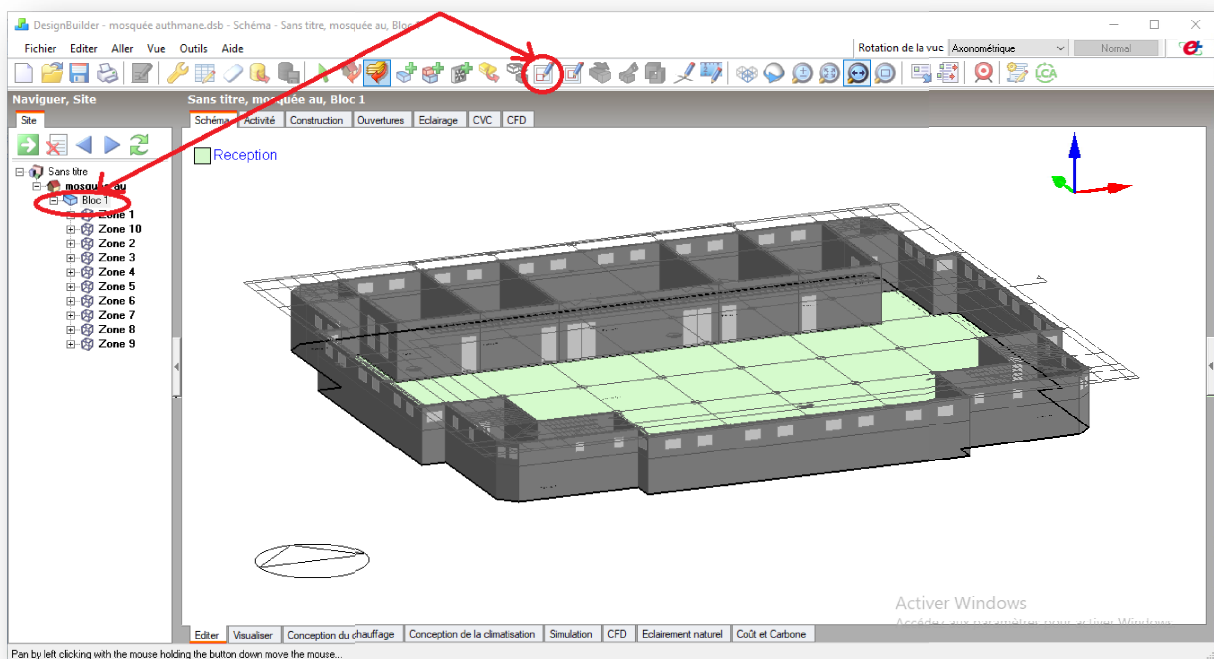


Les fenêtres et les détails internes sont modifiés à partir du logiciel.

On clique sur « Zone 1 », on choisit le mur qu'on veut modifier, on clique sur « Dessiner fenêtre » ou « Dessiner porte » et on les dessine selon les mesures sur le plan.

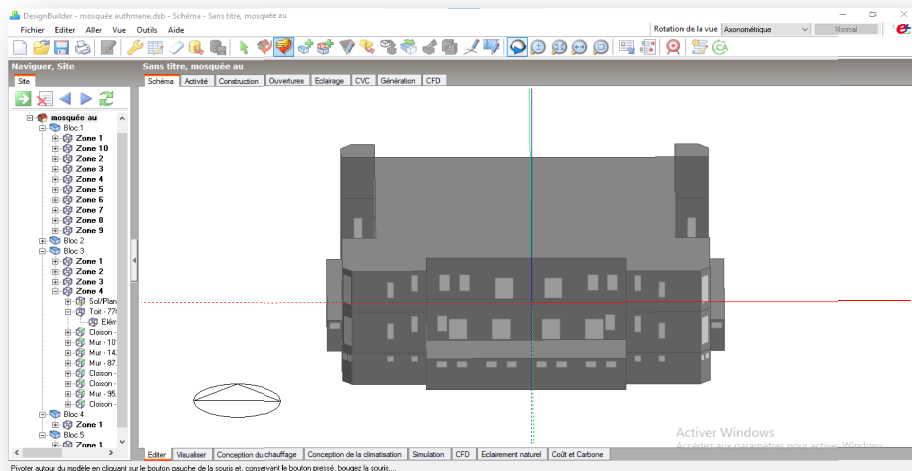
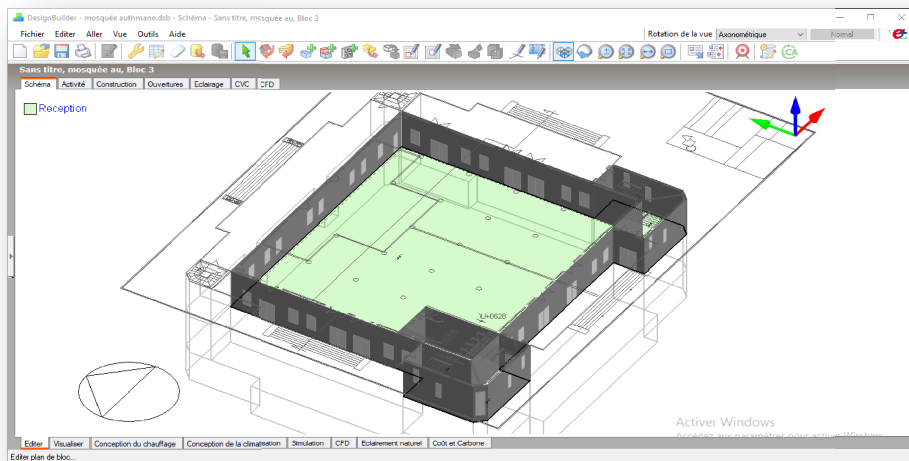
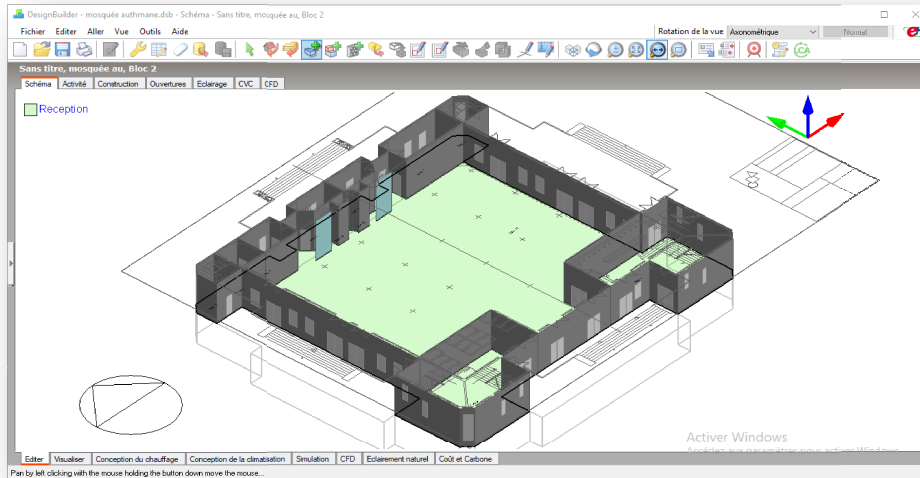


On clique sur « Bloc 1 » et on commence à dessiner les murs intérieurs en cliquant sur « Dessiner cloisons ».



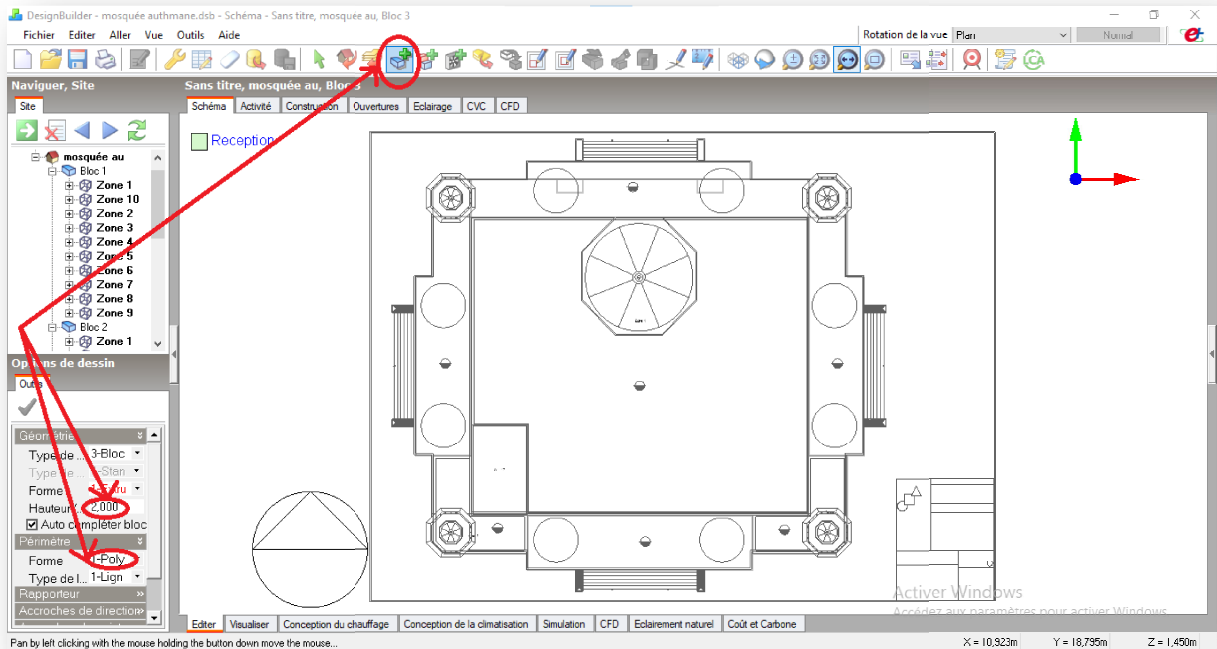
Chapitre 03 : Simulation thermique sans isolation

Et ainsi de suite pour le reste des blocs.

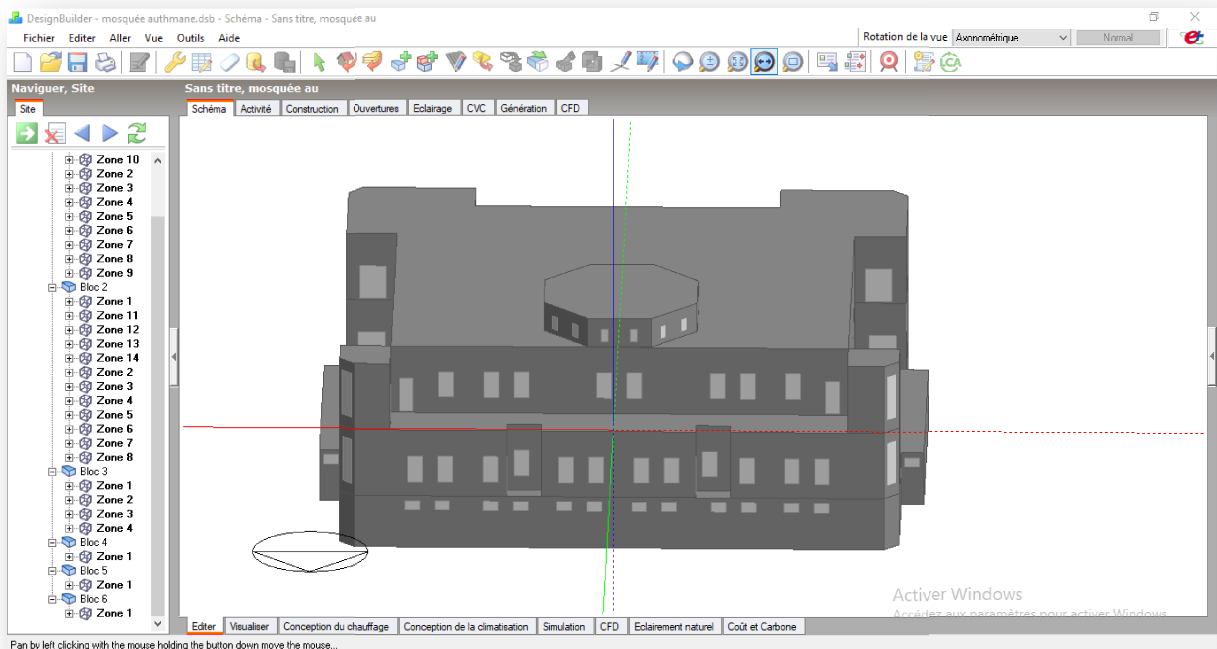


Chapitre 03 : Simulation thermique sans isolation

Quant au dôme, il est construit sur un polygone à une hauteur de 2 m de terrasse. En cliquant sur «Ajouter fichier dessin 2D du plan au sol» on ajoute le plan de terrasse, on clique sur «Nouveau bloc» on choisit la forme « Polygone » et la hauteur « 2m ».



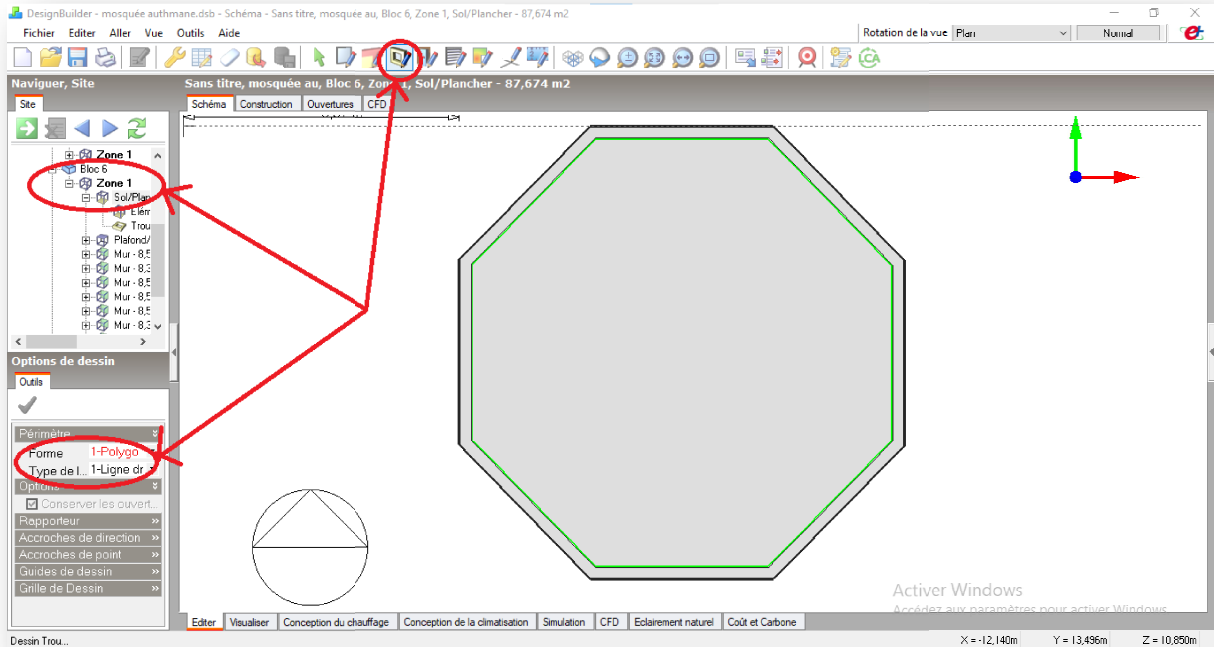
On obtient :



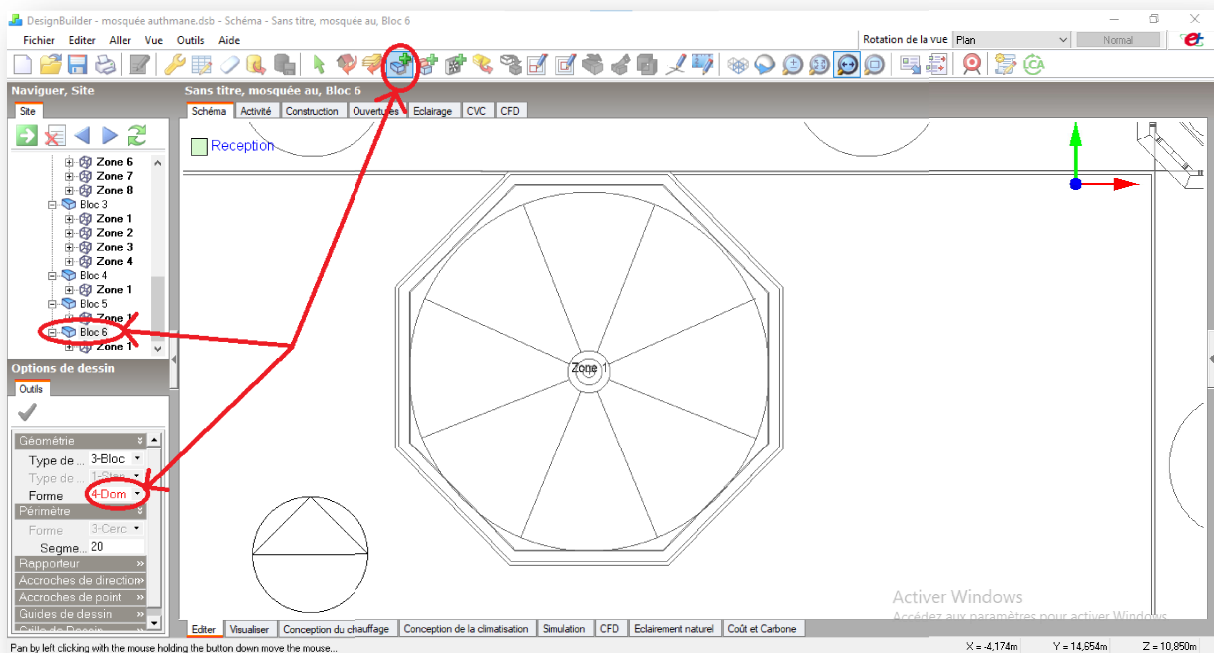
(Les fenêtres du polygone sont modifiées selon le plan).

Chapitre 03 : Simulation thermique sans isolation

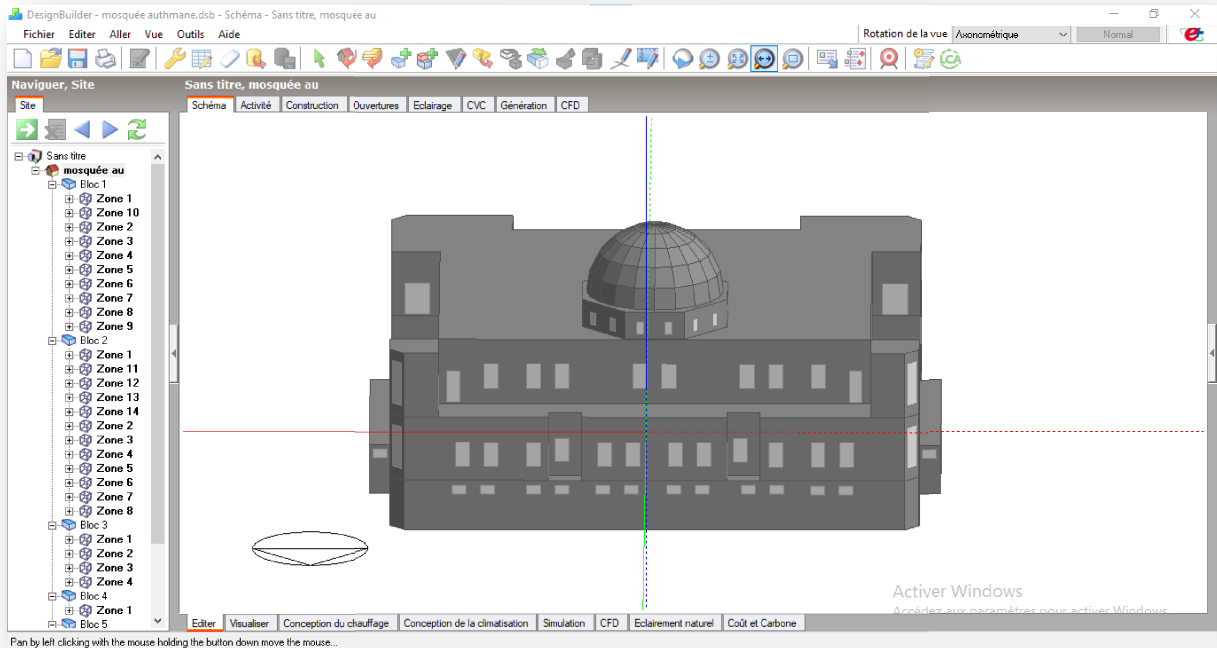
On clique sur « Bloc 6 », « Zone 1 », « Sol/Plancher » après on clique sur « Dessiner trou » et on choisit la forme « Polygone » et type de « Ligne droite » pour créer le vide entre le 1^{er} étage et le polygone.



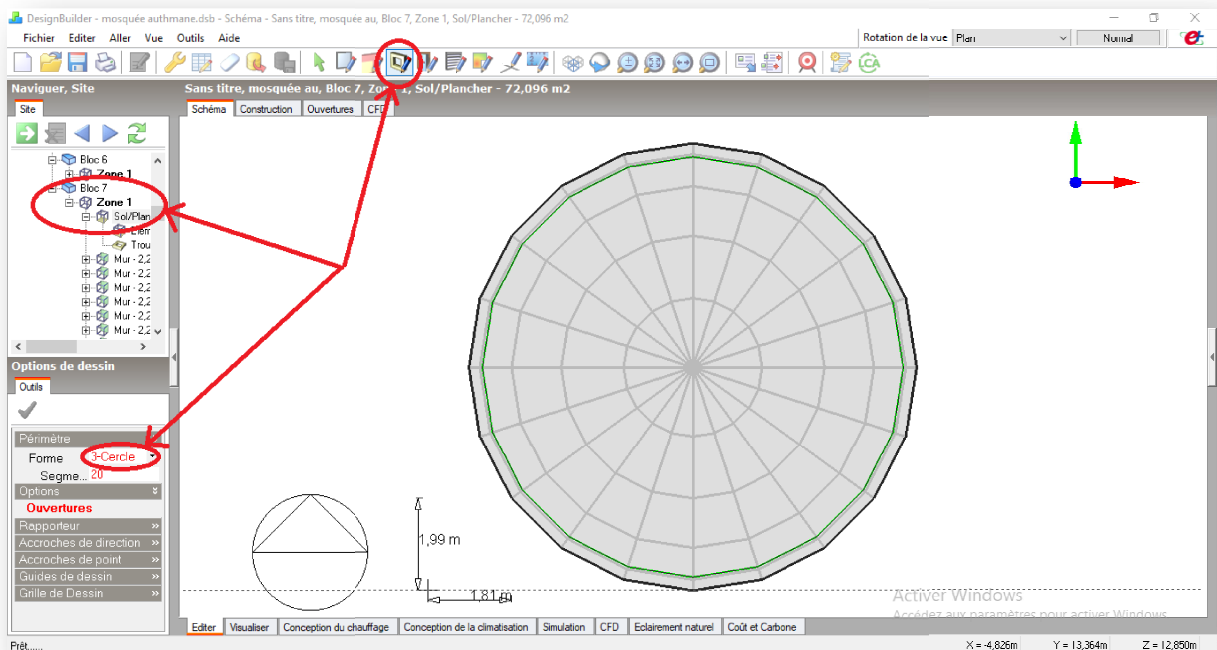
On dessine le dôme en cliquant sur « Bloc 6 », « Nouveau bloc » et on choisit la forme du dôme.



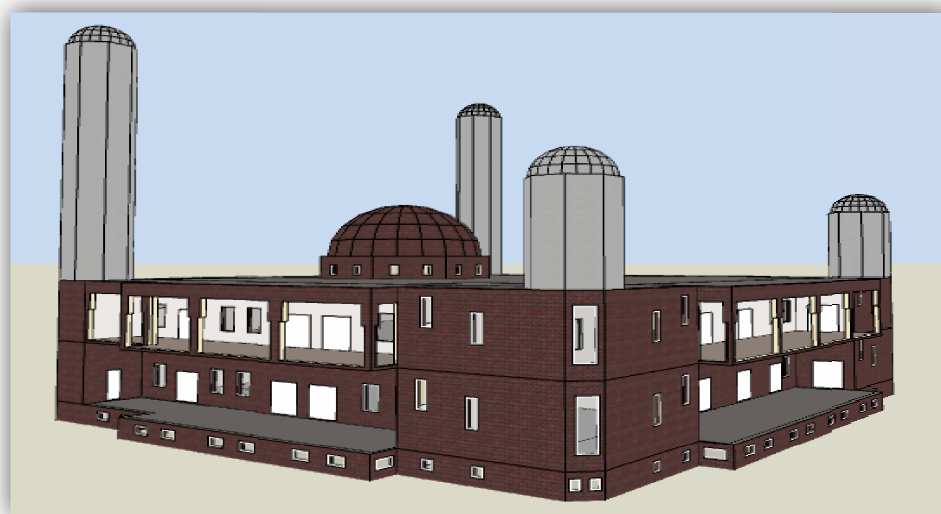
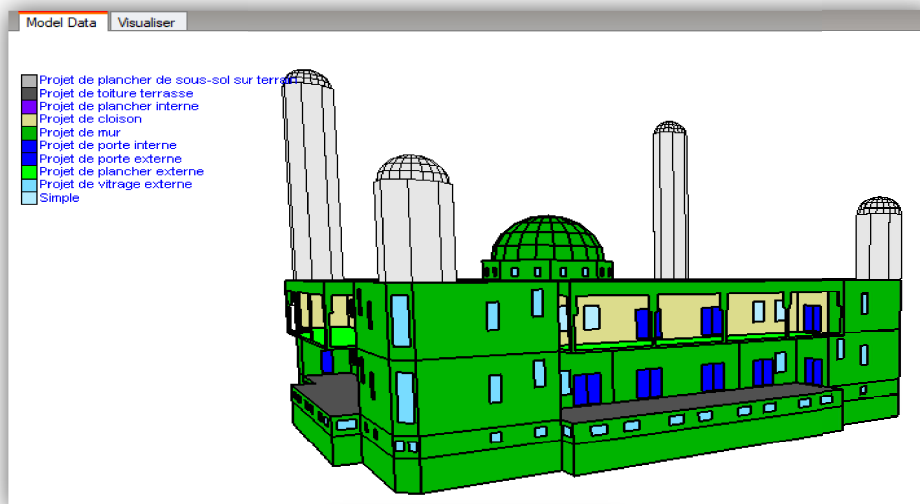
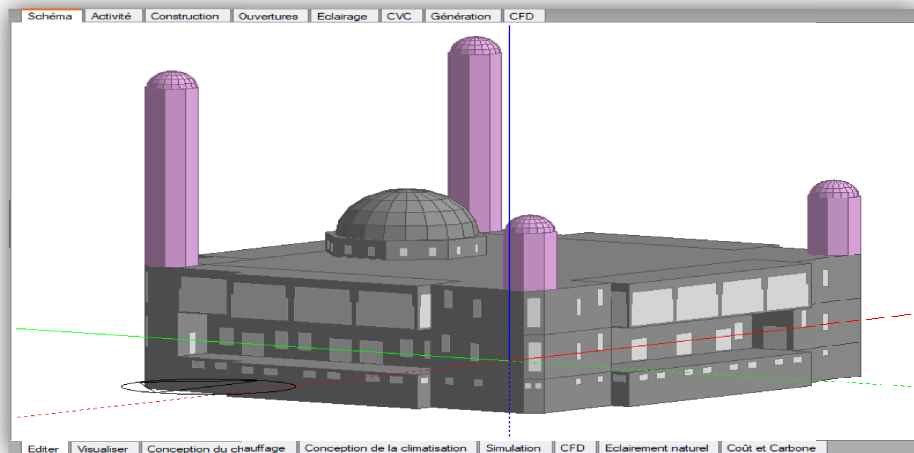
On obtient :



On clique sur « Bloc 7 », « Zone 1 », « Sol/Plancher » après on clique sur « Dessiner trou » et on choisit la forme « Cercle » pour créer le vide entre le polygone et le dôme.

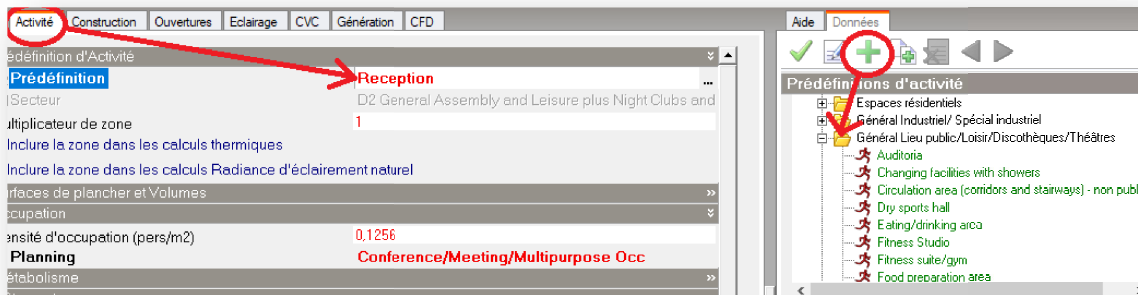


On dessine les balcons et les silos pour obtenir :

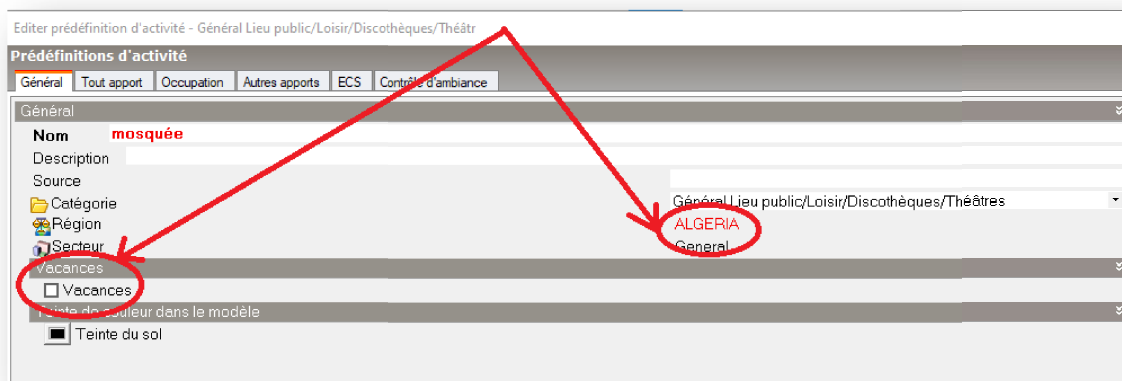


Remarque : les silos n'ont pas un effet sur le bilan énergétique.

On passe au paramétrage en commençant par « Activité », on modifie la prédéfinition, on ajoute l'activité de notre bâtiment qui est une mosquée dans « Général Lieu public ».

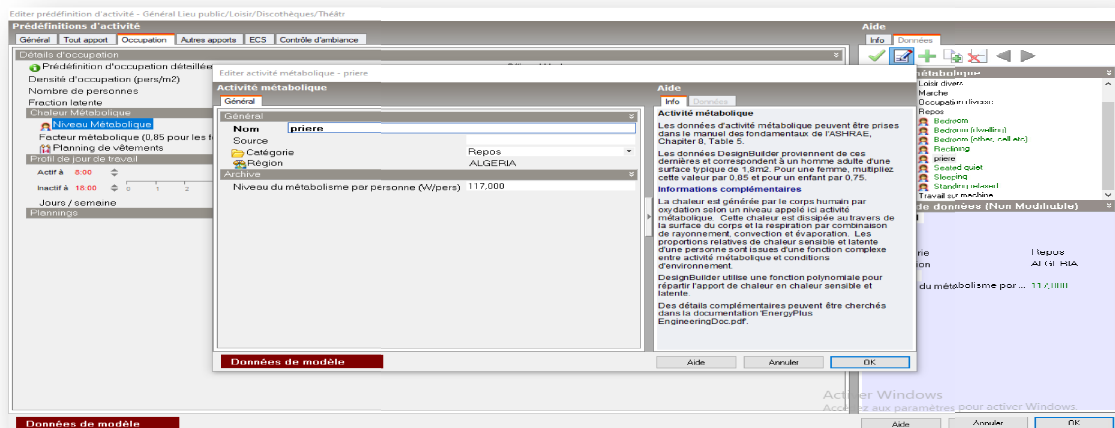


Dans « Général » on modifie le « Nom » la « région » et on désactive les « Vacances ».

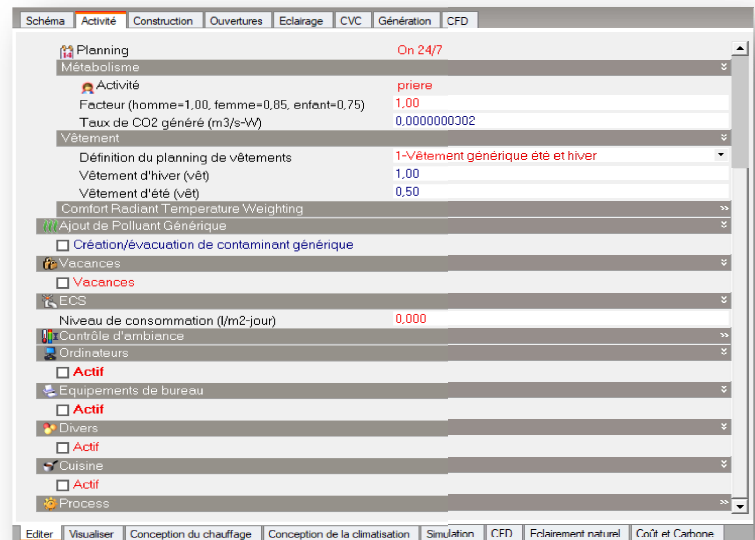


Dans l' « occupation » on modifie l' « Activité métabolique », l'activité "Repos" est l'activité la plus convenable pour l'activité de la mosquée, qui est la prière.

Pour le niveau du métabolisme, on le calcule en additionnant les coefficients de « Seated quiet » et « Standing relaxed » et en les divisant par 2, soit $(126+108)/2=117$.



Et on continue à définir le reste du paramètre sur « Activité », planning, vêtement et on désactive ce dont on n'a pas besoin.



Pour la « Construction », on définit les matériaux « Brique perforée », « mortier » et « Enduit plâtre », et leurs caractéristiques et la région « Algérie » dans le projet de construction des murs externes et les cloisons internes, appelés aussi « murs de partition » ou « cloison », et ce sont les murs qui séparent les locaux climatisés d'autres locaux non climatisés.

mur extérieur, mur intérieur, plancher haut, plancher bas.		
Désignation et représentations	Couche	Épaisseur [cm]
Murs extérieurs	1/hi	
	1-mortier	2
	2-Brique creuse de 10cm *2	10
	3-Enduit plâtre	1.0
Murs intérieurs	1 / hi	
	1 / he	
	1-Enduit plâtre	1.0
	2-Brique creuse de 5cm	5.0
Plancher bas	3-Enduit plâtre	1.0
	1 / hi	
	1/he	
	1-Hourdis de 16 en béton	16
Plancher haut	2-Mortier	4
	3-Carrelage	1
	1 / hi	
	1 / he	
	1-Béton lourd	4
	2-Hourdis de 16en béton	16
	3-Mortier	2
	4-Enduit plâtre	1
	1 / hi	

Tableau 3-1: Les caractéristiques des murs et des planchers de la mosquée sans isolation.

Propriétés de surface

Général

Nom brique perforée2

Description

Source DTR

Catégorie Brique et parpaing

Région ALGERIA

Épaisseur de la couche matériau

Forcer épaisseur

Propriétés Thermiques

Propriétés détaillées

Propriétés thermiques

Conductivité (W/m-K)	0.5600
Chaleur spécifique (J/kg-K)	936.00
Densité (kg/m3)	1400.00

Résistance (Valeur R)

Résistance vapeur >>

Transfert d'humidité >>

Propriétés de surface

Général

Nom Enduit

Description

Source DTE

Catégorie Chapes et enduits

Région ALGERIA

Épaisseur de la couche matériau

Forcer épaisseur

Propriétés Thermiques

Propriétés détaillées

Propriétés thermiques

Conductivité (W/m-K)	0.35
Chaleur spécifique (J/kg-K)	936
Densité (kg/m3)	1000

Résistance (Valeur R)

Résistance vapeur >>

Transfert d'humidité >>

Propriétés de surface

Général

Nom mortier de chaux

Description

Source

Catégorie Chapes et enduits

Région ALGERIA

Épaisseur de la couche matériau

Forcer épaisseur

Propriétés Thermiques

Propriétés détaillées

Propriétés thermiques

Conductivité (W/m-K)	0.8700
Chaleur spécifique (J/kg-K)	1080.00
Densité (kg/m3)	1800.00

Résistance (Valeur R)

Résistance vapeur >>

Transfert d'humidité >>

Couches

Général

Nom mur extérieur

Source

Catégorie Murs

Région ALGERIA

Couleur

Définition

Méthode de définition 1-Couches

Paramètres de calcul >>

Couches

Nombre de couches 3

Couche la plus externe

Matériau mortier de chaux

Épaisseur (m) 0.2000

Avec pont thermique ?

Couche 2

Matériau brique perforée2

Épaisseur (m) 0.1600

Avec pont thermique ?

Couche la plus interne

Matériau Enduit

Épaisseur (m) 0.0100

Avec pont thermique ?

Couches

Général

Nom mur intérieur

Source

Catégorie Murs

Région ALGERIA

Couleur

Définition

Méthode de définition 1-Couches

Paramètres de calcul >>

Couches

Nombre de couches 3

Couche la plus externe

Matériau Enduit

Épaisseur (m) 0.01

Avec pont thermique ?

Couche 2

Matériau brique perforée2

Épaisseur (m) 0.1600

Avec pont thermique ?

Couche la plus interne

Matériau Enduit

Épaisseur (m) 0.0100

Avec pont thermique ?

On définit la « Toiture terrasse » en dalle de béton avec les matériaux : béton lourd, hourdis, mortier et l'enduit plâtre le plancher bas avec l'hourdis de béton, mortier et carrelage.

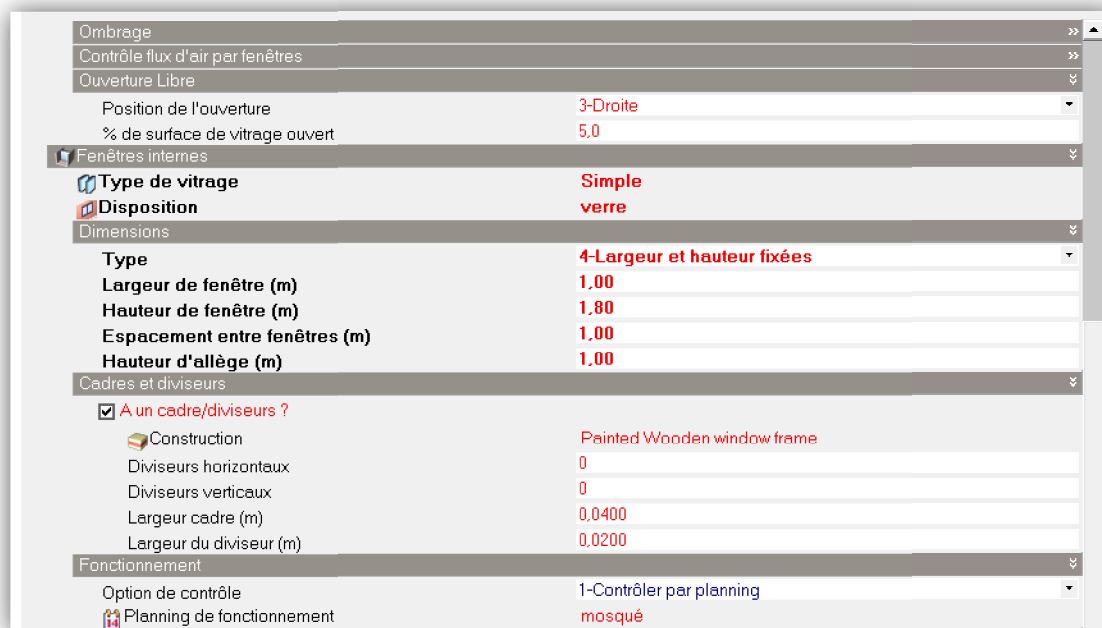
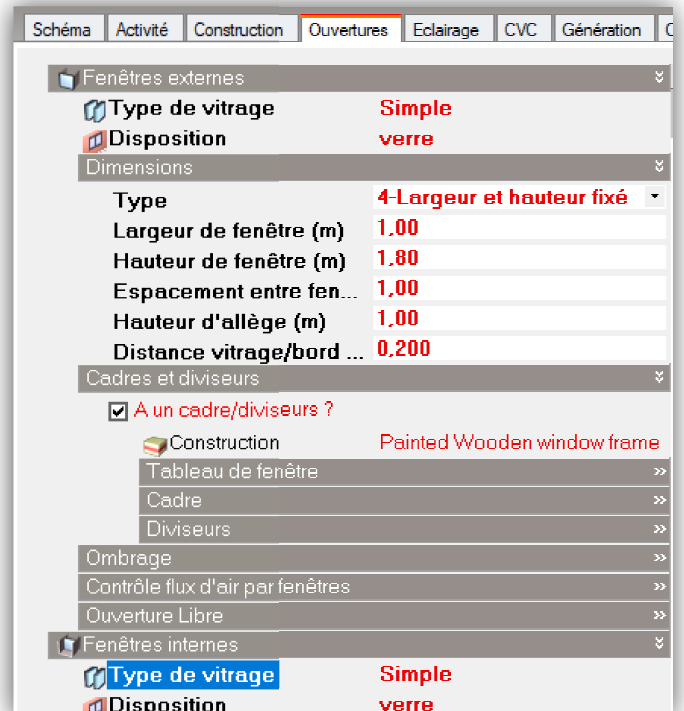
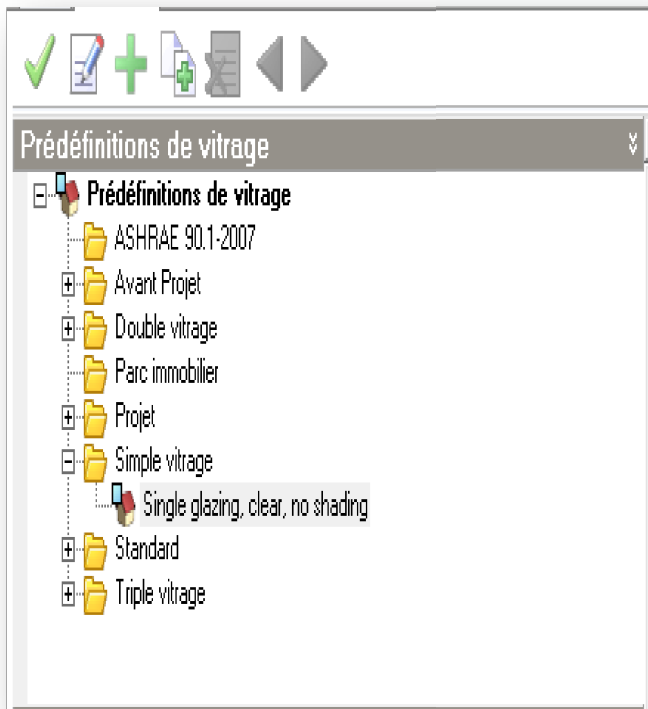
Général	Propriétés de surface	Toiture végétalisée	Carbone Incorporé
Général			
Nom	hourdis de béton		
Description			
Source	DTR		
Catégorie	Bétons		
Région	ALGERIA		
Épaisseur de la couche matériau			
<input type="checkbox"/> Forcer épaisseur			
Propriétés Thermiques			
Propriétés détaillées			
Propriétés thermiques			
Conductivité (W/m-K)	1,75		
Chaleur spécifique (J/kg-K)	1080		
Densité (kg/m ³)	2200		
Résistance (Valeur R)			
Résistance vapeur	>>		
Transfert d'humidité	>>		

Couches	Propriétés de surface	Image	Calculé	Coût	Analyse de condensation
Général					
Nom	toiture terrasse				
Source					
Catégorie	Toits				
Région	ALGERIA				
Couleur					
Définition					
Méthode de définition	1-Couches				
Paramètres de calcul					
Couches					
Nombre de couches	4				
Couche la plus externe					
Matériau	béton plein dit structure				
Épaisseur (m)	0,0400				
<input type="checkbox"/> Avec pont thermique ?					
Couche 2					
Matériau	hourdis de béton				
Épaisseur (m)	0,16				
<input type="checkbox"/> Avec pont thermique ?					
Couche 3					
Matériau	mortier de chaux				
Épaisseur (m)	0,0020				
<input type="checkbox"/> Avec pont thermique ?					
Couche la plus interne					
Matériau	Enduit				
Épaisseur (m)	0,010				
<input type="checkbox"/> Avec pont thermique ?					

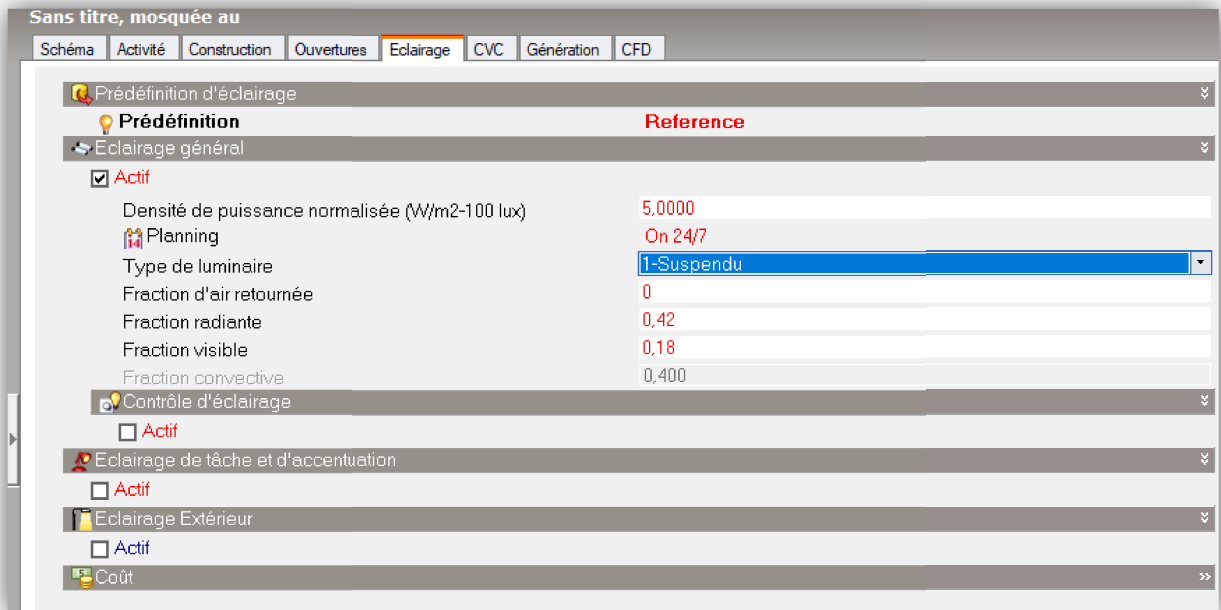
Général	Propriétés de surface	Toiture végétalisée	Carbone Incorporé
Général			
Nom	revêtement de sol		
Description			
Source			
Catégorie	Carreaux		
Région	ALGERIA		
Épaisseur de la couche matériau			
<input type="checkbox"/> Forcer épaisseur			
Propriétés Thermiques			
Propriétés détaillées			
Propriétés thermiques			
Conductivité (W/m-K)	1		
Chaleur spécifique (J/kg-K)	936		
Densité (kg/m ³)	1900		
Résistance (Valeur R)			
Résistance vapeur	>>		
Transfert d'humidité	>>		

Couches	Propriétés de surface	Image	Calculé	Coût
Général				
Nom	plancher bas			
Source				
Catégorie	Planchers (sur terrain)			
Région	ALGERIA			
Couleur				
Définition				
Méthode de définition	1-Couches			
Paramètres de calcul				
Couches				
Nombre de couches	3			
Couche la plus externe				
Matériau	hourdis de béton			
Épaisseur (m)	0,16			
<input type="checkbox"/> Avec pont thermique ?				
Couche 2				
Matériau	mortier de chaux			
Épaisseur (m)	0,04			
<input type="checkbox"/> Avec pont thermique ?				
Couche la plus interne				
Matériau	revêtement de sol			
Épaisseur (m)	0,01			
<input type="checkbox"/> Avec pont thermique ?				

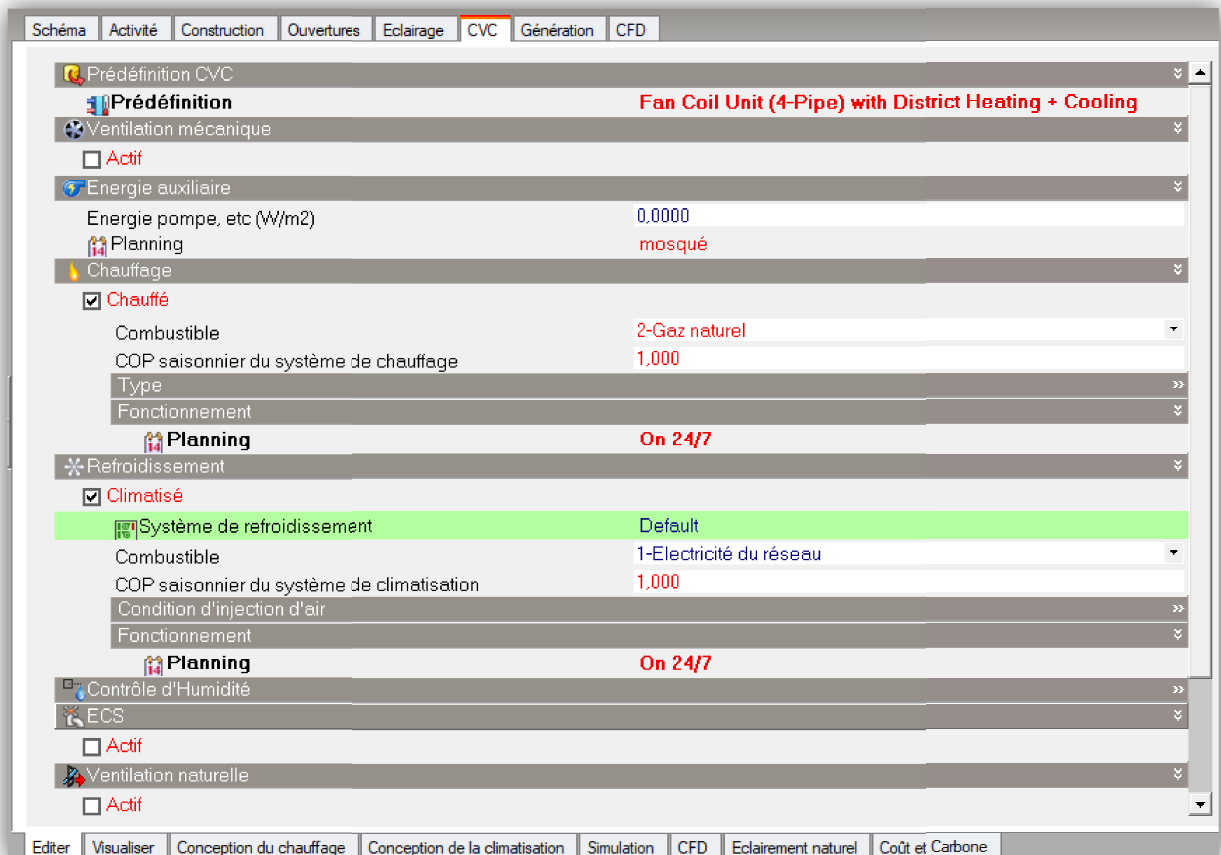
On passe au « Ouvertures » et on règle les paramètres des fenêtres intérieures et extérieures, comme le « Simple vitrage » et les dimensions.



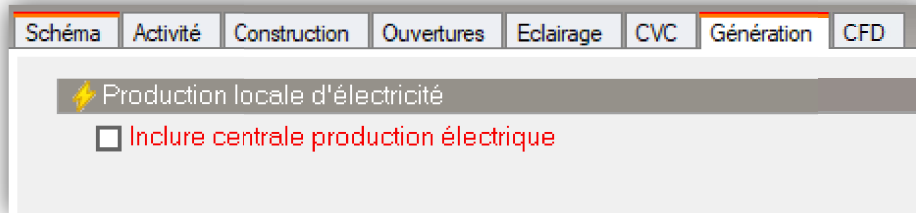
Pour l'éclairage, les mosquées ont généralement un éclairage général suspendu.



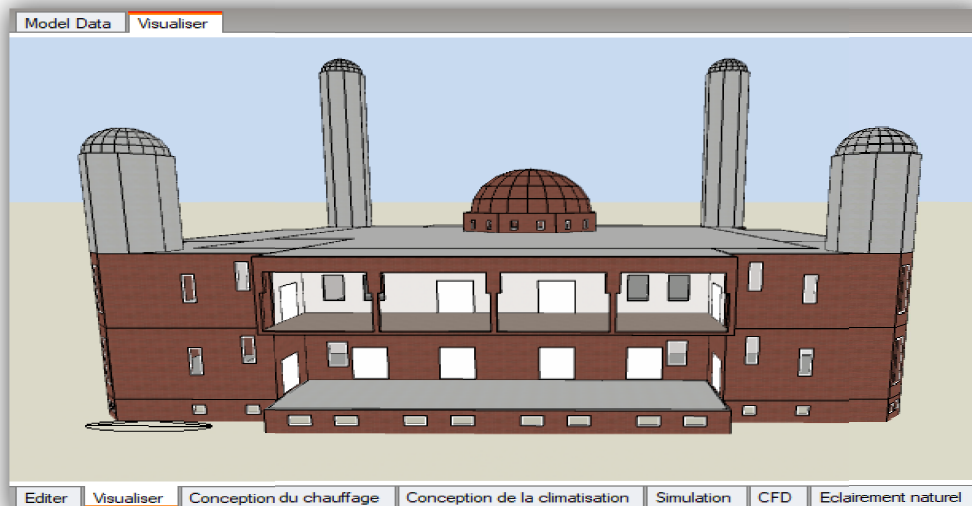
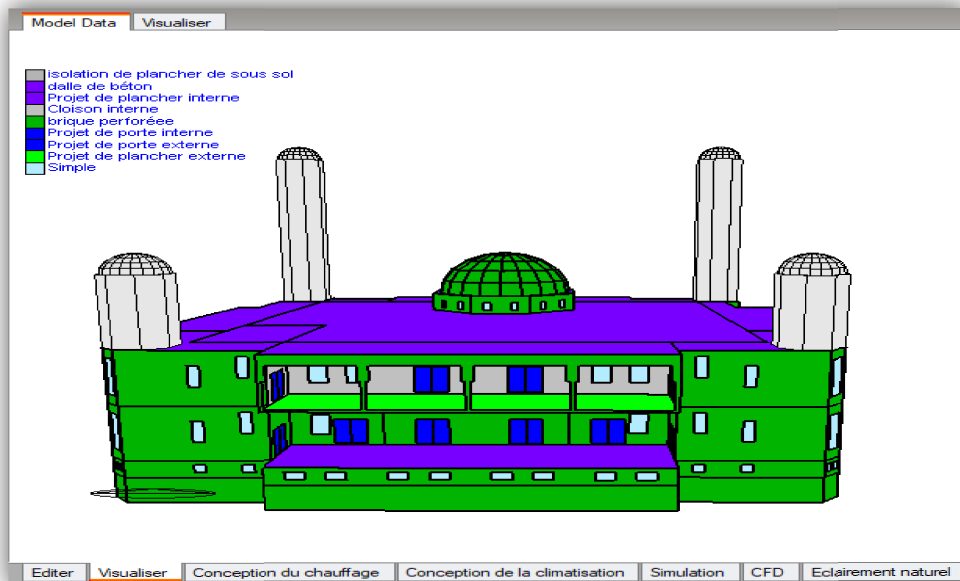
Dans « CVC » on saisit les détails de l'installation énergétique du bâtiment.



Et on désactive la production locale d'électricité.



On clique sur « Visualiser » pour voir la construction de la mosquée.



IV. Résultats et interprétation

IV.1 La conception du chauffage

On commence par simuler la conception du chauffage, en régime permanent du bâtiment courant, on choisit « données à toutes » dans l'option d'affichage pour avoir une série typique de données de conception d'hiver.

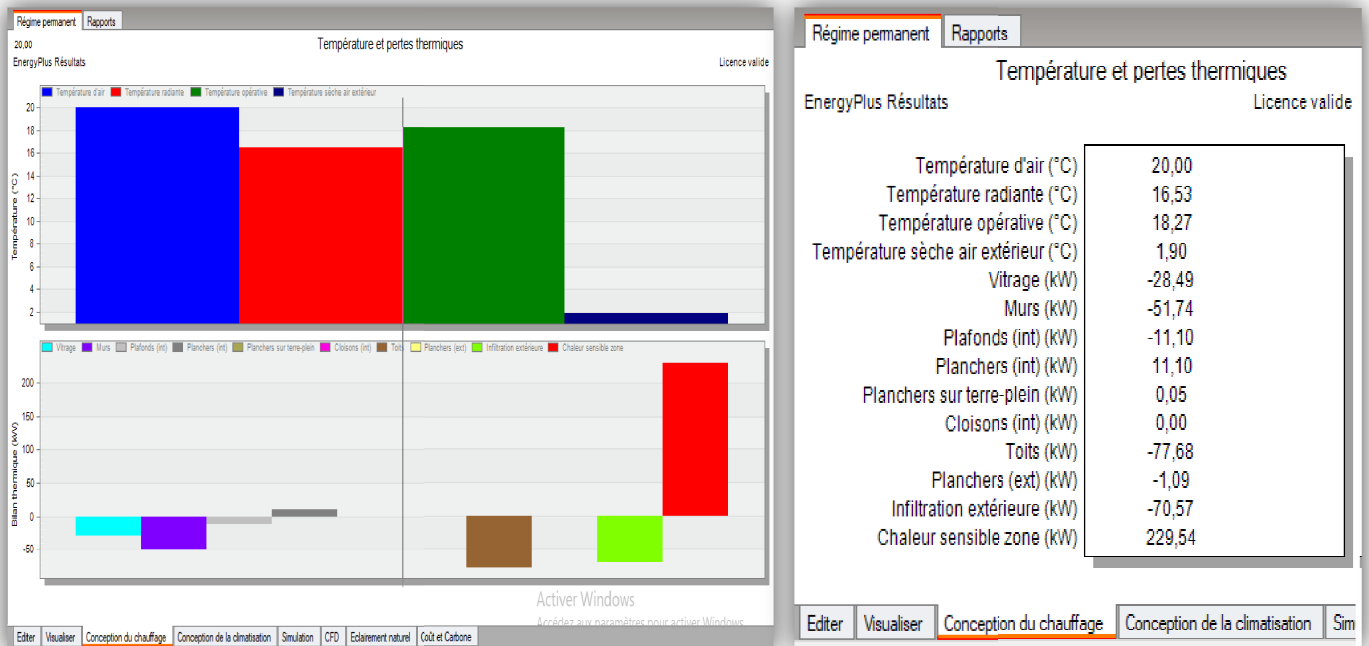


Figure 3-21, Tableau 3-1: Température et pertes thermique de la mosquée avant l'isolation.

- La température de l'air est fixée à 20°C, selon les experts, la température idéale dans une salle oscille entre 18 et 20°C. La température de 20°C sera toutefois le niveau le plus élevé conseillé [30].

- La température radiante est une température qui permet de globaliser les échanges thermiques par rayonnement avec l'environnement, lorsque la température radiante moyenne passe de 19 à 22 °C, la chaleur échangée par convection augmente. A l'inverse, lorsque la température radiante moyenne passe de 16 à 19 °C, la chaleur échangée par rayonnement diminue.

Dans ce cas, la température radiante est de 16,53°C ce qui rend la mosquée plus fraîche [31].

- La température opérative est la température ressentie par l'occupant. Elle prend en compte la température de l'air dans la zone d'occupation et les effets de rayonnement. En hiver, une température de 18,27°C génère une légère sensation de froid.

- L'analyse du bilan des pertes thermique, montre qu'il y a une grande quantité de chaleur perdue par le vitrage, les murs extérieurs, le plafond intérieur et la toiture terrasse. Les pertes s'élèvent à 77 kW.

Ces énormes pertes ont été causées par l'absence d'isolation thermique dans la mosquée.

La capacité thermique massique ou encore chaleur spécifique correspond à l'apport de chaleur nécessaire pour élever la température de l'unité de masse de la substance d'un degré Celsius. À cause des grandes pertes thermiques, une quantité de chaleur sensible importante, 229,54 kW, est fournie par le chauffage pour chauffer la mosquée en hiver.

Régime permanent		Rapports	
Zone	Température de confort (°C)	Pertes thermiques en régim...	Puissance de dimensionnement (kW)
- mosquée au Puissance de dimensionnement du chauffage totale = 179,18 (kW)			
- Bloc 1 Puissance de dimensionnement du chauffage totale = 57,17 (kW)			
Zone 10	18,50	36,55	45,69
Zone 6	19,30	2,60	3,25
Zone 9	19,11	1,84	2,30
Zone 7	19,11	1,84	2,29
Zone 5	19,29	1,46	1,82
Zone 8	19,29	1,46	1,82
- Bloc 2 Puissance de dimensionnement du chauffage totale = 55,75 (kW)			
Zone 14	18,78	28,99	36,24
Zone 11	18,32	6,22	7,77
Zone 6	18,33	6,08	7,60
Zone 7	18,48	1,96	2,46
Zone 4	17,70	1,34	1,68
- Bloc 3 Puissance de dimensionnement du chauffage totale = 66,26 (kW)			
Zone 4	17,25	53,01	66,26

Tableau 3-2 : Besoin énergétique pour la conception de chauffage avant l'isolation.

Ce tableau est le résumé des données de conception d'hiver, des charges de chauffage maximales et des pertes thermiques en régime permanent ainsi que la température de confort. Le bloc 1 qui est le sous-sol, contient 6 zones chauffées : la salle de prière, 4 salles de cour et une salle de cour coranique.

Le bloc 2 qui est le R.D.C, contient 5 zones chauffées : la salle de prière, la chambre du muezzin, la bibliothèque, la salle de réunion et la chambre de l'imam.

Le bloc 3 qui est le 1er étage, contient une seule salle chauffée, à savoir la salle de prière.

La température de confort dans les salles de prières des 3 blocs est inférieure à 19°C, cela est dû aux pertes thermiques dans ces pièces, qui atteignent 53,0 kW, avec toute la consommation d'énergie qui s'ensuit.

IV.2 La conception de la climatisation

Malgré les dépenses énergétiques élevées, la plupart des mosquées présentaient des niveaux de température et d'humidité intérieure qui n'étaient pas dans les limites de confort.

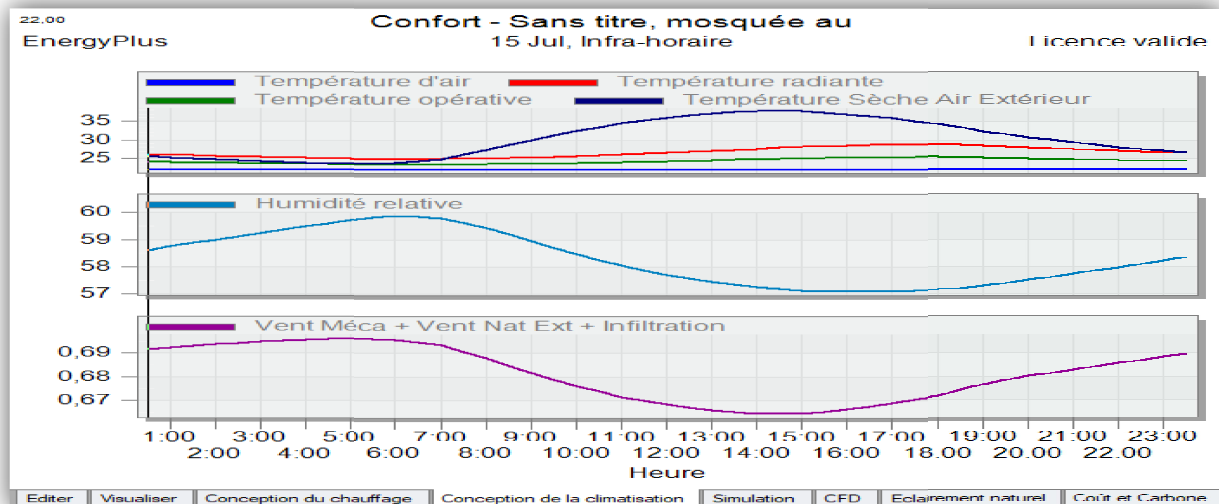


Figure 3-22 : Le confort d'été de la mosquée avant l'isolation.

EnergyPlus		Confort - Sans titre, mosquée au											Licence valide	
		15 Jul. Infra-horaire												
Heure		2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00		
Température d'air (°C)		22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00		
Température radiante (°C)		25,78	25,23	24,78	25,13	25,73	26,66	27,71	28,59	28,82	27,97	27,12		
Température opérative (°C)		23,89	23,62	23,39	23,57	23,86	24,33	24,86	25,30	25,41	24,98	24,56		
Température Sèche Air Extérieur (°C)		24,74	23,89	23,89	27,32	32,47	36,04	37,90	37,04	34,47	30,75	28,18		
Humidité relative (%)		65,29	65,47	65,55	64,97	64,33	63,97	63,80	63,81	63,98	64,39	64,74		
Vent Méca + Vent Nat Ext + Infiltration (Vol/h)		0,69	0,70	0,70	0,69	0,68	0,67	0,66	0,67	0,67	0,68	0,69		

Tableau 3-3 : Le confort d'été de la mosquée avant l'isolation

- Le confort d'été, définit le fait que la température intérieure conventionnelle atteinte en été doit être inférieure à la température de référence [31].

Le passage de la température de 22°C à 23°C entraîne une surconsommation d'énergie d'environ 7%.

- La température des parois (la température radiante) a une grande influence sur la température ressentie (la température opérative), cette dernière est la moyenne entre la température des parois et la température ambiante de l'air [8].

Pour la température de consigne, le confort thermique est insuffisant dans ce cas.

- L'humidité relative de l'air (HR), qui est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température ambiante et la quantité maximale d'eau contenue à la même température, ne doit pas être inférieure à 45 %, ni supérieure à 55 % [8].

Le tableau de confort d'été montre le taux d'humidité élevé dans la mosquée, atteignant 65,55 %.

- La ventilation du permet de renouveler l'air intérieur grâce à différents moyens. Parfois, l'air qui circule dans le bâtiment est plus pollué que celui de l'extérieur si le débit de renouvellement d'air est inférieur à 1Vol/h dans ce cas, il est donc essentiel de le renouveler. Que ce soit pour chasser l'air vicié, évacuer les polluants ou encore pour réguler l'humidité, la ventilation de la mosquée est primordiale.

- L'infiltration est la variable la plus difficile à mesurer et ses pertes sont les plus difficiles à contrôler. En raison de l'ouverture fréquente des portes dans les mosquées pendant les heures d'occupation, il convient d'accorder suffisamment d'attention au contrôle de l'infiltration. Par conséquent, un taux d'infiltration minimum doit être autorisé et un traitement soigneux des fissures et des fuites autour des cadres de fenêtres et de portes doit être mis en œuvre. Une attention particulière doit être accordée à la réduction des fuites autour des ouvertures des unités de climatisation de type fenêtre qui est courantes dans les mosquées.

Zone	Puissance de dimensionnement (kW)
- Default	
Bloc1:Zone10	43,63
Bloc1:Zone6	3,55
Bloc1:Zone8	1,60
Bloc1:Zone9	1,92
Bloc1:Zone7	1,89
Bloc1:Zone5	1,60
Bloc2:Zone4	1,33
Bloc2:Zone6	8,35
Bloc2:Zone7	2,37
Bloc2:Zone14	46,65
Bloc2:Zone11	8,45
Bloc3:Zone4	105,90
Totaux	227,24

Le tableau montre la consommation excessive des trois salles de prière malgré le manque de confort thermique dans la mosquée.

Tableau 3-4 : La puissance de dimensionnement de la climatisation avant l'isolation.

IV.3 L'émission de CO₂

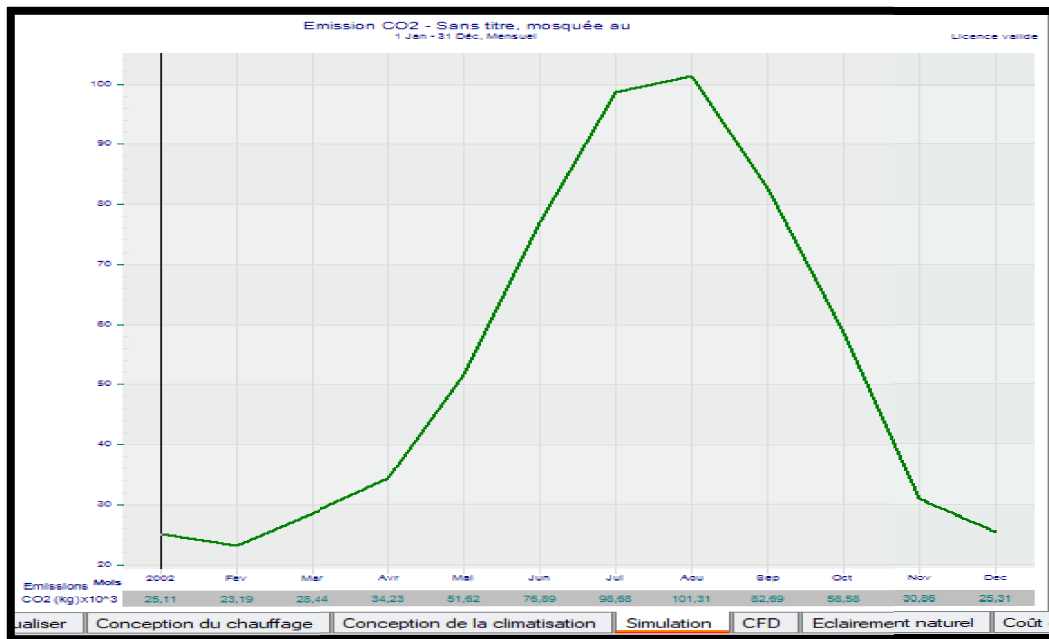


Figure 3-23 : L'émission mensuelle de CO₂ dans la mosquée avant l'isolation.

Un autre résultat clé de la simulation thermique dynamique était l'estimation des niveaux de concentration interne de CO₂.

Le graphique montre les émissions mensuelles de CO₂ de la mosquée, l'été est la période la plus émettrice CO₂.

Dans un logement, l'augmentation du taux de CO₂ est causée par deux facteurs conjoints : la respiration humaine et la mauvaise extraction de l'air.

Conclusion

Un bâtiment mal isolé laisse la chaleur s'échapper vers l'extérieur. Chaque partie du logement est plus ou moins sensible aux déperditions thermiques.

Les émissions trop importantes de CO₂ se répercutent également sur la planète et l'environnement. Lorsque l'isolation est de qualité, on dépense peu d'énergie (électricité, gaz...) pour le chauffage et la climatisation. Cela a pour conséquence de réduire l'émission de gaz à effet de serre, et donc la pollution. Un bâtiment non isolé aura tendance à produire l'effet contraire.

Dans le chapitre suivant, nous simulerons la thermodynamique d'une mosquée avec isolation thermique.

Chapitre 04 : Construction bioclimatique

I. Introduction

"L'énergie la moins chère est celle qu'on ne consomme pas". Isoler la maison est la première solution à examiner lors d'une rénovation et celle qui génère le plus d'économies dans le temps. Les parois à isoler sont les combles, les murs, le sol et les fenêtres car ce sont là les sources de déperditions thermiques les plus importantes.

Mieux le bâtiment est isolé, moins il consommera d'énergie pour rester à la température la plus agréable pour votre confort. Isolation thermique extérieure ou isolation des murs par l'intérieur, les deux techniques offrent des avantages et des inconvénients, mais les deux incluent le traitement des ponts thermiques.

L'un des avantages les plus importants de l'optimisation est l'interaction entre les variables de conception. Par conséquent, il est important d'avoir une vue d'ensemble de toutes les valeurs de la solution optimale (pas seulement pour les variables individuelles) car le changement de la valeur d'une variable peut affecter les valeurs optimales d'autres variables. Par conséquent, il est difficile de conclure des valeurs optimales exactes pour n'importe quelle région climatique, mais des conclusions plutôt générales peuvent être tirées sur la tendance à l'optimisation des variables sélectionnées en fonction du climat.

II. La construction bioclimatique

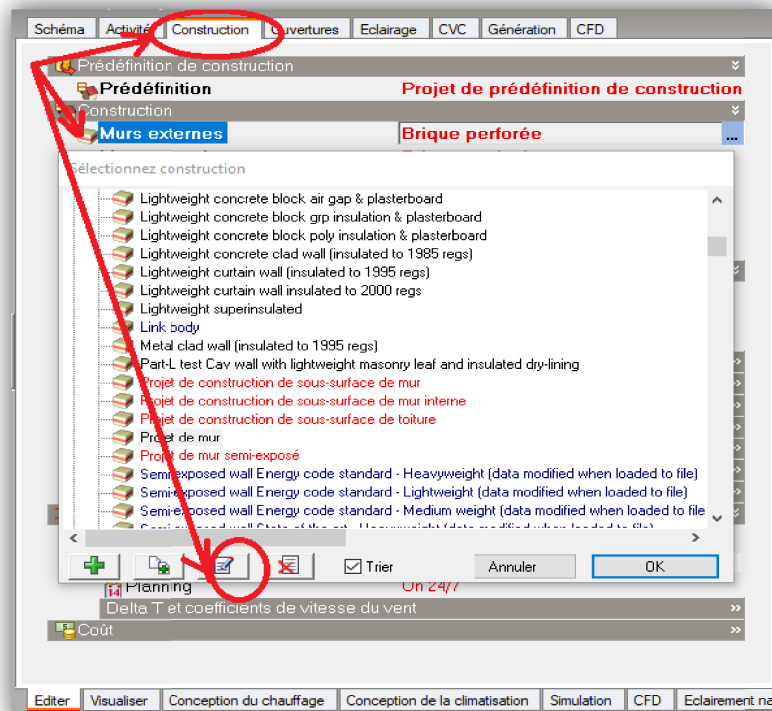
mur extérieur, mur intérieur, plancher haut, plancher bas.		
Désignation et représentations	Couche	Épaisseur [cm]
Murs extérieurs	1/he	
	1-mortier	2
	2-polystyrène	16
	3-Brique creuse de 10cm	2
	3-Enduit plâtre	1
	1 / hi	
Murs intérieurs	1/he	
	1-Enduit plâtre	1
	2-Brique creuse de 5cm	5
	3-Enduit plâtre	1
	1 / hi	
Plancher bas	1/he	
	1-Hourdis de 16 en béton	16
	2-Mortier	4
	3-polystyrène expansé	3
	4-Carrelage	2
	1 / hi	

Plancher haut	1/he	
	1- PVC	2
	2-mousse polyuréthane	8
	3-polyéthylène	2
	4-béton	16
	5-hourdis de béton	16
	6-mortier de chaux	2
	7-enduit	1
	1/hi	

Tableau 4-1: Les caractéristiques des murs et des planchers de la mosquée avec isolation.

II.1 Isolation des murs extérieurs

On va à « Construction » puis on clique sur « Murs externes » et on commence la modification.



Dans le système d'enveloppe du bâtiment, les murs sont l'un des aspects clés de la conception de l'enveloppe qui peuvent contribuer positivement ou négativement à la performance thermique d'un bâtiment. En règle générale, un mur bien conçu peut protéger l'intérieur du climat rigoureux et empêcher les fluctuations de température dans les climats chauds et froids [27].



Figure 4-1: Mosquée Cyberjaya en Malaisie et mosquée Al Irsyad en Indonésie [27].

Aussi bien dans les climats chauds que froids, isoler l'intérieur des conditions extérieures est le critère le plus important dans la conception de murs thermiquement efficaces et, par extension, la performance thermique du bâtiment.

Dans notre cas, pour les murs extérieurs on a choisi de faire une isolation extérieure.

L'isolation thermique par l'extérieur est souvent présentée comme la plus efficace contre les ponts thermiques et la plus « pratique » à mettre en œuvre.

En outre, cette technique présente l'avantage incontestable de ne pas modifier la surface habitable et offre de bonnes performances avec une réduction d'environ 25 % de la consommation d'énergie. Elle permet aussi de renforcer l'étanchéité à la pluie ou la protection contre les chocs thermiques, ce qui peut augmenter l'inertie thermique et la pérennité du bâtiment [33].

Il existe de nombreuses méthodes pour isoler un mur extérieur, ainsi que de nombreux matériaux. Parmi toutes les solutions disponibles, l'isolation avec du polystyrène est la plus utilisée, car le polystyrène est un isolant disponible et bon marché. Pour terminer l'isolation contenant la brique perforée et le polystyrène, on met l'enduit.

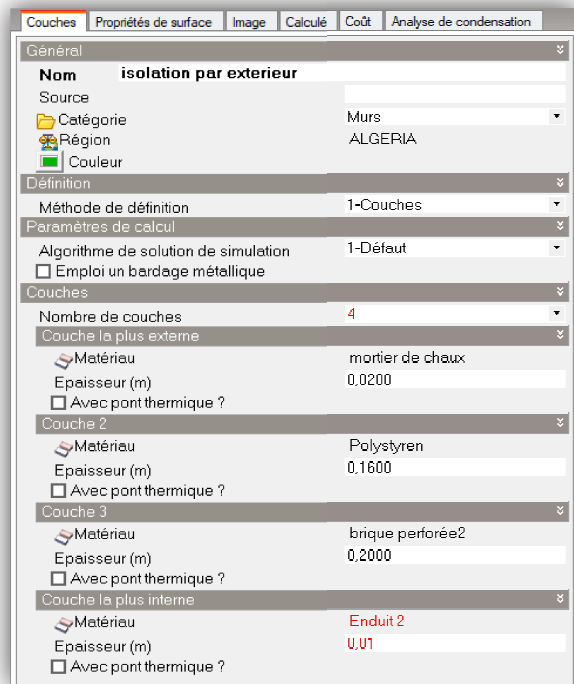
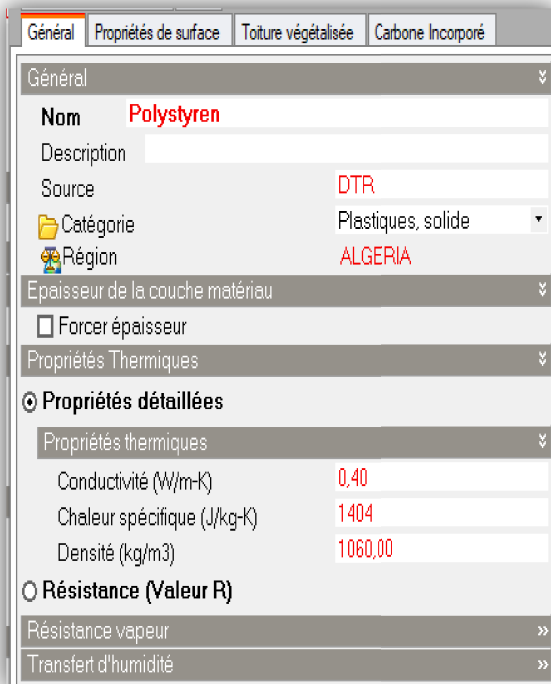


L'enduit de chaux est préféré à l'enduit de ciment pour ses qualités propres : il permet aux murs de respirer et de travailler ce qui évite les fissures ; on lui reconnaît également des propriétés assainissantes et ses textures donnent un aspect chaleureux aux surfaces qu'il recouvre. Les couleurs obtenues sont très variées, selon les granulats employés et également des pigments que l'on peut y ajouter lorsque le sable utilisé est un sable lavé [5].

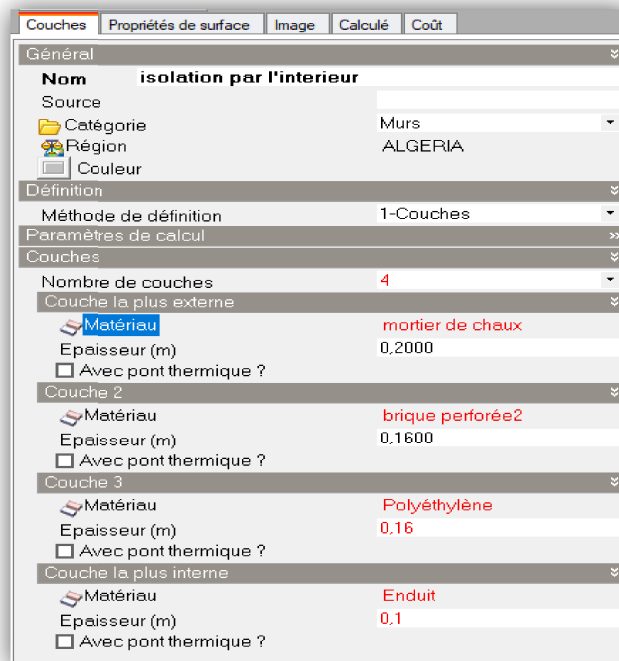
Figure 4-2: Finition de l'isolation avec l'enduit [5].

Chapitre 04 : Construction bioclimatique

On présente dans le logiciel les matériaux (la brique perforée et l'enduit sont déjà présentés, mortier de chaux, polystyrène) et leurs caractéristiques tirées du D.T.R C 3.2/4.



Et puisque l'aspect extérieur des façades ne peut pas être modifié, l'isolation doit se faire par l'intérieur du bloc sous-sol.



II.2 Isolation de la toiture terrasse

Étant donné que la plupart des mosquées modernes ont des dômes, il est impératif de discuter des performances thermiques de telles configurations de toit. Cependant, les recherches sur les performances thermiques des mosquées par rapport aux dômes sont très minimes. Néanmoins, des études sur différentes configurations de toit qui ont été menées sur d'autres types de bâtiments peuvent fournir des informations utiles pour les chercheurs. Dans une étude sur un toit en dôme, il a été constaté que les dômes ne transmettent pas directement le rayonnement solaire à l'intérieur mais chauffent l'espace au sommet de la salle de prière lorsque les rayonnements se rencontrent au point focal qui se trouve au centre du dôme. La chaleur est ensuite dissipée dans tout l'intérieur grâce au mélange d'air et de courant de convection. Si cet air réchauffé peut être évacué par des ouvertures, on peut s'assurer que la charge de refroidissement intérieur est abaissée. Cependant, des précautions doivent être prises lors de la conception des ouvertures pour initier le flux d'air, car le vitrage du toit provoque un gain de chaleur du rayonnement solaire direct, en particulier lorsque le soleil est au-dessus pendant les prières Dhuhr et Asr. Les chercheurs ont conclu qu'en combinant des cheminées solaires ou des capteurs de vent avec des dômes, une différence de pression peut être créée qui peut améliorer le mouvement de l'air et la ventilation. Il a également été constaté que les toits en forme de dôme dissipent plus de chaleur que les toits plats en raison de la surface incurvée agrandie. Ainsi, dans les endroits avec de grandes différences diurnes, comme les climats chauds et secs, les dômes peuvent convenir si la ventilation nocturne est utilisée comme stratégie de refroidissement. Bien que ces résultats de recherche soient précieux en eux-mêmes, des études similaires doivent également être menées pour les bâtiments des mosquées afin de vérifier si ces résultats sont également applicables dans le contexte de la conception des mosquées [27].

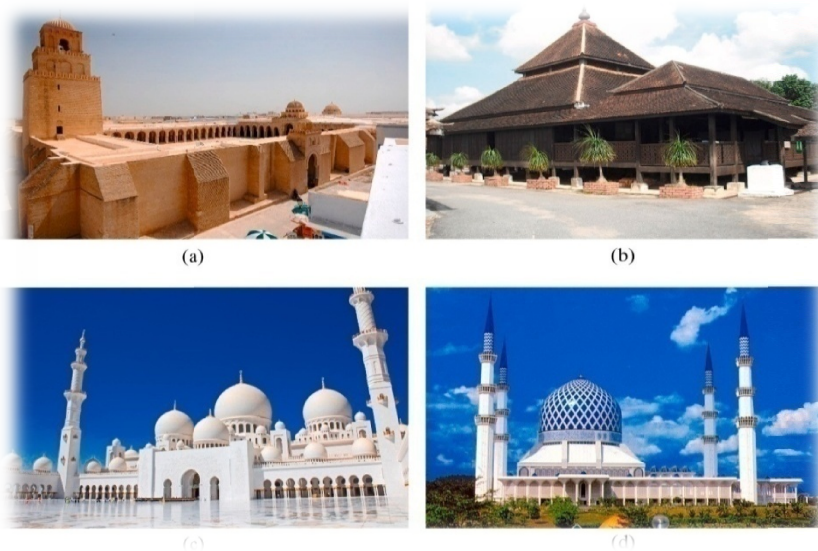


Figure 4-3 : (a) Mosquée traditionnelle à toit plat sous climat HD (Grande Mosquée de Kairouan, Tunisie), (b) Mosquée traditionnelle à toit pyramidal sous climat HH (Masjid Kampung Laut, Malaisie), (c) Mosquée contemporaine au toit en dôme dans le climat HD (Mosquée Sheikh Zayed, Émirats Arabes Unis), (d) Mosquée contemporaine au toit en dôme dans le climat HH (Mosquée de l'État de Selangor, Malaisie) [27].

La toiture terrasse appelée aussi toiture plate joue un rôle très important au niveau du logement. Elle assure un rôle d'isolation thermique et de structure d'étanchéité. Son isolation est un point essentiel et ne doit pas être négligé. S'il est vrai que son coût est relativement élevé, les économies d'énergie qu'elle permet de réaliser compensent largement ce problème.

L'isolation d'une toiture terrasse est généralement réalisée par l'extérieur, pour des raisons pratiques, mais aussi parce que cela offre une meilleure étanchéité du bâtiment.

La méthode la plus courante, et aussi la plus recommandée est l'isolation conventionnelle, ou toiture chaude. La technique consiste à poser, sur l'élément porteur du toit, un pare-vapeur. Son rôle est d'empêcher que la vapeur d'eau stagne entre les parois, dans le but de réduire la condensation dans l'habitat [34].

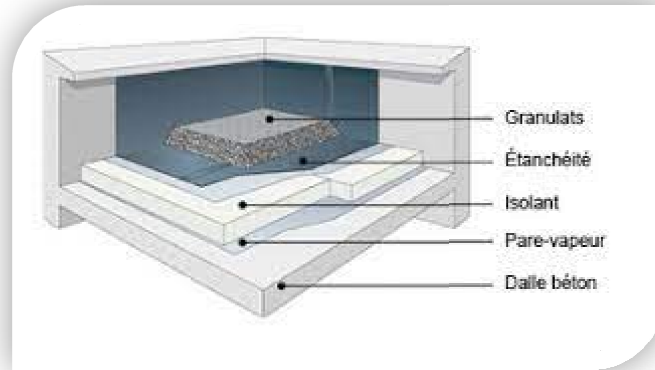
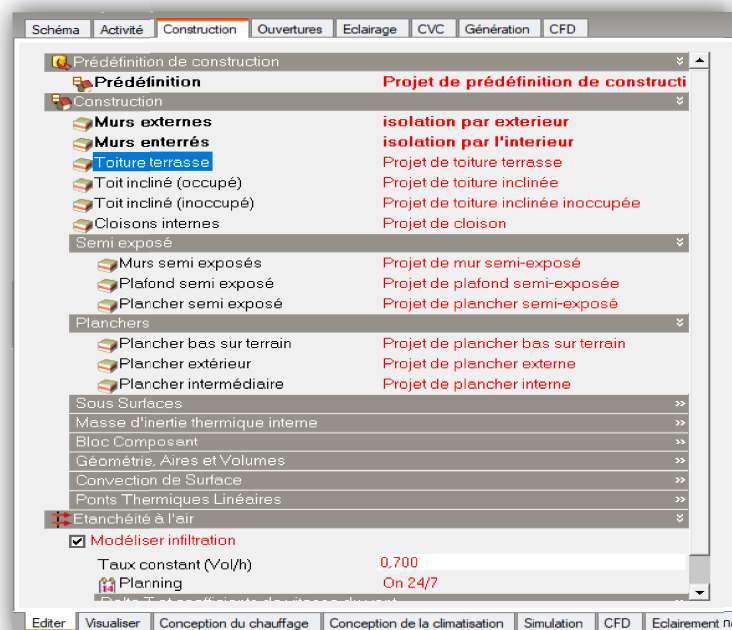


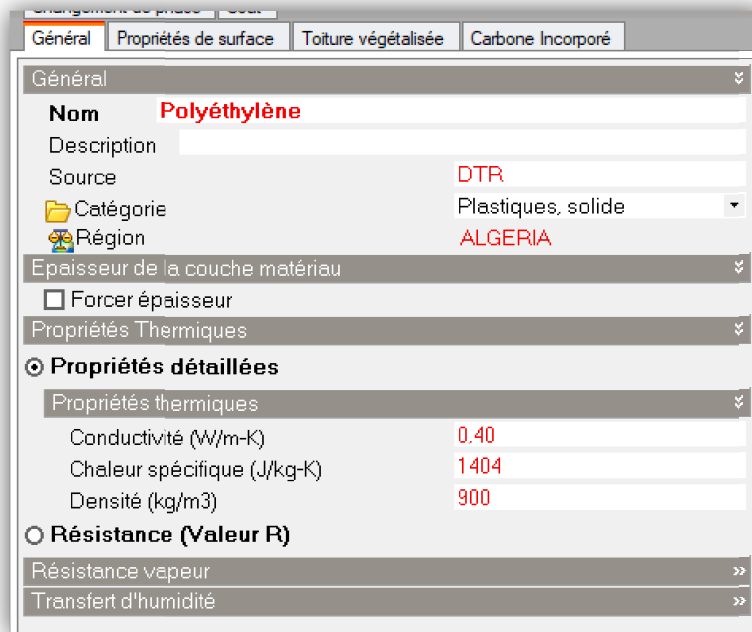
Figure 4-4: Schéma d'isolation toiture terrasse [34].

D'où on passe à l'isolation de la terrasse :



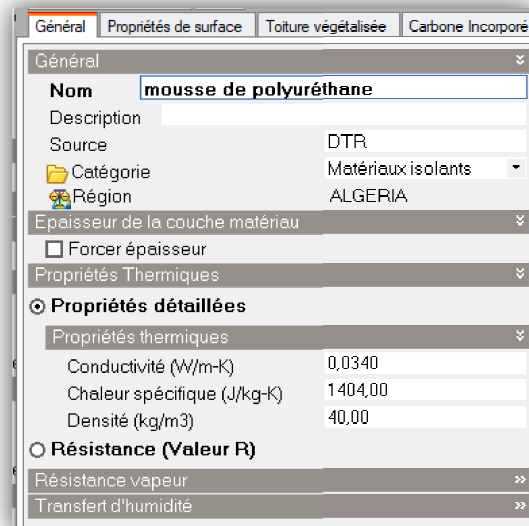
Un **pare-vapeur** est un film parfaitement étanche qui protège de la vapeur (contrairement à un pare-pluie!). Ainsi, l'humidité présente dans l'air sous la forme de condensation ne peut pas traverser cet écran de protection.

Il existe plusieurs types de pare-vapeur, le plus fréquemment utilisé est le film en polyéthylène [34].



L'isolant utilisé pour un toit-terrasse doit être d'une grande robustesse, ce qui limite le choix : mousse phénolique, mousse polyuréthane, laine de roche.

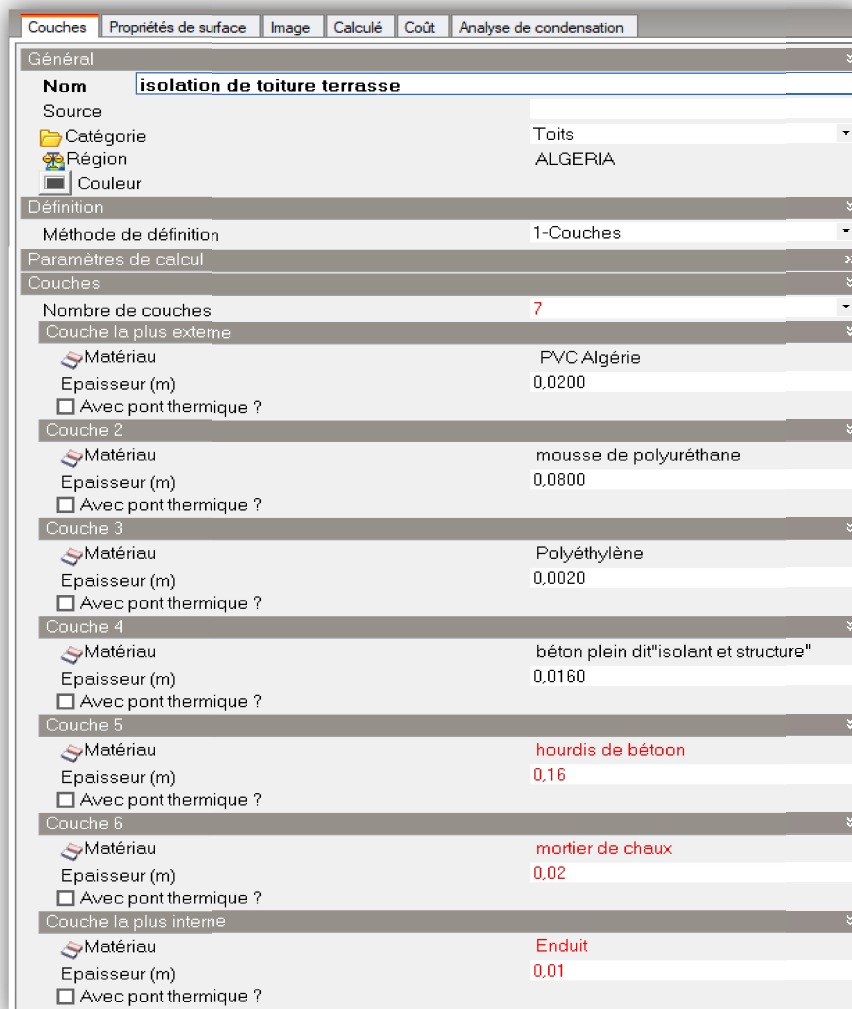
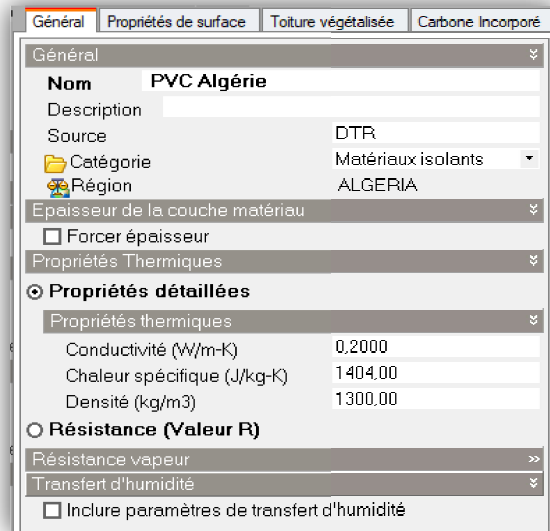
Les produits d'isolation en polyuréthane rigide (PUR) sont très efficaces, légers et peuvent même se lier à la plupart des matériaux. Sa conductivité thermique extrêmement basse et son rapport résistance / poids élevé, associés à une grande polyvalence de fabrication, fournissent une gamme de produits. En conséquence, les produits d'isolation PUR constituent le choix naturel pour la plupart des applications d'isolation de construction.



La valeur isolante du polyuréthane est supérieure à celle de la laine de roche. Ce qui signifie, qu'un panneau de polyuréthane d'une épaisseur de 50 mm isole comme un panneau de laine de roche d'une épaisseur de 80 mm [35].

L'étanchéité, constituée le plus souvent d'un revêtement bitumineux (roofing) ou parfois d'une membrane EPDM /PVC.

Le PVC similaire dans sa présentation à l'EPDM, le polychlorure de vinyle est une membrane synthétique souple que l'on colle et qui permet de recouvrir un toit terrasse de grande surface. En plus de sa légèreté et de sa durabilité, son principal avantage est qu'il ne nécessite pas de sous-couche [34].



II.3 Isolation du plancher bas

Selon l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie), les pertes énergétiques au niveau des planchers bas peu ou mal isolés varient entre 7 et 10 %.

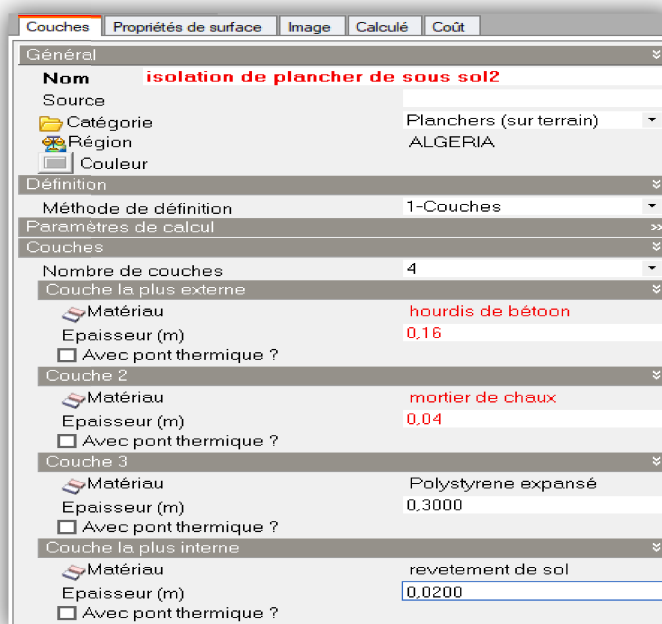
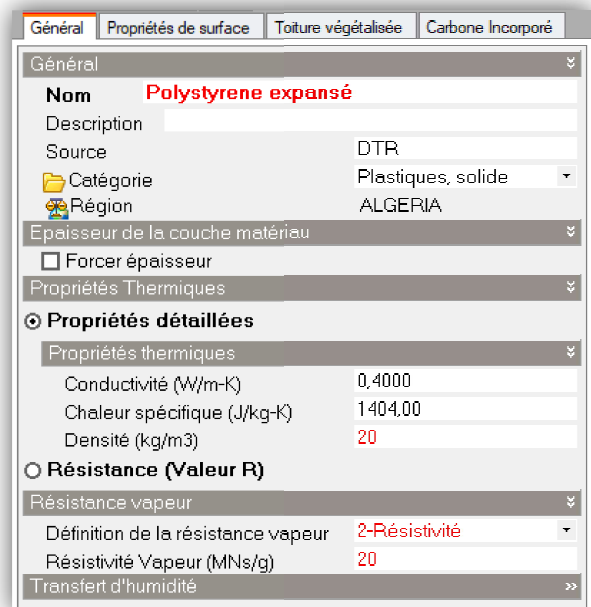
L'isolation au-dessus du plancher s'envisage dans la majorité des cas lors de la construction de la maison.

Les panneaux isolants seront posés sur le plancher. Ces panneaux doivent résister à la compression et être adaptés à un éventuel chauffage au sol. Il est ensuite possible de couler une chape pour rattraper les éventuels défauts de planéité et poser le revêtement de sol souhaité.

Pour éviter de créer des ponts thermiques, on veillera lors d'une isolation par le dessus de limiter au maximum les espaces entre les plaques d'isolants. Pour ce faire, il est d'usage de couvrir les jonctions à l'aide de ruban adhésif.

Les isolants adaptés au sol et possédant le meilleur rapport qualité et prix sont ceux à base de polystyrène ou de polyuréthane [38].

Le polystyrène expansé est un isolant synthétique à faible coût qui peut être utilisé pour tout type d'isolation. Il est principalement utilisé lorsqu'on manque de place (fort pouvoir isolant), ou pour l'isolation extérieure des murs (résistance aux intempéries) et des planchers (résistance à la compression) [32].



II.4 Le double vitrage

Les fenêtres et les ouvertures sont les composants les plus faibles de la conception thermique de l'enveloppe du bâtiment dans les climats chauds, car elles permettent aux rayons solaires directs et indirects de pénétrer à l'intérieur.

Le double vitrage permet de limiter la déperdition de chaleur par les fenêtres d'au moins 40 % par rapport à un simple vitrage. L'isolation est mesurée par le coefficient U_g . La valeur U_g d'un simple vitrage est de 6,8 tandis que celle du double vitrage est de 2,8. Plus le chiffre est bas, plus l'isolation est performante [36].

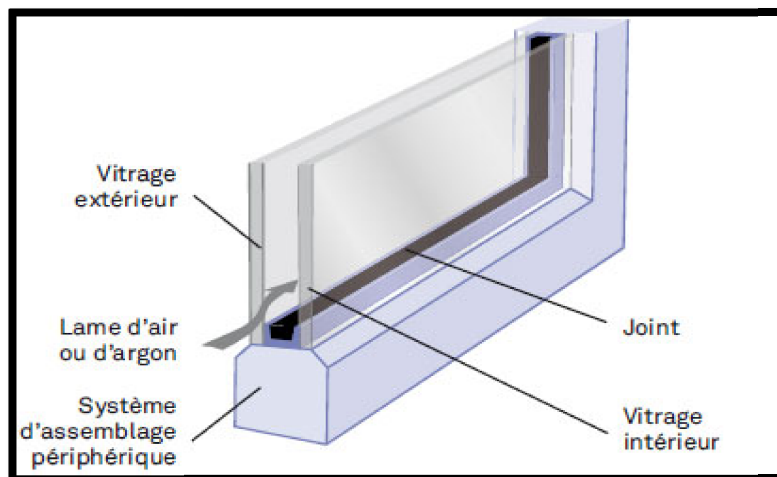
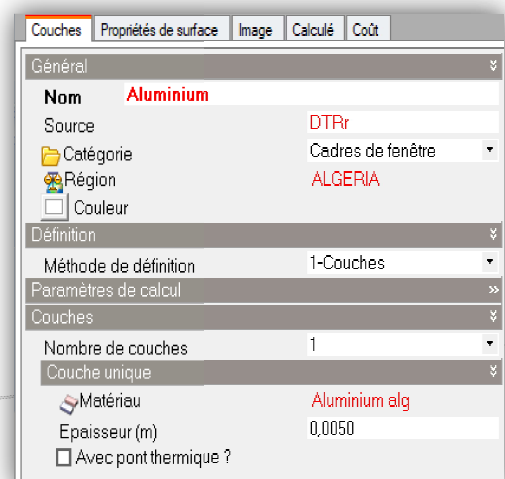
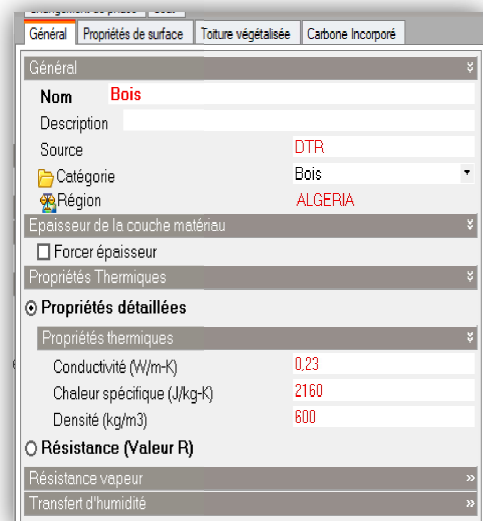


Figure 4-5: Double vitrage [36].

Beaucoup plus chères que les menuiseries en PVC, les menuiseries mixtes sont pourtant de plus en plus utilisées par les particuliers et les professionnels, que ce soit en rénovation ou en construction. La raison est qu'elles sont à la fois élégantes, robustes, confortables et performantes d'un point de vue énergétique. Les fenêtres et portes bois-alu ont de sérieux arguments en leur faveur, pour peu de désavantages.

A l'intérieur, les fenêtres bois-alu présentent la face en bois, chaleureuse, élégante et lumineuse, qui crée une ambiance agréable tout en s'adaptant à la décoration. Le bois peut être peint, lasuré, traité selon la finition souhaitée [37].

A l'extérieur, les fenêtres en matériau mixte présentent la face équipée du capotage aluminium. De cette manière, il est possible de bénéficier des atouts de ce matériau conçu pour l'extérieur : grande résistance aux intempéries et aux UV, aucune



déformation, aucun entretien, si ce n'est un nettoyage à l'eau savonneuse de temps en temps. Sa durée de vie moyenne est estimée à 50 ans [37].

Vues de l'extérieur, les fenêtres bois-alu présentent un aspect moderne, épuré, avec un grand choix de couleurs : elles sont traitées par galvanisation ou thermolaquées pour une finition durable et stable dans le temps.

En ce qui concerne les performances thermiques, cette fenêtre procure non seulement l'isolation thermique et acoustique naturelle du bois, mais en plus des lames d'air du capotage aluminium avec, pour résultat, des fenêtres bois-alu généralement bien supérieures aux menuiseries PVC ou alu en termes d'isolation.

En ce qui concerne la lumière enfin, l'utilisation de l'aluminium permet la création de profilés plus fins, qui permettent ainsi de maximiser la surface de vitrage... et d'optimiser l'apport solaire, tant en termes de chaleur que de lumière.

Parfaites sous tous rapports, les fenêtres bois-alu ne présentent que bien peu de défauts au regard de leurs qualités [37].



Figure 4-6: fenêtre bois-alu. [37]



II.5 Les lampes à LED

Un projet de partenariat a été lancé lundi à Alger entre le ministère des Affaires religieuses et des Wakfs et celui de la Transition énergétique et des Energies renouvelables, à l'effet de doter les mosquées de 14 circonscriptions administratives de la capitale en lampes LED, dans le cadre du programme de rationalisation de la consommation de l'électricité, en attendant la généralisation de cette opération à l'ensemble des mosquées de la République [7].

Alors que les lampes fluo-compactes ont remplacé en seulement quelques années les lampes à incandescence, les lampes à LED sont maintenant largement diffusées sur le marché de l'éclairage domestique. Elles sont employées aussi bien dans les logements que dans les écrans [38].

Une diode électroluminescente (LED) est un composant électronique permettant la transformation de l'électricité en lumière. Ses principales applications, par ordre d'importance de marché, sont l'électronique mobile, les écrans, le secteur de l'automobile, l'éclairage et la signalisation [38].

Pour l'éclairage, on utilise des lampes constituées de plusieurs LED de forte puissance accolées, puisqu'à l'unité leur flux lumineux (mesuré en lumen ou lm) est encore trop faible.

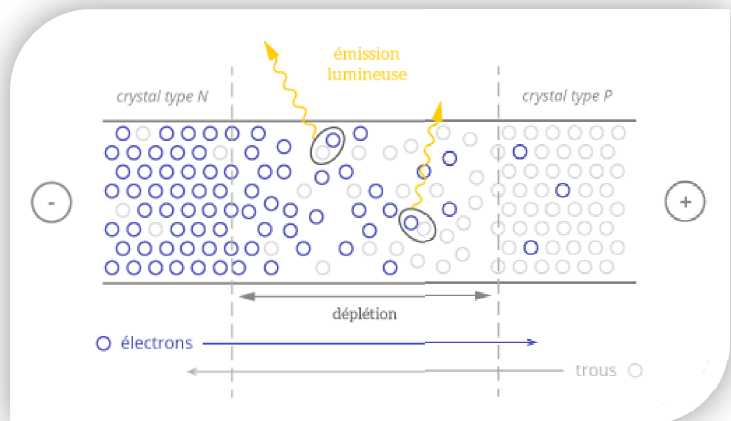


Figure4-7: Zoom sur le fonctionnement LED [38].

Les lampes LED présentent de nombreux avantages, parmi eux :

- La durée de vie des lampes à LED est largement supérieure à celle des autres technologies, jusqu'à 100 000 heures.
- Bonne efficacité énergétique avec un important potentiel de progression.
- Un éclairage maximal instantané.
- Des lampes compactes.

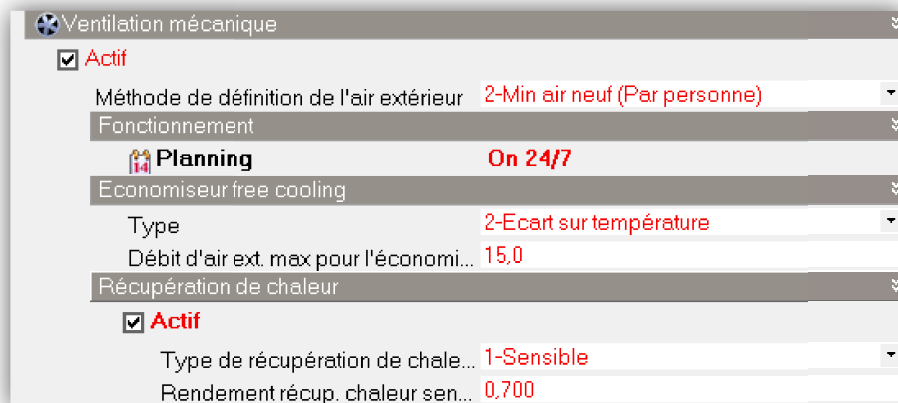


II.6 La ventilation mécanique

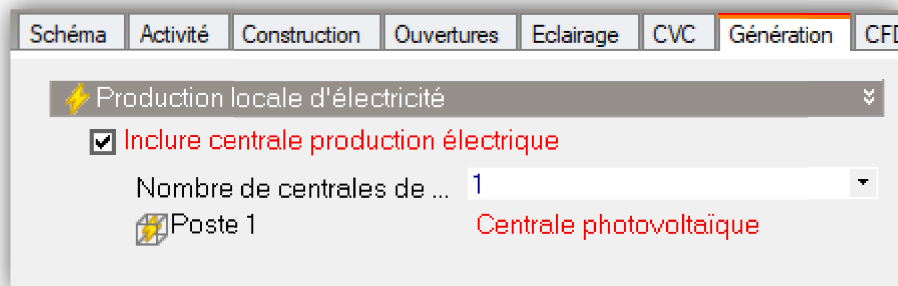
D'autre part, les systèmes de ventilation naturelle (ouverture des fenêtres) ne permettent pas un contrôle adéquat de l'entrée de l'air extérieur, étant impossible de savoir si les flux de ventilation sont inférieurs ou supérieurs à ceux réellement nécessaires pour garantir les besoins de l'environnement intérieur. Un débit d'air insuffisant rendra l'environnement intérieur insalubre, tandis qu'un débit excessif entraînera un impact énergétique élevé, annulant en même temps les efforts consentis par les autres stratégies bioclimatiques et d'isolation [39].

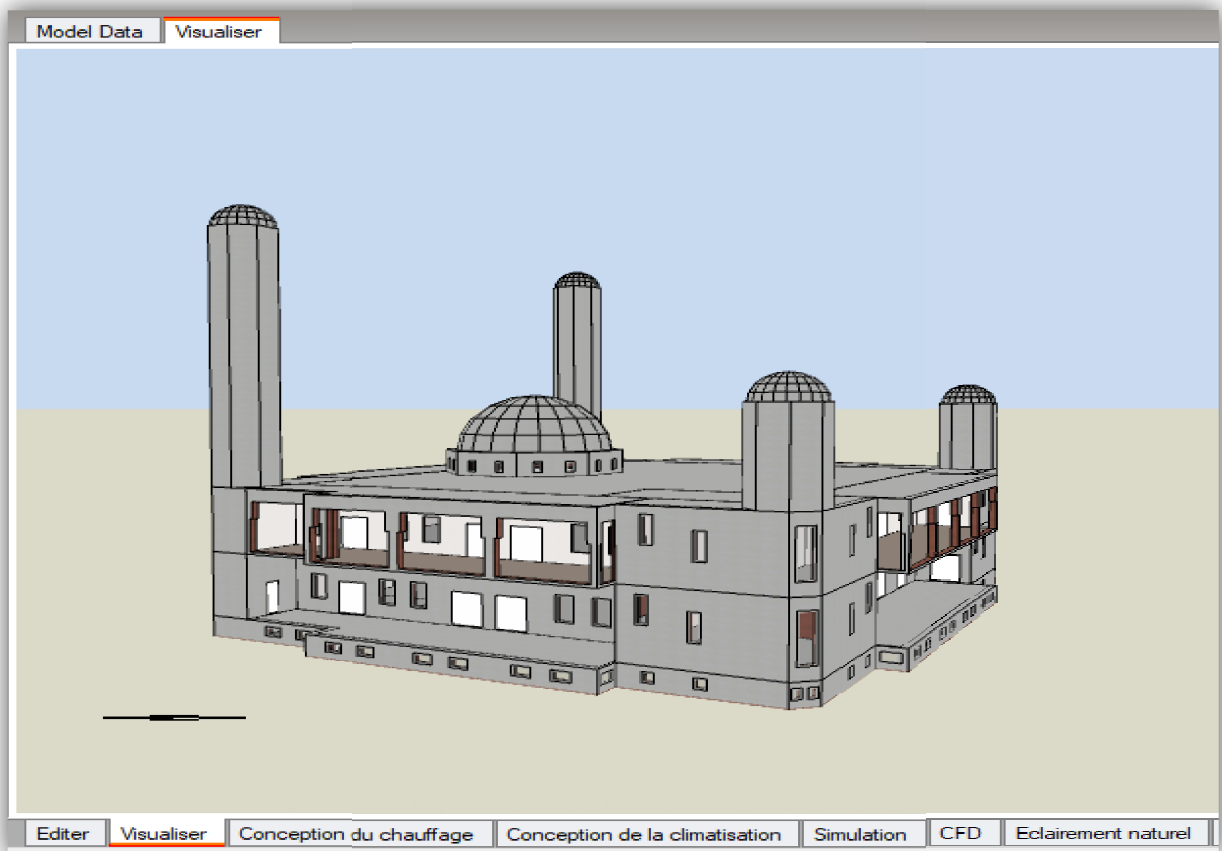
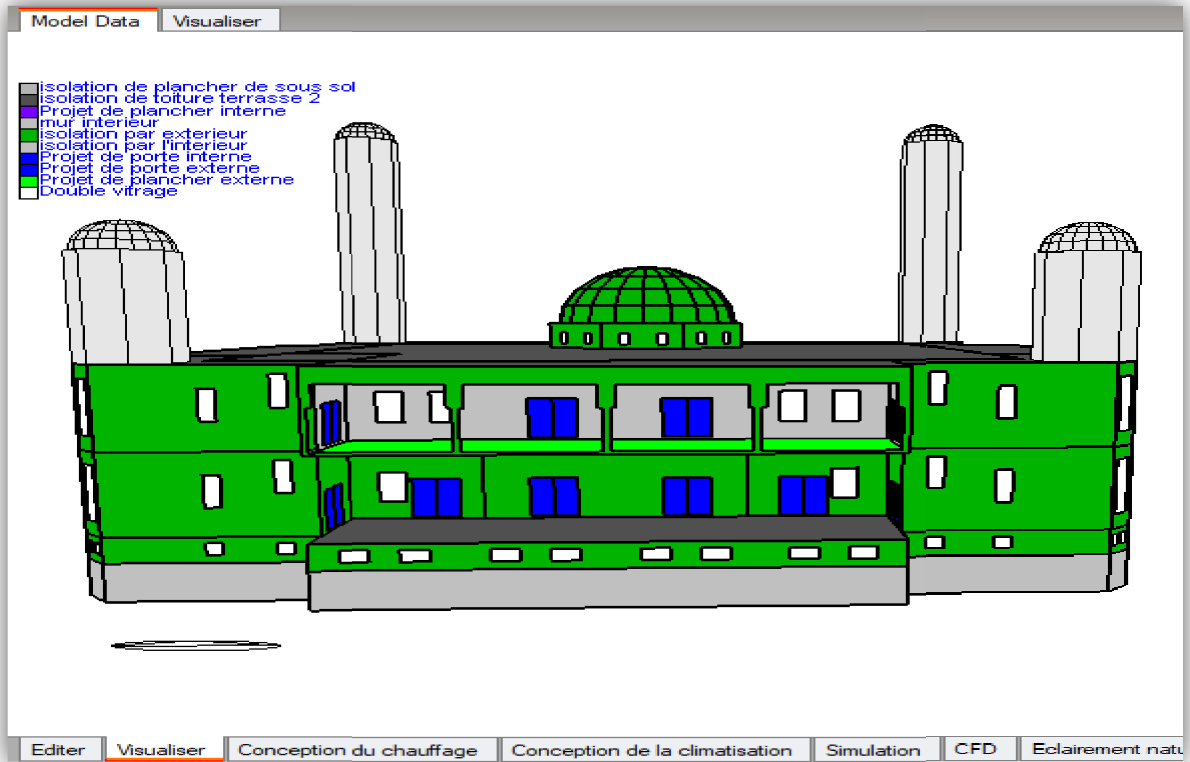
Il est donc essentiel de pouvoir contrôler l'introduction d'air extérieur. De cette manière, il est possible de garantir la qualité de l'air intérieur et de maîtriser la consommation d'énergie nécessaire au chauffage ou à la climatisation. La meilleure option reste les systèmes de ventilation mécanique, qui garantissent le renouvellement d'air et le confort intérieur nécessaires avec possibilité de récupération d'énergie pendant la période hivernale sous une norme exigeante en termes d'efficacité énergétique.

A ce stade de la simulation, il faut activer la « Ventilation mécanique » et l'option de « Récupération de chaleur ».



Toujours, dans le but de minimiser les factures d'électricité de la mosquée à l'aide des énergies renouvelables, on inclut dans le logiciel une centrale de production d'électricité avec des panneaux solaires photovoltaïques.





III. Résultats et interprétation

III.1 La conception du chauffage

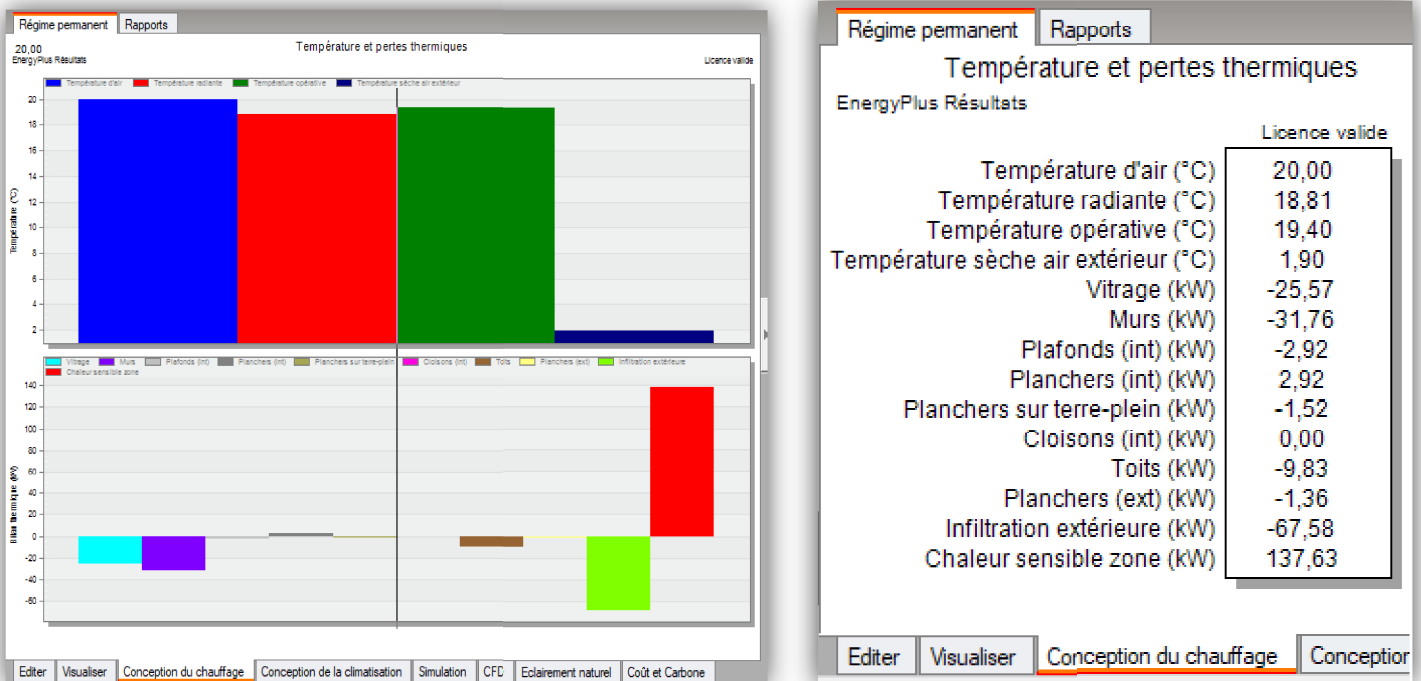


Figure 4-8, Tableau 4-2: Temperature et pertes thermique de la mosquée après l'isolation.

- La température de l'air est toujours fixée à 20°C.
- On note que la température radiante a augmenté de 16,53 °C à 18,87 °C, vu que l'isolation des murs par l'extérieur a permis de remédier aux pertes de chaleur par pont thermique et donc une meilleure performance thermique globale à l'intérieur.

Et comme nous l'avons mentionné précédemment, lorsque la température radiante moyenne passe de 19 à 22 °C, la chaleur échangée par convection augmente, donc 18,87 °C est une très bonne valeur en hiver.

- Vu que la température opérative est la moyenne entre la température radiante et la température ambiante de l'air, l'augmentation de la température radiante a amélioré la température opérative ressentie par l'occupant.
- Parmi les avantages de l'isolation thermique par l'extérieur figurent en première place les bonnes performances énergétiques assurées par ce type d'isolation. En effet, une isolation par l'extérieur permet de lutter efficacement contre les ponts thermiques responsables d'importantes pertes d'énergie en enveloppant le bâtiment de manière uniforme. Par ailleurs, cette isolation protège les murs contre les variations climatiques, puisque les

parois sont ainsi moins soumises aux grands écarts de température, les pertes thermiques à travers les murs ont diminué de 51,74 kW à 31,76 kW.

- Au-delà des économies d'énergie qu'elle permet de réaliser, l'isolation des combles a grandement amélioré le confort thermique de la mosquée en réduisant les déperditions de chaleur de 77,68 kW à 9,83 kW.

- L'isolation par l'extérieur, a réduit même les infiltrations extérieures de 70,57 kW à 67,58 kW.

- On voit aussi l'importance du double vitrage dans l'isolation thermique, cet avantage découle du précédent : les économies d'énergie générées par la limitation des déperditions permettent de faire baisser significativement la facture énergétique.

- En réduisant les déperditions thermiques vers l'extérieur, la quantité sensible de chaleur nécessaire pour chauffer la mosquée est réduite de 229,54 kW à 137,63 kW.

Régime permanent		Rapports	
Zone	Température de confort (°C)	Pertes thermiques en régime permanent (kW)	Puissance de dimensionnement (kW)
- mosquée au Puissance de dimensionnement du chauffage totale = 102,50 (kW)			
- Bloc 1 Puissance de dimensionnement du chauffage totale = 34,80 (kW)			
Zone 10	19,51	20,98	26,22
Zone 6	19,62	2,04	2,56
Zone 9	19,44	1,38	1,72
Zone 7	19,44	1,38	1,72
Zone 5	19,67	1,03	1,29
Zone 8	19,67	1,03	1,29
- Bloc 2 Puissance de dimensionnement du chauffage totale = 40,96 (kW)			
Zone 14	19,45	21,07	26,33
Zone 11	18,95	4,65	5,82
Zone 6	18,95	4,59	5,73
Zone 7	19,05	1,44	1,80
Zone 4	18,35	1,02	1,28
- Bloc 3 Puissance de dimensionnement du chauffage totale = 26,74 (kW)			
Zone 4	19,55	21,39	26,74

Tableau 4-3 : Besoin énergétique pour la conception de chauffage après l'isolation.

D'après le tableau de résumé des données de conception d'hiver, on peut voir que la température de confort dans les trois salles de prières est stable et toujours de 19 °C.

On conclut que cette isolation est performante et permet d'éviter les courants d'air et de supprimer les murs froids, ce qui entraîne une augmentation et une stabilisation plus rapide de la température interne, ce qui améliore le confort de la mosquée et diminue la consommation énergétique de 179,18 kW à 102,5 kW.

III.2 La conception de la climatisation

Si le confort d'un bâtiment en hiver est important, il est tout aussi important en été.

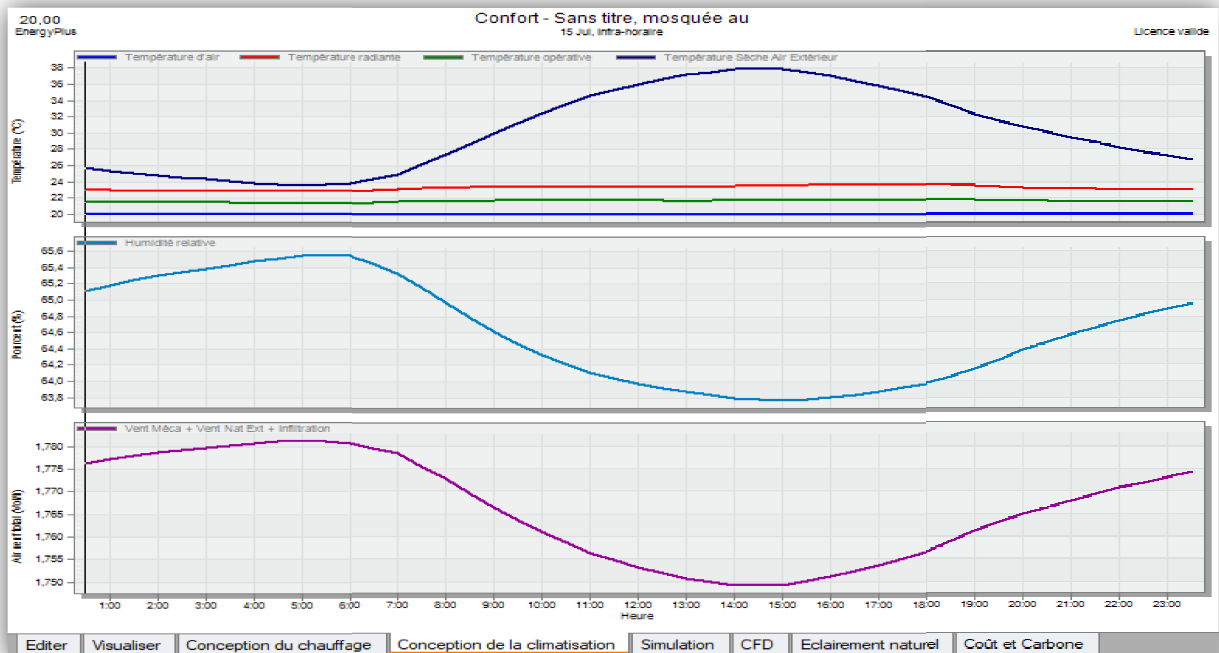


Figure 4-9 : Le confort d'été de la mosquée après l'isolation.

EnergyPlus		Confort - Sans titre, mosquée au											Licence valide	
		15 Jul, Infra-horaire												
Heure		2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00		
Température d'air (°C)		22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00		
Température radiante (°C)		22,91	22,84	22,80	23,33	23,46	23,44	23,49	23,64	23,67	23,21	23,06		
Température opérative (°C)		21,45	21,42	21,40	21,66	21,73	21,72	21,74	21,82	21,83	21,61	21,53		
Température Sèche Air Extérieur (°C)		24,74	23,89	23,89	27,32	32,47	36,04	37,90	37,04	34,47	30,75	28,18		
Humidité relative (%)		56,93	55,65	55,67	56,92	55,85	55,20	54,85	54,74	54,86	55,30	55,85		
Vent Méca + Vent Nat Ext + Infiltration (Vol/h)		1,78	1,78	1,78	1,77	1,76	1,75	1,75	1,75	1,76	1,76	1,77		

Tableau 4-4 : Le confort d'été de la mosquée après l'isolation

- La température de l'air est toujours fixée à 22°C.
- Pour la terrasse et les murs extérieurs, l'utilisation des surfaces de couleur claire pour minimiser la chaleur absorbée par les surfaces du bâtiment, en particulier pendant la période estivale.
- Le refroidissement préalable de la masse du bâtiment de plusieurs degrés sous le niveau de confort parfois (au moins une heure) avant l'occupation aidera à absorber une partie

de la charge thermique de pointe, ce qui entraînerait une demande moindre et une taille d'équipement plus petite.

- La température intérieure conventionnelle garantit une température agréable dans les bâtiments pendant la saison chaude tout en évitant de recourir aux systèmes de climatisation. Le confort d'été établit que la température intérieure conventionnelle atteinte en été doit être inférieure à la température de référence, ce qui est exactement ce que nous avons dans notre cas.

Dû à l'effet de l'isolation, la température de confort est atteinte pendant la période estivale.

- On note également que le pare-vapeur servait de protection contre l'humidité.
- Un grand nombre d'occupants, en particulier pendant le fonctionnement complet (généralement de courtes périodes). Cela implique la nécessité d'un taux de ventilation raisonnable sans dimensionnement excessif de l'équipement CVC.

La ventilation mécanique a assuré un taux de ventilation raisonnable de 1,72Vol/h.

- Les hauts plafonds des mosquées peuvent provoquer une stratification de la chaleur au-dessus de la zone occupée. La stratification est bonne pour le refroidissement et peut être obtenue par une alimentation et un retour d'air à basse altitude où il ne se mélange pas avec l'air supérieur. Cependant, la stratification n'est pas bonne pour le chauffage et son effet peut être réduit en utilisant des ventilateurs de plafond ou une faible distribution d'air.

Zone	Puissance de dimensionnement (kW)
- mosquée au	
Bloc1:Zone10	38,19
Bloc1:Zone8	1,66
Bloc1:Zone9	1,86
Bloc1:Zone7	1,86
Bloc1:Zone5	1,66
Bloc1:Zone6	3,63
Bloc2:Zone7	1,71
Bloc2:Zone4	0,93
Bloc2:Zone6	7,11
Bloc2:Zone14	39,46
Bloc2:Zone11	6,98
Bloc3:Zone4	46,62
Totaux	151,67

La climatisation centralisée, est généralement déployée de début avril à fin octobre. Cela peut avoir un impact considérable sur la quantité d'énergie électrique utilisée pour contrôler mécaniquement l'environnement interne dans la mosquée. Cependant, l'utilisation des énergies renouvelables et des panneaux solaires en particulier pendant la saison estivale peut potentiellement économiser de l'énergie électrique significative de 227,24 kW à 151,67 kW, ce qui réduirait à son tour la dépense énergétique et par conséquent les émissions de dioxyde de carbone.

Tableau 4-5 : La puissance de dimensionnement de la climatisation après l'isolation.

III.3. L'émission de CO₂

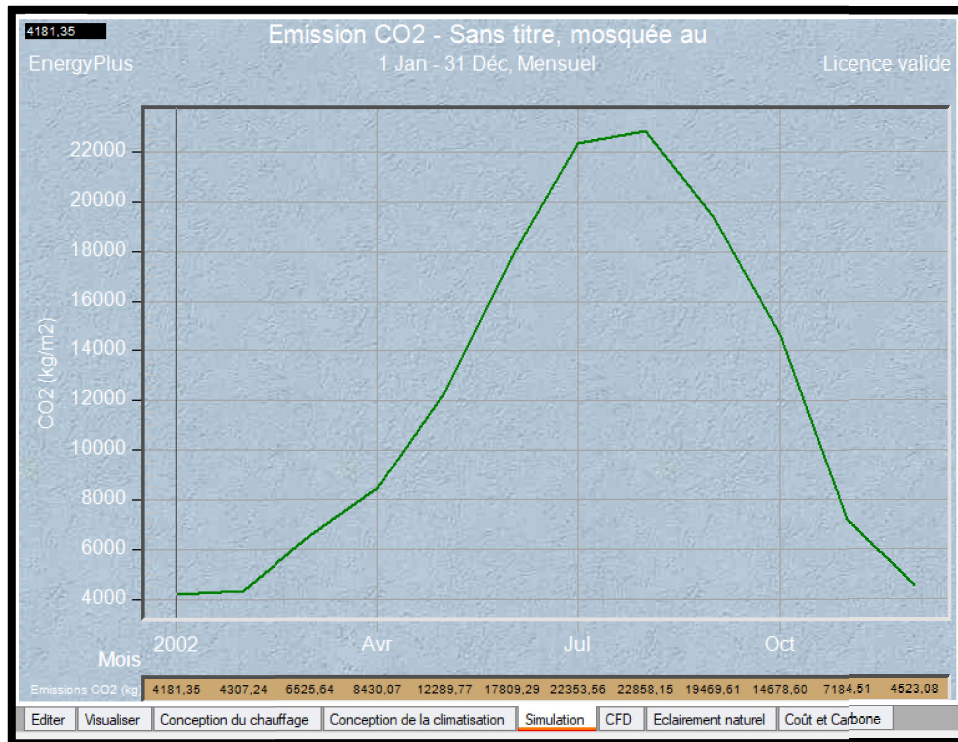


Figure 4-10 : L'émission mensuelle de CO₂ dans la mosquée après l'isolation.

- On remarque que les émissions de CO₂ ont considérablement diminué après l'utilisation d'isolation thermique et la ventilation mécanique, la valeur la plus élevée est toujours en été de 22858,15kg/m² après qu'elle ait été de 101000,31kg/m².

Conclusion

On a pu réduire les besoins en chauffage à 57,2 % et en climatisation à 66,74 %, grâce aux solutions passives, l'isolation intérieure, extérieure et le double vitrage. Aussi des solutions actives comme la ventilation mécanique les panneaux photovoltaïques pour produire de l'électricité pour l'éclairage intérieur.

Conclusion générale

Les mosquées sont des bâtiments dominés par la charge extérieure qui se caractérisent par leurs horaires d'occupation intermittents et variables. La plupart des mosquées utilisent une forme de système de chauffage/refroidissement mécanique afin de maintenir des conditions de confort thermique appropriées pour les utilisateurs pendant les heures de prière. En raison des caractéristiques spatiales et des modes d'occupation uniques des mosquées, ces systèmes sont souvent énergivores, ce qui a un impact sur l'efficacité énergétique globale du bâtiment. L'inefficacité de l'utilisation de l'énergie des mosquées a généralement été attribuée à la mauvaise performance thermique des bâtiments ainsi qu'à des stratégies opérationnelles inadaptées pour le calendrier d'occupation des mosquées.

L'objectif visé dans ce travail de recherche, est d'améliorer l'efficacité énergétique des mosquées en Algérie, à partir d'une étude thermique de la mosquée Othman-Ibn-Affan (Puisse Dieu l'agrée).

Pour la première étape d'étude, nous avons étudié le comportement thermique de la mosquée avec une construction ordinaire à l'aide d'un logiciel de simulation thermique dynamique DesignBuilder. Cet outil de simulation prend en considération les conditions météorologiques du site étudié.

Pour la deuxième étape, nous avons étudié l'isolation thermique extérieure pour la mosquée, la ventilation mécanique, l'utilisation des lampes LED, ainsi que l'intégration d'une centrale photovoltaïque pour la production de l'électricité pour l'éclairage intérieur.

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Conception du chauffage	Construction sans isolation thermique	Construction avec isolation thermique
Température opérative °C	18,27	19,40
Pertes thermiques du vitrage kW	28,49	25,57
Pertes thermiques des murs kW	51,64	31,76
Pertes thermiques du toit kW	77,68	9,83
Infiltration extérieurs kW	70,57	67,58
Chaleur sensible kW	229,54	137,63
Moyenne de température de confort °C	18,70	19,30
Moyenne de pertes thermique kW	11,94	5,19
Puissance de dimensionnement du chauffage totale kW	179,18	102,50
Conception de la climatisation	Construction sans isolation thermique	Construction avec isolation thermique
Moyenne de Température opérative °C	24,93	21,62
Moyenne d'Humidité relative %	64,57	55,62
Moyenne de VentMéca+infiltration vol/h	0,68	1,76

Conclusion générale

Puissance de dimensionnement de la climatisation kW	227,24	151,67
L'émission de CO₂	Construction sans isolation thermique	Construction avec isolation thermique
Moyenne d'émission mensuelle de CO₂ (kg) x10³	52,49	12,05

Les résultats du tableau nous permettent de tirer les conclusions suivantes:

La consommation énergétique dans les salles de prière est supérieure par rapport aux autres zones de la mosquée, ceci est dû à son volume, au temps d'occupation et au nombre d'occupants.

- Ces résultats montrent que l'introduction de l'isolation entraîne une diminution remarquable des besoins de chauffage. L'isolation de la toiture par 8cm de mousse de polyuréthane, l'isolation externe des murs avec 16 cm de polystyrène expansé et l'utilisation du double vitrage réduit considérablement la puissance de chauffage.

En comparant la consommation énergétique nécessaire pour chauffer la mosquée à une température de consigne égale à 19 °C, ils ont constaté que l'économie d'énergie peut atteindre 77 % en utilisant le polystyrène dans l'isolation des murs et du toit, et dans notre cas les besoins de chauffage ont été réduits de 57,2% ce qui est un bon résultat.

D'où, l'isolation de la toiture est nécessaire pour économiser les besoins de chauffage.

D'après ces résultats, on constate que l'isolation externe est une solution énergétiquement meilleure que celle interne ou en milieu, car elle permet d'emmagasiner la chaleur des gains internes et des gains solaire dans le mur (inertie thermique).

Il faut mentionner que les murs doivent être considérablement épais pour profiter pleinement de l'effet de décalage thermique.

- Les murs de la mosquée, après l'isolation thermique, est devenu épais de 39 cm, ce qui a permis de maintenir les températures de confort optimales dans la salle de prière de cette mosquée pendant la majeure partie de la journée sans qu'aucune intervention mécanique ne soit nécessaire. Cela est dû à la masse thermique élevée des matériaux qui provoque un décalage thermique par lequel le mur retient la chaleur du rayonnement solaire et la rediffuse plus tard avec un retard. Un tel phénomène permet le décalage des pics de charges de refroidissement et permet également un refroidissement nocturne de la paroi pendant les périodes d'inoccupation en dissipant la chaleur stockée.

Le toit est le principal contributeur au gain de chaleur à travers l'enveloppe extérieure, car il est constamment exposé au soleil tout au long de la journée. Donc l'isolation du toit est encore plus importante que l'isolation des murs.

Conclusion générale

L'augmentation des épaisseurs de polystyrène extrudé entraîne une réduction des besoins en énergie de rafraîchissement.

Un bâtiment dont l'isolation est performante est très étanche. Cela induit que l'humidité, le CO_2 lié à la présence des occupants et différents polluants sont contenus à l'intérieur du logement. Au-delà des dégradations possibles sur la structure des murs, ces polluants peuvent provoquer des troubles de la santé divers. L'installation d'une ventilation mécanique contrôlée a permis de l'aération des pièces closes et ainsi d'évacuer l'humidité et divers polluants accumulés dans le logement. L'air pénètre dans les différentes pièces du logement par le biais de petites grilles d'aération également appelées « entrées d'air ». Son principe est d'amener de l'air dans les pièces de vie et d'évacuer l'air dit « pollue » via les pièces techniques telles que la cuisine, salle de bains et sanitaires.

Après l'installation de la ventilation mécanique l'humidité a été diminuée de 13,86% et les émissions de CO_2 ont été réduites de 77,04%.

En plus de l'installation de la centrale photovoltaïque, les besoins en climatisation ont été réduits de 66,74%.

Notre étude a permis d'atteindre les objectifs suivants :

-Les simulations réalisées grâce à logiciel DesignBuilder, nous a permis d'identifier les besoins en chauffage et climatisation. Afin d'améliorer les conditions du confort thermique à l'intérieur de la mosquée.

-Réduction de la consommation de chauffage à 57,2% et en climatisation à 66,74, grâce aux solutions passives, l'isolation intérieure, extérieure et le double vitrage, aussi des solutions actives comme la ventilation mécanique les panneaux photovoltaïques.

Bibliographie et Webographie

Bibliographique :

- [4] : Direction des affaires religieuses et des wakfs d'Alger.2018
- [10] :Thuamann, Albert, fourth edition, Handbook of Energy Audits, the Fairmont Press, Lilburn, GA. (1995).
- [11] : Abdou, A. A., M. S. Al-Homoud, and I. M. Budaiwi, A Systematic Approach for Energy Audit in Mosques, Proc. 2nd International Conference on Energy Research and Development, Kuwait University, Kuwait, Vol. 1, pp. 77-86, May 8-10 (2002).
- [13] : BOURSAS, Abderrahmane, 2013. Etude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment d'habitation a l'aide d'un logiciel de simulation. Mémoire de magister. Université Constantine 1Faculté des sciences de l'ingénieur département de génie climatique.
- [15] : HAMDANI, Maamar, 2016.Choix de l'orientation et des matériaux de construction en vue d'améliorer les performances thermiques des bâtiments .thèse de doctorat. Université Abou-Bekr, Belkaïd- Tlemcen.
- [16] : FERRADJI, Kenza, 2017. Evaluation des performances énergétiques et du confort thermique dans l'habitat. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider Biskra.
- [17] : DIDA, Mustapha, 2016. Contribution a l'étude de l'effet d'isolation thermique sur la consommation énergétique des bâtiments. Mémoire de master. Université KasdiMerbah Ouargla.
- [18] : IZARD, Jean-Louis, Juillet, L'inertie thermique dans le bâtiment.2016
- [20] : MEDJELEKH, D, 2006. Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment, mémoire du magister, Université Mentouri Constantine.
- [25]: Nabeeha Amatullah Azmi, Siti Halipah Ibrahim, Faculty of Engineering, faculty of Built Environment, Universiti Malaysia Sarawak, Kota Samarahan, Sarawak, 94300, Malaysia. 2020
- [28] : Christophe Amone, Casquettes bioclimatiques.2005
- [31] : CONFORT THERMIQUE DANS LES LIEUX DE VIE AUTEUR : MICHEL LE GUAY.2016
- [36] : AATTACHE, Amel, 2017- 2018. Nouveau matériaux le verre dans le bâtiment. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran MOHAMED BOUDIAF U.S.T.O.

Webographie :

- [1] : OpenEdition Journal, Les changements climatiques et leurs impacts [en ligne]. Disponible sur : <journals.openedition.org/vertigo>.2015
- [2] : RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE [en ligne]. Disponible sur : <www.energy.gov.dz>. 2019
- [3] : Samir LESLOUS, Les mosquées et les administrations pointées du doigt [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.liberte-algerie.com>>.2019
- [5] : WIKIPEDIA, Efficacité énergétique (économie) [en ligne]. Disponible sur : <[fr.wikipedia.org/wiki/Efficacit%C3%A9_%C3%A9nerg%C3%A9tique_\(%C3%A9conomie\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Efficacit%C3%A9_%C3%A9nerg%C3%A9tique_(%C3%A9conomie))>.2017
- [6] : CDER, Carte de la production d'électricité injectée au réseau électrique pour l'Algérie [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.cder.dz/>>.2019
- [7] : ALGÉRIE PRESSE SERVICE, Le secteur du bâtiment, premier consommateur d'énergie en Algérie [en ligne]. Disponible sur : <aps.dz>.2019
- [8] : Energie+, Confort thermique [en ligne]. Disponible sur : <<https://energieplus-lesite.be/>>.2021
- [9] : MAGHREB EMERGENT, L'Algérie veut construire des mosquées vertes [en ligne]. Disponible sur : <maghrebemergent.net>.2018
- [12] : asder, Conception Bioclimatique [en ligne]. Disponible sur : <asder.asso.fr>.2016
- [14] : DOCPLAYER, Compacité du bâtiment [en ligne]. Disponible sur : <docplayer.fr>.2014
- [19] : LEMONITEUR , Ventilation mécanique et naturelle [en ligne]. Disponible sur : <emoniteur.fr>. 2013
- [21] : PANNEAUSOLAIRE, Fonctionnement des panneaux solaires [en ligne]. Disponible sur : <panneausolaire.com>. 2021
- [22] : FUTURA MAISON, Pompe à chaleur [en ligne]. Disponible sur : <futura-sciences.com>
- [23] : iDmaison, Puits canadien [en ligne]. Disponible sur : <futura-sciences.com>.2009
- [24]: <https://www.google.com/maps>
- [26] : Climate-Data, Climat Rouiba [en ligne]. Disponible sur : <fr.climatedata.org/afrique/algerie/alger/rouiba-31688/>.2021
- [27] : Meteoblue, Climat Rouiba [en ligne]. Disponible sur : <https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/rouiba_alg%C3%A9rie_2482908>.2021

[29] : BATISIM, Pourquoi choisir le logiciel DesignBuilder [en ligne]. Disponible sur :< batisim.net>. 2018

[30] : totalEnergies, Quelle est la température idéale d'un bâtiment en hiver [en ligne]. Disponible sur :< totalenergies.fr>. 2021

[31] : FUTURA MAISON, Le confort d'été [en ligne]. Disponible sur :<<https://www.futura-sciences.com/>>. 2020

[32] : Conseils Thermiques, Le polystyrène expansé [en ligne]. Disponible sur :<<https://conseils-thermiques.org/>>.

[33] : Knauf, FAUT-IL CHOISIR UNE ISOLATION PAR L'EXTÉRIEUR (ITE) OU PAR L'INTÉRIEUR (ITI) [en ligne]. Disponible sur :< knauf.fr>.2018

[34] : La prime énergie, tout savoir sur l'isolation du toit-terrasse [en ligne]. Disponible sur :<<https://www.laprimeenergie.fr/>>.2021

[35] : Globe Panels, la différence entre les panneaux PUR et RockWool [en ligne]. Disponible sur :<<https://globepanels.com/fr/>>.2020

[37] : Hauteur Largeur, Avantages et inconvénients des fenêtres mixtes bois/alu [en ligne]. Disponible sur :<<https://www.hauteurlargeur.com>>.2008

[38] : notre.planète, Les lampes à LED [en ligne]. Disponible sur :< <https://www.notre-planete.info>>.2021

[39] : S&P, La ventilation mécanique [en ligne]. Disponible sur :<<https://www.solerpalau.com>>.2018