

epau



Laboratoire Architecture Construction et Environnement

Mémoire de Master

Architecture construction et Environnement

Thème

**PROPOSITION D'UNE REHABILITATION THERMIQUE DE LA
TOUR DIAR ELMAHÇOUL POUR UNE CONFORMITE A LA
REGLEMENTATION THERMIQUE ALGERIENNE
A L'AIDE DES OUTILS RETA ET ECOTECT**

Présenté et soutenu par :

GUERITLI Mohamed Rafik

Devant le jury composé de :

Président : Dr. ATAHMENA K (LAE)

Examineur : Dr. BELOUHRANI Wahiba (LVAP)

Examineur : Mr. AIT-KACI Zouheir (MAA Tizi-Ouzou)

Examineur : Dr. CHENAK A (CDER)

Encadreur : Dr. DAKHIA Karima

REMERCIEMENTS

**EN PREMIER LIEU, JE REMERCIE LE BON DIEU « ALLAH »
TOUT PUISSANT QUI M'A DONNÉ TOUTE LA VOLONTÉ, LA
FORCE ET LE COURAGE POUR TERMINER CE MODESTE
TRAVAIL.**

**MES VIFS REMERCIEMENTS À MON ENCADREUR DR DAKHIA
K POUR LEUR IMPLICATION TOTALE ET LEUR DÉVOUEMENT
TOUT AU LONG DE CETTE ANNÉE.**

**JE REMERCIE DR. ATAHMENA K D'AVOIR ACCEPTÉ DE
PRÉSIDER MON JURY**

**JE REMERCIE DR. BELOUCHRANI W, MR. AIT-KACI Z ET
DR. CHENAK A D'AVOIR BIEN VOULU ACCEPTÉ D'EXAMINÉ
MON TRAVAIL**

UN GRAND MERCI À :

**MES PARENTS POUR LES SACRIFICES QUE VOUS AVEZ
CONSENTI POUR MON INSTRUCTION ET MON BIEN ÊTRE.
J'ESPÈRE QUE VOTRE BÉNÉDICTION M'ACCOMPAGNE
TOUJOURS.**

**MES CHERS AMIS AHMED, ABD ELILAH, LYES,
YASSINE, SEDDIK**

**EN SOUVENIR DE NOTRE SINCÈRE ET PROFONDE AMITIÉ ET
DES MOMENTS AGRÉABLES QUE NOUS AVONS PASSÉS
ENSEMBLE.**

**MES AMIS SOFIANE, OTHMANE, AMINE, BENYOUCEF
POUR LE FAITE D'ÊTRE À CÔTÉ DE MOI.**

**A LA FIN JE REMERCIE TOUTE LES PERSONNES QUI M'ONT
AIDÉ DE PRÈS OU DE LOIN À L'ÉLABORATION DE CE TRAVAIL.**

ملخص

يعد قطاع البناء في الجزائر قطاعا ذو أهمية بالغة في إطار الحد من استهلاك الطاقة. إعادة التأهيل الحراري للبنىات المشيدة في الحقبة الاستعمارية تلعب دورا هاما في هذا السياق.

تتمثل مهمتنا في تحليل واحدة من هذه البنىات وهي عمارة ديار المحصول. هدفنا هو التحقق من مطابقة هذه البناية للنظام الحراري الجزائري واقتراح بعد ذلك إعادة تأهيل حراري للبناية بهدف تحسين رفاهية المقيمين.

من اجل الوصول لهذا الهدف، أجرينا محاكاة حرارية ثابتة بواسطة النظام الحراري الجزائري RETA بهدف تقييم مطابقة البناية للنظام سالف الذكر، ثم اجراء بعد ذلك محاكاة حرارية ديناميكية بواسطة برنامج ECOTECT بغية تقييم المكاسب او الاستهلاك الحراري.

حسب النتائج المحصل عليها، تبين ان الغلاف الحجري غير مطابق للنظام الحراري الجزائري وان إعادة تأهيل النوافذ وعزل السطح كافية من اجل ضمان المطابقة. كذلك، تمكنا من الوصول الى ان عملية التأهيل الحراري مكنتنا من اقتصاد في الطاقة بحوالي 12%.

كلمات مفتاحية: ديار المحصول، تأهيل حراري، محاكاة حرارية ثابتة، محاكاة حرارية ديناميكية، النظام الحراري الجزائري RETA، ECOTECT.

Résumé

En Algérie, le secteur du bâtiment présente un grand potentiel pour réduire la consommation énergétique. La réhabilitation thermique du bâti colonial participera fortement dans ce sens.

Notre travail consiste à analyser l'un de ces bâtiments qui est la tour de la cité Diar El Mahçoul. Nous avons pour objectif de vérifier la conformité du bâtiment à la réglementation thermique algérienne et de proposer une réhabilitation thermique du bâtiment dans le but de réduire la consommation énergétique tout en améliorant le confort des occupants.

Pour atteindre cet objectif, nous avons effectué une simulation thermique statique avec RETA pour évaluer la conformité à la réglementation thermique algérienne puis une simulation thermique dynamique avec ECOTECH pour évaluer les gains ou la consommation énergétique.

D'après les résultats obtenus, nous avons compris que l'enveloppe en pierre n'est pas conforme à la réglementation thermique algérienne et qu'une réhabilitation des fenêtres et isolation de la terrasse est suffisante pour assurer une conformité. De même nous avons vérifié que cette réhabilitation nous permet une économie d'énergie de 12%.

Mots clés : Diar el Mahçoul, Réhabilitation thermique, simulation thermique statique, simulation thermique dynamique, RETA, ECOTECH

Abstract

In Algeria, the building sector has great potential to reduce energy consumption. The thermal rehabilitation of the colonial buildings will participate strongly in this direction.

Our job is to analyze one of these buildings, which is the tower of the city Diar El Mahçoul. We aim to check the building's compliance with Algerian thermal regulations and propose a thermal rehabilitation of the building in order to reduce energy consumption while improving the comfort of the occupants.

To achieve this objective, we performed a static thermal simulation with RETA to evaluate compliance with Algerian thermal regulations and then a dynamic thermal simulation with ECOTECT to evaluate the gains or energy consumption.

According to the results, we realized that the stone envelope does not comply with Algerian thermal regulations and a rehabilitation of the windows and insulation of the terrace is sufficient to ensure compliance. We have also verified that this rehabilitation allows us to save energy by 12%.

Keywords: Diar el Mahçoul, Thermal rehabilitation, static thermal simulation, dynamic thermal simulation, RETA, ECOTECT

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Pourcentage du plein et du vide (source : auteur)</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 2 : caractéristiques des murs en pierre (cas d'étude) source : auteur.....</i>	<i>49</i>
<i>Tableau 3 : caractéristiques des murs en brique (cas témoin) source : auteur</i>	<i>49</i>
<i>Tableau 4 : Caractéristiques des fenêtres</i>	<i>52</i>
<i>Tableau 5 : différents scénarios de réhabilitation (source : auteur).....</i>	<i>61</i>
<i>Tableau 6 : Matrice de conformité RETA (source : auteur)</i>	<i>62</i>
<i>Tableau 7 : Résultats ECOTECH (source : auteur)</i>	<i>71</i>

Liste des figures

Figure 1 : Méthodologie de recherche 1 (source : auteur).....	5
Figure 2 : Méthodologie de recherche 2 (source : auteur).....	5
Figure 3 : Structure de mémoire (source : auteur).....	7
Figure 4 : calcul des déperditions calorifiques totales selon le D.T.R C 3-2 (source : auteur).	11
Figure 5 : calcul des apports calorifiques selon le D.T.R C 3-4 (source : auteur).	13
Figure 6 : Interface de l'application RETA (source : http://reta.cder.dz/).....	15
Figure 7 : Interface de logiciel ECOTECT (source : capture d'écran)	16
Figure 8 : Transferts thermiques du corps vers l'environnement (source : Oliva JP et Courgey S., 2010, p 17)	18
Figure 9 : Les fonctions hygrothermiques d'une paroi (source : Oliva JP et Courgey S., 2010, p 20).....	20
Figure 10 : Survitre démontable (source : Commission du COMAPI, p 321).....	22
Figure 11 : Survitre ouvrante (source : Commission du COMAPI, p 321).....	22
Figure 12 : Double fenêtre (source : Commission du COMAPI, p 322).....	23
Figure13:FernandPouillon(source : http://www.jeanlucmichel.com/Fernand_Pouillon/Les_constructions_de_Fernand_Pouillon.html)....	25
Figure 14 : Situation de la cité Diar el Mahçoul par rapport à la baie d'Alger (Source : Google earth) 26	26
Figure 15 : Implantation de la cité (source : www.calameo.com).....	26
Figure 16 : La tour dans la partie grand confort (Source : Google earth).....	26
Figure 17 : vue sur le bâtiment côté nord-est (photo prise novembre 2016).....	27
Figure 18 : vue sur le bâtiment côté ouest (photo prise novembre 2016)	27
Figure 19 : Plan RDC (source : auteur)	27
Figure 20 : Passage sous le bâtiment (photo prise novembre 2016).....	28
Figure 21 : cage d'escalier (photo prise novembre 2016).....	28
Figure 22 : Passage sous le bâtiment (photo prise novembre 2016).....	28
Figure 23 : Plan étage courant (source : auteur)	28
Figure 24 : vue sur le bâtiment côté ouest (photo prise novembre 2016)	29
Figure 25 : Façade Nord-Ouest (source : OUKRIF Y, 2016).....	29
Figure 26 : Alignement horizontal et vertical (source : OUKRIF Y, 2016)	29
Figure 27 : Rapport plein/vide (source : auteur)	30
Figure 28 : Secteur du plein et du vide (source : auteur)	30
Figure 29 : Dimensions des assises de pierre (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 72)	31
Figure 30 : Les nombres qui composent la façade (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 78).....	31
Figure 31 : les nombres qui composent la façade (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 57).....	32
Figure 32 : Dimensions de la pierre (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 79)	32
Figure 33 : porte fenêtre du séjour (photo prise novembre 2016)	33
Figure 34 : porte fenêtre de la chambre (photo prise novembre 2016).....	33
Figure 35 : Composition de la façade Nord-Est (source : OUKRIF Y, 2016).....	33
Figure 36 : porte fenêtre de la chambre (photo prise novembre 2016).....	34
Figure 37 : moucharabieh en brique (photo prise novembre 2016)	34
Figure 40 : porte fenêtre de la chambre (photo prise novembre 2016).....	34
Figure 38 : Composition de la façade Nord-Ouest (source : OUKRIF Y, 2016).....	34
Figure 39 : porte fenêtre du hall (photo prise novembre 2016)	34
Figure 41 : porte fenêtre de la chambre (photo prise novembre 2016).....	35

Figure 42 : porte fenêtre du séjour (photo prise novembre 2016).....	35
Figure 43 : Encorbellement (photo prise novembre 2016).....	35
Figure 44 : porte fenêtre du hall (photo prise novembre 2016).....	35
Figure 45 : Composition de la façade Sud-Est (source : OUKRIF Y, 2016).....	35
Figure 46 : fenêtre de la cuisine (photo prise novembre 2016).....	35
Figure 47 : la brique (photo prise novembre 2016).....	36
Figure 48 : Le bois (photo prise novembre 2016).....	36
Figure 49 : Le fer forgé (photo prise novembre 2016).....	36
Figure 50 : La céramique (photo prise novembre 2016).....	36
Figure 51 : Plancher translucide (photo prise novembre 2016).....	36
Figure 52 : porte fenêtre de la chambre (photo prise novembre 2016).....	36
Figure 53 : La pierre taillée (photo prise novembre 2016).....	36
Figure 54 : Revêtement en granito (photo prise novembre 2016).....	36
Figure 55 : Trame urbaine (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 55).....	37
Figure 56 : Trame des appartements (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 55).....	37
Figure 57 : le type de fondation utilisé dans la cité Diar el Mahçoul (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 57).....	37
Figure 58 : Structure RDC (source : auteur).....	38
Figure 59 : Structure étage courant (source : auteur).....	38
Figure 60 : Caractéristiques de la pierre Fontvieille (Source : http://www.carrieres-de-provence.com).....	39
Figure 61 : Nomenclature des briques (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 57).....	39
Figure 62 : des briques posées debout (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 46).....	39
Figure 63 : Plancher a marmites (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 45).....	40
Figure 64 : Maillage des aciers dans la dalle (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 47).....	40
Figure 65 : Détail du plancher (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 53).....	40
Figure 66 : Marmite de 60*60*14 cm (source : auteur).....	40
Figure 67 : Porte-à-faux des balcons (photo prise novembre 2016).....	40
Figure 68 : Vue de l'extérieur sur le plancher translucide (photo prise novembre 2016).....	41
Figure 69 : Vue de l'intérieur sur le plancher translucide (photo prise novembre 2016).....	41
Figure 70 : Dimensions d'une pièce selon le nombre des marmites (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 47).....	41
Figure 71 : Pose de brique entre deux marmites (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 46).....	41
Figure 72 : Plan dernier étage (source : OUKRIF Y, 2016).....	44
Figure 73 : vue sur le dernier étage (photo prise novembre 2016).....	44
Figure 74 : Volume thermique (source : auteur).....	44
Figure 75 : Application RETA structure des données (source : auteur).....	45
Figure 76 : les étapes pour la création du modèle (source : auteur).....	45
Figure 77 : interface pour la création d'un nouveau projet (Source : capture d'écran).....	46
Figure 78 : interface pour créer l'enveloppe et les parois (source : capture d'écran).....	46
Figure 79 : chauffage, climatisation et de renouvellement d'air. (Source : capture d'écran).....	47
Figure 80 : rapport final (source : capture d'écran).....	47
Figure 81 : les données techniques du projet (capture d'écran).....	47
Figure 82 : Création de l'enveloppe (capture d'écran).....	48
Figure 83 : Création des parois qui constituent l'enveloppe (capture d'écran).....	48
Figure 84 : les murs (source : auteur).....	49
Figure 85 : Création d'une paroi opaque (capture d'écran).....	50

Figure 86 : les matériaux qui composent le mur en pierre (capture d'écran)	50
Figure 87 : les matériaux qui composent le mur en Brique (capture d'écran)	51
Figure 88 : Les fenêtres (source : auteur).....	51
Figure 89 : Création d'une paroi vitrée (capture d'écran)	52
Figure 90 : composition du vitrage (capture d'écran)	53
Figure 91 : Protection du vitrage en hiver (capture d'écran)	53
Figure 92 : Protection du vitrage en été (capture d'écran)	54
Figure 93 : Surface ensoleillée (capture d'écran).....	54
Figure 94 : Création d'un plancher (capture d'écran).....	55
Figure 95 : les matériaux qui composent le plancher (capture d'écran)	55
Figure 96 : Définir le local adjacent au plancher bas (capture d'écran)	56
Figure 97 : renouvellement d'air (capture d'écran).....	56
Figure 98 : Les résultats de la conformité (capture d'écran).....	56
Figure 99 : Histogramme de la conformité (source : auteur)	57
Figure 100 : Différents scénarios de réhabilitation (Source : auteur)	59
Figure 101 : Remplacement du sable par le polystyrène expansé (capture d'écran)	59
Figure 102 : Remplacement du bois par le PVC (source : capture d'écran).....	60
Figure 103 : Remplacement du simple vitrage par le double vitrage (source : capture d'écran)	60
Figure 104 : Histogramme de conformité pour la période d'hiver (source : auteur)	63
Figure 105 : Histogramme de conformité pour la période d'été (source : auteur)	63
Figure 106 : Schéma qui résume la réhabilitation thermique (source : auteur).....	65
Figure 107 : Plan du dernier étage enveloppe en pierre (source : auteur).....	66
Figure 108 : Vue 3D côté Sud (source : auteur)	66
Figure 109 : Vue 3D côté Nord (source : auteur)	66
Figure 110 : Exportation du fichier en format gbXML (source : capture d'écran)	67
Figure 111 : Importation du fichier gbXML sur ECOTECT (source : capture d'écran)	68
Figure 112 : Ajustement des éléments qui composent le modèle (source : capture d'écran)	69
Figure 113 : Première fenêtre sur ECOTECT (source : capture d'écran)	69
Figure 114 : Volume thermique obtenu (source : capture d'écran).....	70
Figure 115 : Les résultats de la consommation énergétique par un (source : capture d'écran)	70
Figure 116 : Histogramme de la consommation Wh/m ² /an (source : auteur)	71
Figure 117 : Résultats croisés RETA / ECOTECT (source : auteur)	72
Figure 118 : Histogramme des résultats croisés RETA / ECOTECT (source : auteur).....	73

Liste des abréviations

APRUE : Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie

CDER : Centre de Développement des Energies Renouvelables

CNERIB : Centre nationale d'études et de recherches intégrées du bâtiment

CTBAT : Calcul thermique du bâtiment

DTR : Document technique unifié

GES : Gaz à effet de serre

GIZ : Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)

RETA : Réglementation thermique algérienne

RT : Réglementation thermique

STD : Simulation Thermique Dynamique

STS : Simulation Thermique Statique

Table des matières

ملخص	I
RESUME.....	II
ABSTRACT	3
LISTE DES TABLEAUX.....	IV
LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES ABREVIATIONS.....	VIII
TABLE DES MATIERES	IX
INTRODUCTION GENERALE	1
INTRODUCTION.....	2
PROBLEMATIQUE	3
HYPOTHESES.....	3
OBJECTIFS.....	4
METHODOLOGIE DE RECHERCHE.....	4
STRUCTURE DE MEMOIRE.....	6
1. EFFICACITE ENERGETIQUE.....	8
1.1 INTRODUCTION.....	9
1.2 LA REGLEMENTATION THERMIQUE EN ALGERIE	9
1.3 LES INSTRUMENTS DE CONTROLE :	10
1.3.1 Document technique réglementaire C3.2	10
1.3.2 Document technique réglementaire C3.4.....	12
1.4 LES OUTILS DE CONTROLE	14
1.4.1 RETA (outil de simulation statique)	14
1.4.2 ECOTECT (outil de simulation dynamique).....	15
1.5 CONCLUSION	16
2. REHABILITATION THERMIQUE.....	17
2.1 INTRODUCTION.....	18
2.2 REHABILITATION ET CONFORT	18
2.2.1 Définition du confort thermique	18
2.2.2 Les paramètres du confort thermique.....	18
2.3 ISOLATION THERMIQUE.....	20
2.3.1 Définition.....	20
2.3.2 Isolation thermique des bâtiments existants.....	20
2.3.3 Modalités d'isolation	21
2.4 CONCLUSION	23
3. PRESENTATION DU CAS D'ETUDE « LA TOUR DE DIAR EL MAHÇOUL »	24
3.1 INTRODUCTION.....	25
3.2 LA CITE DIAR EL MAHÇOUL.....	25

3.2.1	<i>Historique</i>	25
3.2.2	<i>Architecte Fernand Pouillon</i>	25
3.2.3	<i>Présentation de la cité</i>	26
3.3	CAS D'ETUDE « LA TOUR »	27
3.3.1	<i>Architecture</i>	27
3.3.2	<i>System constructif</i>	37
3.4	CONCLUSION	42
4.	EVALUATION DE LA CONFORMITE A LA REGLEMENTATION THERMIQUE ALGERIENNE DE LA TOUR	43
4.1	INTRODUCTION	44
4.2	PRESENTATION DU CAS D'ETUDE	44
4.3	EVALUATION DE LA CONFORMITE AVEC RETA	45
4.3.1	<i>Processus de création du modèle analysé</i>	45
4.3.2	<i>Exécution des simulations</i>	47
4.4	CONCLUSION	57
5.	PROPOSITION D'UNE REHABILITATION THERMIQUE	58
5.1	INTRODUCTION	59
5.2	PROPOSITION DES DIFFERENTS SCENARIOS DE REHABILITATION	59
5.2.1	<i>Scénario 1 : Terrasse</i>	59
5.2.2	<i>Scénario 2 : Menuiserie des fenêtres</i>	60
5.2.3	<i>Scénario 3 : Double vitrage</i>	60
5.3	EVALUATION DES PROPOSITIONS A L'AIDE DE RETA	61
5.4	EVALUATION DES PROPOSITIONS A L'AIDE D'ECOTECT	65
5.4.1	<i>Modélisation du cas d'étude sur REVIT</i>	66
5.4.2	<i>Simulation par ECOTECT</i>	69
5.5	DISCUSSION DES RESULTATS CROISES RETA / ECOTECT	72
5.6	CONCLUSION	74
6.	CONCLUSION GENERALE	75
6.1	CONCLUSION GENERALE	76
6.2	LIMITES ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE	76
	BIBLIOGRAPHIE	77
	BIBLIOGRAPHIE	77
	WEBOGRAPHIE	78
7.	ANNEXE I :	I
8.	ANNEXE II :	V

INTRODUCTION GENERALE

Introduction

L'amélioration de l'efficacité énergétique c'est l'un des défis primordiaux dans tous les secteurs économiques, notamment pour les pays qui se sont engagées dans des politiques de transition écologique. « A l'échelle planétaire, le secteur du bâtiment est responsable d'environ 30 à 40% de la consommation annuelle mondiale de l'énergie et de près de 30% de l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre (GES).»¹

Pour l'Algérie ce secteur du bâtiment est une grande opportunité pour réduire la consommation énergétique. Conscient de cela, elle a adopté en 28 juillet 1999 la Loi n° 99-09 relative à la maîtrise de l'énergie. Il devient, ainsi nécessaire d'impliquer l'ensemble des acteurs intervenant dans le bâtiment pour pouvoir mettre en œuvre une politique d'efficacité énergétique dans ce secteur.

Dans cet objectif, un guide pour une construction éco-énergétique en Algérie a été édité par l'APRUE dans le cadre d'une coopération entre des experts algériens et des experts allemands. Ce guide se base sur un bâtiment qui est en cours de réalisation : le siège de la banque d'Algérie à Batna. Il a introduit des nouvelles recommandations par rapport à la réglementation thermique qui figurent dans le DTR-C3.2 et DTRC3.4.

Pour faciliter l'application de ces deux DTR, ces experts ont développé un logiciel de calcul thermique du bâtiment CTBAT (RETA actuellement) qui intègre les méthodes de calculs de ces deux DTR, dont l'objectif est de :

- évaluer la conformité à la réglementation thermique algérienne des bâtiments.
- dimensionner le système de chauffage conformément aux exigences de confort thermique intérieur.

Toutefois, l'évaluation de la conformité à la réglementation thermique ne concerne que le bâti neuf et n'intègre pas le bâti ancien qui pourrait pourtant bénéficier de réhabilitation thermique. Cette réhabilitation si elle était effectuée sur le bâti ancien de la période coloniale engendrerait sûrement des économies d'énergies.

Dans cette optique, il serait intéressant d'évaluer la conformité à la RT de quelques bâtiments emblématiques de la période coloniale tel que la cité de Diar El Mahçoul.

Pendant la période coloniale, face à la crise terrible du logement et aux problèmes des bidonvilles. Fernand Pouillon fut appelé par le maire d'Alger Jacques Chevallier en 1953 pour

¹ APRUE, *Guide pour une construction éco-énergétique en Algérie*, 2014, p 15

réaliser trois cités : Diar Es-Saâda, Diar El-Mahçoul et Climat de France, pour un cout minimal et une vitesse maximale tout en assurant un grand confort. La cité Diar El-Mahçoul a été construite entre 1953 et 1955. Elle inclut une cité « confort normal » destinée aux colons européens et une cité « simple confort » destinée à la population locale. Donc elle comprend 1454 logements dont 912 « simple confort ».

Problématique

La réduction de la consommation énergétique dans le secteur du bâtiment est l'un des défis primordiaux auxquels fait face notre pays. Aujourd'hui, le manque d'entretien et les conditions climatiques à Alger, tels que le taux élevé d'humidité, ont détérioré la cité Diar el Mahçoul qui nécessite une réhabilitation. Notre travail consiste à évaluer la conformité d'un édifice de cette cité, avec RETA, dans le but de proposer une réhabilitation thermique conforme à la RT algérienne tout en réduisant sa consommation énergétique.

Notre problématique questionne la conformité à la RT algérienne d'un bâtiment construit durant la période coloniale : la tour de Diar Mahçoul et la nécessité de sa réhabilitation thermique à l'aide de l'outil RETA.

Elle se décline autour des questions spécifiques suivantes :

- La construction de la tour de Diar-El-Mahçoul, en pierre naturelle, est-elle conforme à la RT algérienne ?
- Quelles seraient les recommandations nécessaires pour une réhabilitation thermique de la tour et sans altérer son cachet architectural ?
- L'outil RETA conçu pour l'évaluation de la conformité à la RT algérienne de nouveaux bâtiments, peut-il aider dans la réhabilitation thermique des bâtiments existants ?

Hypothèses

Afin de répondre à cette problématique, les hypothèses suivantes s'imposent :

- Le bâtiment n'est pas conforme à la réglementation algérienne et dans ce cas-là des solutions doivent être envisagées, notamment la réhabilitation thermique de l'enveloppe.
- L'outil RETA nous permet d'évaluer la conformité à la réglementation thermique algérienne mais pas la réhabilitation du bâtiment. Donc une deuxième simulation avec ECOTECT pour vérifier la consommation énergétique avant et après la réhabilitation.

Objectifs

Dans cette recherche, notre objectif est de :

- Vérifier la conformité de la tour de Diar El Mahçoul à la réglementation thermique algérienne à travers le logiciel RETA.
- Améliorer le confort et limiter la consommation énergétique du bâtiment en proposant une réhabilitation thermique de l'enveloppe.
- Connaitre la spécificité de l'enveloppe des bâtiments de Diar-El-Mahçoul pour l'utiliser dans les nouvelles constructions.
- Vérification de la consommation énergétique avant et après la réhabilitation thermique à travers le logiciel ECOTECT.

Méthodologie de recherche

Notre recherche consiste à faire d'abord une recherche bibliographique pour bien comprendre les différentes notions sur l'efficacité énergétique et la réhabilitation thermique. Puis, et après avoir présenté la cité Diar el Mahçoul, faire une analyse détaillée de notre cas d'étude qui est la tour Diar el Mahçoul pour aborder son architecture et son système constructif.

Par la suite, nous avons effectué deux simulations, une simulation thermique statique avec RETA pour évaluer la conformité du bâtiment à la RT algérienne et une simulation thermique dynamique avec ECOTECT pour évaluer la consommation énergétique avant et après la réhabilitation.

La méthode de recherche peut être résumée par le schéma ci-dessous (fig.1 et 2)

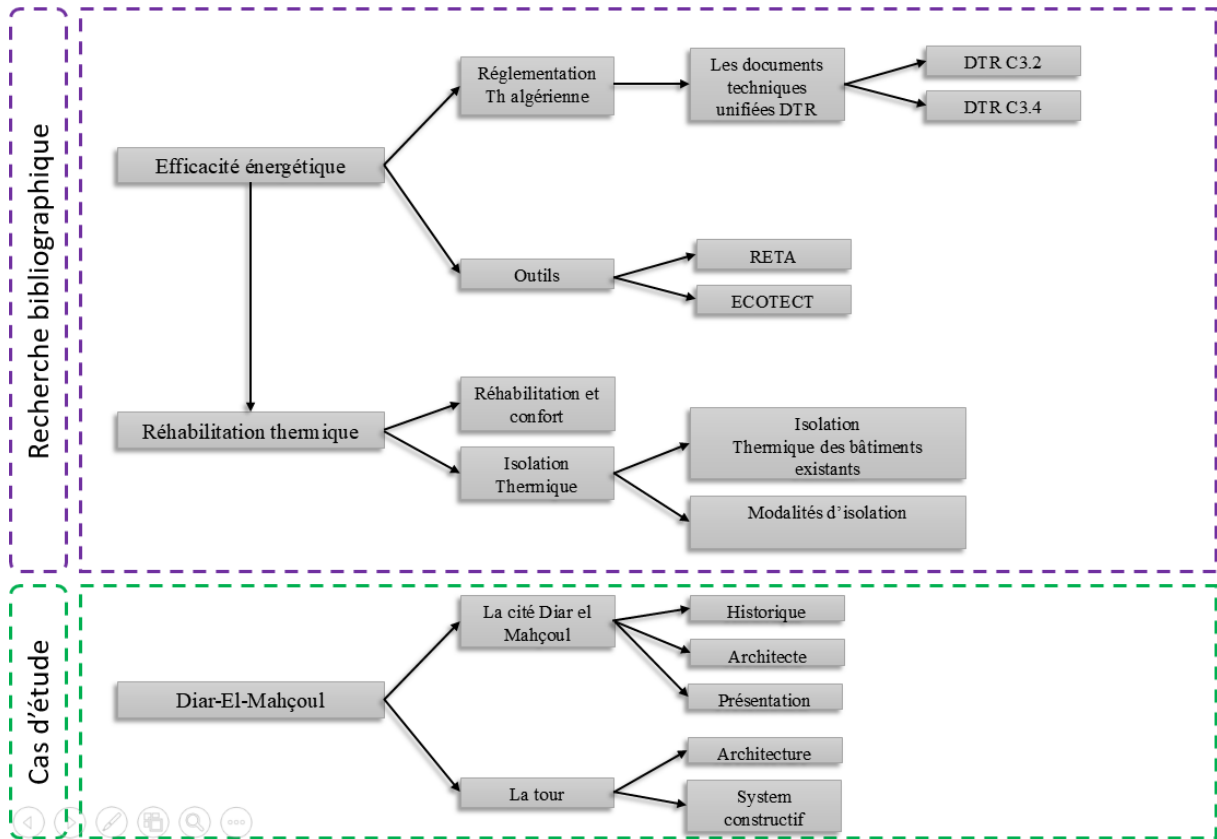


Figure 1 : Méthodologie de recherche 1 (source : auteur)

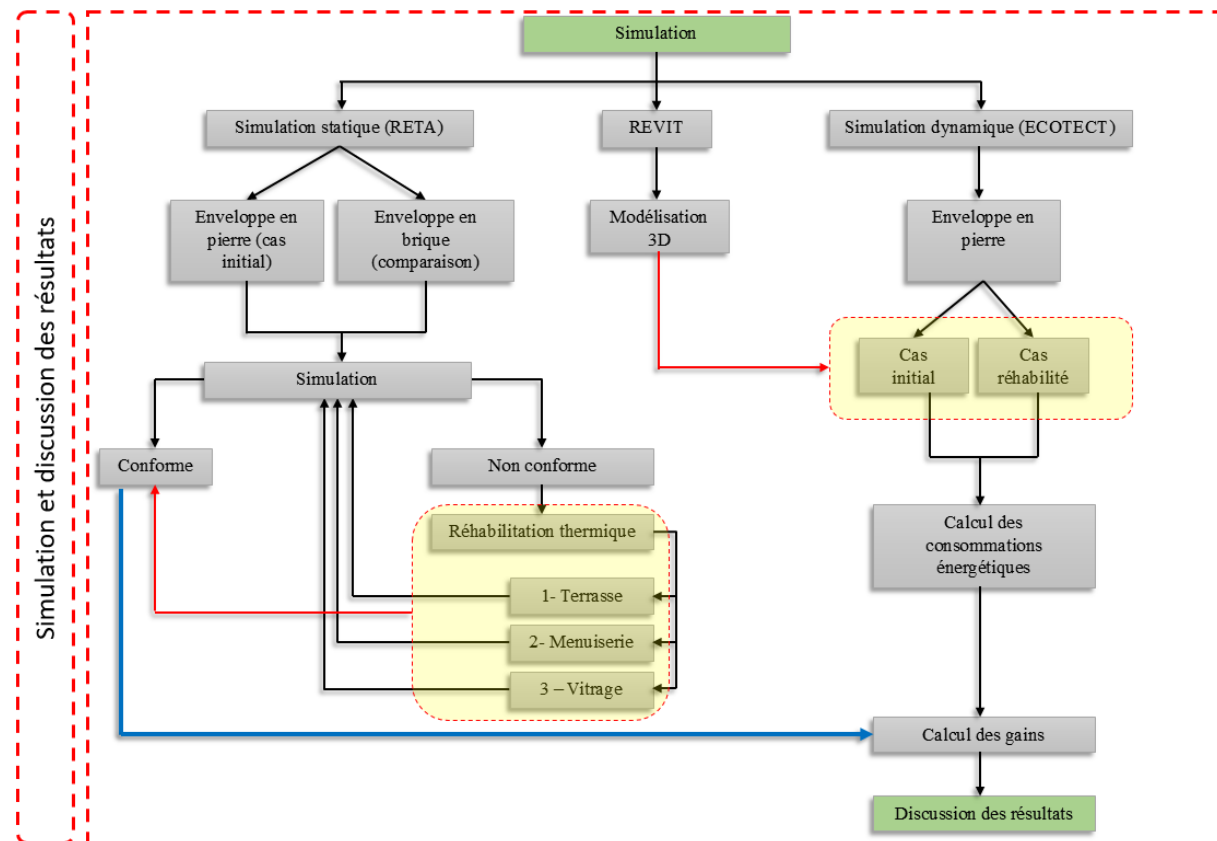


Figure 2 : Méthodologie de recherche 2 (source : auteur)

Structure de mémoire

Notre mémoire se compose de deux parties :

Partie théorique : Passer en revue la littérature existante sur le sujet (ouvrages, articles scientifiques, thèses, publications...etc.)

Cette partie théorique scindée en trois chapitres a pour objectif de cerner et de comprendre tous les éléments théoriques de base en rapport avec la réglementation thermique et la réhabilitation thermique ainsi qu'une analyse sommaire de notre cas d'étude « la tour Diar el Mahçoul ».

Partie pratique : Basée sur la recherche bibliographique précédente

Cette partie pratique scindée en deux chapitres : l'évaluation de la conformité à la RT algérienne de la tour, proposition et choix d'une réhabilitation thermique conforme à la RT et énergétiquement efficace.

Chapitre introductif		
Partie I : Partie théorique	Chapitre I : Efficacité énergétique	<ul style="list-style-type: none"> • Réglementation thermique en Algérie • Les instruments de contrôle : DOCUMENTS TECHNIQUES UNIFIEES • Les outils de contrôle
	Chapitre II : Réhabilitation thermique	<ul style="list-style-type: none"> • Définition • Réhabilitation et confort • Isolation thermique
	Chapitre III : Présentation du cas d'étude : LA TOUR DE DIAR EL MAHCOUL	<ul style="list-style-type: none"> • La cité Diar el Mahçoul • Cas d'étude « la tour »
Partie II : Partie pratique	Chapitre IV : Evaluation de la conformité a la réglementation thermique algérienne de la tour	<ul style="list-style-type: none"> • Présentation du cas d'étude • Evaluation de la conformité avec RETA
	Chapitre V : Proposition d'une réhabilitation thermique	<ul style="list-style-type: none"> • Proposition des différents scénarios de réhabilitation • Evaluation des proposition a l'aide de l'outil RETA • Evaluation des proposition a l'aide d'ECOTECT • Discussion des résultats croisés RETA / ECOTECT
Conclusion générale		

Figure 3 : Structure de mémoire (source : auteur)

1. Efficacité énergétique

1.1 Introduction

«L'efficacité énergétique est le rapport entre l'énergie directement utilisée (dite énergie utile) et l'énergie consommée (en général supérieure du fait des pertes)».²

L'amélioration de l'efficacité énergétique est un défi primordial dans tous les secteurs, notamment pour le secteur du bâtiment qui est responsable de 40 % environ de la consommation énergétique totale.³

Elle s'appuie généralement sur l'optimisation des consommations et l'utilisation rationnelle de l'énergie.

Depuis 1973, date du premier choc pétrolier, la rareté des ressources naturelles et des énergies fossiles non renouvelables, ont poussé plusieurs pays à se diriger vers des modes de production et de consommation plus durable. Cela n'était possible qu'à travers le renforcement de la réglementation thermique.

1.2 La réglementation thermique en Algérie

« La réglementation thermique est un ensemble de règles à appliquer dans le domaine de la construction neuve et existante afin d'augmenter le confort des occupants tout en réduisant la consommation énergétique des bâtiments, en imposant un niveau minimal de performance énergétique.»⁴

Le concept de développement durable a été défini pour la première fois en 1987 comme étant « un mode de développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». Il repose sur trois piliers : développement économique, social et environnemental. L'Algérie s'est engagée dans cette politique depuis le sommet de la terre de Rio en juin 1992. Elle devrait donc répondre à cette triple exigence dans chaque projet.

En 2011, l'APRUE a lancé le programme ECO-BAT qui vise à construire 600 logements tout en respectant les mesures de l'efficacité énergétique. Vu qu'il existe des normes de construction pour les marchés publics mais elles n'englobent pas les mesures de l'efficacité énergétique. De ce fait les autorités publiques estimeraient bien mettre en place un cadre juridique pour ces exigences. Ce cadre juridique se figure dans les deux documents techniques unifiés : C3.2 et C3.4

² <http://www.performance-energetique.lebatiment.fr/dossier/qu%E2%80%99est-ce-que-l%E2%80%99efficacite-energetique>

³ APRUE, *Guide pour une construction éco-énergétique en Algérie*, 2014, p 15

⁴ <http://www.infoenergie-bourgogne.org/wp-content/uploads/2014/10/Lettre-info-energie-bourgogne-4.pdf>

1.3 Les instruments de contrôle :

Les Documents Techniques Règlementaires (DTR) sont des documents techniques qui réglementent les échanges thermiques des enveloppes des bâtiments.

1.3.1 Document technique réglementaire C3.2

Le DTR C3.2 s'applique exclusivement aux bâtiments à usage d'habitation pendant la période hivernale. Il consiste à limiter les déperditions calorifiques en fixant un seuil appelé « déperditions de référence »⁵. Le respect de ce seuil nous permet de économiser 20 à 30% de la consommation d'énergie pour le chauffage.⁶

Son objectif est de pouvoir déterminer les déperditions calorifiques et la vérification de la conformité à la réglementation thermique pour qu'on puisse dimensionner les installations de chauffage des bâtiments.

Pour faire le calcul des déperditions calorifiques, il faut effectuer les opérations suivantes :

- Définir les volumes thermiques
- Calculer les déperditions totales pour chaque volume thermique à savoir les déperditions par transmission et par renouvellement d'air
- Pour le calcul des déperditions par transmission c'est la somme des déperditions surfaciques par transmission, à travers les ponts thermiques, par transmission à travers les parois en contact avec le sol et à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés.
- Vérifier que les déperditions par transmission du logement sont inférieures aux déperditions de référence.
- Calculer éventuellement les déperditions de base qui expriment les besoins de chauffage.

Ces calculs telles que présentées dans le D.T.R. C3-2, peuvent être résumées à travers le schéma suivant :

⁵ $Dréf$ est calculé par la formule suivante : $Dréf = a.S1 + b.S2 + c.S3 + d.S4 + e.S5 [W/°C]$

- les S (en m^2) représentent les surfaces des parois en contact avec l'extérieur (toiture, plancher, les murs, les portes, les fenêtres, ...etc.).

- les coefficients a, b, c, d et e , (en $W/m^2 \cdot °C$), sont donnés selon la nature du logement et de la zone climatique

⁶ Ministère de l'habitat et de l'urbanisme, Document technique réglementaire C3.2

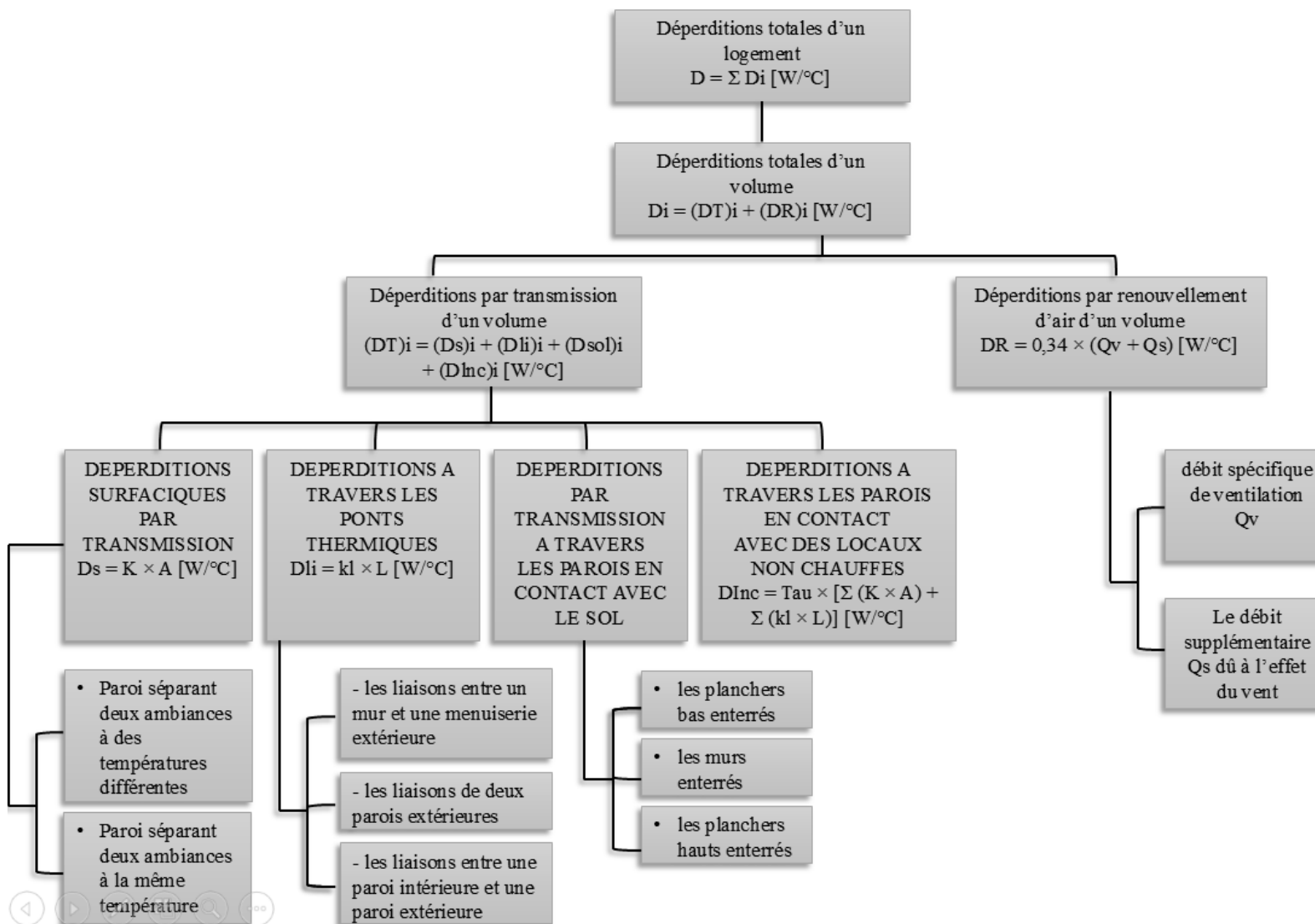


Figure 4 : calcul des déperditions calorifiques totales selon le D.T.R C 3-2 (source : auteur).

1.3.2 Document technique réglementaire C3.4

Le DTR C3.4 s'applique aux locaux à usage d'habitation, d'hébergement, de bureaux, d'enseignement, d'accueil, de réunion, de vente, de restauration et à usage artisanal.

Son objectif est de déterminer les apports calorifiques des bâtiments et la vérification de la conformité à la réglementation thermique d'été.

Pour faire le calcul des apports calorifiques, il faut effectuer les opérations suivantes :

- Définir les volumes thermiques
- Calculer les apports calorifiques pour chaque volume thermique à savoir
 - Les apports à travers les parois opaques (parois aériennes, intérieurs, en contact avec le sol)
 - Les apports à travers les parois vitrées (parois vitrées intérieurs et extérieurs)
 - Les apports de chaleur internes (dus aux occupants, aux machines, ...ect)
 - Les apports de chaleur par introduction d'air extérieur.
- Calculer la puissance frigorifique

Ces calculs tels que présentés dans le D.T.R. C 3-4, peuvent être résumées par le schéma ci-dessous :

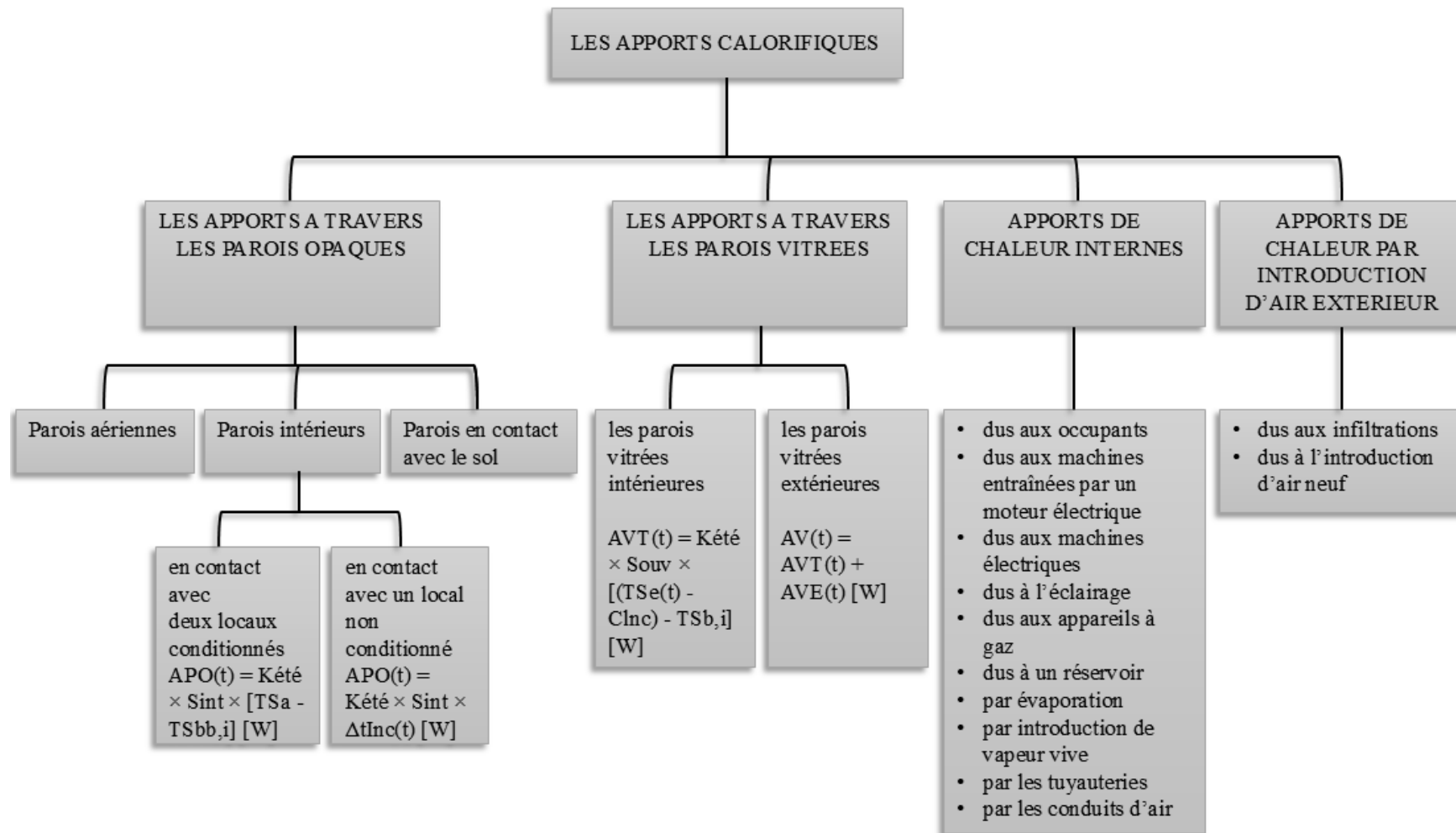


Figure 5 : calcul des apports calorifiques selon le D.T.R C 3-4 (source : auteur).

1.4 Les outils de contrôle

L'outil de base est la simulation thermique dynamique (STD). Elle permet d'estimer les consommations énergétiques tout en prenant en considération l'enveloppe du bâtiment, l'occupation et le climat extérieur. Vu l'augmentation des exigences de performance énergétique, cette simulation a été intégrée dans le processus de conception des bâtiments⁷.

Parmi ces outils :

- TRANSYS
- DOE-2
- TAS
- CODYBA
- EnergyPlus
- ECOTECH
- ...etc.

Les logiciels cités précédemment ne permettent pas d'effectuer des calculs selon les DTR algériens. De ce fait, une application RETA a été conçue pour effectuer l'évaluation à la conformité d'un projet à la RT algérienne.

1.4.1 RETA (outil de simulation statique)

Un guide pour une construction éco-énergétique en Algérie a été le fruit d'une coopération entre des experts de la Banque d'Algérie, de l'APRUE, du CDER, du CNERIB et de la coopération allemande au développement Giz. Ce guide se base sur un bâtiment qui est en cours de réalisation c'est la banque d'Algérie à Batna. Il a introduit des nouvelles recommandations par rapport à la réglementation thermique qui figurent dans le DTR-C3.2 et DTR-C3.4

Pour faciliter l'application de ces deux DTR, ces experts ont développé un logiciel de calcul thermique du bâtiment CTBAT qui intègre les méthodes de calculs de ces deux DTR, dont l'objectif est :

- D'évaluer la conformité à la réglementation thermique algérienne des bâtiments.
- Dimensionner le système de chauffage conformément aux exigences de confort thermique intérieur.

CTBAT a évolué vers une application accessible sur le net : RETA et qui permet la simulation thermique statique (STS) des projets.

⁷ APRUE, *Guide pour une construction éco-énergétique en Algérie*, 2014, p 92

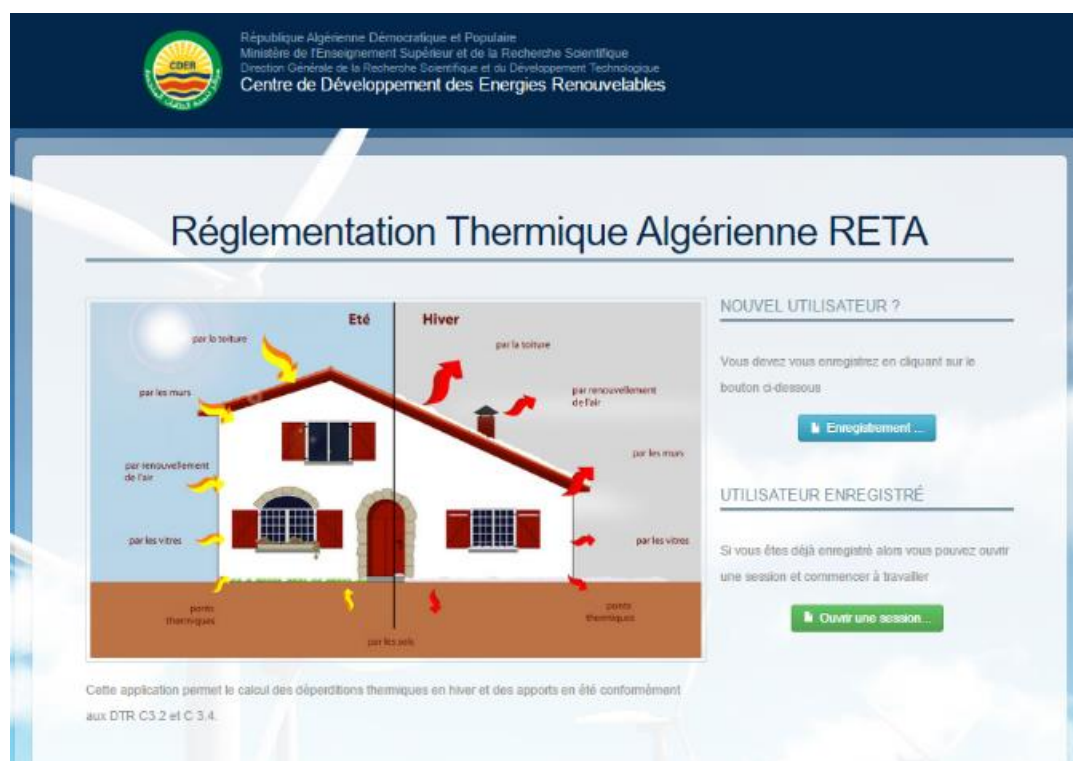


Figure 6 : Interface de l'application RETA (source : <http://reta.cder.dz/>)

On remarque que la réhabilitation thermique n'est pas mentionnée dans la réglementation algérienne et l'outil RETA ne sert qu'à vérifier la conformité d'un projet à la réglementation thermique. Les bâtiments existants ne sont pas pris en charge par cet outil.

1.4.2 ECOTECT (outil de simulation dynamique)

Le logiciel ECOTECT est un outil qui permet la simulation thermique dynamique des projets.

« Logiciel de simulation complet qui associe un modéleur 3D avec des analyses solaire, thermique, acoustique et de coût. ECOTECT est un outil d'analyse simple et qui donne des résultats très visuels. ECOTECT a été conçu avec comme principe que la conception environnementale la plus efficace est à valider pendant les étapes conceptuelles du design. Le logiciel répond à ceci en fournissant la rétroaction visuelle et analytique, guidant progressivement le processus de conception en attendant que les informations plus détaillées soient disponibles. Ses sorties étendues rendent également la validation finale de conception beaucoup plus simple en se connectant par interface à Radiance, EnergyPlus et à beaucoup d'autres outils plus spécialisés ». ⁸

⁸ <http://logiciels.i3er.org/ecotect.html>

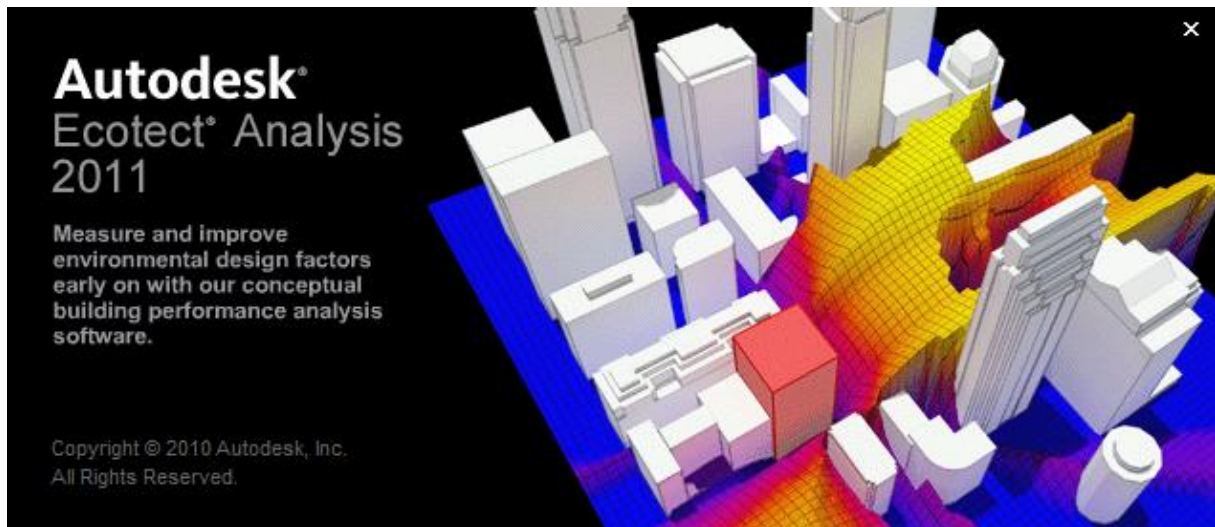


Figure 7 : Interface de logiciel ECOTECT (source : capture d'écran)

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté l'efficacité énergétique dans le bâtiment en Algérie, notamment la réglementation thermique avec ses instruments et outils. On remarque que la réhabilitation thermique n'est pas mentionnée dans la réglementation algérienne. De plus, l'outil RETA ne sert qu'à vérifier la conformité d'un nouveau projet à la réglementation thermique. Les bâtiments existants ne sont pas pris en charge par cet outil.

2. Réhabilitation thermique

2.1 Introduction

La réhabilitation thermique a pour objectif la réduction de la consommation énergétique en termes de chauffage et climatisation. Elle doit se fonder sur des principes⁹ :

- L'inertie thermique
- L'étanchéité à l'air
- la suppression des ponts thermiques
- Isolation de l'enveloppe

2.2 Réhabilitation et confort

2.2.1 Définition du confort thermique

Le confort thermique peut être défini selon (A.S.H.R.A.E)¹⁰ comme étant « l'état d'esprit qui exprime la satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique. »¹¹

On peut le définir comme l'ensemble des échanges thermiques entre l'occupant et son environnement pour maintenir son équilibre thermique. Ces échanges thermiques se minimisent grâce au microclimat interne qui est relativement stable face aux variantes climatiques extérieures.

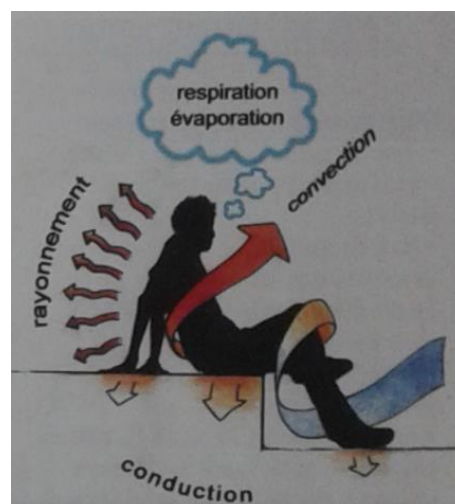


Figure 8 : Transferts thermiques du corps vers l'environnement (source : Oliva JP et Courgey S., 2010, p 17)

2.2.2 Les paramètres du confort thermique

Ce microclimat interne est caractérisé par un ensemble de facteurs :

a) Température de l'air ambiant

Quand on recherche le confort, on essaye d'avoir une température de l'air relativement stable face aux écarts de la température extérieure entre le jour et la nuit, entre l'été et l'hiver.

⁹ Catherine Charlot et Philippe Outrequin, *La réhabilitation énergétique des logements*, Ed : Le moniteur, Paris, 201, p64

¹⁰ A.S.H.R.A.E : *L'American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*

¹¹ Architectes-ingénieurs SOL.A.I.R, *Conception thermique de l'habitat*, Ed : EDISUD, P 13

Il est recommandé d'avoir une certaine homogénéité de température, en évitant d'avoir des pièces froides et des pièces surchauffées.

La conception architecturale, l'isolation et l'inertie peuvent réduire ces écarts de température. Ainsi que le chauffage par rayonnement en hiver, les protections solaires et la ventilation en été qui permettent de réduire les causes d'inconfort.¹²

b) Température des parois

Les écarts de la température extérieure jour/nuit sont très importants. La sensation d'inconfort apparaît lorsqu'il y a une différence de plus de 2°C entre la température ambiante et celle du plafond, et de 3°C avec celle des murs. La réduction de cette différence se fait par le choix de matériau de parement, l'inertie, l'isolation et le choix du mode de chauffage.¹³

c) Les mouvements de l'air

L'air en mouvement accroît les échanges thermiques par convection au niveau de la peau. La température de cette dernière est de 30-33°C en été et supérieure à celle de l'air en hiver.

- En hiver, il faut réduire les courants d'air tout en réglant les problèmes d'étanchéité dans l'enveloppe et aussi par le choix de mode de chauffage et de ventilation adaptés.
- En été, il faut bien gérer les courants d'air qui permettent d'augmenter les échanges convectifs ce qui est désirable pendant la nuit.¹⁴

d) L'humidité relative de l'air

En hiver, le taux d'humidité peut varier de 30 à 70 % sans causer de sensation d'inconfort ou de gêne, en fonction de l'occupation, l'activité des occupants et l'humidité extérieure.

En été, avec l'évaporation de la transpiration, la sensation de confort est plus grande dans l'air sec que dans l'air humide.

✓ Ce taux moyen d'humidité est ajusté :

En hiver, par l'utilisation des matériaux à fort volant hygrométrique tels que les parois perspirantes¹⁵

En été, par la création des courants contrôlés.

¹² Jean-Pierre Oliva et Samuel Courgey, *L'isolation thermique écologique*, Ed : terre vivante, France, 2010, p 17

¹³ *Op.cit.* p 18

¹⁴ *Ibid*

¹⁵ *Toute paroi de l'enveloppe du bâti permettant une meilleure migration de la vapeur d'eau au travers des éléments qui la constituent tout en restant étanche à l'air.*(source : <http://www.bois.com/construire/techniques-constructives/parois-perspirantes>)

2.3 Isolation thermique

2.3.1 Définition

Les parois de l'enveloppe sont l'interface intermédiaire entre le climat extérieur et l'ambiance intérieure. Elles gèrent les différents flux entre ces deux milieux tels que le rayonnement solaire, le flux d'air, de chaleur, d'eau et de vapeur d'eau.

L'isolation thermique modifie ainsi, la composition de la paroi pour s'opposer au passage des flux de chaleur. Elle permet de rendre la paroi étanche à l'air, arrête les infiltrations d'eau et gère les flux de vapeur d'eau.

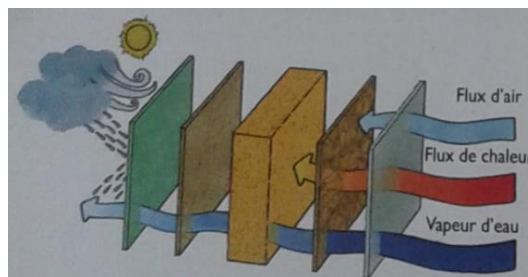


Figure 9 : Les fonctions hygrothermiques d'une paroi (source : Oliva JP et Courgey S., 2010, p 20)

2.3.2 Isolation thermique des bâtiments existants

Pendant des décennies, les anciennes constructions ne posent jamais de problèmes de point de vue de confort thermique, vu l'inertie de ces parois compensant le manque l'isolation. Mais ce confort reste toujours très médiocre.¹⁶

L'isolation thermique des constructions existantes peut répondre à trois préoccupations :

- L'économie : tout en assurant une bonne isolation, on réduit le cout de consommation.
- L'économie d'énergie : c'est un aspect fondamental qui s'inscrit dans la politique de développement durable.
- Le confort thermique : pour avoir cette satisfaction de l'occupant vis-à-vis de leur environnement

Sur le plan théorique, il n'y a aucun problème, mais dans la pratique il faut vérifier la faisabilité de notre choix

Avant d'effectuer l'isolation, il est nécessaire de faire un bilan thermique en calculant le gain obtenu en fonction des différents scénarios d'isolation afin de faire le bon choix, tout en commençant par ce qui est plus facile dans l'exécution.¹⁷

¹⁶ Commission du COMAPI, guide pratique de l'isolation thermique des bâtiments, Ed : Eyrolles, Paris, p 312

¹⁷Op.Cit p 314

2.3.3 Modalités d'isolation

a) Les terrasses et les planchers

L'isolation des planchers peut être envisagée par des procédures d'isolation en sous-face ou en surface. La première est plus avantageuse que la deuxième quand la sous-face est accessible. La deuxième est envisageable dans le cas des planchers sur vide sanitaire et sur terre-plein ou l'isolation se fera en surface, sous une chape flottante dans le cas d'une dalle en béton armé.¹⁸

Notons que la solution réputée la plus simple est celle de réaliser une toiture inversée. Elle consiste à disposer l'isolant sur l'étanchéité, après avoir retiré la protection lourde si elle existe. Donc l'étanchéité existante sera considérée comme un par-vapeur, sur lequel on vient disposer notre nouvelle étanchéité tout en incluant l'isolation nécessaire.

b) Les parois opaques verticales

Ce sont les parois qui posent beaucoup de difficultés lors de l'exécution de l'isolation et les plus coûteuses. Au-delà des problèmes techniques de réalisation, les canalisations électriques, d'eau, de chauffage, implantations des radiateurs, ...etc. posent aussi une série de problèmes.

Il y a trois modes d'isolations pour ce type de parois :

- Par l'intérieur : c'est la plus facile de point de vue réalisation, mais elle a des inconvénients tels que la perte de surface habitable et l'impossibilité de traitement des ponts thermiques.

La mise en œuvre ne nécessite que des techniques traditionnelles similaires à celles utilisées dans la construction neuve.

- Par l'extérieur : cette dernière permet d'éliminer la majorité des ponts thermiques soit par un enduit spécial ou par le bardage. Mais celle de l'enduit est plus avantageuse que celle de bardage vu que le bardage pose certains problèmes dans les raccordements notamment au niveau des baies, en plus de ça il cache l'architecture de la construction existante ce qui n'est pas préférable.

La mise en œuvre est identique à celle utilisée dans la construction neuve.

- Par injection : ce type d'isolation permet de garder l'aspect intérieur et extérieur du bâtiment.

La mise en œuvre se fait par l'injection d'un isolant à l'intérieur de mur par exemple l'injection d'une mousse dans la lame d'air de mur.¹⁹

c) Les fenêtres et les ponts thermiques

Pour améliorer l'isolation thermique au niveau des fenêtres, on peut agir sur quatre niveaux :

¹⁸ Commission du COMAPI, *guide pratique de l'isolation thermique des bâtiments*, Ed : Eyrolles, Paris, p 315

¹⁹ *Op.Cit.* p 317

- 1) Renforcer l'étanchéité : puisque la perméabilité à l'air d'une fenêtre est la cause principale de la déperdition de la chaleur et la pénétration directe de l'air froid. L'objectif de cette étanchéité ça sera la réduction de l'épaisseur des joints à travers des garnitures de joint qui sont fabriqués en : métal, matériaux de synthèse, mousse résiliente adhésive ou non.
- 2) Diminuer les pertes thermiques à travers les vitrages : à travers le remplacement du simple vitrage de la baie par le double ou le triple vitrage

Parfois on est amené à la pose d'un vitrage supplémentaire à travers deux techniques :

- Le survitrage : il se place du coté intérieur de la fenêtre en prenant appui sur l'ouvrant de la fenêtre existante.

Il existe trois procédés pour la mise en œuvre de survitrage intérieur :

- Survitre fixe : la deuxième vitre est fixée directement d'une façon indémontable sur la première pareille comme celle de double vitrage fabriqué.
- Survitre démontable : il est toujours encadré par un profil que l'on fixe directement sur l'ouvrant de la fenêtre. (voir fig.10)

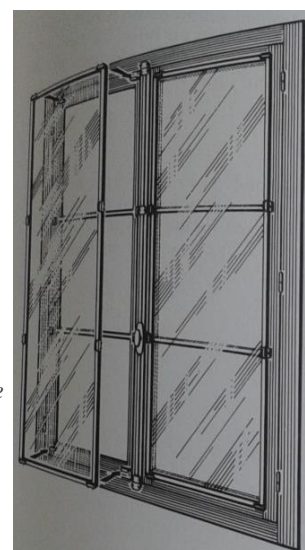


Figure 10 : Survitre démontable (source : Commission du COMAPI, p 321)

- Survitre ouvrante : il est constitué par un châssis entourant le verre, il s'ouvre comme une deuxième fenêtre (voir fig.11)



Figure 11 : Survitre ouvrante (source : Commission du COMAPI, p 321)

- La double fenêtre : On pose la deuxième fenêtre du côté intérieur prenant appui, soit le mur, soit le dormant de la première fenêtre. (voir fig.12)



Figure 12 : Double fenêtre (source : Commission du COMAPI, p 322)

3) Remplacement de la fenêtre existante :

On peut remplacer la fenêtre ancienne par une fenêtre neuve sauf si le quartier est un quartier historique classé qui exige un modèle de fenêtre ainsi que le matériau. Le choix de la fenêtre neuve se fait selon les différents critères de menuiseries.

4) Les ponts thermiques :

C'est des points thermiquement faibles dans la construction : angles, abouts de plancher, encadrement de baie, tableaux de fenêtre, gaines de ventilation, ...etc.

2.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la réhabilitation thermique en nous focalisant sur l'isolation thermique. Nous avons vu les différentes modalités d'isolation thermique de l'enveloppe des anciennes constructions. La réhabilitation thermique du bâti ancien, aura des conséquences appréciables par rapport à l'amélioration du confort des occupants ainsi que sur le plan économique du pays.

3. Présentation du cas d'étude « la tour de Diar el Mahçoul »

3.1 Introduction

Dans ce présent chapitre, on va présenter la tour de Diar El Mahçoul qui se trouve dans la partie grand confort, nous allons aborder son architecture ainsi que son système constructif.

Pour cela, nous commencerons d'abord par la présentation de la cité, sa situation et son historique.

3.2 La cité Diar el Mahçoul

3.2.1 Historique

La cité Diar el Mahçoul est la deuxième cité construite à Alger avec la cité Diar Es-Saâda et la cité Climat de France. Elle a été construite en 18 mois entre 1953 et 1955 dans le cadre du programme d'amélioration de l'habitat d'Alger pour offrir des logements aux Algériens qui s'entassaient, à l'époque coloniale, dans des bidonvilles. Le maire d'Alger, Jaques Chevalier fait appeler l'architecte urbaniste français Fernand Pouillon pour construire des milliers de logements avec un cout minimal, une vitesse et confort maximum.

3.2.2 Architecte Fernand Pouillon

Fernand Pouillon, est un architecte français né en 1912 .Il a suivi des études à l'École des Beaux-Arts de Marseille, puis à Paris, en 1934.

Diplômé en 1943, sa carrière est divisée en 3 parties :

- 1- 1936-1953 : réalisations en France
- 2- 1953-1957 : cette période est celle des travaux en Algérie avec en particulier la réalisation des trois ensembles d'Alger (Diar el Mahçoul, Diar es Saâda et climat de France).
- 3- 1958-1982 : cette période est marquée par sa condamnation qui a débuté en 1963.

Dans sa cellule, il a écrit "les pierres sauvages" et "mémoires d'un architecte".

Entre 1966 et 1982. Il a réalisé plusieurs projets d'hôtellerie en Algérie.

Il est décédé le 24 juillet 1986. ²⁰



Figure 13 : Fernand Pouillon (source : http://www.jeanlucmichel.com/Fernand_Pouillon/Les_constructions_de_Fernand_Pouillon.html)

²⁰ http://www.fernandpouillon.com/fernand_pouillon/biographie/biographie.html

3.2.3 Présentation de la cité

La cité Diar el Mahçoul est située au nord de la commune d'El Madania, elle occupe une position exceptionnelle couronnant la falaise de Belcourt. La cité a été construite sur le plateau *Susini*, à l'ouest du Bois des arcades et à l'est de la Villa Susini.

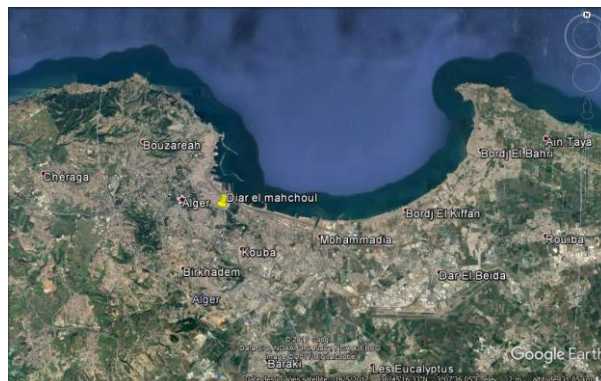


Figure 14 : Situation de la cité Diar el Mahçoul par rapport à la baie d'Alger (Source : Google earth)

Fernand Pouillon a orienté sa cité selon l'axe (nord-sud) pour profiter de la vue panoramique sur la baie d'Alger, Il a su profiter du climat ensoleillé d'Alger contre les architectes qui suivaient l'orientation est-ouest pour bénéficier de l'ensoleillement.

La cité s'étale sur une surface de 11 hectares et se constitue d'une cité « confort normal » située dans la partie sud destinée aux européens et une cité « simple confort » située dans la partie nord destinée à la population arabe. En tout elle comprend 1454 logements dont 912 « simple confort »

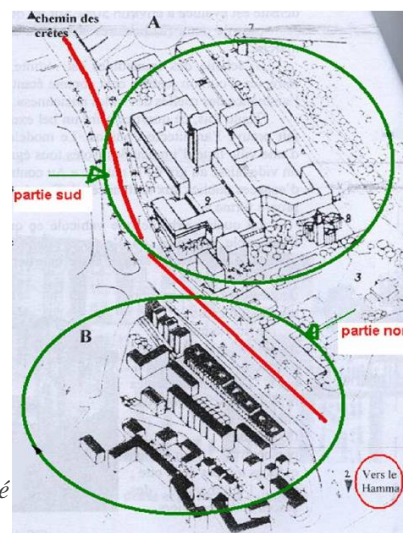


Figure 15 : Implantation de la cité (source : www.calameo.com)

Les deux cités sont séparées par une voie mécanique de 30 m à grande affluence qui est le boulevard Oulmane Khelifa

Dans la partie « confort normal » se trouve notre cas d'étude qui est l'immeuble 11 ou la tour.



Figure 16 : La tour dans la partie grand confort (Source : Google earth)

3.3 Cas d'étude « La tour »

Nous avons pris comme cas d'étude l'immeuble le plus haut du quartier de Diar El Mahçoul et qui est le bâtiment 11 (nommé la tour), il est constitué de onze niveaux (R+10) et considéré comme un vrai repère pour le quartier.



Figure 17 : vue sur le bâtiment côté nord-est (photo prise novembre 2016)

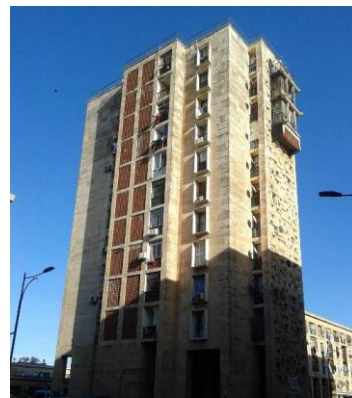


Figure 18 : vue sur le bâtiment côté ouest (photo prise novembre 2016)

3.3.1 Architecture

a) Organisation spatiale

La tour ou le bloc 11, c'est l'un des bâtiments de Diar el Mahçoul dans la partie confort normal. Elle a une emprise de sol de 297 m² et un gabarit de R+10. (Voir annexe I)
Le rez-de-chaussée est un plan libre, il est surélevé sur des poteaux afin de créer des passages sous le bâtiment. On trouve à ce niveau l'entrée principale du bâtiment, les locaux techniques, la cage d'escalier et l'ascenseur qui mènent vers les autres étages.

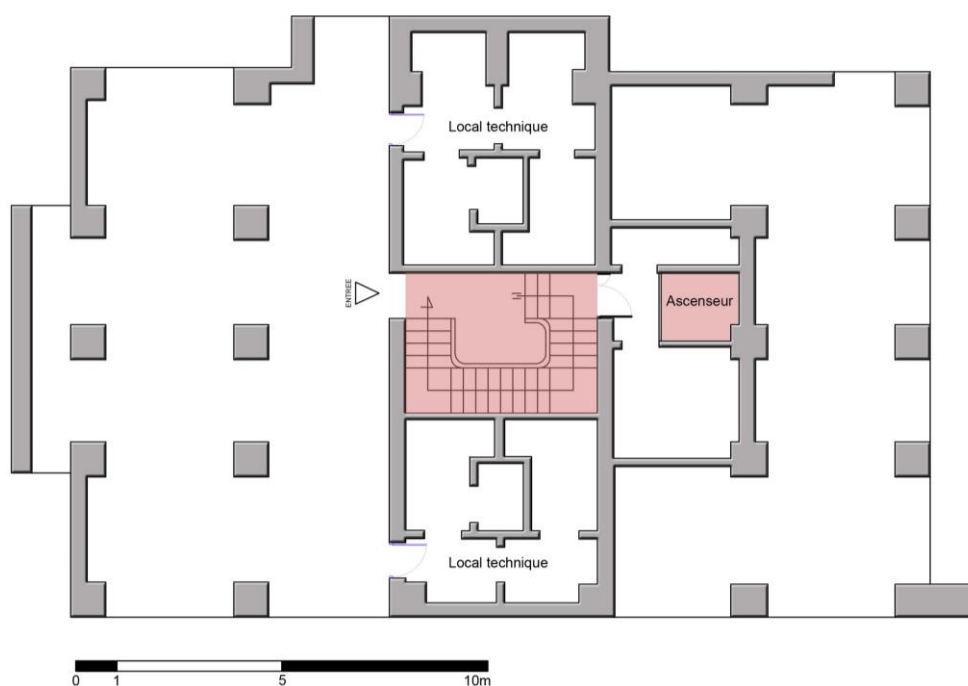


Figure 19 : Plan RDC (source : auteur)



Figure 20 : Passage sous le bâtiment (photo prise novembre 2016)



Figure 21 : cage d'escalier (photo prise novembre 2016)



Figure 22 : Passage sous le bâtiment (photo prise novembre 2016)

Pour l'étage courant, il est constitué de quatre appartements de type F2 autour d'une cage d'escalier centrale. Chaque appartement a deux façades sur l'extérieur ce qui permet un bon ensoleillement et une bonne ventilation pour les espaces principaux. La ventilation des espaces humides est assurée par des gaines d'aération.

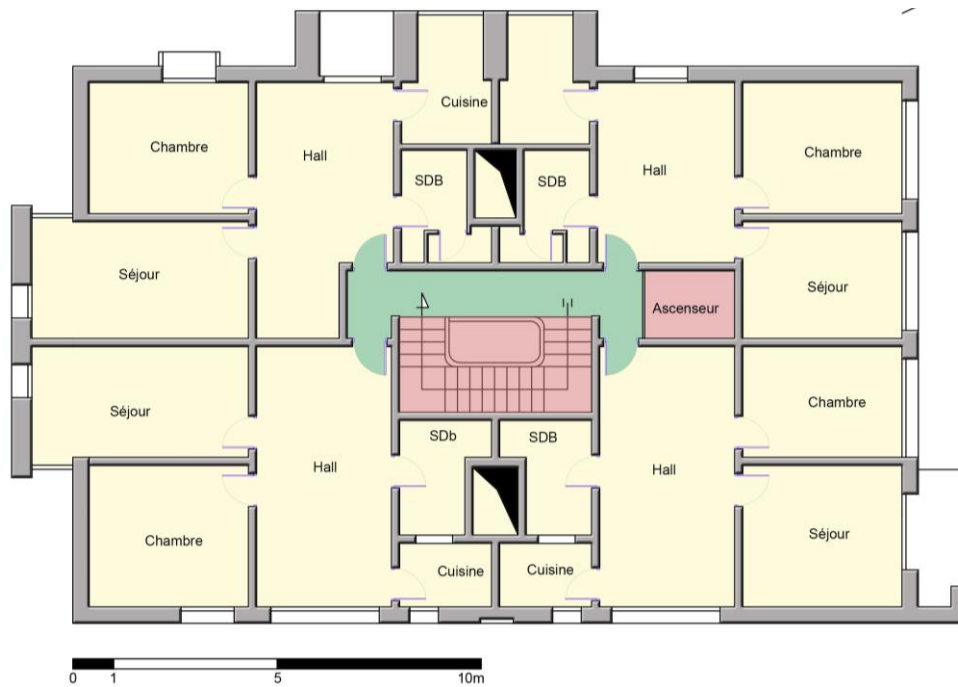


Figure 23 : Plan étage courant (source : auteur)

b) Enveloppe

❖ Tripartie

Dans ce bâtiment, on trouve le principe de la tripartite dans les façades (soubassement, corps, couronnement)

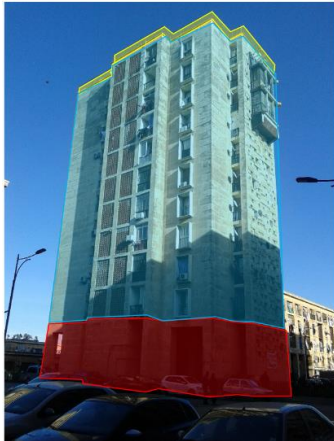


Figure 24 : vue sur le bâtiment côté ouest (photo prise novembre 2016)

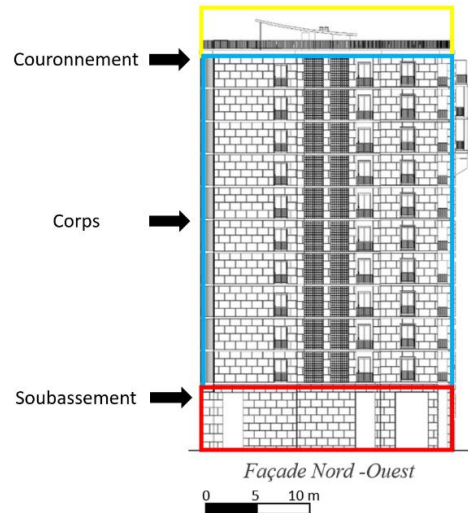


Figure 25 : Façade Nord-Ouest (source : OUKRIF Y, 2016)

❖ Alignement

On constate qu'il y a un alignement des ouvertures dans les deux sens : vertical et horizontal

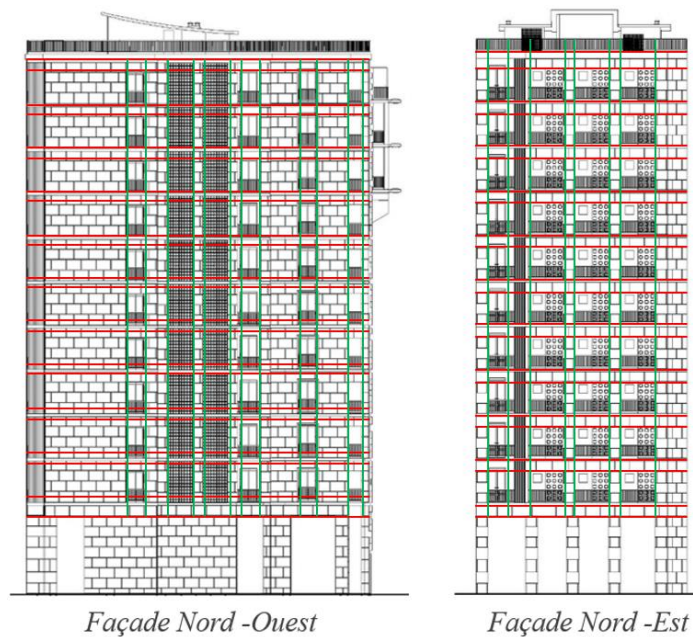


Figure 26 : Alignement horizontal et vertical (source : OUKRIF Y, 2016)

❖ Rythme plein/vide

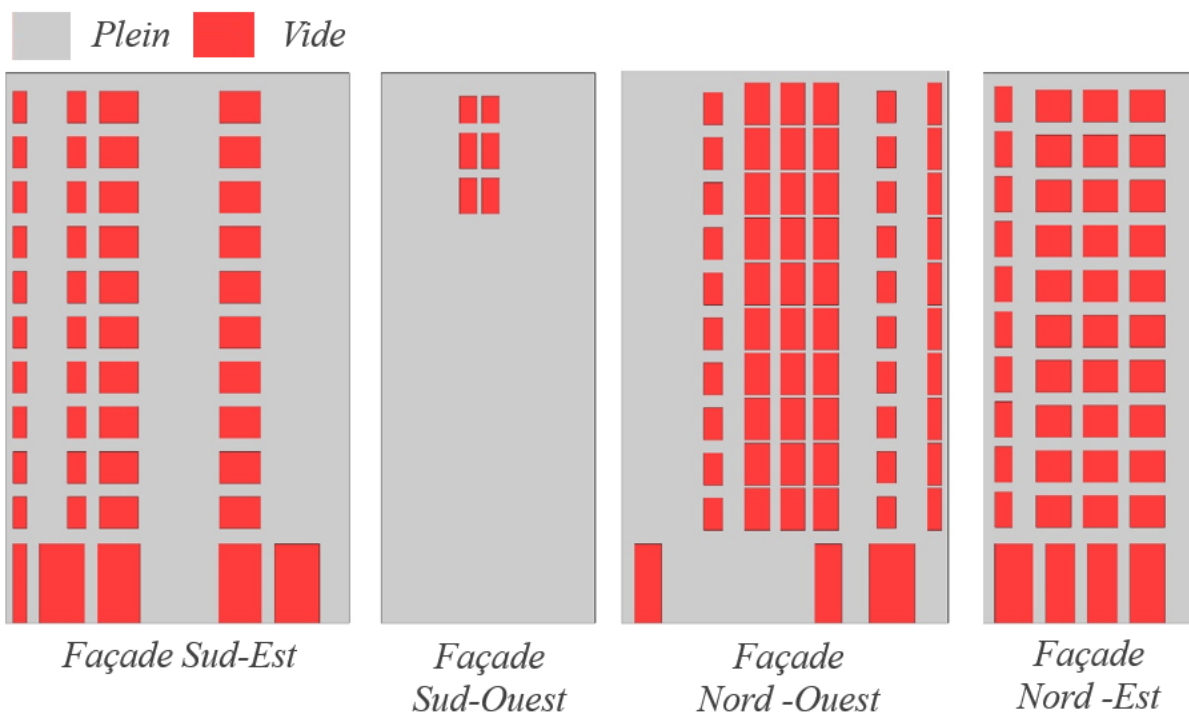


Figure 27 : Rapport plein/vide (source : auteur)

Tableau 1 : Pourcentage du plein et du vide (source : auteur)

	Plein en m ²	Vide en m ²	Plein en %	Vide en %
Façade Sud-Est	639.68	236.41	73	27
Façade Sud-Ouest	529.74	16.09	97	03
Façade Nord-Ouest	566.78	269.46	67	33
Façade Nord-Est	310.93	234.9	56	44

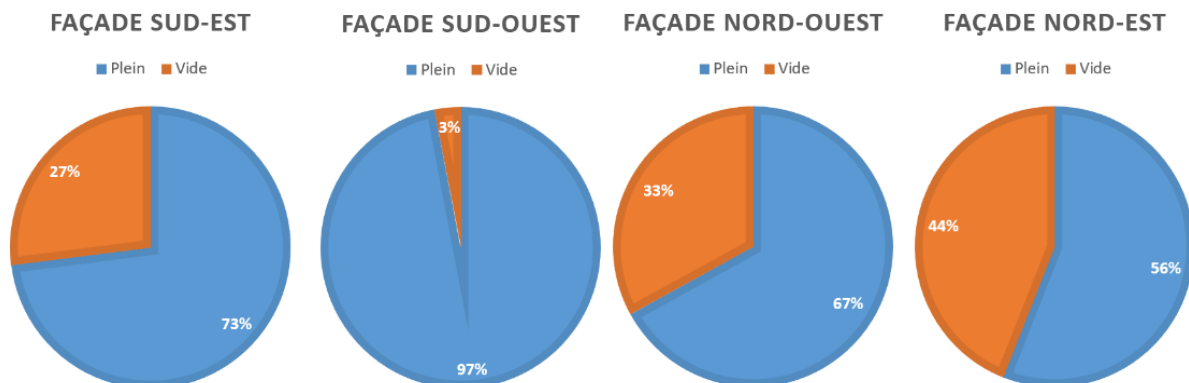


Figure 28 : Secteur du plein et du vide (source : auteur)

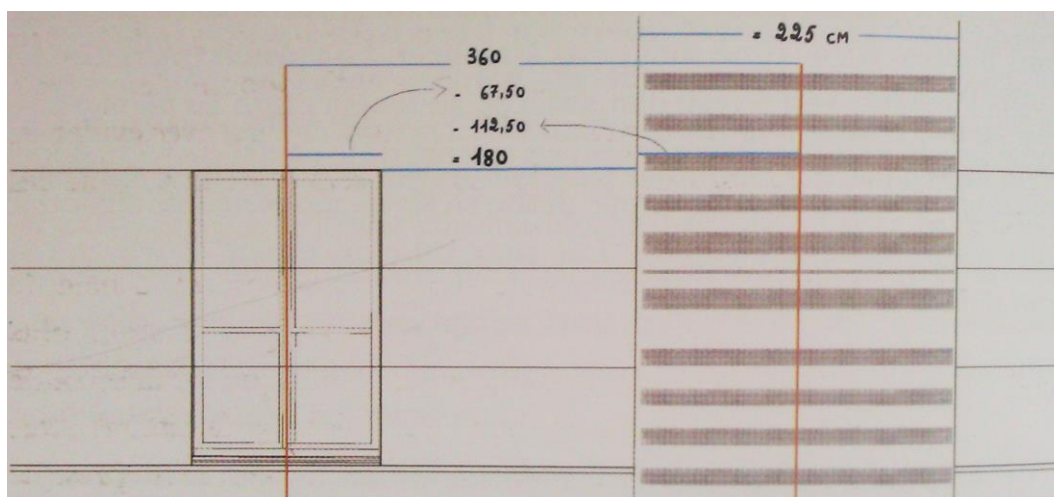


Figure 31 : les nombres qui composent la façade (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 57)



Figure 32 : Dimensions de la pierre (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 79)

❖ Ouvertures

Fernand Pouillon, pour la conception de la tour, a utilisé plusieurs types d'ouvertures avec des dimensions variables tels que montrés sur les photos pour les façades Nord/Est et Nord/Ouest.



Figure 33 : porte fenêtre du séjour (photo prise novembre 2016)



Façade Nord -Est

Figure 35 : Composition de la façade Nord-Est (source : OUKRIF Y, 2016)



Figure 34 : porte fenêtre de la chambre (photo prise novembre 2016)



Figure 36 : porte fenêtre de la chambre (photo prise novembre 2016)

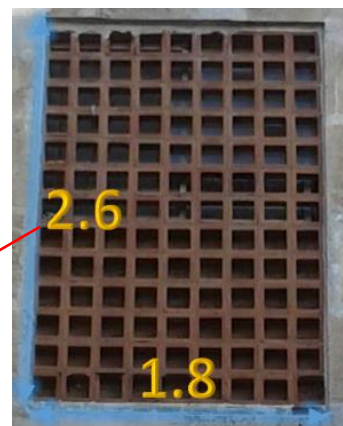
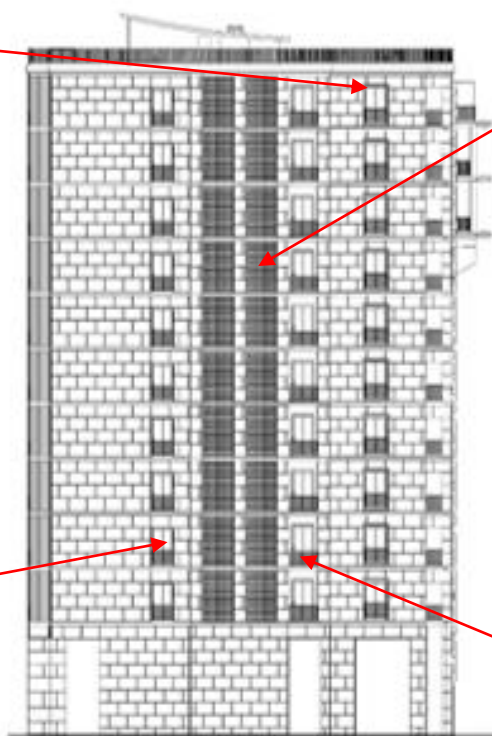


Figure 37 : moucharabieh en brique (photo prise novembre 2016)



Façade Nord -Ouest

Figure 39 : Composition de la façade Nord-Ouest (source : OUKRIF Y, 2016)



Figure 40 : porte fenêtre du hall (photo prise novembre 2016)



Figure 38 : porte fenêtre de la chambre (photo prise novembre 2016)



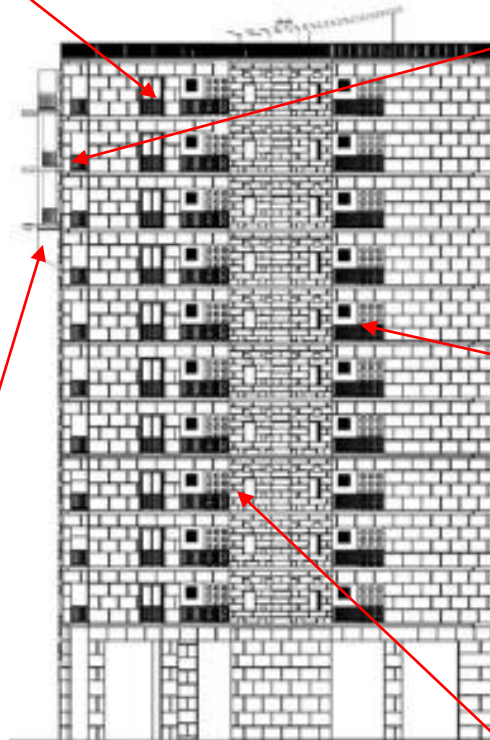
Figure 41 : porte fenêtre de la chambre (photo prise novembre 2016)



Figure 42 : porte fenêtre du séjour (photo prise novembre 2016)



Figure 43 : Encorbellement (photo prise novembre 2016)



Façade Sud-Est

Figure 45 : Composition de la façade Sud-Est (source : OUKRIF Y, 2016)



Figure 44 : porte fenêtre du hall (photo prise novembre 2016)



Figure 46 : fenêtre de la cuisine (photo prise novembre 2016)

❖ **Matériaux utilisés**

Les matériaux utilisés par l'architecte sont : principalement la pierre et la brique mais aussi, le bois, la céramique, le verre et le fer.



Figure 47 : la brique
(photo prise novembre 2016)



Figure 48 : Le bois
(photo prise novembre 2016)



Figure 49 : Le fer forgé
(photo prise novembre 2016)



Figure 50 : La céramique
(photo prise novembre 2016)

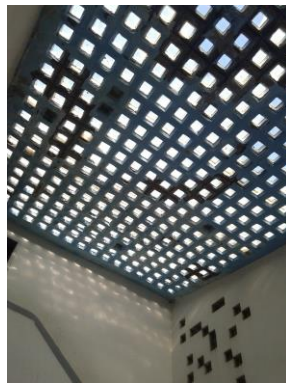


Figure 51 : Plancher
translucide (photo prise
novembre 2016)

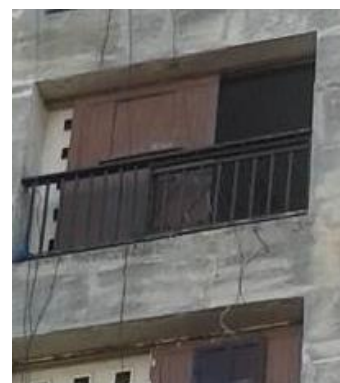


Figure 52 : porte fenêtre de
la chambre (photo prise
novembre 2016)

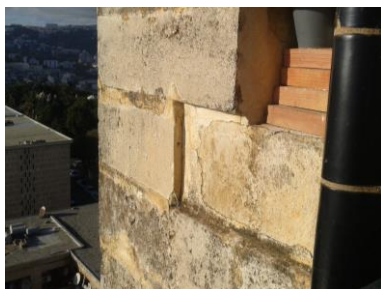


Figure 53 : La pierre taillée
(photo prise novembre 2016)



Figure 54 : Revêtement en
granito (photo prise novembre
2016)

3.3.2 System constructif

Nous avons basé sur un travail qui a été déjà fait par OUKRIF Youcef, encadré par Mr ATTARI dans le cadre d'un travail de master intitulé : Approche structurelle comme facteur d'analyse du projet de Diar El Mahçoul de Fernand Pouillon, 2016

Tout le système constructif de la cité est basé le module des marmites qui constituent la structure des planchers. La marmite constitue le module de la trame intérieure des appartements (fig.56) mais elle est aussi le module de la trame urbaine (fig.55).

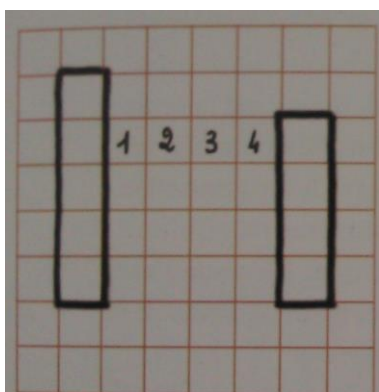


Figure 55 : Trame urbaine (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 55)

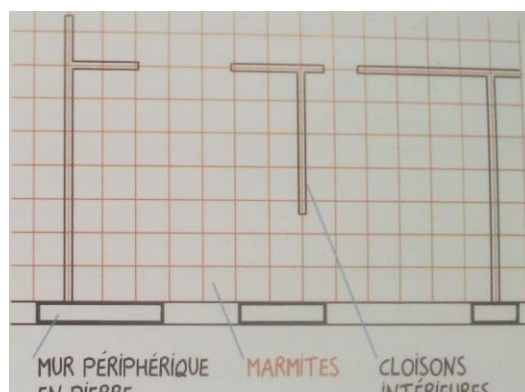


Figure 56 : Trame des appartements (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 55)

3.3.2.1 Les fondations

Dans son ouvrage sur Pouillon, Sayen nous apprend que « Du fait de la déclivité du terrain, nous aurons simultanément sur un même immeuble des fondations superficielles d'un côté et des fondations formant soutènement avec refends sur le côté opposé »²¹(voir fig.57)

On déduit ainsi que pour la tour, l'architecte a utilisé des fondations superficielles en béton armé sans mur de soutènement vu qu'il est sur un terrain plat.

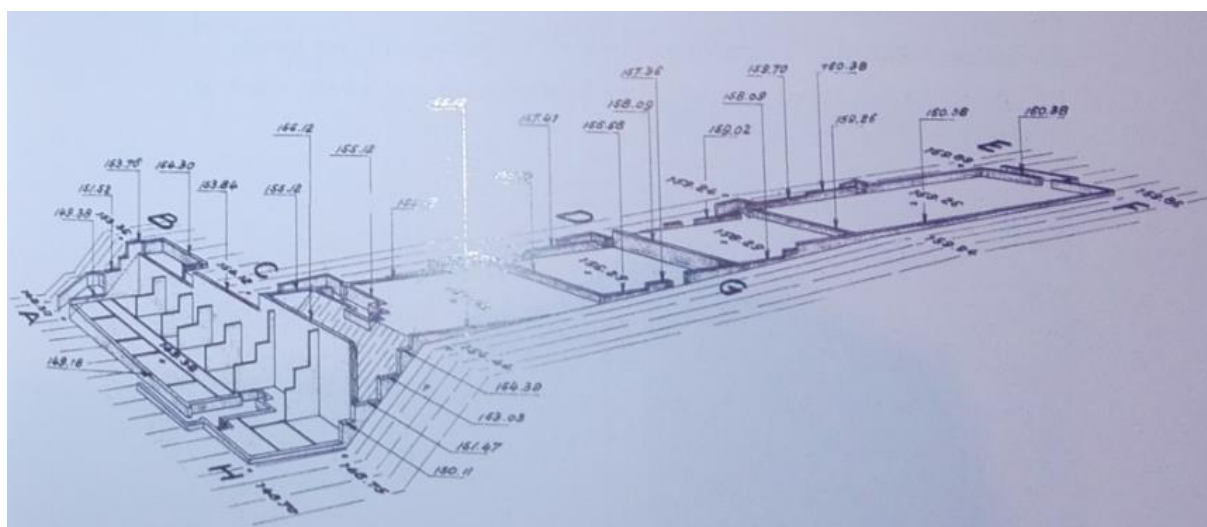


Figure 57 : le type de fondation utilisé dans la cité Diar el Mahçoul (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 57)

²¹ CATHERINE SAYEN, *l'architecture par Fernand Pouillon*, Ed : Dalimen, 2015, p 56

3.3.2.2 Les éléments verticaux

Pour le rez-de-chaussée on constate que le système structural est constitué de piliers en béton armé plaqué avec de la pierre, des murs porteurs en pierre et des cloisons en brique semi porteuse. (Voir fig.58)

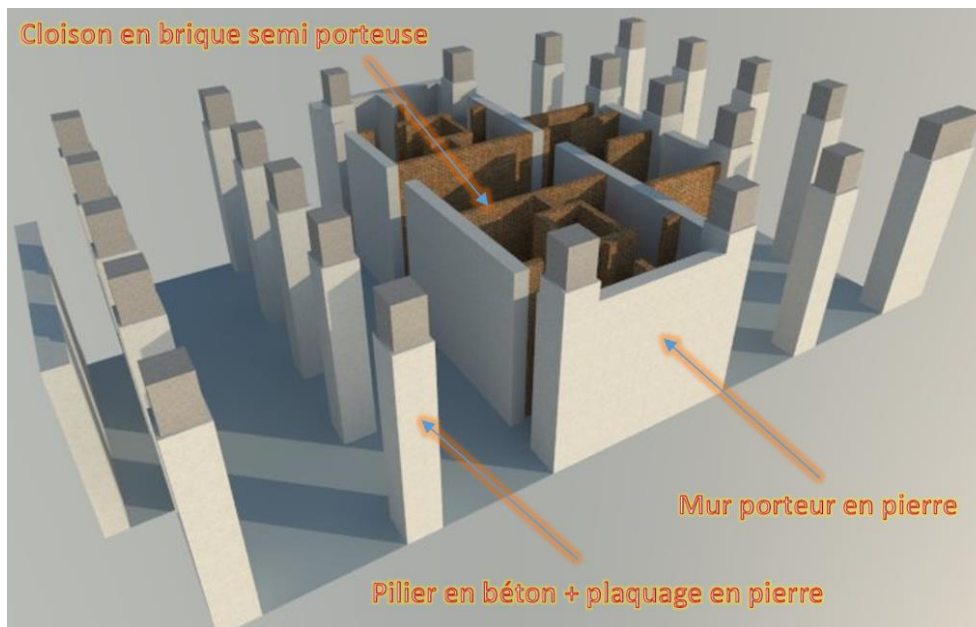


Figure 58 : Structure RDC (source : auteur)

Pour l'étage courant, l'architecte a utilisé des murs porteurs en pierre et des cloisons semi porteuses en brique. (Voir fig.59)

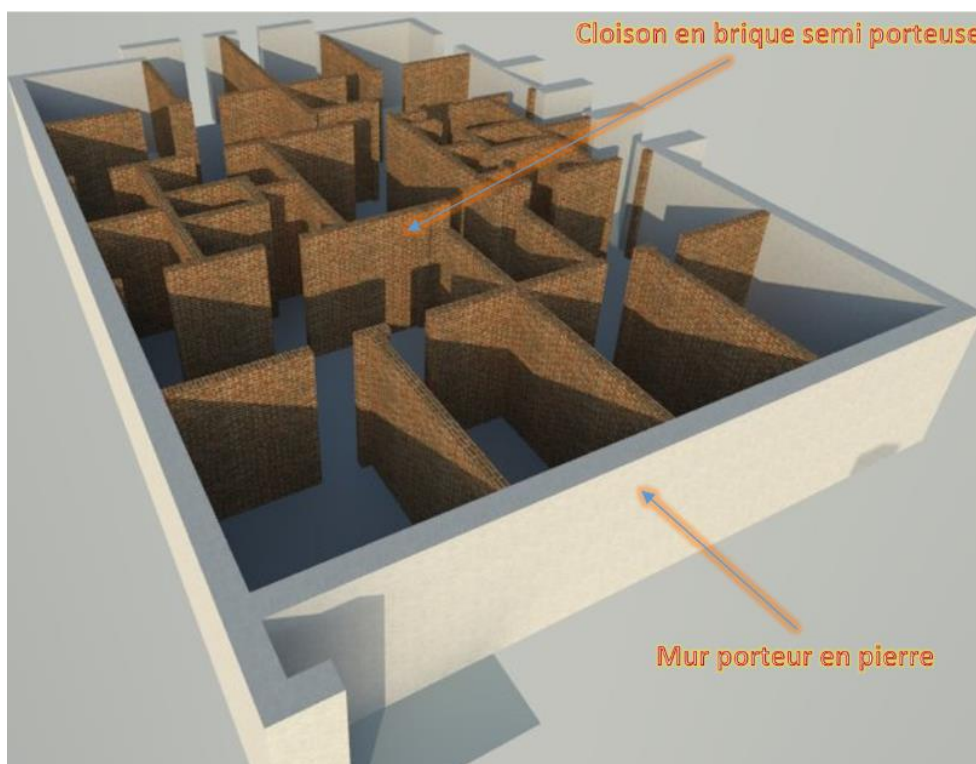


Figure 59 : Structure étage courant (source : auteur)

a) La pierre

Pour la nature des murs porteurs en pierre c'est des pierres calcaires nommées Pierre de Fontvieille²², avec les caractéristiques suivantes :

La pierre de Fontvieille

Type de roche : Calcaire

Nom commercial : Fontvieille

Couleur dominante : blanc a reflets blonds

Aspect dominant : Compact à grains moyens à fins

Masse vol : 2030 à 2070 kg/m³

Porosité : 23.1 à 24.6%

Résistance à la flexion : 4.9 à 5.6 MPa

Abrasion : 39.5 mm

Capillarité C1 : 107.3 g/m²

Capillarité C2 : 103.3 g/m²

Compression : 9 MPa

Résistance au gel : 16 cycles

Glissance : 85



Figure 60 : Caractéristiques de la pierre Fontvieille (Source : <http://www.carrieres-de-provence.com>)

b) La brique

Pour les cloisons semi porteuses Fernand Pouillon a utilisé des briques spéciales avec des épaisseurs variables. Elles sont posées debout pour augmenter la résistance à la compression.

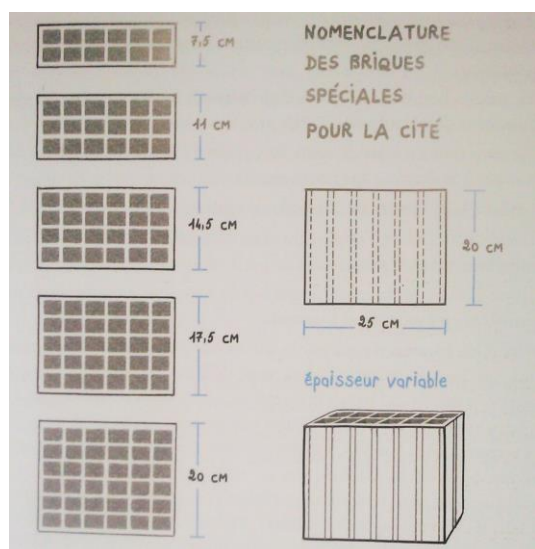


Figure 61 : Nomenclature des briques (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 57)



Figure 62 : des briques posées debout (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 46)

²² CATHERINE SAYEN, *l'architecture par Fernand Pouillon*, Ed : Dalimen, 2015, p 33

3.3.2.3 Les éléments horizontaux

Dans notre bâtiment, on constate qu'il y a trois types de planchers :

- Plancher à nervures croisées.
- Dalle pleine.
- Le plancher translucide.

Plancher à nervures croisées ou à marmites²³ est le plus utilisé avec une épaisseur de 20 cm (14 cm pour la marmite, 3 cm pour la dalle de compression et 3 cm pour le revêtement)



Figure 63 : Plancher a marmites (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 45)



Figure 64 : Maillage des aciers dans la dalle (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 47)

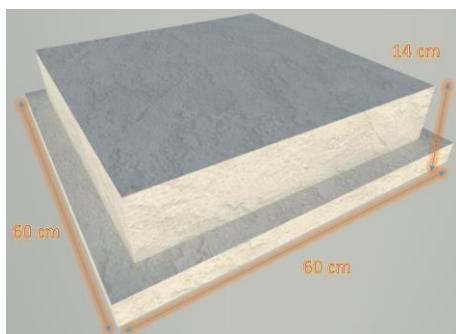


Figure 66 : Marmite de 60*60*14 cm (source : auteur)

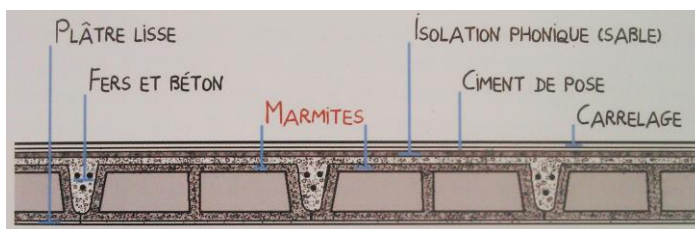
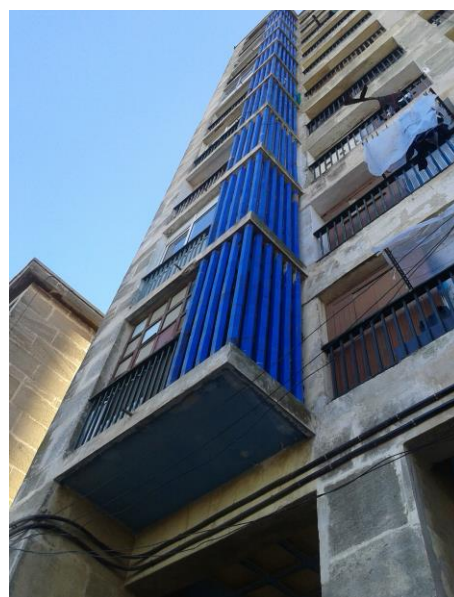


Figure 65 : Détail du plancher (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 53)

La dalle pleine est utilisée au RDC avec une épaisseur de 20 cm. Elle est, en plus, utilisée pour les porte-à-faux des balcons.

Figure 67 : Porte-à-faux des balcons (photo prise novembre 2016)



²³ Hourdis préfabriqué creux

Le plancher translucide avec une forme curviligne pour couvrir la cage d'escalier avec une épaisseur de 15 cm. (Voir fig.68 et fig.69)



Figure 68 : Vue de l'extérieur sur le plancher translucide (photo prise novembre 2016)

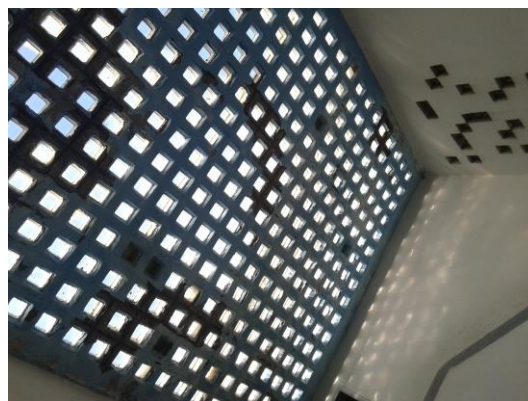


Figure 69 : Vue de l'intérieur sur le plancher translucide (photo prise novembre 2016)

Les dimensions des pièces sont calculés à partir du nombre de marmites. Ainsi, deux marmites correspondent à la largeur de la cage d'escalier, 3 à la largeur des chambres et les extensions du salon, 4 à la largeur des autres pièces et 4 aussi pour la profondeur de toutes les pièces. De ce fait l'épaisseur des immeubles représente 10 marmites.

Cette méthode est très pratique pour les bâtisseurs et les maçons puisqu'ils reconnaissent directement l'emplacement où ils doivent poser les briques, entre deux marmites (Voir fig.71). De même pour le bureau d'étude et les entrepreneurs, ce mode constructif facilite le calcul des surfaces (Voir fig.70).

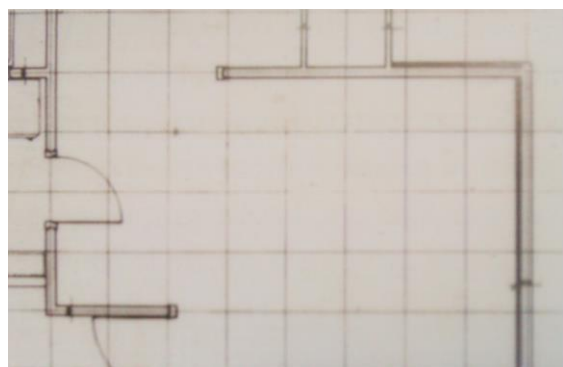


Figure 70 : Dimensions d'une pièce selon le nombre des marmites (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 47)



Figure 71 : Pose de brique entre deux marmites (source : CATHERINE SAYEN, 2015, p 46)

3.4 Conclusion

Nous avons remarqué que la conception de Diar el Mahçoul est basée sur un module répétitif qui est un module tiré du système constructif qui est la marmite pour la composition spatiale et d'un module de la pierre taillée pour l'enveloppe.

Nous avons vu que la pierre a été utilisée dans le système constructif pour ces caractéristiques porteuses et aussi pour ces caractéristiques esthétiques dans l'apparence de la tour. Qu'en est-il de ses caractéristiques thermiques ?

Après avoir présenté la composition architecturale et structurelle de la tour, nous allons évaluer sa conformité à la réglementation thermique algérienne dans le chapitre suivant.

4. Evaluation de la conformité à la réglementation thermique algérienne de la tour

4.1 Introduction

Après avoir présenté notre cas d'étude, nous allons, dans ce chapitre, vérifier sa conformité à la RT algérienne. Afin de donner de la valeur aux résultats, nous avons décidé de simuler, en plus du cas d'étude, un cas témoin qui serait la tour mais en remplaçant la pierre par la brique. Ce cas témoin représenterait un cas standard de construction en Algérie dans le but de comparer les résultats entre les deux matériaux pierre et brique.

4.2 Présentation du cas d'étude

Pour mon cas d'étude j'ai choisi l'étage qui se trouve au dernier niveau de la tour étant le cas le plus défavorable. Ce cas d'étude sera complété par un cas témoin en brique²⁴

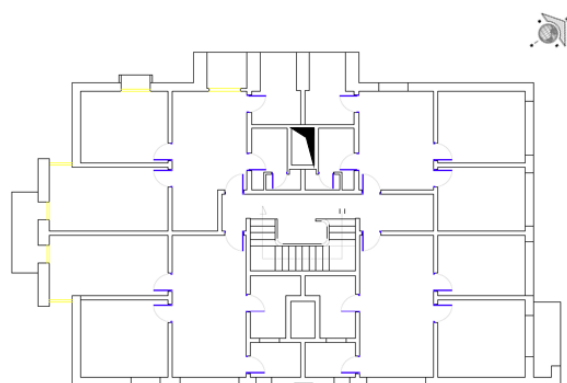


Figure 72 : Plan dernier étage (source : OUKRIF Y, 2016)

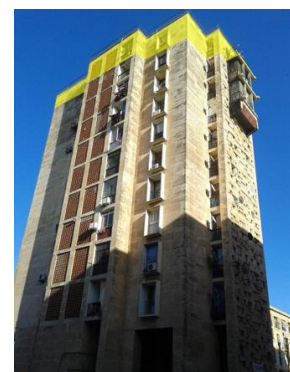


Figure 73 : vue sur le dernier étage (photo prise novembre 2016)

Pour la simulation avec RETA, nous prenons tout l'étage comme volume thermique. Ce dernier est composé de quatre appartements disposés autour d'une cage d'escalier centrale. Dans cette simulation nous avons négligé la cage d'escalier bien qu'elle ne soit pas chauffée et ce en se référant à l'exemple cité au niveau du guide.²⁵

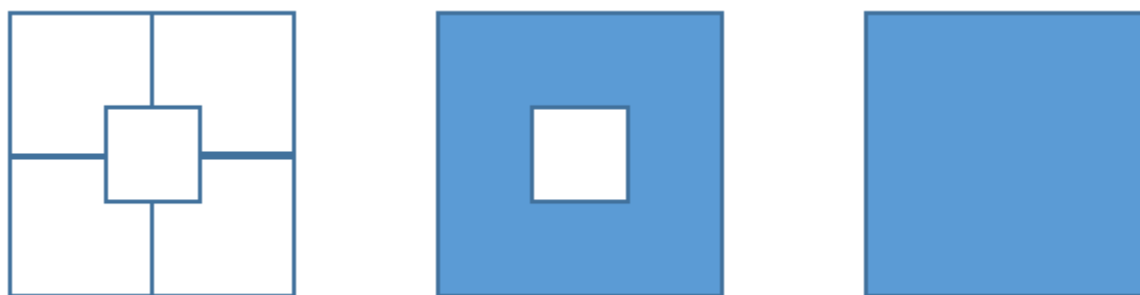


Figure 74 : Volume thermique (source : auteur)

²⁴ Dans ce cas, on a négligé le système structurel en béton armé poteau-poutre, en sorte que notre enveloppe est toute en brique.

²⁵ APRUE, Guide pour une construction éco-énergétique en Algérie, 2014

4.3 Evaluation de la conformité avec RETA

RETA est une application qui nous permet de vérifier la conformité des projets de construction aux normes de la réglementation algériennes décrites dans les DTR C3-2 et C3-4. L'application présente à l'utilisateur une interface intuitive et ergonomique qui lui permet de décrire les différentes composantes de son projet et d'effectuer les calculs thermiques nécessaires afin de vérifier la conformité du bâtiment

4.3.1 Processus de création du modèle analysé

La structure des données est inspirée de la répartition hiérarchique naturelle des projets de construction.

Le schéma fig.75 présente la structure basique de l'organisation des données au sein de l'application RETA.

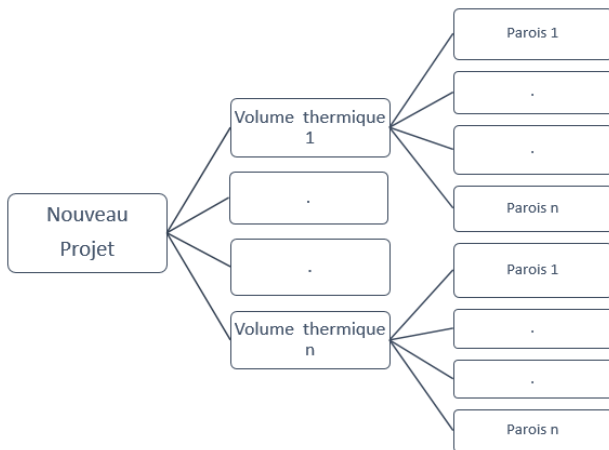


Figure 75 : Application RETA structure des données (source : auteur)

La création du modèle peut être résumée quatre étapes importantes (voir fig.76) :

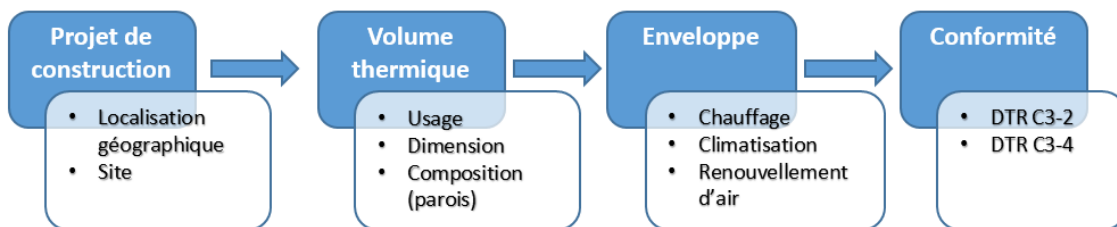


Figure 76 : les étapes pour la création du modèle (source : auteur)

4.3.1.1 Première étape

Dans la première interface, il faut d'abord introduire certains renseignements sur le projet (situation géographique, altitude, latitude, site d'implantation) et aussi donner une petite description du projet)

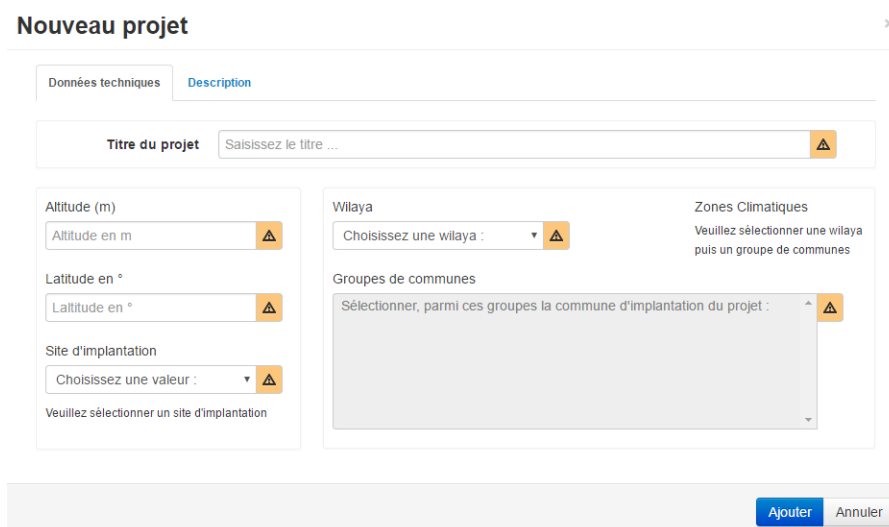


Figure 77 : interface pour la création d'un nouveau projet
(Source : capture d'écran)

4.3.1.2 Deuxième étape

Une fois le projet défini, il faut créer des volumes thermiques pour chaque enveloppe à travers la création des parois qui le composent tout en définissant leurs surfaces, composition et usage.

Les 6 types de parois :

- Les toitures
- Les planchers
- Les murs
- Les fenêtres
- Les portes
- Les parois enterrées

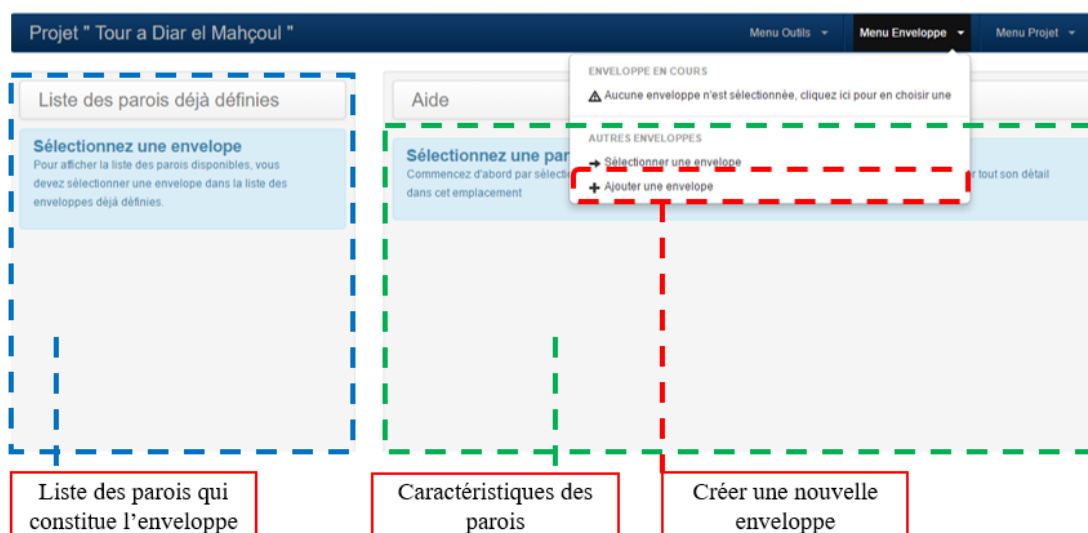


Figure 78 : interface pour créer l'enveloppe et les parois (source : capture d'écran)

4.3.1.3 Troisième étape

Après avoir défini notre enveloppe, il nous reste qu'à définir les différentes dispositions de chauffage, climatisation et de renouvellement d'air.

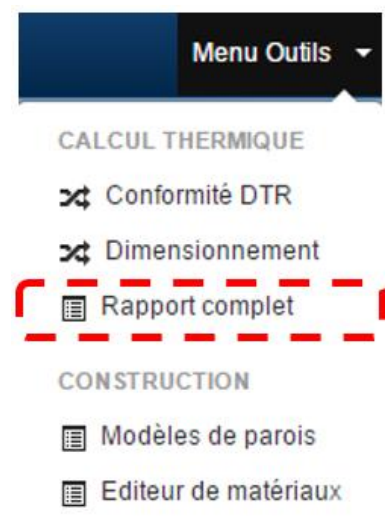
Figure 79 : chauffage, climatisation et de renouvellement d'air. (Source : capture d'écran)



1) Quatrième étape

L'application RETA permet la possibilité de générer un rapport détaillé sur toutes les données et calculs du projet incluant la synthèse des sommes et la vérification réglementaire.

Figure 80 : rapport final (source : capture d'écran)



4.3.2 Exécution des simulations

Rappelons que pour cette simulation, nous avons deux cas :

- Enveloppe en pierre (notre cas d'étude)
- Enveloppe en brique (cas témoin)

1. D'abord, nous avons introduit les données techniques du projet (altitude, latitude, site d'implantation, ... et c.)

Figure 81 : les données techniques du projet (capture d'écran)

2. Puis, nous avons créé l'enveloppe tout en définissant son volume, les surfaces des planchers et le temps de fonctionnement de la climatisation.

Figure 82 : Création de l'enveloppe (capture d'écran)

3. Par la suite, nous avons créé les différentes parois qui constituent notre enveloppe (le volume thermique)

Liste des parois qui constitue l'enveloppe

Figure 83 : Création des parois qui constituent l'enveloppe (capture d'écran)

4. Pour notre cas on a 3 types de parois :

a) Les murs

Pour introduire les parois, j'ai numéroté les murs suivant le sens inverse des aiguilles d'une montre et je l'ai partagé selon (voir fig.84, tab 2 et 3) :

- ✓ L'orientation
- ✓ L'épaisseur de mur
- ✓ La composition de mur

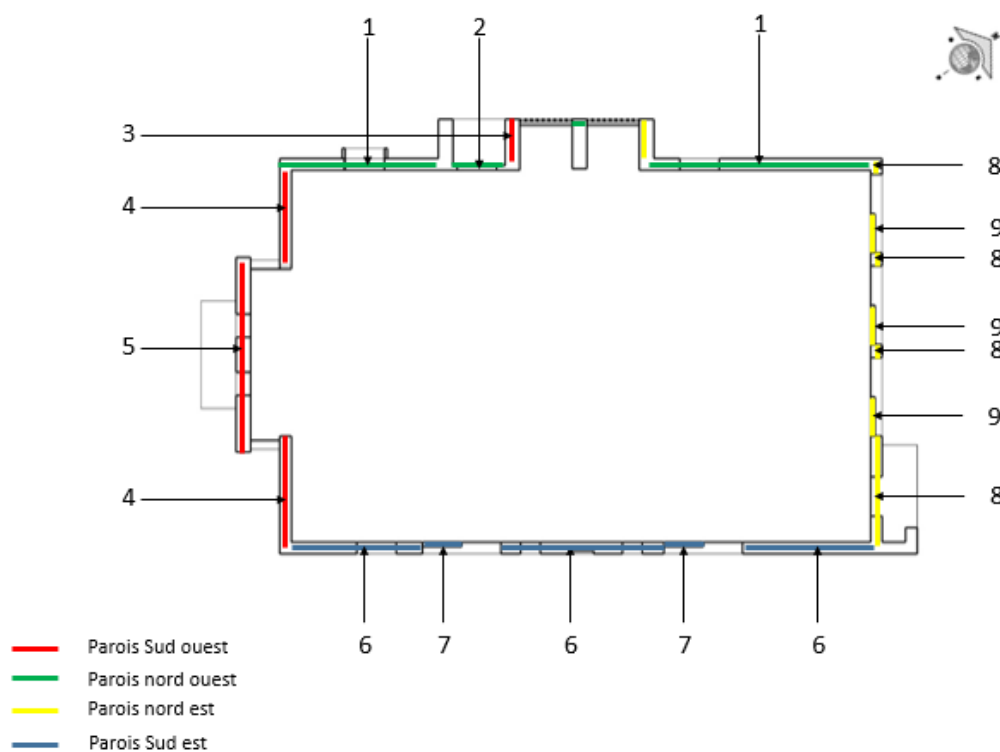


Figure 84 : les murs (source : auteur)

Tableau 2 : caractéristiques des murs en pierre (cas d'étude) source : auteur

Les murs	Orientation	Surface m ²	Epaisseur cm	Matériau
1	Nord-ouest	29.7	40	pierre
2	Nord-ouest	2.09	15	pierre
3	Sud-ouest	4.31	50	pierre
4	Sud-ouest	19.04	40	pierre
5	Sud-ouest	13.21	50	pierre
6	Sud-Est	38.88	40	pierre
7	Sud-Est	5.40	15	pierre
8	Nord-Est	15.66	40	pierre
9	Nord-Est	8.10	15	pierre

Tableau 3 : caractéristiques des murs en brique (cas témoin) source : auteur

Les murs	Orientation	Surface m ²	Epaisseur cm	Matériau
1	Nord-ouest	29.7	30	Brique
2	Nord-ouest	2.09	15	Brique
3	Sud-ouest	4.31	30	Brique
4	Sud-ouest	19.04	30	Brique
5	Sud-ouest	13.21	30	Brique
6	Sud-Est	38.88	30	Brique
7	Sud-Est	5.40	15	Brique
8	Nord-Est	15.66	30	Brique
9	Nord-Est	8.10	15	Brique

Pour créer une paroi, nous avons introduit sa surface, son inclinaison (toiture, verticale ou plancher), son orientation, le type des parois et à la fin son contact (avec extérieur, non chauffé et non climatisé, enterré entièrement ou partiellement).

Nouvelle paroi

The screenshot shows a form titled "Nouvelle paroi" with the following fields and values:

- Nom de la paroi:** parois Nord Ouest 1
- Surface (m²):** 29.7
- Inclinaison:** Verticale
- Orientation:** NO
- Type:** Opaque
- Contact:** Extérieur

At the bottom right, there are two buttons: "Ajouter" (highlighted in blue) and "Annuler".

Figure 85 : Création d'une paroi opaque (capture d'écran)

Après, nous avons déterminé les matériaux qui composent le mur tout en définissant le facteur d'absorption qui est en relation avec la couleur ou le revêtement de la couche extérieure.

The screenshot shows the "Composition" tab for "parois Nord Ouest 1". The title is "Composition (mur en pierre 40 cm)". Below it is a table with the following data:

Matériau de l'extérieur vers l'intérieur	Ep. e	Rés. r	M. Sur. P	Cond. λ
Facteur d'absorption α : 0,60 (pierre calcaire blanche)				
0 - Pierres calcaires dures	0,40 m	0,1667 (m². °C)/W	940,0000	2,4000 W/m.°C
1 - Plâtre courant d'enduit intérieur	0,02 m	0,0571 (m². °C)/W	15,0000	0,3500 W/m.°C
Total	0,4200 m	0,2238 (m². °C)/W	955,0000	

Figure 86 : les matériaux qui composent le mur en pierre (capture d'écran)

Détails		Composition		
Composition (Mur extérieur - Commun)		Sélectionner un Modèle		
Matériau de l'extérieur vers l'intérieur	Ep. e	Rés. r	M. Sur. P	Cond. λ
Facteur d'absorption α : 0,70 (couleur moyenne)				
0 - Mortier de ciment	0,02 m	0,0143 (m ² . °C)/W	44,0000	1,4000 W/m.°C
1 - Brique creuse	0,15 m	0,3125 (m ² . °C)/W	135,0000	0,4800 W/m.°C
2 - Polystyrène expansé	0,05 m	1,3158 (m ² . °C)/W	1,0000	0,0380 W/m.°C
3 - Brique creuse	0,10 m	0,2083 (m ² . °C)/W	90,0000	0,4800 W/m.°C
4 - Plâtre courant d'enduit intérieur	0,02 m	0,0571 (m ² . °C)/W	15,0000	0,3500 W/m.°C
Total	0,3400 m	1,9081 (m². °C)/W	285,0000	

Figure 87 : les matériaux qui composent le mur en Brique (capture d'écran)

b) Les fenêtres

Nous les avons numérotées aussi suivant le sens inverse des aiguilles d'une montre et je les partagés selon :

- ✓ L'orientation
- ✓ Type de vitrage
- ✓ Type de menuiserie
- ✓ Epaisseur de vitrage

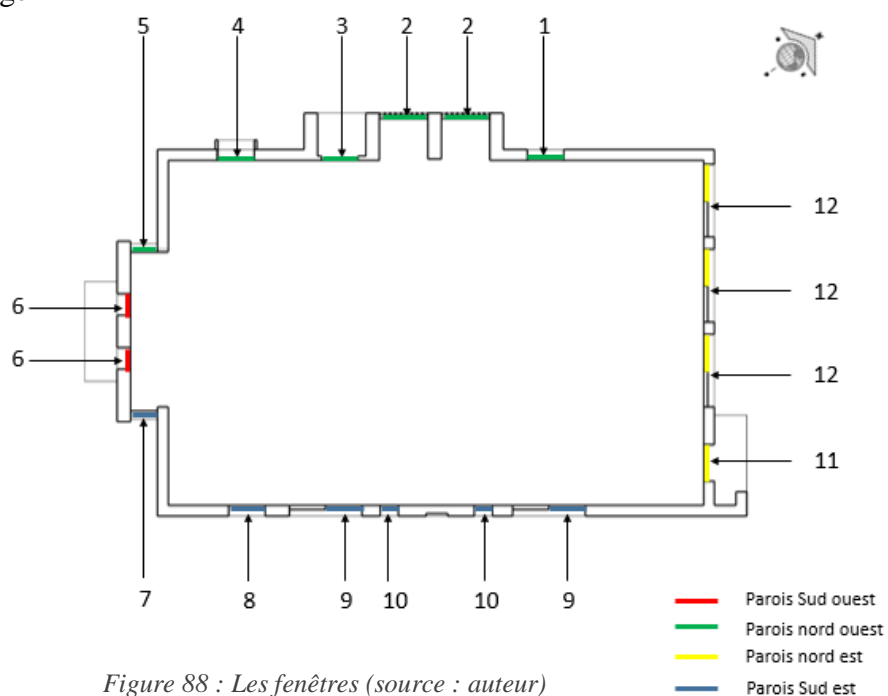


Figure 88 : Les fenêtres (source : auteur)

Tableau 4 : Caractéristiques des fenêtres

Les fenêtres	Orientation	Surface m ²
1	Nord-ouest	2,70
2	Nord-ouest	9,36
3	Nord-ouest	2,70
4	Nord-ouest	2,70
5	Nord-ouest	2,70
6	Sud-Ouest	2,72
7	Sud-Est	2,70
8	Sud-Est	2,70
9	Sud-Est	5,40
10	Sud-Est	1,36
11	Nord-Est	2,70
12	Nord-Est	8,10

Nous avons introduit les surfaces des fenêtres, inclinaison (toiture, verticale ou plancher), orientation, le type des parois et à la fin le contact (avec extérieur, non chauffé et non climatisé, enterré entièrement ou partiellement).

Nouvelle paroi ×

Nom de la paroi fenêtre 1 ✓	Surface (m²) 2.7 ✓	Inclinaison Verticale ✓
Orientation NO ✓	Type Vitrée ✓	Contact Extérieur ✓

Ajouter

Annuler

Figure 89 : Création d'une paroi vitrée (capture d'écran)

La composition de la paroi vitrée diffère de celle de la paroi opaque. Puisque il faut déterminer la surface vitrée, la hauteur de l'ouverture par rapport au sol, type de menuiserie (le bois dans notre cas) le type de vitrage (simple vitrage dans notre cas) et enfin l'épaisseur de la lame d'air dans le cas de double vitrage

Figure 90 : composition du vitrage (capture d'écran)

RETA a pris en considération la protection des parois vitrées en été et en hiver. Pour la protection en hiver, nous avons déterminé pour chaque ouverture sa protection avec voilage, avec rideaux ou avec occultation (tout en définissant le matériau et son épaisseur).

Figure 91 : Protection du vitrage en hiver (capture d'écran)

Pour la protection en été, on a défini tout d'abord le type de vitrage (verre absorbant, coloré, réfléchissant,...). Après, on passe à la protection interne et externe tout en définissant le type de protection (stores de toiles ou vénitiennes) et la teinte de ces stores.

Définir la protection du vitrage en été

Vitrage 1

Familles de vitrage

Choisissez une valeur : ✓

Verre

Choisissez une valeur : ✓

Protection interne

Type de protection

Choisissez une valeur : ✓

Teinte

Choisissez une valeur : ✓

Protection externe

Type de protection

Choisissez une valeur : ✓

Teinte

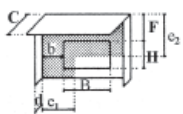
Choisissez une valeur : ✓

Figure 92 : Protection du vitrage en été (capture d'écran)

Pour notre cas c'est au niveau des balcons et des loggias ou on a des parois verticales qui influent sur les surfaces ensoleillées.

Surface ensoleillée

Surface vitrée : 1.89 m²



C (m)

✓

D (m)

✓

H sans le cadre (m)

✓

F (m)

✓

B sans le cadre (m)

✓

b (m)

✓

Figure 93 : Surface ensoleillée (capture d'écran)

c) Les planchers

De même que pour les autres parois, nous avons déterminé sa surface, son inclinaison (toiture, verticale ou plancher), son orientation, le type des parois et à la fin son contact (avec extérieur, local non chauffé et non climatisé, haut enterré, sur terre-plein ou bas enterrée).

Nouvelle paroi ×

Nom de la paroi plancher ✓	Surface (m²) 268.37 ✓	Inclinaison Plancher ✓
Orientation Horizontal ✓	Type Opaque ✓	Contact Local non chauffé et non clim ✓

Ajouter
Annuler

Figure 94 : Création d'un plancher (capture d'écran)

Nous avons, par la suite, déterminé les matériaux qui composent le plancher de l'extérieur vers l'intérieur

Composition (plancher à nervures)				
Sélectionner un Modèle				
Matériau de l'extérieur vers l'intérieur	Ep. e	Rés. r	M. Sur. P	Cond. λ
0 - Plâtre courant d'enduit intérieur	0,02 m	0,0571 (m². °C)/W	15,0000	0,3500 W/m.°C
1 - Entrevous - dalle de compression en béton courant	0,14 m	0,0966 (m². °C)/W	151,2000	1,4500 W/m.°C
3 - Béton plein	0,04 m	0,0229 (m². °C)/W	88,0000	1,7500 W/m.°C
4 - Sable sec	0,02 m	0,0333 (m². °C)/W	26,0000	0,6000 W/m.°C
5 - Mortier de ciment	0,03 m	0,0214 (m². °C)/W	66,0000	1,4000 W/m.°C
6 - Carreaux de mosaïque de marbre dit « granito »	0,03 m	0,0143 (m². °C)/W	66,0000	2,1000 W/m.°C
Total	0,2800 m	0,2456 (m². °C)/W	412,2000	

Figure 95 : les matériaux qui composent le plancher (capture d'écran)

Nous avons par la suite défini le local adjacent pour le calcul d'été et le calcul d'hiver. Pour notre cas le local adjacent c'est des appartements chauffés et climatisés et puisque le RETA ne nous propose pas cette option donc on a considéré que le local adjacent n'est pas chauffé et n'est pas climatisé

Définir le local adjacent non chauffé et non climatisé

Définition pour calcul été

Cas: Cas 3 Locaux non conditionnés d'un logement, les locaux à usage d'enseignement, d'hébergement, de bureaux et de réunion

Masse rapportée < 150 Kg/m²

Définition pour calcul hiver

Cas: Bâtiment adjacent Détails: Tout type

Le local non chauffé est situé dans un bâtiment adjacent

Définir Fermer

Figure 96 : Définir le local adjacent au plancher bas (capture d'écran)

Après avoir défini notre enveloppe, nous avons défini les différentes dispositions de chauffage, climatisation²⁶ et de renouvellement d'air (voir fig.97)

Volume d'air net de l'enveloppe	Nombre de "Pièce principale"
<input type="text" value="579.6792"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="text" value="12"/> <input checked="" type="checkbox"/>
Nombre de "Cuisine"	Nombre de "Salle de bains"
<input type="text" value="4"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="text" value="4"/> <input checked="" type="checkbox"/>
Nombre de "Cabinet d'aisance"	Nombre de "Autre salle d'eau"
<input type="text" value="4"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="text" value="0"/> <input checked="" type="checkbox"/>

Figure 97 : renouvellement d'air (capture d'écran)

Après l'introduction des données, nous avons obtenu ce tableau qui synthétise les résultats de la conformité à la réglementation pour les deux enveloppes en pierre et brique.

Tour a Diar el Mahçoul

Vérification réglementaire

Conformité DTR		Echanges thermiques par transmission				
Enveloppe	$D = \Sigma DT + DR$	$\Sigma Dréf$	Vérification C-3.2	$A = \Sigma APO + \Sigma AV$	$Aréf = \Sigma APOréf + \Sigma AVréf$	Vérification C-3.4
enveloppe en pierre bois	2 042,00	1 309,24	1,56 ✘ Non conforme	14 605,85	9 693,64	1,51 ✘ Non conforme
enveloppe en brique bois	1 695,31	1 309,24	1,29 ✘ Non conforme	13 383,04	9 693,64	1,38 ✘ Non conforme

Figure 98 : Les résultats de la conformité (capture d'écran)

²⁶ On a négligé le chauffage et la climatisation puisque on n'a pas d'informations la dessus.

Les résultats montrent que les deux enveloppes sont non conformes à la réglementation en été avec une valeur de $1.56 > 1.05$ pour le cas de la pierre et $1.29 > 1.05$ pour le cas de la brique. Idem pour l'hiver avec une valeur de $1.51 > 1.05$ pour le cas de la pierre et $1.38 > 1.05$

pour le cas de la brique.

A ce niveau de la

simulation, nous pouvons dire que les performances de l'enveloppe en brique sont meilleures que celles en pierre.

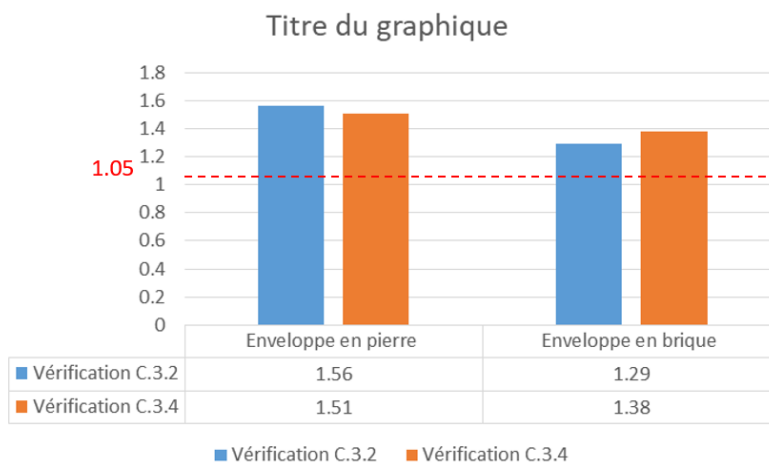


Figure 99 : Histogramme de la conformité (source : auteur)

4.4 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre la démarche suivie pour la simulation thermique statique avec RETA du cas d'étude en pierre ainsi que du cas témoin en brique.

Les résultats obtenus démontrent que la tour de Diar El Mahçoul est non conforme à la RT algérienne et nécessite en effet une réhabilitation thermique qui sera proposée dans le chapitre suivant.

5. Proposition d'une réhabilitation thermique

5.1 Introduction

Après avoir obtenu des résultats non conformes pour les deux cas à savoir la pierre et la brique, nous allons dans ce chapitre proposer différents scénarios de réhabilitation en se basant sur RETA pour vérifier la conformité à la RT algérienne et ECOTECT pour évaluer la consommation énergétique.

5.2 Proposition des différents scénarios de réhabilitation

Nous utilisons la simulation par RETA comme une aide pour choisir la réhabilitation optimale qui nous aide à atteindre la conformité à la RT. Dans notre réhabilitation, nous avons pris comme choix de ne pas toucher aux murs ni à l'intérieur ni à l'extérieur pour ne pas altérer l'aspect esthétique de la pierre. Nous avons ainsi évalué trois scénarios de réhabilitation thermique : de la terrasse qui représente 30 % des déperditions thermiques²⁷, des fenêtres (menuiseries et vitrage) (voir fig.100).

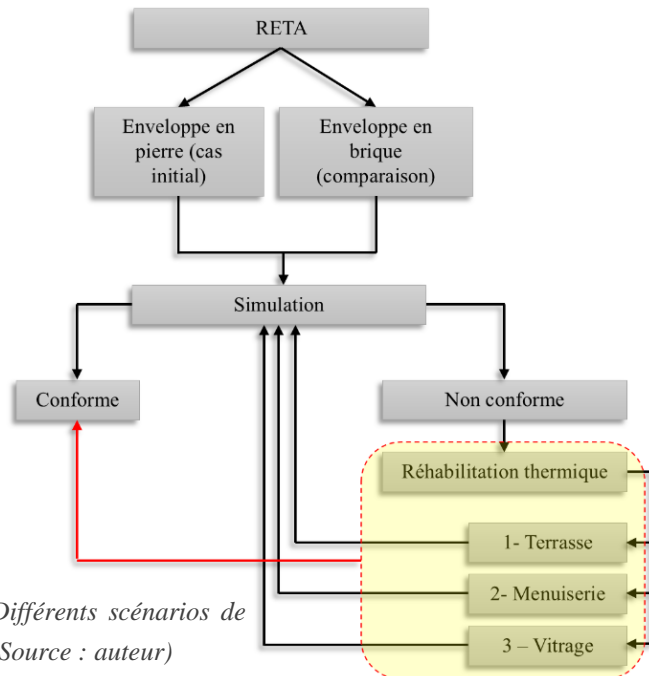


Figure 100 : Différents scénarios de réhabilitation (Source : auteur)

5.2.1 Scénario 1 : Terrasse

Pour la réhabilitation de la terrasse, nous avons remplacé le sable par le polystyrène expansé (voir fig.101)

Composition (plancher terrasse accessible)					Composition (plancher terrasse accessible isolé)				
Sélectionner un Modèle					Sélectionner un Modèle				
Matériau de l'extérieur vers l'intérieur	Ep. e	Rés. r	M. Sur. P	Cond. A	Matériau de l'extérieur vers l'intérieur	Ep. e	Rés. r	M. Sur. P	Cond. A
Facteur d'absorption α : 0,30 (carrelage clair)					Facteur d'absorption α : 0,30 (carrelage clair)				
0 - Carreaux de mosaïque de marbre dit « granito »	0,03 m	0,0143 (m²·°C)/W	66,0000	2,1000 W/m·°C	0 - Carreaux de mosaïque de marbre dit « granito »	0,03 m	0,0143 (m²·°C)/W	66,0000	2,1000 W/m·°C
1 - Mortier de ciment	0,03 m	0,0214 (m²·°C)/W	66,0000	1,4000 W/m·°C	1 - Mortier de ciment	0,03 m	0,0214 (m²·°C)/W	66,0000	1,4000 W/m·°C
2 - Sable sec	0,03 m	0,0500 (m²·°C)/W	39,0000	0,6000 W/m·°C	2 - Polystyrène expansé	0,04 m	1,0526 (m²·°C)/W	0,8000	0,0380 W/m·°C
3 - Béton plein	0,04 m	0,0229 (m²·°C)/W	88,0000	1,7500 W/m·°C	3 - Béton plein	0,04 m	0,0229 (m²·°C)/W	88,0000	1,7500 W/m·°C
4 - Entrevous - dalle de compression en béton courant	0,14 m	0,0966 (m²·°C)/W	151,2000	1,4500 W/m·°C	4 - Entrevous - dalle de compression en béton courant	0,14 m	0,0966 (m²·°C)/W	151,2000	1,4500 W/m·°C
Total	0,2700 m	0,2051 (m²·°C)/W	410,2000		Total	0,2800 m	1,2078 (m²·°C)/W	372,0000	

Figure 101 : Remplacement du sable par le polystyrène expansé (capture d'écran)

²⁷ Thierry Gallauziaux et David Fedullo, Le grand livre de l'isolation, Ed : Eyrolles, Paris, P 39

5.2.2 Scénario 2 : Menuiserie des fenêtres

Le remplacement de la menuiserie en bois par le PVC vu les avantages de ce dernier.

The image shows two side-by-side configuration windows titled "Définir la composition du vitrage". Each window contains two rows of input fields. The first row is "Surface vitrée (m²)" with the value "1.89" and a green checkmark. The second row is "Hauteur moyenne du sol (m)" with the value "32.0" and a green checkmark. Below these are three rows of dropdown menus. The first dropdown is "Menuiserie", which is highlighted with a red dashed box; it shows "Bois" on the left and "PVC" on the right. The second dropdown is "Type de vitrage" with "Vitrage simple" selected. The third dropdown is "Epaisseur lame d'air" with "-" selected. At the bottom of each window are two buttons: "Définir" (blue) and "Fermer" (grey).

Figure 102 : Remplacement du bois par le PVC (source : capture d'écran)

5.2.3 Scénario 3 : Double vitrage

Le remplacement de simple vitrage par le double vitrage tout en définissant l'épaisseur de la lame d'air

The image shows two side-by-side configuration windows titled "Définir la composition du vitrage". Each window contains two rows of input fields. The first row is "Surface vitrée (m²)" with the value "1.89" and a green checkmark. The second row is "Hauteur moyenne du sol (m)" with the value "32.0" and a green checkmark. Below these are three rows of dropdown menus. The first dropdown is "Menuiserie" with "Bois" selected. The second dropdown is "Type de vitrage", which is highlighted with a red dashed box; it shows "Vitrage simple" on the left and "Vitrage Double" on the right. The third dropdown is "Epaisseur lame d'air" with "-" on the left and "5 à 7" on the right. At the bottom of each window are two buttons: "Définir" (blue) and "Fermer" (grey).

Figure 103 : Remplacement du simple vitrage par le double vitrage (source : capture d'écran)

En nous basant sur la combinaison de ces 3 choix, nous avons développé huit cas (scénarios) de réhabilitation pour la pierre et huit pour la brique, soit 16 cas réunis dans le tableau suivant :

Tableau 5 : différents scénarios de réhabilitation (source : auteur)

 Cas d'étude

enveloppe	menuiserie	vitrage	Toiture terrasse	CAS
En pierre	Bois	Simple vitrage	Non isolée	1
			Isolée	2
		Double vitrage	Non isolée	3
			isolée	4
	PVC	Simple vitrage	Non isolée	5
			Isolée	6
		Double vitrage	Non isolée	7
			isolée	8
En brique	Bois	Simple vitrage	Non isolée	9
			isolée	10
		Double vitrage	Non isolée	11
			isolée	12
	PVC	Simple vitrage	Non isolée	13
			isolée	14
		Double vitrage	Non isolée	15
			isolée	16

5.3 Evaluation des propositions à l'aide de RETA

Nous avons évalué la conformité à la RT pour ces 16 scénarios de réhabilitation selon la méthode présentée dans le chapitre précédent. Les résultats obtenus sont réunis dans le tableau suivant. (Voir annexe II page v)

enveloppe	menuiserie	vitrage	Toiture terrasse	Vérification C-3.2	Vérification C-3.4	CAS
En pierre	Bois	Simple vitrage	Non isolée	1,56 ✘ Non conforme	1,51 ✘ Non conforme	1
			Isolée	1,03 ✔ Conforme	1,09 ✘ Non conforme	2
		Double vitrage	Non isolée	1,52 ✘ Non conforme	1,47 ✘ Non conforme	3
			isolée	0,99 ✔ Conforme	1,05 ✔ Conforme	4
	PVC	Simple vitrage	Non isolée	1,55 ✘ Non conforme	1,34 ✘ Non conforme	5
			Isolée	1,02 ✔ Conforme	0,92 ✔ Conforme	6
		Double vitrage	Non isolée	1,51 ✘ Non conforme	1,47 ✘ Non conforme	7
			isolée	0,98 ✔ Conforme	1,06 ✘ Non conforme	8
En brique	Bois	Simple vitrage	Non isolée	1,29 ✘ Non conforme	1,38 ✘ Non conforme	9
			isolée	0,76 ✔ Conforme	0,96 ✔ Conforme	10
		Double vitrage	Non isolée	1,25 ✘ Non conforme	1,34 ✘ Non conforme	11
			isolée	0,72 ✔ Conforme	0,92 ✔ Conforme	12
	PVC	Simple vitrage	Non isolée	1,28 ✘ Non conforme	1,21 ✘ Non conforme	13
			isolée	0,75 ✔ Conforme	0,79 ✔ Conforme	14
		Double vitrage	Non isolée	1,24 ✘ Non conforme	1,35 ✘ Non conforme	15
			isolée	0,71 ✔ Conforme	0,93 ✔ Conforme	16

Tableau 6 : Matrice de conformité RETA (source : auteur)

 Casd'étude

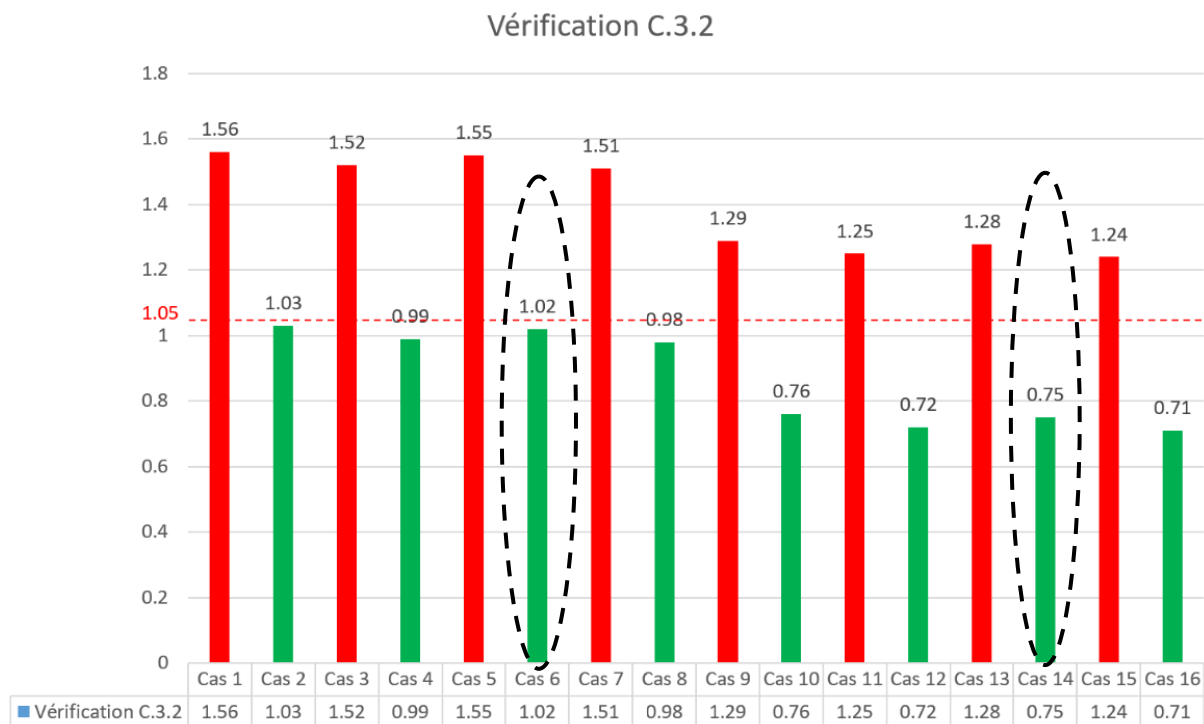


Figure 104 : Histogramme de conformité pour la période d'hiver (source : auteur)

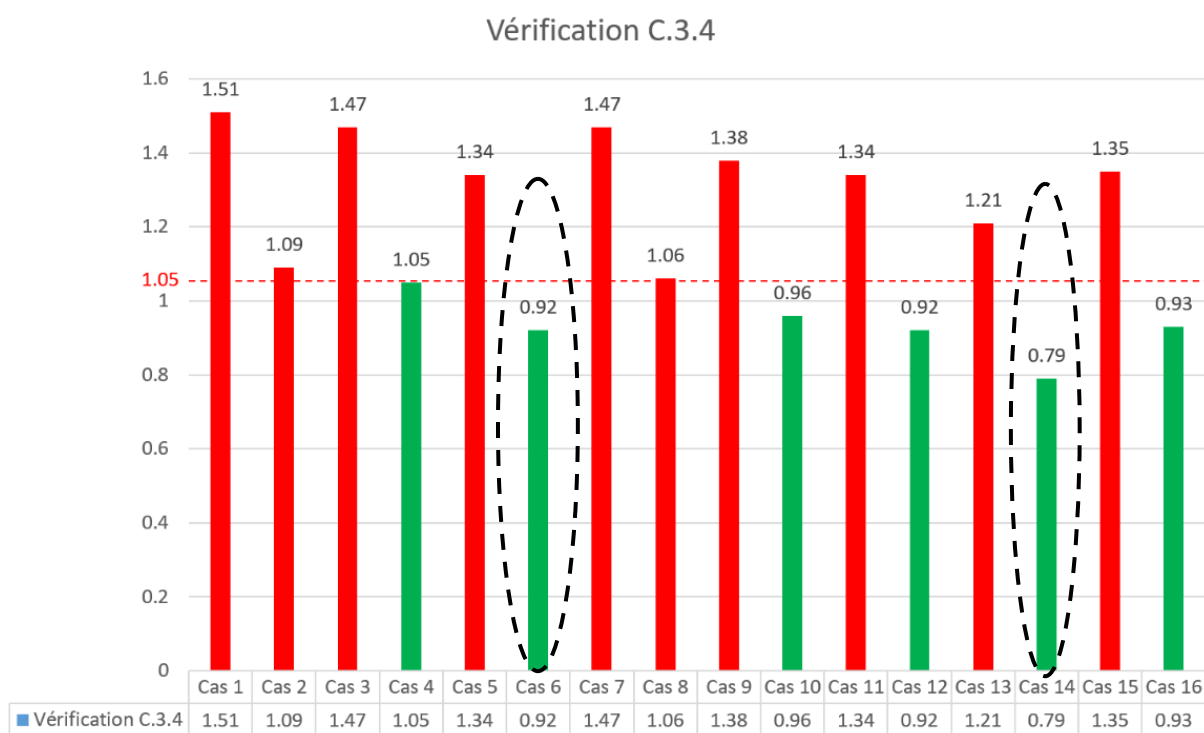


Figure 105 : Histogramme de conformité pour la période d'été (source : auteur)

Nous avons obtenu des résultats conformes à la RT en été et en hiver pour les deux enveloppes (pierre et brique) dans les cas suivants :

- Fenêtre avec menuiserie en bois, avec double vitrage et une toiture isolée (cas 4,12)
- Fenêtre avec menuiserie en PVC, avec simple vitrage et une toiture isolée (cas 6,14)

De même, nous avons obtenu des résultats conformes pour le cas témoin enveloppe en brique dans les cas suivants :

- Fenêtre avec menuiserie en bois, avec simple vitrage et une toiture isolée (cas 10)
- Fenêtre avec menuiserie en PVC, avec double vitrage et une toiture isolée (cas 16)

Notons que nous avons obtenu une meilleure performance dans le cas 14 (enveloppe en brique, une terrasse isolée, une menuiserie en PVC et du simple vitrage).

Avec RETA nous avons pu vérifier que la meilleure performance est obtenue avec le scénario de réhabilitation suivant :

Pour le cas de la pierre, c'est le cas 6 : une terrasse isolée, une fenêtre avec menuiserie en PVC et simple vitrage.

Mais en comparaison avec la brique, nous constatons que la meilleure performance est obtenue pour le cas 14 : une terrasse isolée, une fenêtre avec une menuiserie en PVC et simple vitrage.

Avec cette simulation thermique statique, nous avons pu vérifier la conformité à la RT des différents scénarios de réhabilitation, mais nous n'avons pas pu vérifier l'efficacité énergétique autrement dit les performances de la consommation énergétique.

A ce stade là nous ne savons pas si la partie réhabilitée consomme moins d'énergie que la première et de combien (les gains). Voilà pourquoi nous avons décidé de passer à une simulation dynamique avec ECOTECT.

5.4 Evaluation des propositions à l'aide d'ECOTECH

Pour la simulation ECOTECH on s'est basé seulement sur le cas de l'enveloppe en pierre pour voir la consommation énergétique avant et après la réhabilitation.

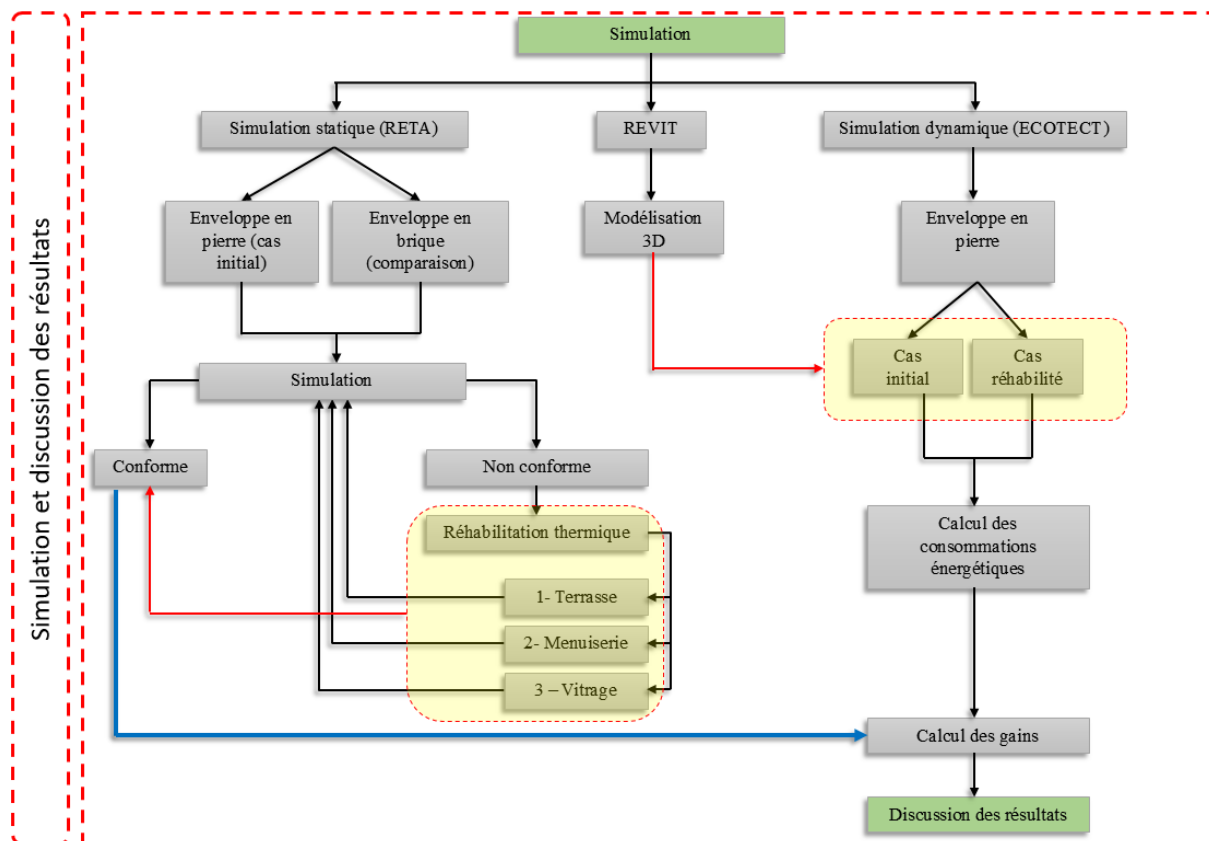


Figure 106 : Schéma qui résume la réhabilitation thermique (source : auteur)

5.4.1 Modélisation du cas d'étude sur REVIT

Avant de commencer la simulation avec ECOTECT, nous avons eu recours à la modélisation 3D du dernier étage sur Revit pour le cas de la pierre avant et après la réhabilitation.

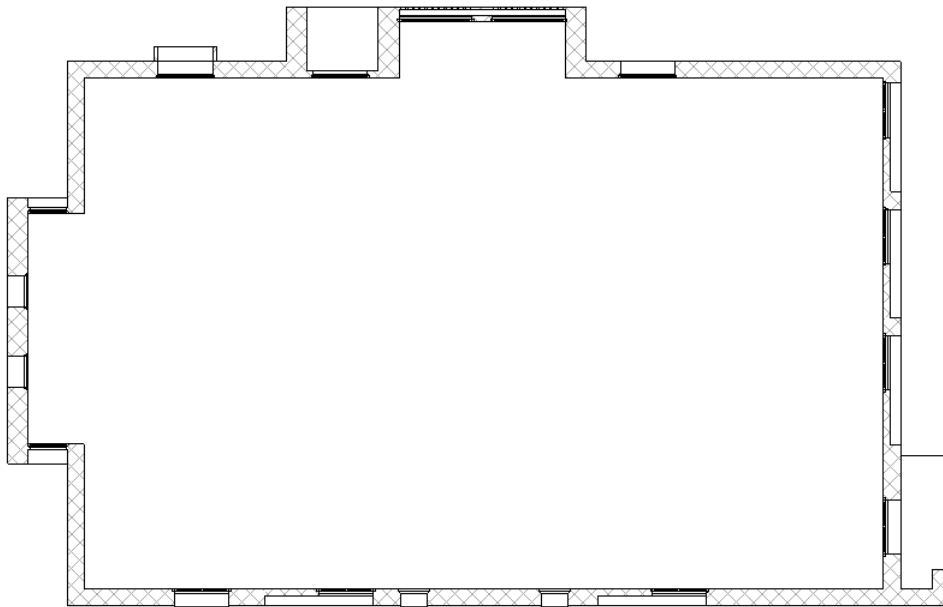


Figure 107 : Plan du dernier étage enveloppe en pierre (source : auteur)

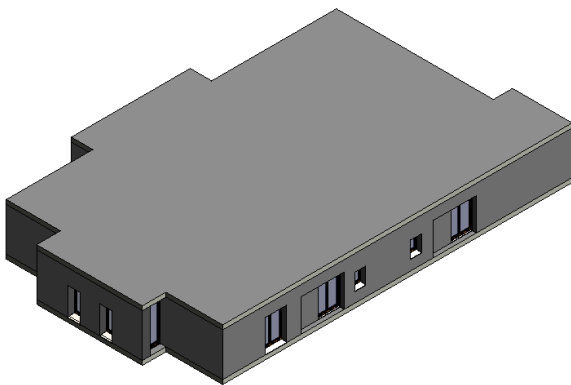


Figure 108 : Vue 3D côté Sud (source : auteur)

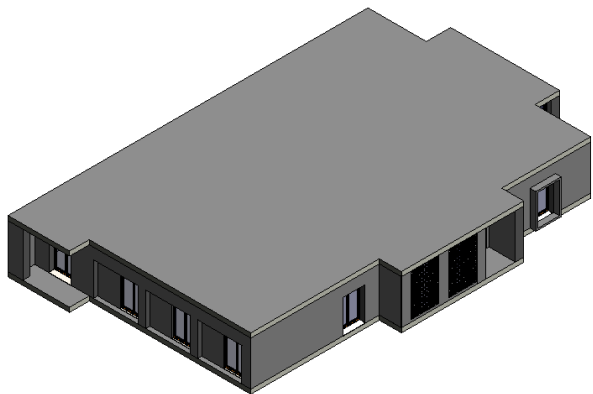


Figure 109 : Vue 3D côté Nord (source : auteur)

Après avoir finalisé la modélisation sur Revit nous avons exporté le fichier en format gbXML en utilisant les volumes des pièces (voir fig.110)

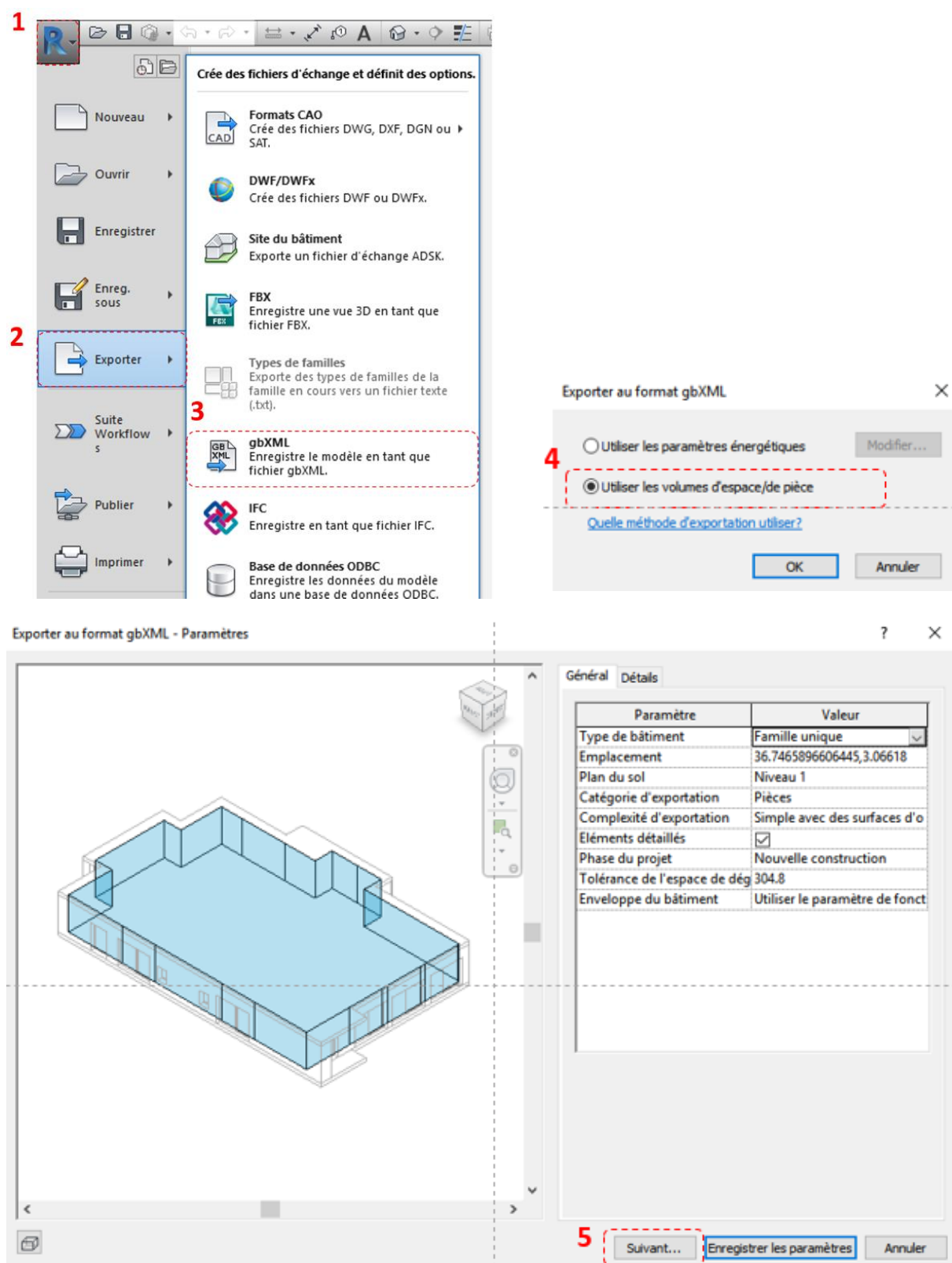


Figure 110 : Exportation du fichier en format gbXML (source : capture d'écran)

Par la suite nous avons importé ce fichier gbXML sur ECOTECT en choisissant model /analysis Data (voir fig.111)

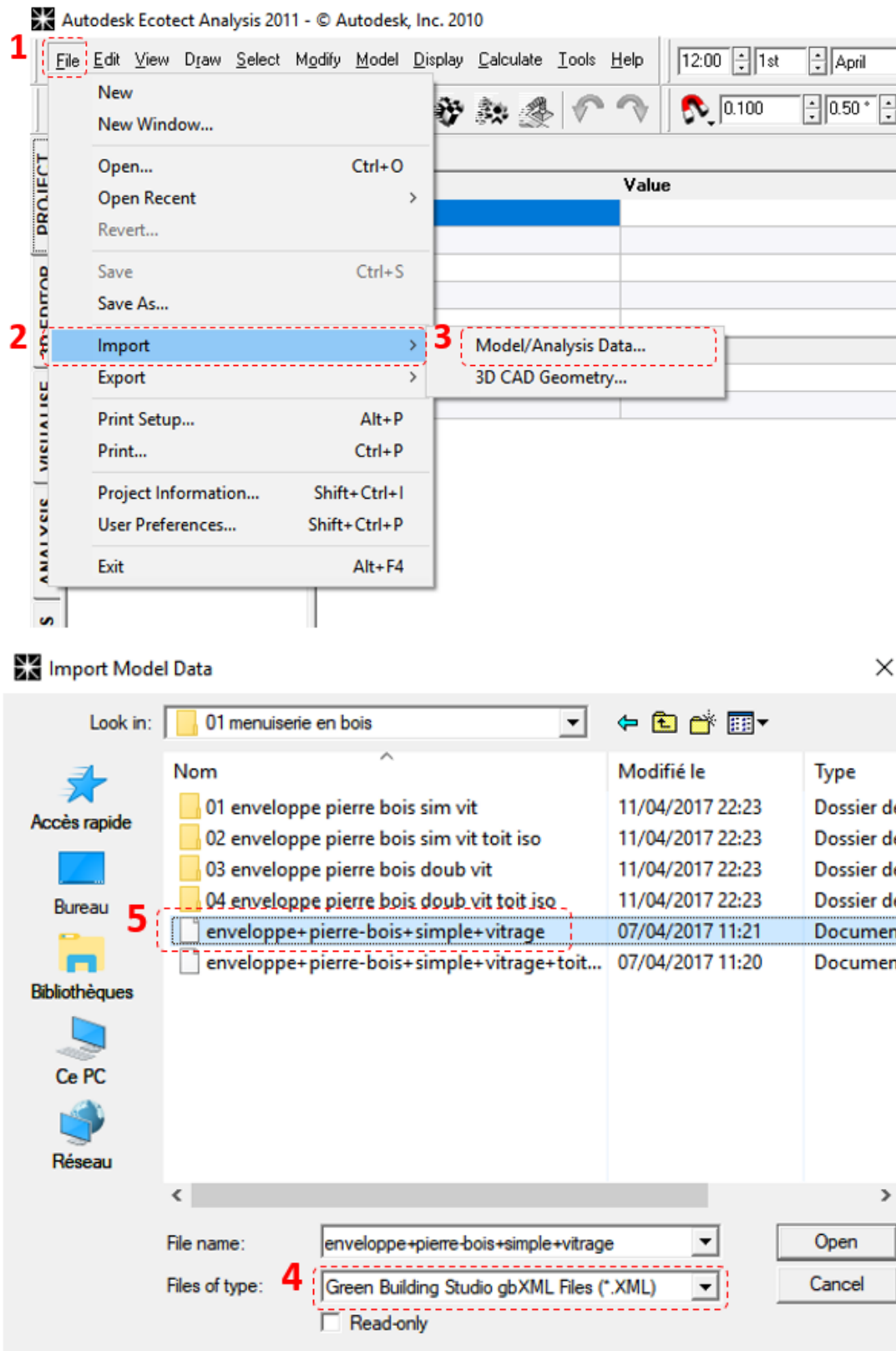


Figure 111 : Importation du fichier gbXML sur ECOTECT (source : capture d'écran)

Avant d'ouvrir le modèle, nous avons d'abord ajusté les éléments qui le composent (les murs, les fenêtres et les planchers,...etc.) (Voir fig.112)

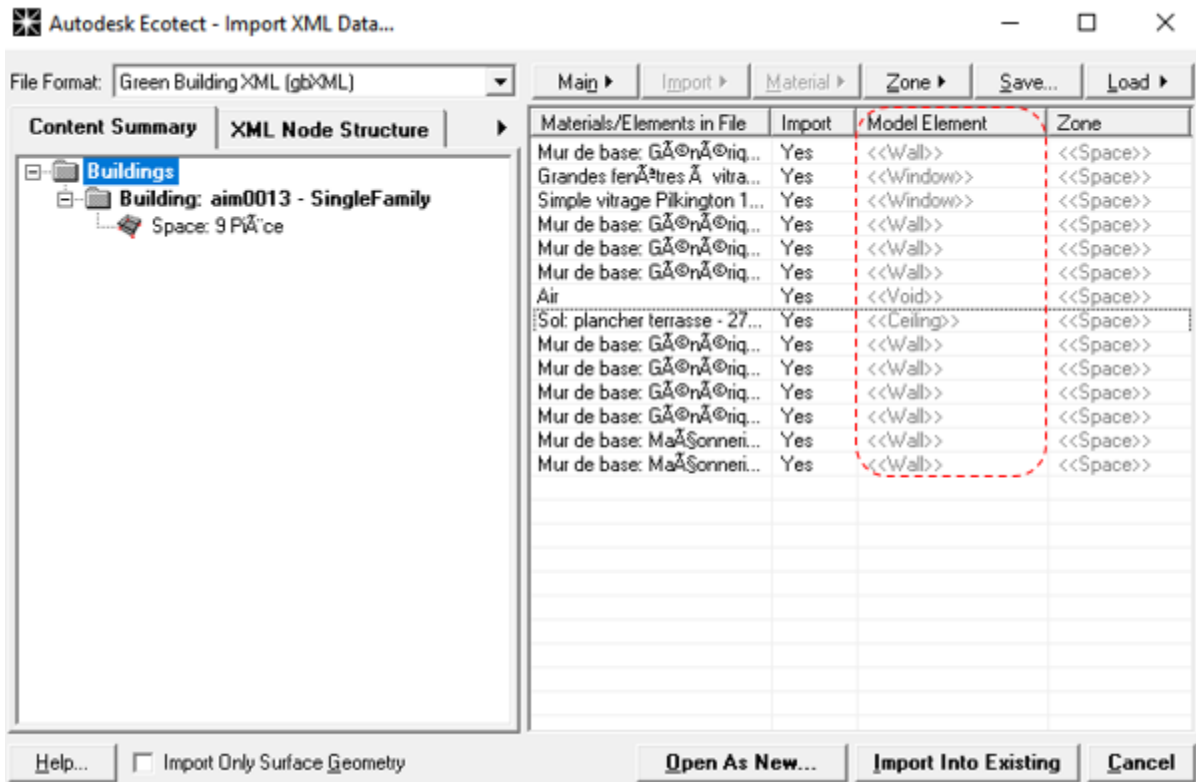


Figure 112 : Ajustement des éléments qui composent le modèle (source : capture d'écran)

5.4.2 Simulation par ECOTECT

Dans la première fenêtre de projet nous avons défini les paramètres suivants :

- 1/ Onglet projet
- 2/ Charger le fichier du météo pour Alger
- 3/ Localiser le site à travers la latitude et la longitude
- 4/ Le nord
- 5/ l'altitude
- 6/ Environnement (urbain, suburbain, rural)

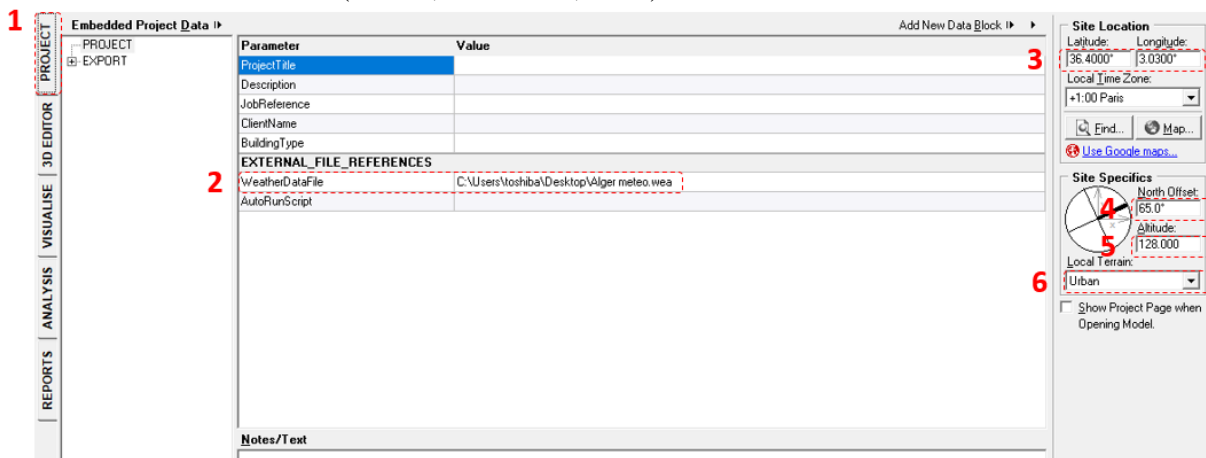


Figure 113 : Première fenêtre sur ECOTECT (source : capture d'écran)

Nous avons obtenu le volume thermique suivant (fig.114)

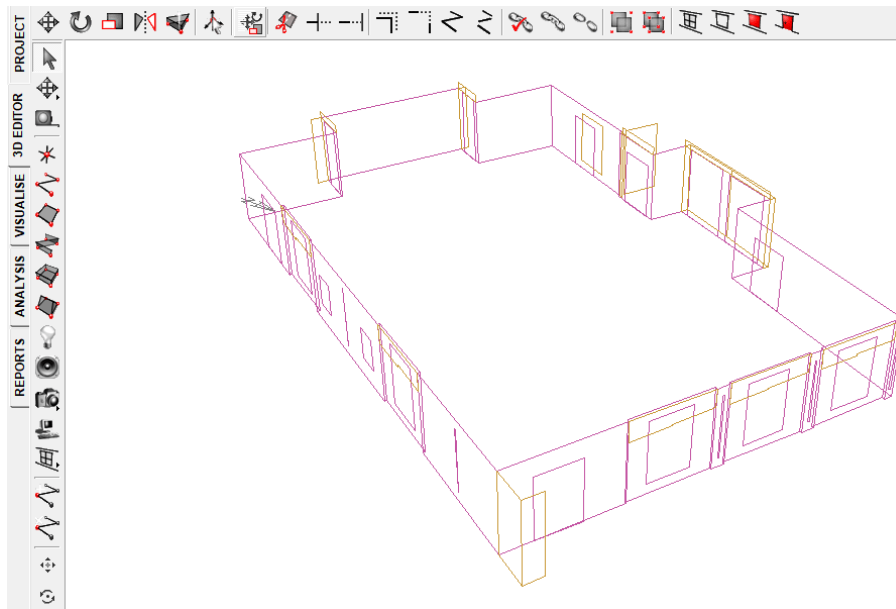


Figure 114 : Volume thermique obtenu (source : capture d'écran)

Pour commencer l'analyse nous avons déterminé d'abord :

- les calculs thermiques pour les charges mensuelles
- la zone thermique et ses propriétés tel que (nombre d'occupants, température de confort pour l'hiver et l'été, les heures de fonctionnements de chauffage et de climatisation,...etc.)

Les résultats de la consommation sont obtenus sous forme de graphes : la consommation de chauffage par an, la consommation de la climatisation par an et la consommation totale par an.

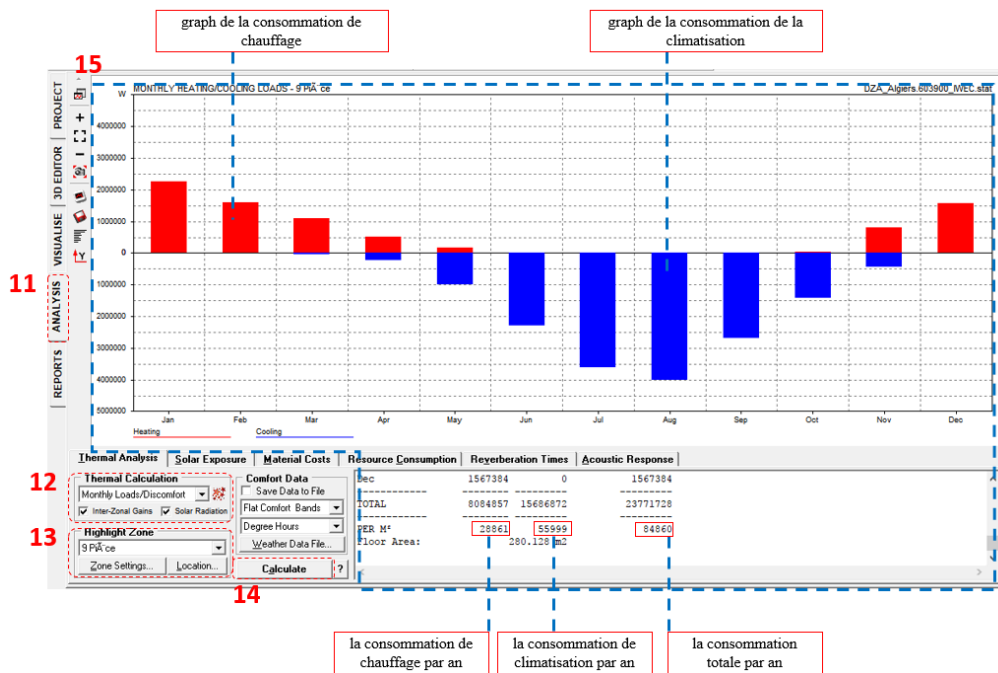


Figure 115 : Les résultats de la consommation énergétique par un (source : capture d'écran)

Nous avons groupé les résultats obtenus dans le tableau qui suit pour les différents cas de réhabilitation proposés :

Tableau 7 : Résultats ECOTECT (source : auteur)

enveloppe	menuiserie	vitrage	Toiture terrasse	Consommation de chauffage (Wh) Par an	Consommation de climatisation (Wh) Par an	Total (Wh) Par an	Total (Wh) M ² / an	CAS
En pierre	Bois	Simple vitrage	Non isolée	8084857	15686872	23771728	84860	1
			Isolée	11210925	11017934	22228860	79352	2
		Double vitrage	Non isolée	6842010	14273526	21115536	75378	3
			isolée	6712644	14189439	20902082	74616	4
	PVC	Simple vitrage	Non isolée	9122752	12673611	21796364	77809	5
			Isolée	9732833	12666286	22399120	79960	6
		Double vitrage	Non isolée	6518665	14842954	21361620	76523	7
			isolée	6521357	14851421	21372778	72098	8

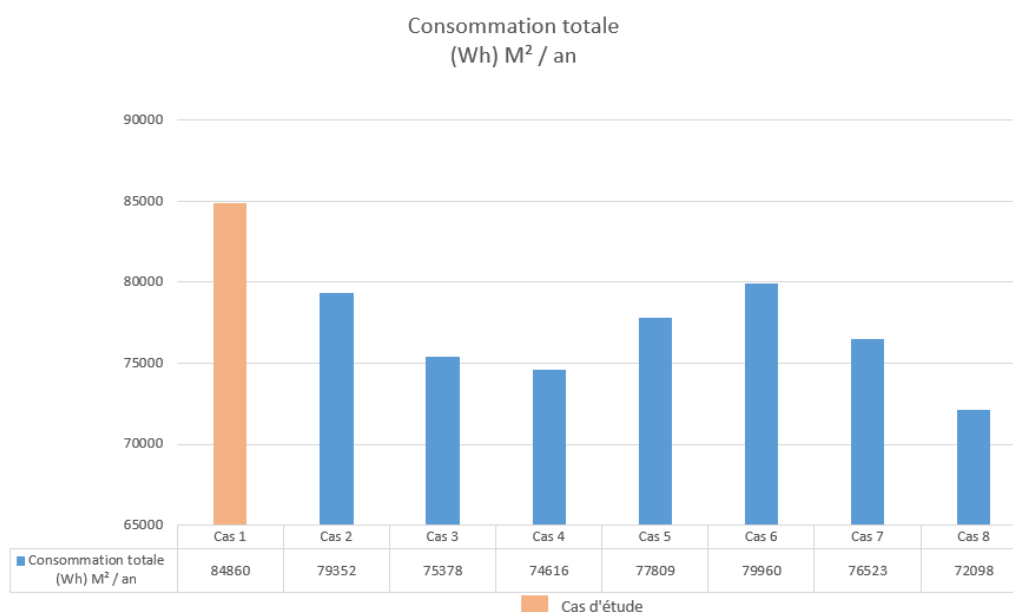


Figure 116 : Histogramme de la consommation Wh/m²/an (source : auteur)

5.5 Discussion des résultats croisés RETA / ECOTECT

enveloppe	menuiserie	vitrage	Toiture terrasse	Vérification C-3.2	Vérification C-3.4	Consommation totale (Wh) M ² / an	Les gains (Wh) M ² / an	CAS
En pierre	Bois	Simple vitrage	Non isolée	1,56	1,51	84860	/	1
			Isolée	1,03	1,09	79352	/	2
		Double vitrage	Non isolée	1,52	1,47	75378	/	3
			isolée	0,99	1,05	74616	10224	4
	PVC	Simple vitrage	Non isolée	1,55	1,34	77809	/	5
			Isolée	1,02	0,92	79960	4900	6
		Double vitrage	Non isolée	1,51	1,47	76523	/	7
			isolée	0,98	1,06	72098	/	8

Figure 117 : Résultats croisés RETA / ECOTECT (source : auteur)

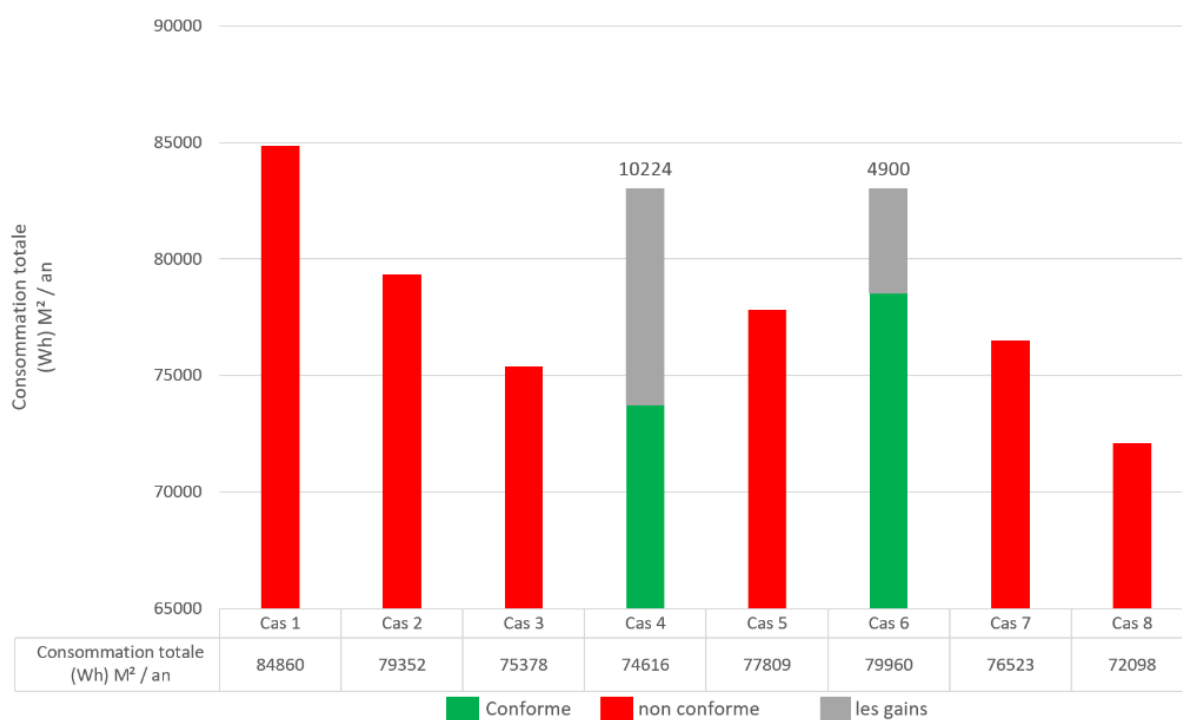


Figure 118 : Histogramme des résultats croisés RETA / ECOTECT (source : auteur)

L'analyse croisée des résultats obtenus des deux applications RETA et ECOTEC nous a donné les résultats groupés dans les fig.117 et fig.118.

Le choix final de la réhabilitation s'est fait entre les cas 4 et 6 qui sont conformes à la réglementation thermique algérienne.

Le cas 4 (Fenêtre avec menuiserie en bois, avec double vitrage et une toiture isolée) présente la consommation énergétique la plus basse 74616 Wh/m²/an avec des gains importants 10224 Wh/m²/an autrement dit une réduction de 12.04 % de la consommation totale. Ainsi nous retenons le cas 4 comme le meilleur scénario de réhabilitation thermique.

Finalement, pour une meilleure réhabilitation thermique de la tour de Diar El Mahçoul, il suffit juste d'isoler la toiture et de remplacer le simple vitrage par un double vitrage.

5.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons proposé des scénarios de réhabilitation que nous avons d'abord analysée avec RETA pour tirer la combinaison la plus conforme à la RT. Nous avons vu que seulement deux scénarios sont conformes en hiver et en été, les cas 4 et 6 :

- (4) Fenêtre avec menuiserie en bois, avec double vitrage et une toiture isolée.
- (6) Fenêtre avec menuiserie en PVC, avec simple vitrage et une toiture isolée.

Puis l'analyse avec ECOTECT nous a montré que le cas qui le plus efficace énergétiquement est le cas 4.

6. Conclusion Générale

6.1 Conclusion générale

Notre recherche avait pour problématique : Le bâtiment Diar-El-Mahçoul est-il conforme à la réglementation thermique algérienne ? Comment peut-on le réhabiliter pour le rendre conforme ? Nous avons pris comme hypothèse que le bâtiment n'est pas conforme à la réglementation algérienne et dans ce cas-là des solutions doivent être envisagées, notamment la réhabilitation thermique de l'enveloppe.

La simulation statique a été effectuée avec RETA pour évaluer la conformité à la RT algérienne et la simulation dynamique avec ECOTECT pour évaluer les gains ou la consommation énergétique.

D'après les résultats obtenus, nous avons constaté que le bâtiment en pierre n'est pas conforme à la RT algérienne et qu'une réhabilitation thermique par l'isolation de la terrasse et l'ajout de double vitrage aux fenêtres suffit à rendre l'étage conforme à la RT et à assurer des gains énergétiques de l'ordre de 12%.

Concernant la comparaison avec la brique, nous avons découvert que le cas témoin en brique a démontré des performances plus importantes que le cas d'étude en pierre. Ce qui plaide en faveur du matériau brique.

6.2 Limites et perspectives de recherche

Dans cette recherche, nous avons utilisé RETA, outil de simulation thermique statique. Ainsi on ne pouvait pas aller plus loin que la vérification de la conformité à la réglementation algérienne. Cependant, avec ECOTECT et sa simulation thermique dynamique, on a pu faire plus que la vérification à la conformité et déduire les gains pour chaque scénario de réhabilitation.

Toutefois, nous sommes conscients de la limite de notre recherche. En effet, il aurait été très intéressant de compléter ce travail sans négliger certains points tels que les ponts thermiques et le contact de la paroi avec un local chauffé. Chose qu'il faudrait faire en analysant un scénario de réhabilitation thermique de toute la tour.

Cette recherche est pour nous une initiation qui a duré le temps d'un master. Nous ne prétendons pas la maîtrise des logiciels RETA et ECOTECT mais nous espérons avoir initié un intérêt pour l'analyse thermique du bâti avec RETA ainsi que pour la réhabilitation thermique du vieux bâti.

Nous espérons aussi pouvoir continuer nos recherches autour de l'application RETA pour lui intégrer la simulation thermique dynamique.

Bibliographie

Bibliographie

- APRUE, **Guide pour une construction éco-énergétique en Algérie**, 2014
- Architectes-ingénieurs SOL.A.I.R, **Conception thermique de l'habitat**, Ed : EDISUD.
- Boulkenafet N, **Gestion et Optimisation de la Réhabilitation Thermique des Bâtiments**, 2014
- Catherine Charlot et Philippe Outrequin, **La réhabilitation énergétique des logements**, Ed : Le moniteur, Paris, 2011.
- CATHERINE SAYEN, **l'architecture par Fernand Pouillon**, Ed : Dalimen, 2015
- CDER, **Application RETA-manuel d'utilisation**
- Commission du COMAPI, **guide pratique de l'isolation thermique des bâtiments**, Ed : Eyrolles, Paris.
- Jean-Pierre Oliva et Samuel Courgey, **L'isolation thermique écologique**, Ed : terre vivante, France, 2010.
- MEDJELEKH D, **Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment**, 2006
- Ministère de l'habitat et de l'urbanisme, **document technique réglementaire des bâtiments d'habitation DTR. C3-2**, règles de calcul des déperditions calorifiques.
- Ministère de l'habitat et de l'urbanisme, **document technique réglementaire des bâtiments d'habitation DTR. C3-4**, règles de calcul des apports calorifiques.
- N. Kadri et A. Mokhtari, **Contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment**, Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°2, 2011
- OUKRIF Youcef, **Approche structurelle comme facteur d'analyse du projet de Diar El Mahçoul de Fernand Pouillon**, 2016
- SEOUD S, **Audit énergétique de bâtiments tertiaires**,
- Thierry Gallauziaux et David Fedullo, **Le grand livre de l'isolation**, Ed : Eyrolles, Paris.

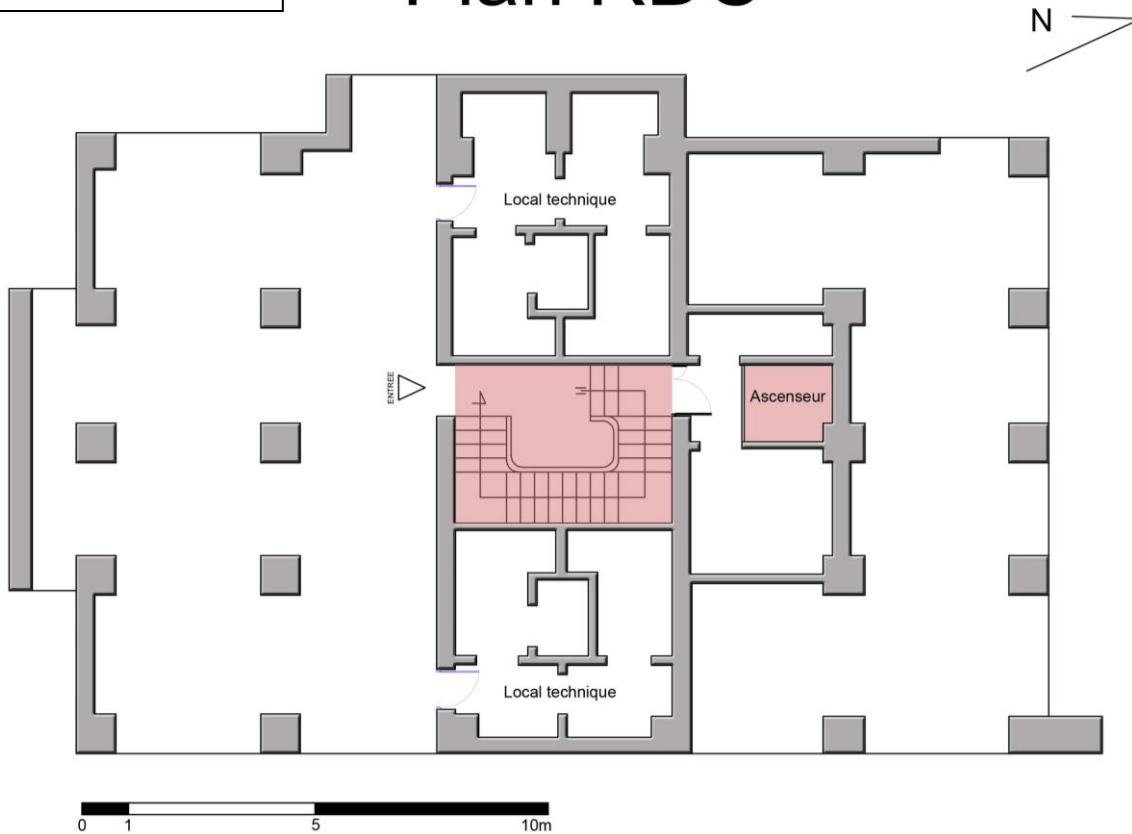
Webographie

- Application RETA, <http://reta.cder.dz>
- Caractéristiques de la pierre Fontvieille, <http://www.carrieres-de-provence.com>
- Définition de l'efficacité énergétique, <http://www.performance-energetique.lebatiment.fr/dossier/qu%E2%80%99est-ce-que-1%E2%80%99efficacite-energetique>
- Définition de la réglementation thermique, lettre d'information, [http://www.infoenergie-bourgogne.org/wp-content/uploads/2014/10/Lettre-info-energie-\)bourgogne-4.pdf](http://www.infoenergie-bourgogne.org/wp-content/uploads/2014/10/Lettre-info-energie-)bourgogne-4.pdf)
- Définition du logiciel ECOTECT, Ingénierie de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables, <http://logiciels.i3er.org/ecotect.html>
- Définition d'une paroi perspirante, tout savoir sur le bois, <http://www.bois.com/construire/techniques-constructives/parois-perspirantes>
- Fernand Pouillon biographie, http://www.fernandpouillon.com/fernand_pouillon/biographie/biographie.html
- Implantation de la cité, www.calameo.com
- Le label BBC-effinergie, <https://www.effinergie.org/web/index.php/les-labels-effinergie/bbc-effinergie>
- L'œuvre de Fernand Pouillon, http://www.jeanlucmichel.com/Fernand_Pouillon/Les_constructions_de_Fernand_Pouillon.html

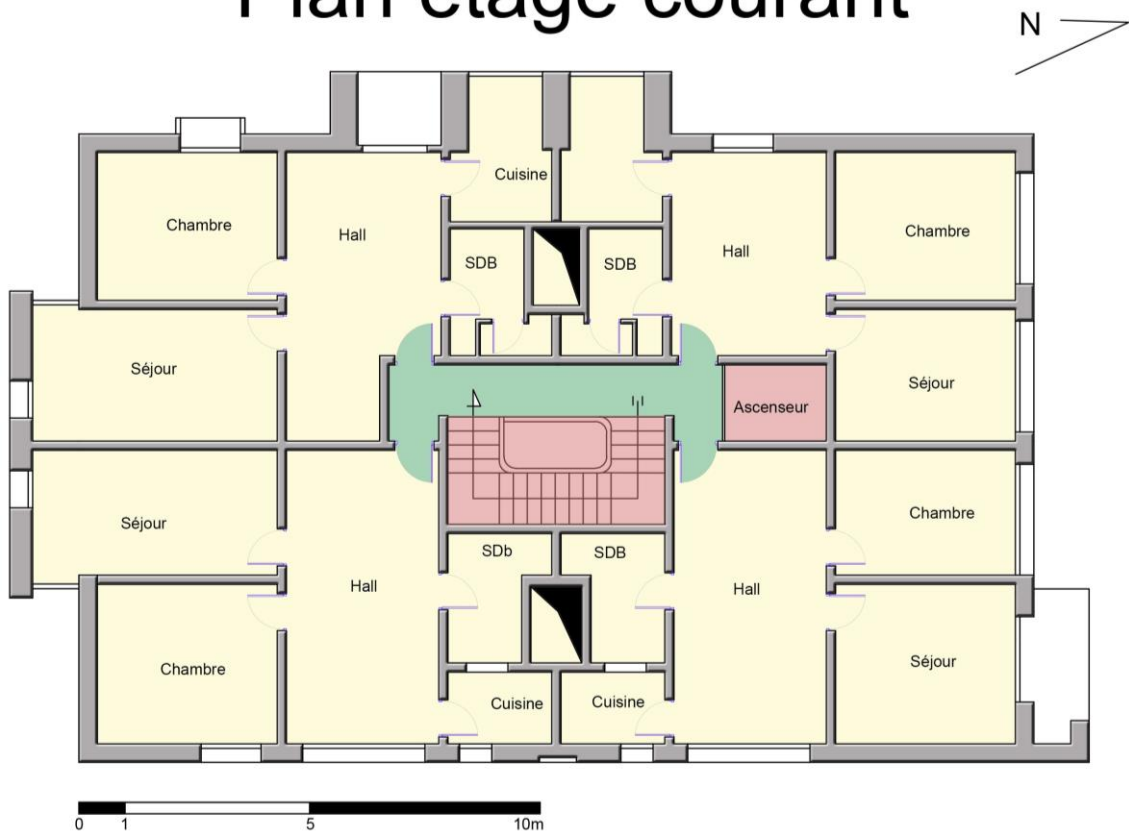
7. Annexe I :

Dossier graphique

Plan RDC

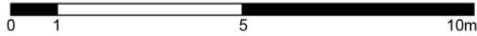
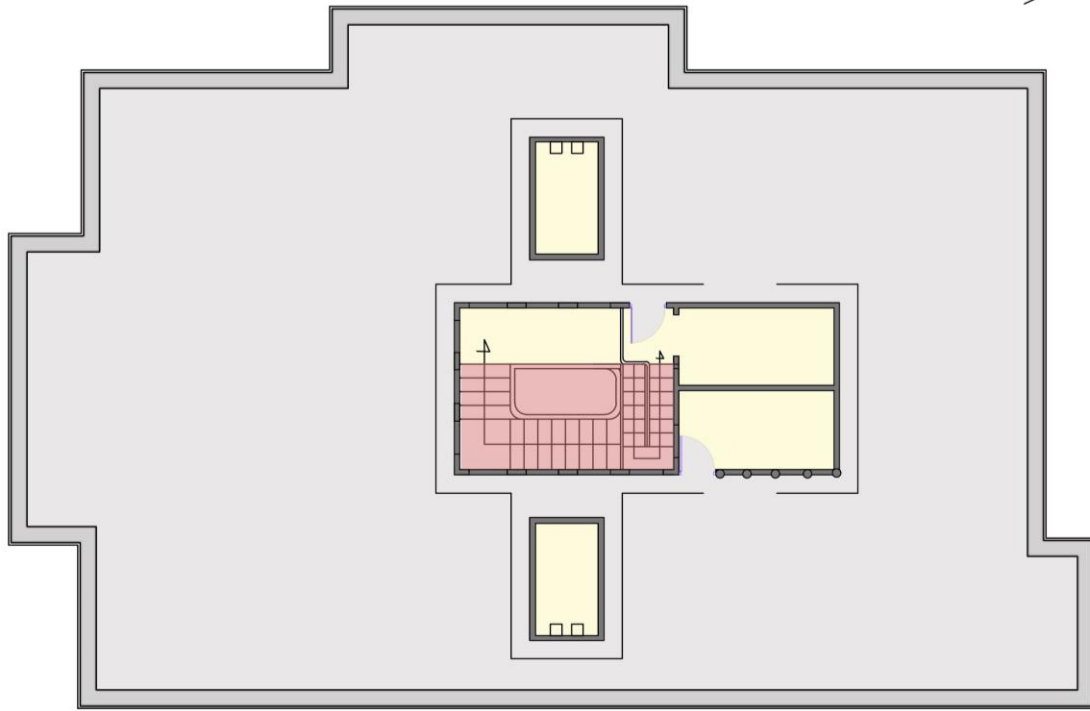


Plan étage courant

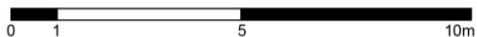
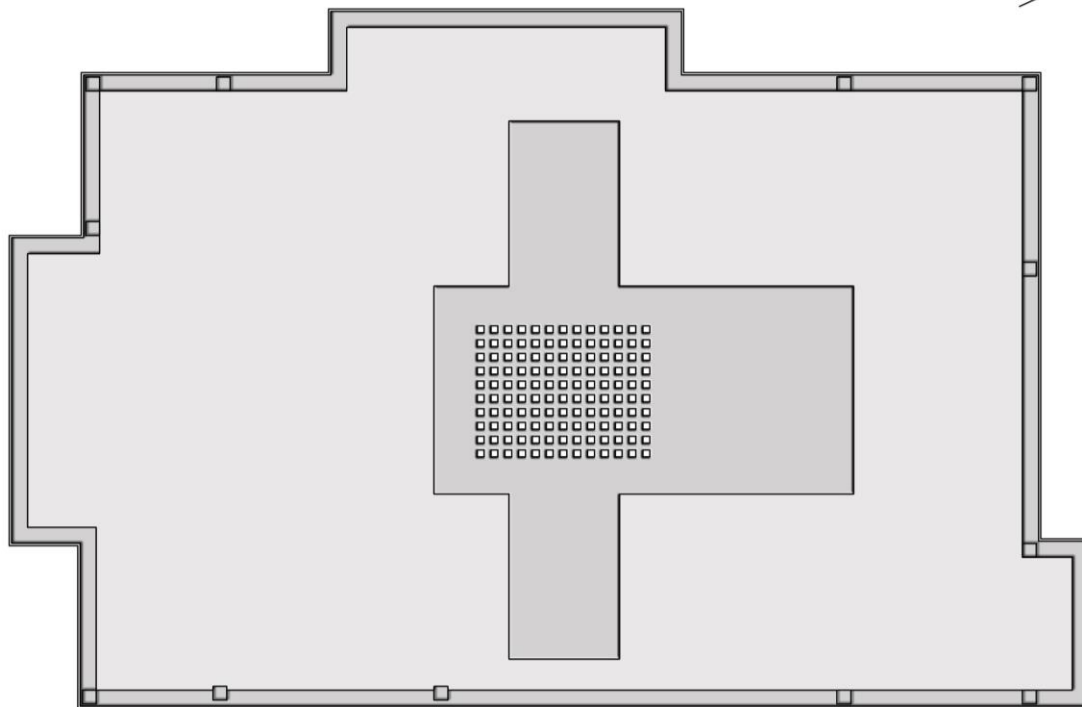


Dossier graphique

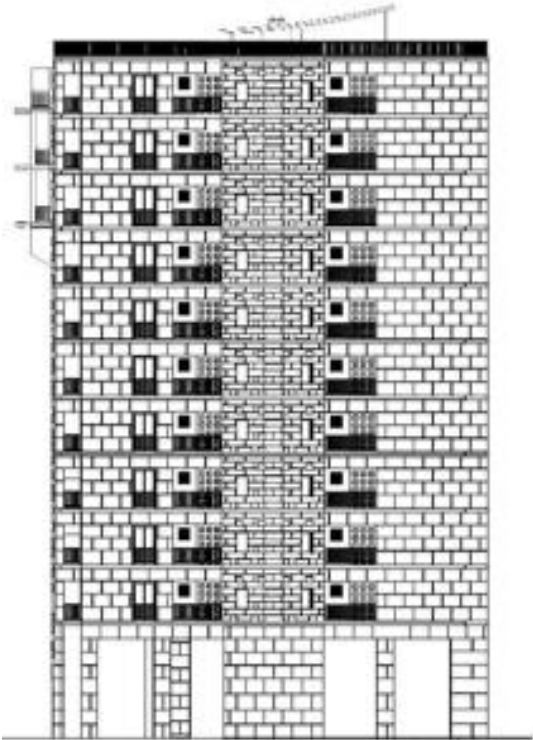
Plan terrasse



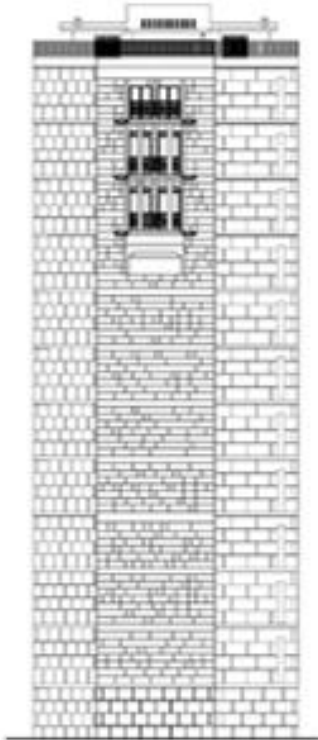
Plan de toiture



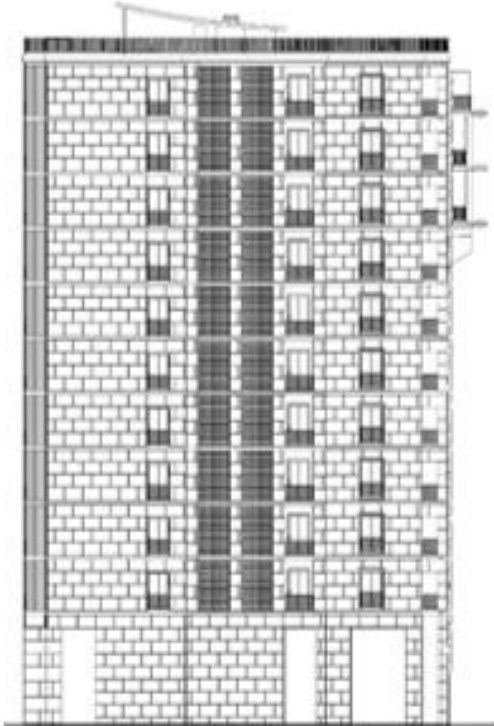
Dossier graphique



Façade Sud-Est



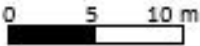
Façade Sud-Ouest



Façade Nord-Ouest



Façade Nord-Est



8. Annexe II :



Rapport de calcul thermique

Tour a Diar el Mahçoul

L'etage se trouve dans la tour de R+10 au dernier niveau

Rapport généré par l'application RETA le 18-03-2017

Fiche technique du projet

Tour a Diar el Mahçoul

L'etage se trouve dans la tour de R+10 au dernier niveau

Donnée techniques

Localisation	Altitude	Latitude	Zone Thermique Hiver	Zone Thermique Eté
au nord de la commune d'El Madania sur les hauteurs de la ville d'Alger.	128,00 m	36,40 °	A	A

Conditions externes

Temp. externe en hiver	Temp. externe en été	Humidité spécifique	Ecart diurne
6,00°	34,00 °	14,50	9,00

Synthèse des enveloppes

Nom de l'enveloppe	Usage	Conformité Hiver C-3.2	Conformité Eté C-3.4
enveloppe en pierre PVC	habitation	Non conforme	Non conforme
enveloppe en brique PVC	habitation	Non conforme	Non conforme
enveloppe en pierre bois	habitation	Non conforme	Non conforme
enveloppe en brique bois	habitation	Non conforme	Non conforme
enveloppe en pierre bois double vitrage	habitation	Non conforme	Non conforme
enveloppe en pierre PVC double vitrage	habitation	Non conforme	Non conforme
enveloppe en brique bois double vitrage	habitation	Non conforme	Non conforme
enveloppe en brique PVC double vitrage	habitation	Non conforme	Non conforme

Annexe

Nom de l'enveloppe	Usage	Conformité Hiver C-3.2	Conformité Été C-3.4
enveloppe en pierre bois toit isolé	habitation	Conforme	Non conforme
enveloppe en pierre bois double vitrage toit isolé	habitation	Conforme	Conforme
enveloppe en pierre PVC toit isolé	habitation	Conforme	Conforme
enveloppe en pierre PVC double vitrage toit isolé	habitation	Conforme	Non conforme
enveloppe en brique bois toit isolé	habitation	Conforme	Conforme
enveloppe en brique bois double vitrage toit isolé	habitation	Conforme	Conforme
enveloppe en brique PVC toit isolé	habitation	Conforme	Conforme
enveloppe en brique PVC double vitrage toit isolé	habitation	Conforme	Conforme

CAS 1 (Cas d'étude)

Enveloppe : enveloppe en pierre bois**Données techniques**

Volume Brut	Volume Net	Usage		
724,60 m ³	579,68 m ³	Habitation	Immeuble collectif	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté	
12 H		21°	27°	

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
2 042,00 W/°C	1 309,24 W/°C	1,56 Non conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	11 459,78 W	8 068,75 W	3 146,07 W	1 624,88 W	1,51 Non conforme

Renouvellement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
1 782,26 m ³ /h	347,81 m ³ /h	724,22 W/°C	292,32 m ³ /h - Orientation: NO

Renouvellement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouvellement d'air total
347,81 m ³ /h	779,09 W	654,80 W	302,15 W	253,95 W	1 989,98 W

CAS 2

Enveloppe : enveloppe en pierre bois toit isolé**Données techniques**

Volume Brut	Volume Net	Usage		
724,60 m ³	579,68 m ³	Habitation	Immeuble collectif	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté	
12 H		21°	27°	

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2	
1 347,82 W/°C	1 309,24 W/°C	1,03	Conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4	
0,00 W	7 392,20 W	8 068,75 W	3 146,07 W	1 624,88 W	1,09	Non conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
1 782,26 m ³ /h	347,81 m ³ /h	724,22 W/°C	292,32 m ³ /h - Orientation: NO

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouveaulement d'air total
347,81 m ³ /h	779,09 W	654,80 W	302,15 W	253,95 W	1 989,98 W

CAS 3

Enveloppe : enveloppe en pierre bois double vitrage**Données techniques**

Volume Brut	Volume Net	Usage		
724,60 m ³	579,68 m ³	Habitation	Immeuble collectif	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté	
12 H		21°	27°	

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
1 988,86 W/°C	1 309,24 W/°C	1,52 Non conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	11 459,78 W	8 068,75 W	2 773,48 W	1 624,88 W	1,47 Non conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
1 782,26 m ³ /h	347,81 m ³ /h	724,22 W/°C	292,32 m ³ /h - Orientation: NO

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouveaulement d'air total
347,81 m ³ /h	779,09 W	654,80 W	302,15 W	253,95 W	1 989,98 W

CAS 4 (Cas retenu dans la réhabilitation)

Enveloppe : enveloppe en pierre bois double vitrage toit isolé

Données techniques

Volume Brut	Volume Net	Usage		
724,60 m ³	579,68 m ³	Habitation	Immeuble collectif	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté	
12 H		21°	27°	

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
1 294,68 W/°C	1 309,24 W/°C	0,99 Conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	7 392,20 W	8 068,75 W	2 773,48 W	1 624,88 W	1,05 Conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
1 782,26 m ³ /h	347,81 m ³ /h	724,22 W/°C	292,32 m ³ /h - Orientation: NO

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFi	Renouveaulement d'air total
347,81 m ³ /h	779,09 W	654,80 W	302,15 W	253,95 W	1 989,98 W

CAS 5

Enveloppe : enveloppe en pierre PVC

Données techniques

Volume Brut	Volume Net	Usage		
724,60 m ³	579,68 m ³	Habitation	Immeuble collectif	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté	
12 H		21°	27°	

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
2 023,81 W/°C	1 309,24 W/°C	1,55 Non conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	11 459,78 W	8 068,75 W	1 525,48 W	1 624,88 W	1,34 Non conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
1 782,26 m ³ /h	18 335,00 m ³ /h	6 839,87 W/°C	292,32 m ³ /h - Orientation: NO

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouveaulement d'air total
18 335,00 m ³ /h	41 070,40 W	654,80 W	15 928,16 W	253,95 W	57 907,31 W

CAS 6

Enveloppe : enveloppe en pierre PVC toit isolé**Données techniques**

Volume Brut	Volume Net	Usage		
724,60 m ³	579,68 m ³	Habitation	Immeuble collectif	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté	
12 H		21°	27°	

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
1 329,63 W/°C	1 309,24 W/°C	1,02 Conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4	
0,00 W	7 392,20 W	8 068,75 W	1 525,48 W	1 624,88 W	0,92	Conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
1 782,26 m ³ /h	347,81 m ³ /h	724,22 W/°C	292,32 m ³ /h - Orientation: NO

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouveaulement d'air total
347,81 m ³ /h	779,09 W	654,80 W	302,15 W	253,95 W	1 989,98 W

CAS 7

Enveloppe : enveloppe en pierre PVC double vitrage**Données techniques**

Volume Brut	Volume Net	Usage		
724,60 m ³	579,68 m ³	Habitation	Immeuble collectif	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté	
12 H		21°	27°	

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
1 975,49 W/°C	1 309,24 W/°C	1,51 Non conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	11 459,78 W	8 068,75 W	2 864,46 W	1 652,60 W	1,47 Non conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
1 782,26 m ³ /h	347,81 m ³ /h	724,22 W/°C	292,32 m ³ /h - Orientation: NO

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouveaulement d'air total
347,81 m ³ /h	779,09 W	654,80 W	302,15 W	253,95 W	1 989,98 W

CAS 8

Enveloppe : enveloppe en pierre PVC double vitrage toit isolé**Données techniques**

Volume Brut	Volume Net	Usage		
724,60 m ³	579,68 m ³	Habitation	Immeuble collectif	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté	
12 H		21°	27°	

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
1 281,31 W/°C	1 309,24 W/°C	0,98 Conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	7 392,20 W	8 068,75 W	2 864,46 W	1 652,60 W	1,06 Non conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
1 782,26 m ³ /h	347,81 m ³ /h	724,22 W/°C	292,32 m ³ /h - Orientation: NO

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouveaulement d'air total
347,81 m ³ /h	779,09 W	654,80 W	302,15 W	253,95 W	1 989,98 W

CAS 9

Enveloppe : enveloppe en brique bois

Données techniques

Volume Brut	Volume Net	Usage		
724,60 m ³	579,68 m ³	Habitation	Immeuble collectif	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté	
12 H		21°	27°	

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
1 695,31 W/°C	1 309,24 W/°C	1,29 Non conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	10 222,23 W	8 068,75 W	3 160,81 W	1 624,88 W	1,38 Non conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
1 782,26 m ³ /h	347,81 m ³ /h	724,22 W/°C	292,32 m ³ /h - Orientation: NO

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouveaulement d'air total
347,81 m ³ /h	779,09 W	654,80 W	302,15 W	253,95 W	1 989,98 W

CAS 10

Enveloppe : enveloppe en brique bois toit isolé**Données techniques**

Volume Brut	Volume Net	Usage		
724,60 m ³	579,68 m ³	Habitation	Immeuble collectif	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté	
12 H		21°	27°	

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
1 001,13 W/°C	1 309,24 W/°C	0,76 Conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	6 154,65 W	8 068,75 W	3 160,81 W	1 624,88 W	0,96 Conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
1 782,26 m ³ /h	347,81 m ³ /h	724,22 W/°C	292,32 m ³ /h - Orientation: NO

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouveaulement d'air total
347,81 m ³ /h	779,09 W	654,80 W	302,15 W	253,95 W	1 989,98 W

CAS 11

Enveloppe : enveloppe en brique bois double vitrage**Données techniques**

Volume Brut	Volume Net	Usage		
724,60 m ³	579,68 m ³	Habitation	Immeuble collectif	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté	
12 H		21°	27°	

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
1 641,02 W/°C	1 309,24 W/°C	1,25 Non conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	10 222,23 W	8 068,75 W	2 780,15 W	1 624,88 W	1,34 Non conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
1 782,26 m ³ /h	347,81 m ³ /h	724,22 W/°C	292,32 m ³ /h - Orientation: NO

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouveaulement d'air total
347,81 m ³ /h	779,09 W	654,80 W	302,15 W	253,95 W	1 989,98 W

CAS 12

Enveloppe : enveloppe en brique bois double vitrage toit isolé**Données techniques**

Volume Brut	Volume Net	Usage		
724,60 m ³	579,68 m ³	Habitation	Immeuble collectif	Confort Normal

Temps de fonctionnement (climatisation)	Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté
12 H	21°	27°

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
946,84 W/°C	1 309,24 W/°C	0,72 Conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	6 154,65 W	8 068,75 W	2 780,15 W	1 624,88 W	0,92 Conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
1 782,26 m ³ /h	347,81 m ³ /h	724,22 W/°C	292,32 m ³ /h - Orientation: NO

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouveaulement d'air total
347,81 m ³ /h	779,09 W	654,80 W	302,15 W	253,95 W	1 989,98 W

CAS 13

Enveloppe : enveloppe en brique PVC

Données techniques

Volume Brut	Volume Net	Usage		
724,60 m ³	579,68 m ³	Habitation	Immeuble collectif	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Été	
12 H		21°	27°	

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
1 676,67 W/°C	1 309,24 W/°C	1,28 Non conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	10 222,23 W	8 068,75 W	1 539,24 W	1 624,88 W	1,21 Non conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
1 782,26 m ³ /h	347,81 m ³ /h	724,22 W/°C	292,32 m ³ /h - Orientation: NO

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouveaulement d'air total
347,81 m ³ /h	779,09 W	654,80 W	302,15 W	253,95 W	1 989,98 W

CAS 14

Enveloppe : enveloppe en brique PVC toit isolé**Données techniques**

Volume Brut	Volume Net	Usage		
724,60 m ³	579,68 m ³	Habitation	Immeuble collectif	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté	
12 H		21°	27°	

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
982,49 W/°C	1 309,24 W/°C	0,75 Conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	6 154,65 W	8 068,75 W	1 539,24 W	1 624,88 W	0,79 Conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
1 782,26 m ³ /h	347,81 m ³ /h	724,22 W/°C	292,32 m ³ /h - Orientation: NO

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouveaulement d'air total
347,81 m ³ /h	779,09 W	654,80 W	302,15 W	253,95 W	1 989,98 W

CAS 15

Enveloppe : enveloppe en brique PVC double vitrage**Données techniques**

Volume Brut	Volume Net	Usage		
724,60 m ³	579,68 m ³	Habitation	Immeuble collectif	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté	
12 H		21°	27°	

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
1 627,43 W/°C	1 309,24 W/°C	1,24 Non conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	10 222,23 W	8 068,75 W	2 869,66 W	1 652,60 W	1,35 Non conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
1 782,26 m ³ /h	347,81 m ³ /h	724,22 W/°C	292,32 m ³ /h - Orientation: NO

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouveaulement d'air total
347,81 m ³ /h	779,09 W	654,80 W	302,15 W	253,95 W	1 989,98 W

CAS 16

Enveloppe : enveloppe en brique PVC double vitrage toit isolé**Données techniques**

Volume Brut	Volume Net	Usage		
724,60 m ³	579,68 m ³	Habitation	Immeuble collectif	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)	Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté		
12 H	21°	27°		

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
933,25 W/°C	1 309,24 W/°C	0,71 Conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	6 154,65 W	8 068,75 W	2 869,66 W	1 652,60 W	0,93 Conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
1 782,26 m ³ /h	347,81 m ³ /h	724,22 W/°C	292,32 m ³ /h - Orientation: NO

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouveaulement d'air total
347,81 m ³ /h	779,09 W	654,80 W	302,15 W	253,95 W	1 989,98 W