

epau



Laboratoire Architecture Construction et Environnement

Mémoire de Master

Architecture construction et Environnement

Thème

**Evaluation de l'impact des vitrages isolants et des protections solaires
sur le confort thermique et la consommation énergétique du bâtiment à
l'aide de RETA.**

Cas d'étude: les ateliers de l'extension à l'EPAU

Présenté et soutenu par :

LAGHOUATI Yassine

Devant le jury composé de :

Président : Tizouiar Ouahiba

Examineur : Dounia Cherfaoui

Examineur : Rahmani Lyes

Examineur : Seoud Souhila

Encadreur : Dr. Dakhia Karima

Remerciement

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné le courage, la force et la patience d'achever ce modeste travail. La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance.

Tout d'abord, Je tiens à exprimer toute ma gratitude à ma Directrice de mémoire Mme DAKHIA Karima, pour ses orientations, son aide, et surtout pour ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je voudrais remercier également l'ensemble de mes amis ainsi que toute ma famille et particulièrement mes parents pour leur amour inestimable, leur confiance et leur soutien.

Que toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, soit assurée de ma profonde reconnaissance.

ملخص

يعتبر قطاع البناء أول مستهلك للطاقة على المستوى الوطني، فهو يمثل حسب الوكالة الوطنية للترقية و ترشيد استعمال الطاقة 42 % من الطاقة المستهلكة و هذا يعود إلى المعدل المرتفع (70 %) لاستعمال المعدات الكهربائية، و خصوصا تلك المستعملة لتكييف الهواء و التدفئة من أجل تحسين مستوى الراحة الحرارية للمستخدمين.

بحثنا هذا يركز على تقييم مستوى الراحة الحرارية واستهلاك الطاقة لمبنى قاعات ورشات العمل بالمدرسة المتعددة التقنيات للهندسة المعمارية والعمران. الهدف يكمن في تحسين راحة المستخدمين وخفض استهلاك الطاقة من خلال إعادة تأهيل المساحات الزجاجية للنوافذ.

من أجل الوصول لهذا الهدف، قمنا بإجراء بحث مرجعي حول الفعالية الطاقية في الجزائر و إعادة التهيئة الحرارية للمباني عن طريق الزجاج العازل حراريا و الحماية الشمسية. استخدمنا المحاكاة الحرارية باستخدام أداة RETA ريتا لتقييم الراحة الحرارية في فصل الشتاء والصيف، فضلا عن التدفئة والتبريد استهلاك الطاقة للمبنى الذي تم اختياره كقاعدة لبحثنا، و هذا يتم في الحالة العادية للمبنى (دون زجاج عازل و دون حماية شمسية) ، و كذلك بعد تأهيل المبنى عن طريق العزل الحراري للزجاج و الحماية الشمسية.

أظهرت النتائج الرئيسية عدم توفر المستوى المطلوب للراحة الحرارية داخل الورشة. وقد أدى تحسين الكفاءة الحرارية للجدران الزجاجية إلى تحسين مستوى الراحة الحرارية وخفض استهلاك الطاقة، ولكن لم يحقق مستوى الامتثال الحراري.

Abstract

The construction sector is the first major consumer of energy at the national level, representing, according to the APRU, 42% of the final energy consumed because of the very high rate (70%) of electrical equipment use, which are used for air conditioning and heating in order to improve the level of thermal comfort of the occupants.

Our research involves assessing the level of thermal comfort and energy consumption in an existing building, particularly the EPAU workshops. The objective is to improve comfort and reduce energy consumption, by the thermal rehabilitation of the glass walls.

In order to achieve this objective, we carried out a bibliographic search on the energy efficiency in Algeria and the thermal rehabilitation in an existing building through insulating glazing and solar protection. We used thermal simulation using the RETA tool to evaluate the thermal comfort in winter and summer, as well as the heating and cooling energy consumption of the building chosen as a support for our research, simple state and after the application of a rehabilitation with the thermal insulation and the occultation of the glazed walls.

The main results revealed thermal discomfort inside the workshop. the improvement in the thermal efficiency of the glass walls of the workshops has improved the level of thermal comfort and saved energy. However, it has not been possible to achieve the level of thermal compliance.

Résumé

Le secteur de construction est le premier grand consommateur d'énergie au niveau national, il représente selon l'APRU 42% de l'énergie finale consommée à cause du taux très élevé (70%) d'utilisation d'équipements électriques, et surtout ceux qui sont utilisés pour la climatisation et le chauffage dans le but d'améliorer le niveau de confort thermique des occupants.

Notre recherche consiste à évaluer le niveau de confort thermique et la consommation énergétique dans un bâtiment existant, plus particulièrement les ateliers de l'EPAU. L'objectif est d'améliorer le confort et diminuer la consommation énergétique, par la réhabilitation thermique des parois vitrées.

Afin d'atteindre cet objectif, nous avons effectué une recherche bibliographique sur l'efficacité énergétique en Algérie et la réhabilitation thermique dans un bâtiment existant à travers les vitrages isolants et les protections solaires. Nous avons eu recours à la simulation thermique à l'aide de l'outil RETA pour pouvoir évaluer le confort thermique en hiver et en été, ainsi que la consommation énergétique de chauffage et de climatisation du bâtiment choisi comme support pour notre recherche à l'état simple et après l'application d'une réhabilitation avec l'isolation thermique et l'occultation des parois vitrées.

Les principaux résultats ont révélé un inconfort thermique à l'intérieur de l'atelier. Cependant, l'amélioration de l'efficacité thermique des parois vitrées des ateliers a pu améliorer le niveau du confort thermique et faire des économies d'énergie, mais par contre cela n'a pas permis d'atteindre le niveau de conformité thermique.

Liste des tableaux

Tableau 1: Valeurs du coefficient de transmission thermique pour différents espaceurs et différents types de vitrages. Source : Glaverbel, Verre et isolation thermique 2004	20
Tableau 2: Données de la façade nord de l'atelier	48
Tableau 3: Données de la façade est de l'atelier	48
Tableau 4: Données de la façade sud de l'atelier	49
Tableau 5: Données de la façade ouest de l'atelier	49
Tableau 6: Données de la façade sud du sas d'entrée	50
Tableau 7: Données de la façade ouest du sas d'entrée	51
Tableau 8: Données de la façade nord du sas d'entrée	51
Tableau 9: Résultats de la simulation et la réhabilitation thermique. Source Auteur	61

Liste des figures

Figure 1: interface de l'application RETA.....	12
Figure 2 : RETA en quelques étapes, source : IMESSAD Khaled, RETA- Logiciel d'application de la Réglementation Thermique Algérienne	13
Figure 3 : les différentes déperditions thermiques au niveau de l'enveloppe d'une construction. Source : www.ageden38.org	16
Figure 4: Mode de transmission de chaleur à travers un vitrage (lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure) Source : www.energieplus-lesite.be	18
Figure 5: Evolution de température de la face intérieure en fonction de la valeur U. Source : Glaverbel, Verre et isolation thermique 2004	19
Figure 6: Un double vitrage ordinaire. Source : www.getalu.com	20
Figure 7: Un double vitrage avec gaz noble. Source : www.getalu.com	20
Figure 8: Les différents composants d'un système de verre isolant. (Vue en coupe). Source : www.energieplus-lesite.be	21
Figure 9: Les différents composants d'un système de verre isolant. (Vue axonométrique). Source : www.energieplus-lesite.be	21
Figure 10: Simple vitrage et double vitrage.....	23
Figure 11: Vitrage à basse émissivité (cas d'été). Source : www.energieplus-lesite.be	23
Figure 12: Double vitrage et double vitrage à basse émissivité (cas d'hiver)	24
Figure 13: numérotation des faces des vitrages. Source : www.energieplus-lesite.be	24
Figure 14: Un triple vitrage. Source : www.ma-fenetre.net	25
Figure 15: diagramme indicateur d'occultation. Source : www.energieplus-lesite.be	28
Figure 16: Relation entre la hauteur et l'ombre. Source : www.energieplus-lesite.be	29
Figure 17: Relation entre l'azimute en ° et l'ombre en %. (Pour les brise soleil perpendiculaires à la façade). Source : www.energieplus-lesite.be	30
Figure 18: Relation entre l'azimute en ° et l'ombre en %. (Pour les brise soleil perpendiculaires à la façade). Source : www.energieplus-lesite.be	30
Figure 19: Plan de masse de l'EPAU. Source: service technique de l'EPAU	34
Figure 23 : Le bloc de l'extension. Vue 1. Source : Auteur	35
Figure 24 : Le bloc de l'extension. Vue 1. Source : Auteur	35
Figure 20: Maquette de l'EPAU	35
Figure 21 : Plan 1 ^{er} étage de l'extension. Source : service technique de l'EPAU	36
Figure 22 : Plan RDC de l'extension. Source : service technique de l'EPAU.....	36
Figure 25: Vitrages réfléchissants utilisés actuellement au niveau des ateliers (de l'extérieur). Source Auteur	37
Figure 26 : Vitrages réfléchissants utilisés actuellement au niveau des ateliers (de l'intérieur) . Source Auteur	37
Figure 28: Modèle de l'ancien brise soleil utilisé au niveau des ateliers (de l'extérieur) . Source Auteur	37
Figure 27 Modèle de l'ancienne brise soleil utilisés au niveau des ateliers (de l'intérieur). Source Auteur	37
Figure 29: Plan de l'atelier 322.....	39
Figure 31 : Vue 2 à l'intérieur de l'atelier 322. Source Auteur.....	40
Figure 32: Vue 1 à l'intérieur de l'atelier 322. Source Auteur.	40
Figure 30: Plan de l'atelier 322.....	40
Figure 34 : Vue 4 à l'intérieur de l'atelier 322. Source Auteur.....	40

Figure 33 : Vue 3 à l'intérieur de l'atelier 322. Source Auteur.....	40
Figure 35: fenêtre des données du projet.....	41
Figure 36: fenêtre des modèles de parois	42
Figure 37: composition des planchers.....	42
Figure 38: Composition des murs de séparation	43
Figure 39: Composition des poutres	43
Figure 40: Composition des poteaux	43
Figure 41: composition des murs en brique.....	44
Figure 42: composition des murs de l'extérieur	44
Figure 43: composition de la toiture.....	44
Figure 44: Fenêtre des données de chauffage	45
Figure 45: Fenêtre des données de climatisation	45
Figure 46: fenêtre des données du renouvellement d'air	46
Figure 47: Introduction des données de l'enveloppe.....	46
Figure 48: Introduction des données des parois	47
Figure 49: les 4 parois principales de l'atelier 322	47
Figure 50: Façade nord. Source Auteur	48
Figure 51: Façade est. Source Auteur	48
Figure 52: Façade sud. Source Auteur	49
Figure 53: Façade ouest. Source Auteur	49
Figure 54: les parois du sas d'entrée de l'atelier 322	50
Figure 55 : sud du sas d'entrée. Source Auteur	50
Figure 56: Façade ouest du sas d'entrée. Source Auteur	51
Figure 57: Façade nord du sas d'entrée. Source Auteur	51
Figure 58 : Organigramme de la démarche d'évaluation des scénarios de réhabilitation thermique	53
Figure 59: Les anciens brises soleil utilisés au niveau des ateliers. Source Auteur	54
Figure 60: Les anciens brises soleil utilisés au niveau des ateliers. Source Auteur	54
Figure 61: fenêtre de composition des vitrages.....	54
Figure 62: schéma de RETA pour la protection solaire des fenêtres.....	55
Figure 63: Dessin des anciennes brises soleil en plan. Source Auteur	55
Figure 64: Fenêtre des données de protection solaire.....	56
Figure 65: Vitrages réfléchissants utilisés actuellement au niveau des ateliers. Source Auteur	57
Figure 66: Vitrages réfléchissants utilisés actuellement au niveau des ateliers. Source Auteur	57
Figure 67: Fenêtre de la composition des fenêtres.....	57
Figure 68: Définir la protection par les vitrages réfléchissants.....	58
Figure 69: Définir la composition des fenêtres.	59
Figure 70: Vérification de la conformité de l'hiver (DTR C3-2) pour les différentes combinaisons. Source Auteur	62
Figure 71: Les déperditions thermiques dans les différentes combinaisons utilisées. Source Auteur	63
Figure 72: Dimensionnement de la puissance du chauffage pour les différentes combinaisons. Source Auteur	64
Figure 73: Consommation énergétique du chauffage pour les différentes combinaisons. Source Auteur	64
Figure 74: Vérification de la conformité de l'été (DTR C3-4) pour les différentes combinaisons. Source Auteur	65
Figure 75: Les apports thermiques dans les différentes combinaisons utilisées. Source Auteur	66

Figure 76: Dimensionnement de la puissance de climatisation pour les différentes combinaisons. Source Auteur	67
Figure 77: Consommation énergétique de la climatisation pour les différentes combinaisons. Source Auteur	68

Table des matières

LISTE DES TABLEAUX	I
LISTE DES FIGURES	II
1. INTRODUCTION.....	1
2. PROBLEMATIQUE	2
3. HYPOTHESES.....	3
4. OBJECTIFS	3
5. METHODE DE RECHERCHE	4
6. <i>Structure du mémoire</i>	5
CHAPITRE I : L'EFFICACITE ENERGETIQUE EN ALGERIE ET REGLEMENTATION THERMIQUE EN ALGERIE	6
1. INTRODUCTION.....	6
2. LE PROGRAMME NATIONAL D'EFFICACITE ENERGETIQUE ADOPTE EN ALGERIE.....	6
3. INSTITUTIONS EN CHARGE DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE EN ALGERIE	7
3.1. <i>L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE)</i>	7
3.2. <i>Le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment CNERIB</i>	8
3.3. <i>Le Centre de Développement des Énergies Renouvelables (CDER)</i>	8
4. LA REGLEMENTATION THERMIQUE ALGERIENNE	9
4.1. <i>Les documents techniques règlementaires (D.T.R C 3.2 et C 3.4)</i>	9
4.2. <i>L'outil RETA</i>	11
5. CONCLUSION	13
CHAPITRE 2 : LA REHABILITATION THERMIQUE DES PAROIS VITREES	15
1. INTRODUCTION.....	15
2. LE VITRAGE DANS LA REHABILITATION THERMIQUE.....	16
2.1. <i>Les vitrages isolants</i>	17
2.2. <i>Les différents types de vitrage</i>	20
2.3. <i>Le double vitrage "à basse émissivité"</i>	23
3. LES PROTECTIONS SOLAIRES	26
3.1. <i>Les objectifs d'une protection solaire</i>	26
3.2. <i>Les différents types des protections solaires</i>	27
3.2.1. <i>Les brise-soleils</i>	28
3.2.2. <i>Le vitrage réfléchissant</i>	31
4. CONCLUSION	32
CHAPITRE 3: PRESENTATION DU CAS D'ETUDE LES ATELIERS DE L'EXTENSION L'EPAU	33
1. INTRODUCTION.....	33
2. HISTORIQUE ET PRESENTATION DE L'EPAU	33
3. PRESENTATION DU BLOC DE L'EXTENSION	35
3.1. <i>Organisation spatiale</i>	35
3.2. <i>Caractéristiques des ateliers</i>	36

3. CONCLUSION	38
CHAPITRE 4 : SIMULATION THERMIQUE STATIQUE (STS) DU CAS D'ETUDE A L'ETAT SIMPLE A L'AIDE DE L'OUTIL RETA	39
1. CHOIX DE L'ATELIER	39
2. DEMARCHE DE LA STS DE LA SALLE D'ATELIER 322 AVEC RETA.....	41
2.1. <i>Input du projet</i>	41
2.2. <i>Input des différents modèles de parois</i>	42
2.3. <i>Input de chauffage, climatisation et renouvellement d'air de l'enveloppe</i>	45
2.4. <i>Input de l'enveloppe</i>	46
3. CONCLUSION	52
CHAPITRE 5: CHOIX DE LA REHABILITATION PAR SIMULATION THERMIQUE STATIQUE AVEC RETA	53
1. INTRODUCTION.....	53
2. EVALUATION DES REHABILITATIONS PREPOSEES	53
2.1. <i>Evaluation de la réhabilitation par des protections solaires</i>	54
2.2. <i>Evaluation de la réhabilitation thermique par protection solaire et vitrages isolants</i>	58
3. DISCUSSION DES RESULTATS DE SIMULATION POUR LES DIFFERENTS CAS.....	60
3.1. <i>Cas Hiver (DTR C3-2)</i>	62
3.2. <i>Cas Eté (DTR C3-2)</i>	65
4. CONCLUSION	69
CONCLUSION GENERALE.....	70
BIBLIOGRAPHIE.....	73
ANNEXE – RAPPORT RETA	76

1. Introduction

Le confort thermique est une notion très subjective dans la démarche de développement durable, il doit être pensé au début de la conception architecturale, il correspond à un état d'équilibre thermique entre le corps humain et les conditions d'ambiance.

Dans le cas de non prise en considération de cet aspect du confort dans la réflexion du projet, on fait face à un état d'inconfort thermique, où l'utilisateur de l'espace expérimente dans son lieu de travail ou dans son habitation des difficultés particulières, ceci particulièrement à fournir le matériel de chauffage ou de climatisation nécessaire à la satisfaction de ses besoins de confort, à cause de l'inadaptation des conditions du projet.

De ce fait, les solutions apportées chez nous aujourd'hui comme le chauffage et plus encore la climatisation, peuvent paraître difficilement compatibles avec les principes de développement durable qui est basée essentiellement sur la réduction de la consommation et l'optimisation énergétiques des bâtiments.

Ainsi, en tant que professionnels nous sommes censés à apporter des solutions et des stratégies adéquates suivant la démarche suivie pour assurer ce confort, et effectuer les travaux de « réhabilitation et d'isolation thermique » nécessaires. Ces travaux consistent en des études et réhabilitations qui ont pour but d'améliorer le confort thermique intérieur ainsi que la performance énergétique tout en réduisant les pertes de chaleur provoquées par une mauvaise isolation.

Les actions possibles sur la réhabilitation thermique d'un bâtiment existant peuvent faire l'objet de plusieurs actions différentes : l'action directe sur l'enveloppe du bâtiment. Le changement du mode de chauffage avec le choix de la source d'énergie et des équipements, et même agir sur le renouvellement de l'air qui devient indispensable dans tous les cas d'isolation efficace qui demande une réelle étanchéité de l'ensemble de l'enveloppe du bâtiment.¹

De ce fait, avant de penser à changer le système de chauffage, nous devons nous intéresser aux travaux de réhabilitation thermique qui agissent sur l'enveloppe du

¹ LE BRUN Christian, TERRIER Jean Claude, La réhabilitation thermique dans le bâtiment, Revue de l'usage de l'énergie. N° 62 Décembre 2015.

bâtiment qui peuvent être effectuées chez nous en Algérie, notamment sur les fenêtres qui présentent un pouvoir isolant faible par rapport aux autres éléments de l'enveloppe, puisque des déperditions réduites impliquent des besoins en chauffage réduits.

Ainsi, nous avons choisi l'EPAU comme cas d'étude pour faire notre recherche. L'EPAU se trouve dans une zone littorale caractérisée par un climat méditerranéen marqué par des étés chauds et secs et par des hivers doux et humides. L'école a été construite en trois parties : La première a été conçue par l'architecte brésilien OSCAR NIMEYER en 1969. La deuxième partie (l'extension) est conçue par l'architecte suisse JEAN-JACQUES DELUZ (1972-1982). La troisième partie (le bâtiment de l'administration actuelle) conçu récemment par un bureau d'étude Algérien « Le BEREG ». Nous nous intéressons dans ce travail de recherche aux ateliers de la deuxième partie de l'EPAU (l'extension) conçue par Deluz.

Ce travail de master (spécialité architecture, construction et environnement) est une opportunité pour enrichir les différents travaux de recherche effectués sur l'EPAU à savoir des mémoires de Master comme: *«L'amélioration du confort thermique dans les espaces de travail, Cas des ateliers de l'extension à l'EPAU»*, par ZOUGARI Madjid, *« L'évaluation de la consommation énergétique et du confort dans les salles de classes préparatoire»*, par BESSALCHI, Mehdi, *«L'influence de l'éclairage et de la couleur sur l'appréciation des ateliers de l'extension»*, par OUAL Mohamed Seddik, *« L'influence de la qualité des espaces verts sur la qualité de vie à l'EPAU »*, SMAILI Imene, et aussi des mémoires de Magister comme: *«Caractérisation de la qualité de l'environnement lumineux à l'intérieur des ateliers d'architecture à l'EPAU »*, par Mohamed Adlene DIRAHOUI. Notre travail vise à améliorer le confort thermique dans les ateliers de l'extension, et présente aussi une réponse à plusieurs questions liées à l'impact des fenêtres dans la réhabilitation thermique des ateliers.

2. Problématique

À travers ce travail de Master, nous essayons de répondre particulièrement à la question suivante :

Quel est l'impact des vitrages isolants et des protections solaires sur le confort thermique et la consommation énergétique dans une opération de réhabilitation thermique d'un bâtiment à l'aide de l'outil RETA? Et quelle est l'efficacité de l'outil adopté pour cette recherche ?

3. Hypothèses

Afin de répondre à cette problématique, nous avons formulé l'hypothèse suivante:

- Les fenêtres présentent logiquement le point le plus faible en termes de pouvoir isolant surtout dans les espaces à grandes surfaces vitrées. L'usage des dispositifs de protection contre les rayons de soleil et des vitrages thermiquement isolants lors d'une opération de réhabilitation thermique est très important, et peut engendrer une amélioration du confort thermique intérieur ainsi qu'une réduction de consommation énergétique très appréciable.

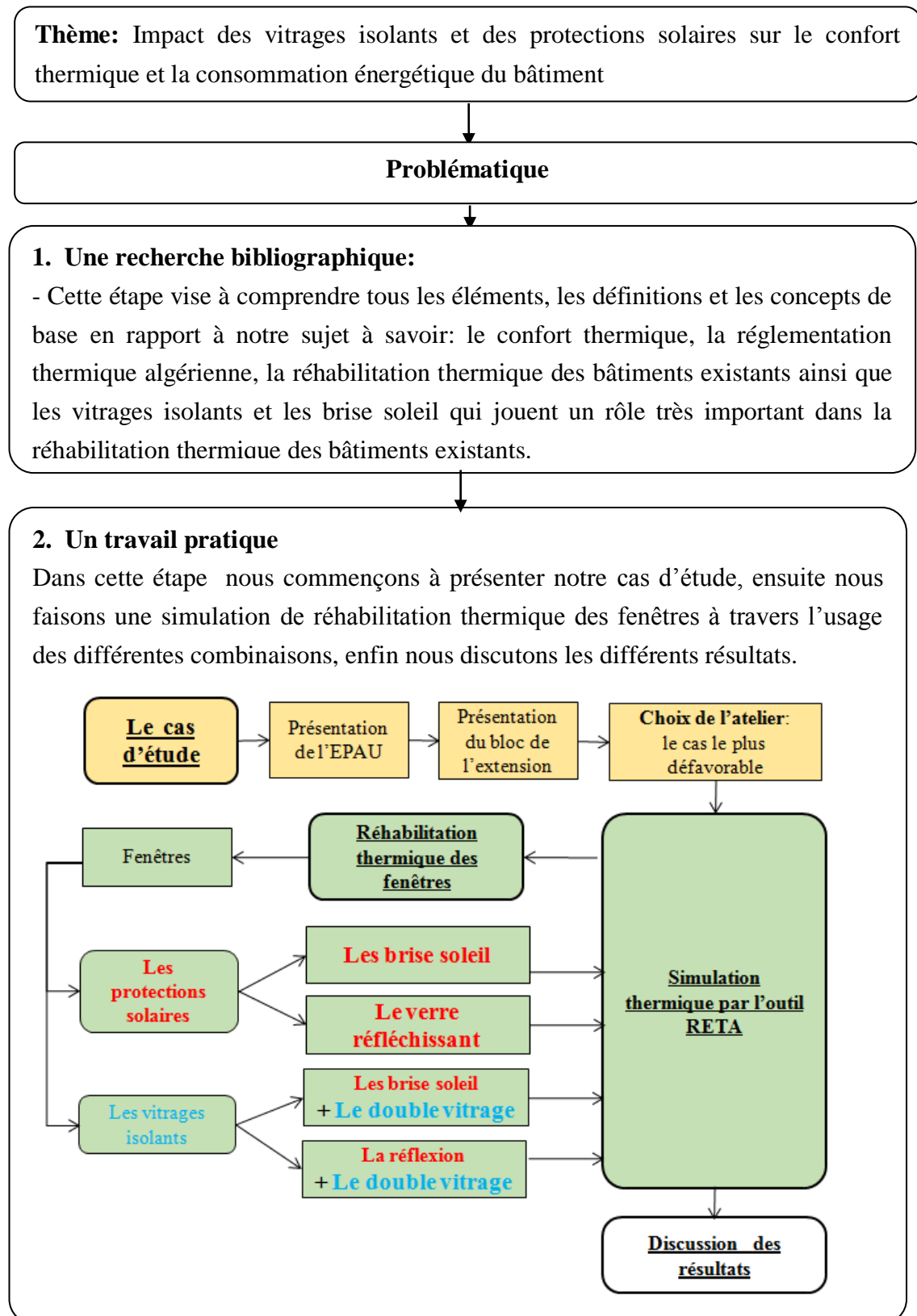
- L'outil RETA adopté dans cette recherche, qui a pour objectif d'effectuer les différents calculs thermiques nécessaires pour vérifier la conformité à la réglementation thermique, ainsi que le dimensionnement du système de chauffage, est aussi efficace pour aider à la réhabilitation thermique.

4. Objectifs

Ce travail vise à évaluer les pertes de chaleur et les apports calorifiques via les fenêtres dans nos espaces de travail et les estimer à travers l'étude de cas des ateliers de l'extension à l'EPAU. Il vise aussi à évaluer la réduction de la consommation énergétique et à identifier les gains thermiques qu'on peut apporter aux salles d'atelier de l'EPAU en intégrant les vitrages isolants et des protections solaires selon leur disponibilité et leur faisabilité de mise en œuvre en Algérie. Le but est de minimiser la consommation d'énergie des systèmes de chauffage et de climatisation en terme d'énergie ou bien d'éliminer leur usage complètement.

5. Méthode de recherche

Afin de répondre à notre problématique et d'atteindre nos objectifs, nous avons articulé notre démarche sur la base du schéma suivant :



6. Structure du mémoire

Nous avons structuré notre travail de recherche en deux parties distinctes:

- La première partie théorique est basée sur une recherche bibliographique et structurée en deux chapitres, à savoir: “ L’efficacité énergétique et la réglementation thermique en Algérie ”, et “La réhabilitation thermique des parois vitrées ”. Le premier chapitre est consacré à présenter le programme national de l’efficacité énergétique en Algérie, les institutions en charge de l’efficacité énergétique, et la réglementation thermique algérienne, Le deuxième chapitre concerne le vitrage isolant et les protections solaires dans la réhabilitation thermique.
- La deuxième partie pratique, est structurée en trois chapitres, à savoir: “ la présentation du cas d’étude”, “La simulation thermique statique du cas d’étude à l’état actuel par l’outil RETA”, et “Choix de réhabilitation par simulation thermique statique avec RETA”, le premier est consacré à présenter l’EPAU et spécialement le bloc de l’extension. le deuxième concerne la simulation thermique du cas d’étude, le troisième est consacré à la réhabilitation du cas d’étude à travers ses fenêtres et finalement la discussion des résultats.

Chapitre I : L'efficacité énergétique en Algérie et réglementation thermique en Algérie

1. Introduction

L'Algérie est un pays qui possède une position très importante en matière énergétique. Même si les réserves en hydrocarbures dont il dispose lui permettent de rester stable et de couvrir ses propres besoins pour quelques temps encore, les crises pétrolière et financière en cours plaident pour une meilleure prise en charge de l'efficacité énergétique.

Actuellement, selon les spécialistes, le vrai problème énergétique pour les différentes institutions de l'Algérie est un problème qui se pose en terme de choix d'une politique énergétique à long terme, d'une stratégie de valorisation des ressources, et de définition d'un modèle de consommation énergétique adéquat et qui couvre nos besoins, avant la date de l'épuisement de ces ressources stratégiques.²

2. Le programme national d'efficacité énergétique adopté en Algérie

Un nouveau programme national d'efficacité énergétique a été adopté dernièrement à l'horizon de 2030 et lancé en 2016. Il consiste à permettre d'économiser 63 millions de tonnes équivalent pétrole qui présente un gain financier de 42 milliard de dollars à l'Algérie, ce programme concerne des secteurs précis tel que l'industrie, le transport et l'habitat. Dans le secteur de l'habitat le programme prévoit d'isoler thermiquement 100.000 logements par année où l'état prendra en charge 80% des financements.³

L'Algérie mène une politique d'amélioration de la gestion des ressources énergétiques depuis plusieurs années et ceci se décline à travers la loi n°99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie et de ses textes d'application en l'occurrence le décret exécutif n°2000- 90 du 24 avril 2000 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs.⁴

² Portail algérien des énergies renouvelables, L'efficacité énergétique dans le bâtiment, <http://portail.cder.dz/spip.php?article3746>

^{3, 4} Centre de Développement des énergies Renouvelables, Application RETA : Réglementation Thermique Algérienne, disponible sur: <http://portail.cder.dz/spip.php?article4969>

L'application de cette réglementation thermique devait mener à l'isolation thermique des bâtiments neufs, avec un objectif d'atteindre une réduction de la consommation énergétique de chauffage et de climatisation de l'ordre de 30%.

Malheureusement, au jour d'aujourd'hui cette réglementation n'est toujours pas entrée en application, en raison entre autres à l'inexistence d'organisme devant vérifier son application mais aussi à l'absence d'outils opérationnels permettant aux bureaux d'études d'intégrer les exigences de cette réglementation dans la conception des bâtiments.⁵

L'action de résoudre ces problèmes énergétiques sont chargés aux différentes institutions du domaine de l'efficacité énergétique.

3. Institutions en charge de l'efficacité énergétique en Algérie

3.1. L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) ⁶

C'est un établissement public à caractère industriel et commercial créé par décret présidentiel en 1985, placé sous la tutelle du Ministère de l'Energie et des Mines.

La mission principale de l'agence est d'élaborer la politique nationale de maîtrise de l'énergie, à travers la promotion de l'efficacité énergétique. Dans le cadre de la loi n° 99- 09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'Energie, l'agence a pour missions :

- La coordination et l'animation de la politique nationale de maîtrise de l'énergie
- L'élaboration et le suivi du Programme National de Maîtrise de l'Energie (PNME)
- La sensibilisation et la diffusion de l'information sur la maîtrise de l'énergie en direction des différentes catégories (grand public, professionnels, milieu scolaire...)
- Le montage de programmes et de projets sectoriels en partenariat avec les secteurs concernés (Industrie, Bâtiment, Transports, ...).

⁵ Centre de Développement des énergies Renouvelables, Application RETA : Réglementation Thermique Algérienne, disponible sur: <http://portail.cder.dz/spip.php?article4969>

⁶ L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE), <http://www.aprue.org.dz/maitrise-energetique.html>

3.2. Le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment CNERIB ⁷

C'est un établissement public à caractère scientifique, placé sous la tutelle du Ministère de l'habitat et de l'urbanisme.

Le centre est chargé principalement d'élaborer et de mettre en œuvre les programmes nationaux de recherche scientifique et de développement technologique de son domaine de compétence, et surtout en matière de maîtrise et de développement des matériaux, produits, matériels et procédés dans le domaine de l'habitat et de l'urbanisme. A ce titre le centre :

- Collecte et traite l'ensemble des informations technico-économiques relatives aux différents matériaux qui entrent dans la construction.
- Fait des expérimentations liées aux travaux de recherche dans le cadre de son objet ou pour tout organisme demandeur.
- Donne des Avis Techniques sur les matériaux et composants de la construction
- Assiste les entreprises dans leur développement et dans l'innovation
- Assiste les maîtres d'ouvrages dans la définition des exigences

3.3. Le Centre de Développement des Énergies Renouvelables (CDER)

C'est un Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique (EPST) créé en 1988, placé sous la tutelle du ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Le centre est chargé principalement d'élaborer et de mettre en œuvre les programmes de recherche et de développement, scientifiques et technologiques, des systèmes énergétiques exploitant l'énergie solaire, éolienne, géothermique et l'énergie de la biomasse. Le centre a aussi pour missions :⁸

- Réunir les éléments nécessaires à l'identification et la faisabilité des projets de recherche à entreprendre.

⁷ Centre National d' Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment, Qui sommes nous ?, http://www.cnerib.edu.dz/Le_CNERIB.htm

⁸ Centre de Développement des Energies Renouvelables, Missions du CDER, <http://www.cder.dz/spip.php?rubrique231>

- L'innovation technologique dans le domaine des énergies renouvelables.
- Rassembler et traiter l'information scientifique et technique et en assurer la conservation et la diffusion.
- Assurer la formation continue, et le perfectionnement des personnels de la recherche.
- Contribuer à la formation par et pour la recherche.

4. La réglementation thermique algérienne

4.1. Les documents techniques réglementaires (D.T.R C 3.2 et C 3.4)

Les Document Techniques Réglementaires intitulés DTR « Réglementation thermique des bâtiments » constituent une réponse aux problèmes de la thermique du bâtiment et des préoccupations contenues dans la loi 99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie. ⁹

Ils sont basés sur deux documents, dont le premier : D.T.R C 3-2 est relatif à la période d'hiver pour calculer les déperditions calorifiques, le deuxième: D.T.R C 3-4 est relatif à la période d'été (climatisation). ¹⁰

4.1.1. Objet du document

Les Documents Techniques Réglementaires ont pour objet¹¹ de fixer les méthodes de :

- Déterminer les déperditions et les apports Calorifiques des bâtiments.
- Vérifier la conformité des bâtiments par rapport à la réglementation thermique.

L'introduction des déperditions calorifiques de "base" et des apports totaux dans ce DTR contribue au dimensionnement des installations de chauffage et de climatisation des bâtiments.

4.1.2. Domaine d'application

Nous pouvons déterminer les déperditions et les apports calorifiques selon les méthodes de DTR aux locaux suivants ¹²:

- À usage d'habitation
- D'hébergement (chambres collectives, dortoirs, salles de repos,...)
- À usage de bureaux

^{9, 10, 11, 12} Ministère de l'habitat algérien, Document technique réglementaire D.T.R C 3.2.

- D'enseignement (classes, salles d'études,...)
- D'accueil (bibliothèque, bureaux de poste, banques,...)
- De réunion (salles de spectacle, lieux de culte, ...)
- De vente (boutique, supermarché,...)
- De restauration (café, restaurant, cantine, ...)
- À usage artisanal (salon de coiffure, laboratoire de boulangerie, petit atelier, etc.).

Les conditions d'utilisation des autres types de locaux non mentionnés doivent être précisées dans les pièces du marché.

La vérification réglementaire concerne les locaux à usage d'habitation pour la partie chauffage. Pour la partie climatisation, cette vérification s'étend aux locaux à usage de bureaux et d'hébergement. Pour les autres types de locaux, les pièces du marché doivent préciser le seuil à respecter afin d'assurer l'économie requise.

4.1.3. Les méthodes de calculs

Le DTR présente des méthodes de calculs qui sont des simples et suffisantes pour trouver des solutions techniques admissibles. Ces méthodes sont illustrées par des exemples de calcul.

Les exigences réglementaires sur lesquelles s'appuient ce DTR consistent à limiter les déperditions calorifiques en période d'hiver et les apports calorifiques en période d'été en fixant des seuils à ne pas dépasser (appelés respectivement déperditions de référence et apports de référence, où le respect de ces seuils devrait permettre une économie sur la consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation: ¹³

a- Vérification d'hiver (DTR C3-2) ¹⁴

Le D.T.R C 3-2 concerne la période d'hiver. Il exige que les déperditions calorifiques par transmission à travers les parois calculées pour la période d'hiver doivent être inférieures à une valeur de référence comme suit:

$$DT \leq 1.05 D_{réf}$$

b- Vérification d'été (DTR C3-4)

Le D.T.R concerne la période d'été et exige que les apports de chaleurs à travers les parois (opaques et vitrées) calculés à 15h du mois de juillet (considéré

¹³ Ministère de l'habitat algérien, Document technique réglementaire D.T.R C 3.2.

¹⁴, ¹⁵ Centre de Développement des énergies Renouvelables, RETA- Logiciel d'application de la Réglementation Thermique Algérienne, disponible sur: http://www.cder.dz/vlib/bulletin/pdf/ber36_8_9.pdf

comme le mois le plus chaud de l'année) doivent être inférieurs à une limite dite « Apport de Référence A réf ». ¹⁵

$$APO (15 h) + AV (15 h) \leq 1.05 .Aréf$$

4.2. L'outil RETA

Pour faciliter l'application de la réglementation algérienne, Une application appelée RETA – RÉglementation Thermique Algérienne a été développée par l'équipe CDER, c'est un outil libre d'accès et qui se présente sous forme d'une application accessible gratuitement via l'adresse web (<http://reta.cder.dz>), L'application permet la simulation thermique statique d'un projet pour faciliter les calculs thermiques nécessaires à la vérification de la conformité du projet vis-à-vis de la réglementation thermique (DTR C3-2 et DTR C3-4), ainsi que la possibilité de dimensionner un système de chauffage. ¹⁶

4.2.1. Historique ¹⁷

Dans le but de construire un nouveau siège d'une banque régionale avec une efficacité énergétique par la banque d'Algérie en 2012 à Batna , un groupe de travail a été établie, ce dernier est constitué des experts algériens membres des deux centres: CDER et CNERIB (Le Centre de Développement des Energies Renouvelables et le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment), ainsi que des experts étrangers (la coopération allemande au développement GIZ) afin de créer un cahier de charge référentiel pour évaluer les projets futurs, où un guide dit pour une construction éco-énergétique en Algérie a été développé ainsi qu'un logiciel de calcul thermique nommé CTBAT.

Sur la base de l'expérience acquise en travaillant avec le CNERIB et la coopération allemande du développement, l'équipe du CDER a développé RETA.

Ce logiciel permet la simulation thermique statique du bâtiment, les différentes données d'un bâtiment sont introduites étape par étape pour effectuer des calculs

¹⁶ Centre de Développement des énergies Renouvelables, RETA- Logiciel d'application de la Réglementation Thermique Algérienne, disponible sur: http://www.cder.dz/vlib/bulletin/pdf/ber36_8_9.pdf

¹⁷ Portail algérien des énergies renouvelables, Application RETA : Réglementation Thermique Algérienne, disponible sur: <http://portail.cder.dz/spip.php?article4969>

thermiques nécessaires afin de vérifier la conformité du projet par rapport à la réglementation thermique algérienne.

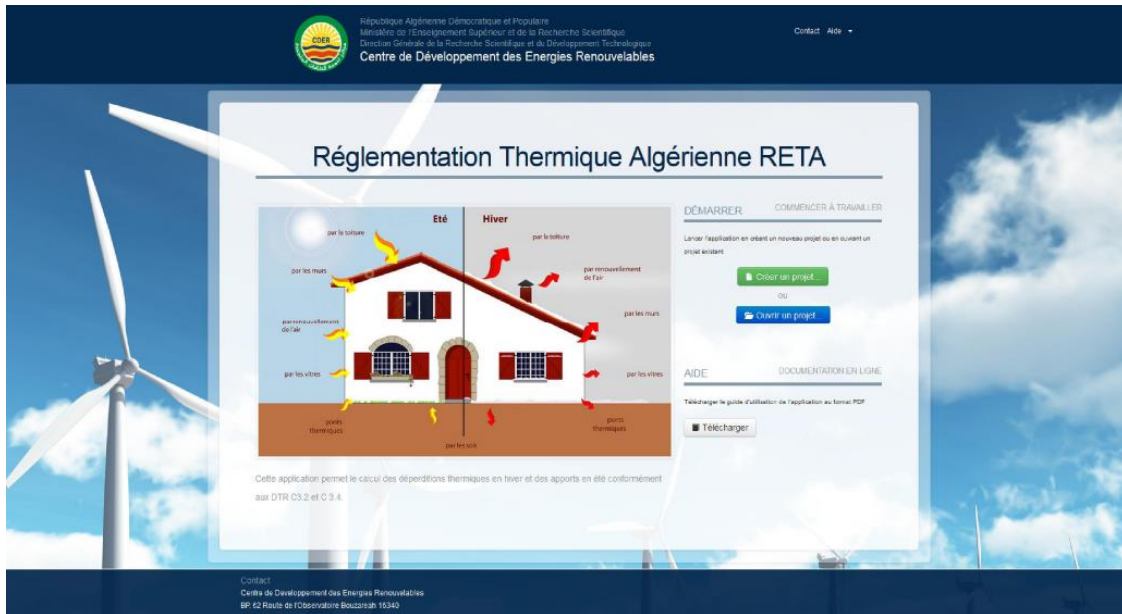


Figure 1: interface de l'application RETA

4.2.2. Application ¹⁸

L'application RETA a été conçue pour faciliter la vérification des calculs thermiques, le travail consiste à introduire les données climatiques de la zone, et les données de notre bâtiment, le calcul et la vérification se font automatiquement par le logiciel lui-même.

Les étapes d'utilisation de l'outil RETA sont :

Introduction des données géographiques relatives au projet:

1. Description, altitude, latitude,...etc.
2. Introduction des données relatives à l'enveloppe du bâtiment (volume, usage du bâtiment, conditions de confort interne).
3. Définition des parois:

¹⁸ Centre de Développement des énergies Renouvelables, RETA- Logiciel d'application de la Réglementation Thermique Algérienne, disponible sur: http://www.cder.dz/vlib/bulletin/pdf/ber36_8_9.pdf

Parois opaques: Surface nette, composition, orientation, couleur de la surface extérieure

Parois vitrées: Surface de l'ouvrant, nature de la fenêtre, occultations

4. Description du dispositif de renouvellement d'air et de chauffage.
5. Calcul et récupération des résultats sous forme de rapport PDF.

Après avoir passé par les étapes précédentes, l'application nous offre la possibilité de générer un rapport détaillé sous forme PDF où il affiche une synthèse des différentes valeurs et des résultats pour vérifier la conformité de notre projet par rapport à la réglementation thermique algérienne, ainsi que le dimensionnement de chauffage nécessaire.

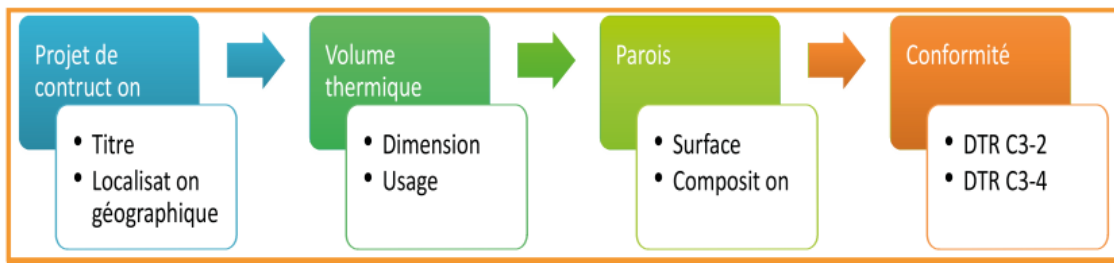


Figure 2 : RETA en quelques étapes, source : IMESSAD Khaled, RETA- Logiciel d'application de la Réglementation Thermique Algérienne

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé en premier lieu la position très importante de l'Algérie en matière énergétique. Nous pouvons dire que les réserves énergétiques de notre pays lui permettent de couvrir ses besoins propres pour quelque temps encore, mais ceci reste toujours incompatible avec la notion de développement durable.

En deuxième lieu, nous avons abordé le programme national d'efficacité énergétique adopté en Algérie. Le programme consiste à économiser 63 millions de tonnes équivalent pétrole qui présente un gain financier de 42 milliard de dollars, il concerne plusieurs secteurs y compris l'habitat, mais malheureusement aujourd'hui cette réglementation n'est pas entrée en application vue la difficulté de vérifier son application et l'absence d'outils qui permettent d'intégrer les exigences de ce programme dans la conception des bâtiments.

Nous avons aussi abordé la Règlementation thermique algérienne des bâtiments, et le Document Technique Réglementaire intitulé D.T.R, qui constitue une réponse aux problèmes de la thermique du bâtiment, il est basé sur deux documents techniques réglementaires, dont le premier: D.T.R C 3-2 est relatif à la période d'hiver pour calculer les déperditions calorifiques, le deuxième: D.T.R C 3-4 est relatif à la période d'été (climatisation).

Pour faciliter l'application de la réglementation algérienne, Une application appelée RETA a été développée par l'équipe CDER, cette application facilite les calculs thermiques pour vérifier la conformité du projet vis-à-vis de la réglementation thermique (DTR C3-2 et DTR C3-4), ainsi que la possibilité de dimensionner le système de chauffage.

Dans ce chapitre, nous avons constaté que la réhabilitation thermique n'est pas prise en considération dans les textes de la réglementation thermique algérienne, où il n'y a aucun cadre réglementaire précis et exigeant qui prend en charge les actions de cette réhabilitation.

19

¹⁹ Catherine Charlot-Valdieu et Philippe Outrequin, La réhabilitation énergétique des logements, Editions Le Moniteur, Paris, 2011.

Chapitre 2 : La réhabilitation thermique des parois vitrées

1. Introduction

D'après Joffroy ²⁰, la réhabilitation est définie comme étant l'action d'améliorer un édifice en conservant sa fonction principale et en prolongeant sa durée de vie. Elle ne concerne pas seulement le patrimoine historique, mais aussi le patrimoine immobilier ordinaire.

Selon cette définition donnée par Jaffrov, l'opération de réhabilitation thermique du bâtiment existant consiste à améliorer le confort thermique d'un bâtiment en touchant directement à son enveloppe, qui est considéré comme un échangeur thermique entre l'extérieur et l'intérieur. Elle consiste à des modifications légères tel que l'ajout de l'isolation par l'extérieur, le changement de types de vitrages...etc. ou à des modifications lourdes comme l'ajout de l'isolation par l'extérieur ou bien le réaménagement du plan du bâtiment selon le trajectoire du soleil. Ainsi que l'ajout d'une nouvelle partie qui jouera le rôle d'une véranda ou une serre comme extension.

L'amélioration thermique de l'enveloppe consiste à améliorer le confort thermique et limiter les déperditions thermiques à travers les parois opaques verticales, les planchers, les toitures, les ponts thermiques et les parois vitrées : ²¹

- **Les ponts thermiques:** il s'agit de choisir des procédés de construction et des composants réduisant les pertes thermiques au niveau des jonctions des façades et planchers, façades et refends, façades et toitures, façades et planchers bas. Ainsi qu'à tous les percements (portes, fenêtres, loggias...).
- **Les parois opaques verticales** par l'isolation thermique, soit de l'intérieur ou de l'extérieur, selon les composants de la paroi et le style architectural de l'édifice sans touchant à l'aspect de la façade d'une mauvaise manière.

²⁰ P. Joffroy, 'La Réhabilitation des Bâtiments: Conserver, Améliorer, Restructurer les Logements et les Equipements', Edition Le Moniteur, Paris, 1999.

²¹ N. Kadri11 et A. Mokhtari22, Contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment, Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°2 (2011) 301 – 311

- **Les planchers:** Il s'agit d'isoler les planchers bas, donnant sur l'extérieur ou sur les locaux non chauffés, ainsi que le plancher terrasse.
- **Les Parois vitrées:** Elles sont les plus vulnérables et sensibles aux déperditions calorifiques. L'amélioration thermique des fenêtres permettent des économies d'énergie considérables.

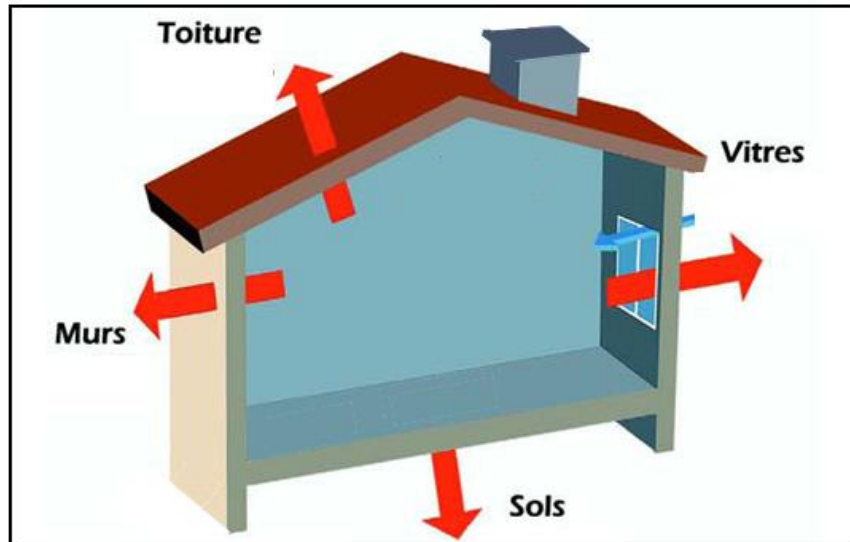


Figure 3 : les différentes déperditions thermiques au niveau de l'enveloppe d'une construction. Source : www.ageden38.org

2. Le vitrage dans la réhabilitation thermique

Dans ce travail de recherche, nous nous sommes intéressés au dernier paramètre mentionné précédemment pour l'amélioration du confort thermique, nous avons ainsi effectué une réhabilitation thermique de notre cas d'étude à travers ses parois vitrées.

La fenêtre est un élément très important dans un bâtiment, Le vitrage ordinaire d'une fenêtre représente souvent le point faible dans l'enveloppe du bâtiment, où durant la période de chauffe, le vitrage gagne de la chaleur, pendant les heures d'ensoleillement, par le rayonnement solaire qui le traverse, alors que durant la période de froid, le vitrage perd constamment de la chaleur par transmission vers l'extérieur plus froid, c'est pour cela que lors d'une réhabilitation thermique qui concerne les fenêtres, nous devons améliorer l'isolation d'une fenêtre par le remplacement des vitrages simples par des vitrages isolants, et aussi limiter les apports solaires par agir sur la protection solaire soit par installer des protections extérieures tel que les brise soleil, ou bien des protections intérieures tel que les couches à base métallique et les films adhésifs.²²

²²,Energieplus, Améliorer les fenêtres, disponible sur: <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16843>

Dans cette recherche nous nous intéressons à l'isolation thermique des vitrages, et aux protections solaires.

2.1. Les vitrages isolants

2.1.1. Définition

La fonction principale du verre est d'assurer la protection contre les différentes agressions de la nature tel que la pluie, la neige et le vent...etc. tout en permettant la pénétration de la lumière et la vue vers l'extérieur. Ces exigences sont satisfaites par les fenêtres ordinaires : une menuiserie avec un simple vitrage.²³

Mais en ce qui concerne les exigences du confort thermique, ce simple vitrage n'est plus satisfaisant vue sa mauvaise isolation thermique.²⁴

Le simple vitrage, représente le point le plus faible dans l'isolation thermique d'une maison par rapport aux murs de façades et aux toitures, où les vitrages représentent en moyenne environ 35% des pertes thermiques dans une maison ce qui nous oblige à utiliser plus d'énergie pour atteindre un certain niveau de confort thermique.

Contrairement au simple vitrage, le verre isolant est basé essentiellement sur le fait que l'air immobile est un très mauvais conducteur et qui représente une bonne couche d'isolation thermique.

Un verre isolant moderne est généralement un système de vitrage fabriqué avec deux feuilles de verre ou plus, ces dernières sont séparées les unes des autres par un espace intercalaire.

Voilà pourquoi plusieurs pays ont commencé à établir des réglementations thermiques qui imposent l'usage du verre isolant à doubles vitrage, d'ailleurs certains règlements ne se limitent pas seulement à imposer seulement le double vitrage mais aussi le verre isolant double vitrage à haut rendement.²⁵

^{23, 24, 25} Glaverbel, Verre et isolation thermique 2004.

2.1.2. Les modes de transmission de chaleur et le confort thermique

L'objectif du double vitrage est de limiter les pertes de chaleur dans le verre en séparant les deux plaques de verre par une lame d'air ou de gaz, dont le pouvoir isolant est supérieur à celui du verre. ²⁶

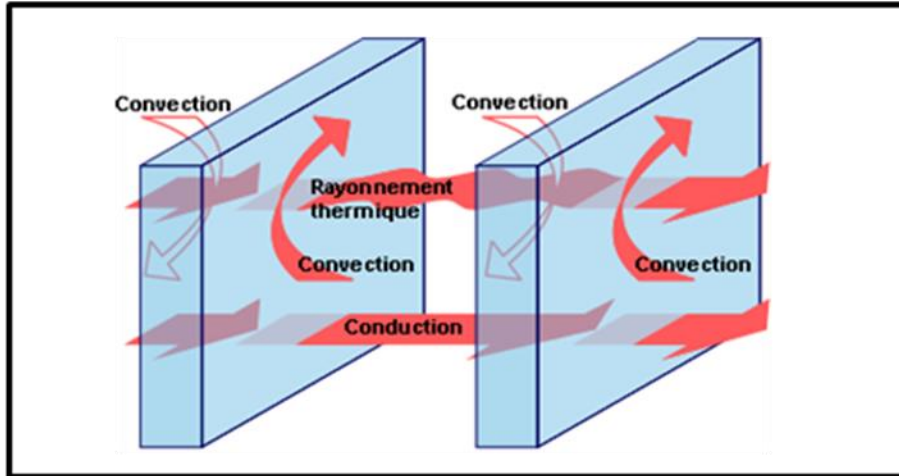


Figure 4: Mode de transmission de chaleur à travers un vitrage (lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure) Source : www.energieplus-lesite.be

La transmission de chaleur dans le verre se fait par conduction et rayonnement, dans le verre par conduction et dans la lame d'air par convection, rayonnement et conduction. La présence de la lame d'air permet de limiter les pertes de chaleur par conduction, la conductivité thermique de l'air (0.025 W/m.K (à 10°C)) est nettement inférieure à celle du verre (1 W/m.K). ²⁷ (Voir Figure 4)

La Figure suivante (Figure 5) présente les degrés de température des faces intérieures pour plusieurs types de vitrages isolants dans des conditions de températures intérieures et extérieures respectivement de 0°C et 20°C. ²⁸

²⁶, ²⁷. Energieplus, Les vitrages isolants thermiques, disponible sur: <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11673#c12163>

²⁸ Glaverbel, Verre et isolation thermique 2004

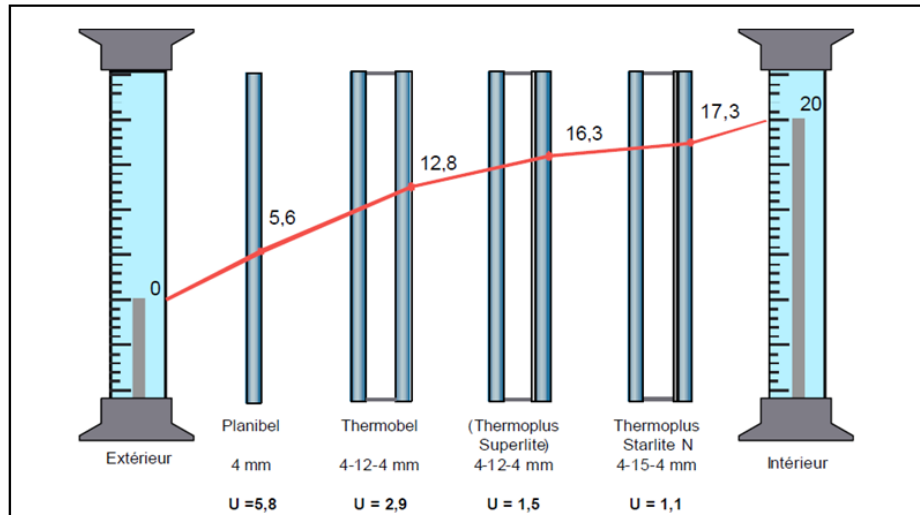


Figure 5: Evolution de température de la face intérieure en fonction de la valeur U. Source : Glaverbel, Verre et isolation thermique 2004

2.1.3. Critère d'évaluation

Le verre isolant thermiquement est un dispositif qui doit maintenir la chaleur dans une pièce. Le principal critère d'évaluation pour un verre d'isolation thermique est son coefficient de transmission thermique (le coefficient U_g).²⁹

Afin de garantir une isolation thermique efficace, un verre doit avoir un coefficient U_g aussi faible que possible. Plus le coefficient U_g est réduit, plus le pouvoir isolant du verre augmente et donc plus la consommation d'énergie.³⁰

2.1.4. Performances thermiques

Plus le coefficient de transmission thermique U_g est réduit, plus le pouvoir isolant du verre augmente. La valeur de ce coefficient correspond à la valeur U_g au centre des vitrages, ce que signifie qu'on ne tient pas compte des effets de bords dus à la présence de l'espaceur qui augmente les dépendances calorifiques.³¹

Le Tableau suivant donne les valeurs du coefficient de transmission thermique des différents types de vitrages isolants avec des différents espaceurs.³²

^{29, 30}, Glastroch, Le verre et ses applications, Edition Glas Trösch Holding AG, Conseil, Bützberg, 2013.

^{31, 32} Glaverbel, Verre et isolation thermique, 2004

Espace x (mm)	4-x-4				4-x-4 HR ($\epsilon = 0,045$)			4-x-4-x-4
	air	argon	krypton	SF6	air	argon	krypton	air
6	3,3	3,0	2,7	3,0	2,5	2,0	1,4	2,3
9	3,0	2,8	2,6	3,1	2,0	1,6	1,0	2,0
12	2,9	2,7	2,6	3,1	1,7	1,3	1,0	1,9
15	2,7	2,6	2,5	3,1	1,5	1,1	1,0	1,8
20	2,8	2,6	2,6	3,1	1,4	1,2	1,1	1,7

Tableau 1: Valeurs du coefficient de transmission thermique pour différents espaces et différents types de vitrages.
Source : Glaverbel, Verre et isolation thermique 2004

2.2. Les différents types de vitrage

2.2.1. Double vitrage à verre claire

Le double vitrage ordinaire

C'est le type de vitrage isolant thermiquement le plus simple. Il s'agit de deux plaques de verres séparées par un espaceur de manière à délimiter un espace d'air sec immobile. La conductivité thermique de l'air valant $0,025 \text{ W}/(\text{m K})$ (à 10°C) pour $1 \text{ W}/(\text{m K})$ au verre, la couche d'air augmente le pouvoir isolant du vitrage et diminue sa valeur U.³³

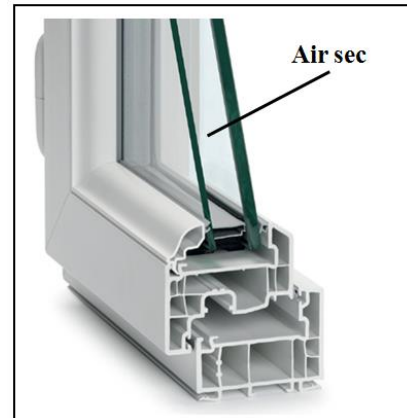


Figure 6: Un double vitrage ordinaire. Source : www.getalu.com

Le double vitrage avec gaz noble:

Ce type apporte une amélioration qui consiste à remplacer l'air ($l = 0,024 \text{ W}/(\text{m K})$, $r = 1,23 \text{ kg}/\text{m}^3$) par des gaz ayant une conductivité thermique plus faible afin de limiter la conduction ainsi qu'une masse volumique plus élevée afin de limiter la convection (mise en mouvement plus difficile).³⁴

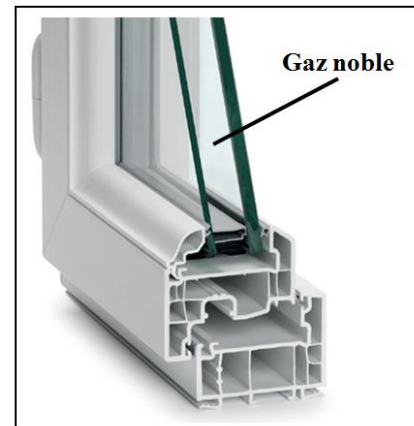


Figure 7: Un double vitrage avec gaz noble. Source : www.getalu.com

En pratique, on utilise régulièrement l'argon ($l = 0,017 \text{ W}/(\text{m K})$, $r = 1,70 \text{ kg}/\text{m}^3$) et parfois le krypton

³³, ³⁴ Glaverbel, Verre et isolation thermique 2004

($\lambda = 0,009 \text{ W}/(\text{m K})$, $\rho = 3,56 \text{ kg}/\text{m}^3$) ou le xénon ($\lambda = 0,05 \text{ W}/(\text{m K})$, $\rho = 5,69 \text{ kg}/\text{m}^3$) qui ont cependant actuellement le désavantage d'avoir un prix plus cher.³⁵

Le verre isolant est constitué de deux couches de verre, assemblées en usine, séparées par un espace intercalaire clos contenant l'air ou bien un autre type de gaz d'isolation. (Voir Figure 8 et 9)

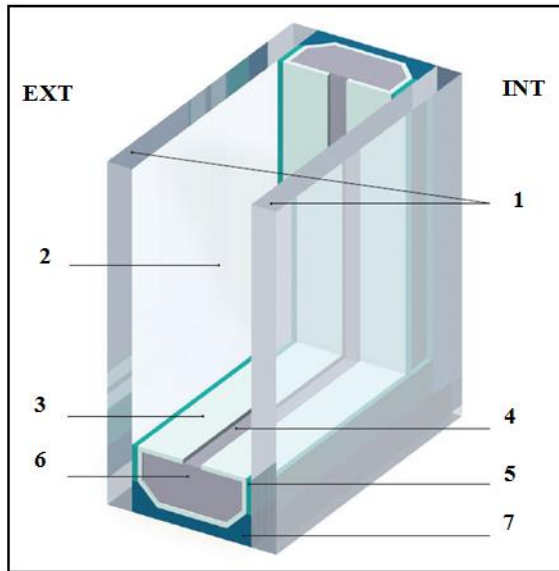


Figure 9: Les différents composants d'un système de verre isolant. (Vue axonométrique). Source : www.energieplus-lesite.be

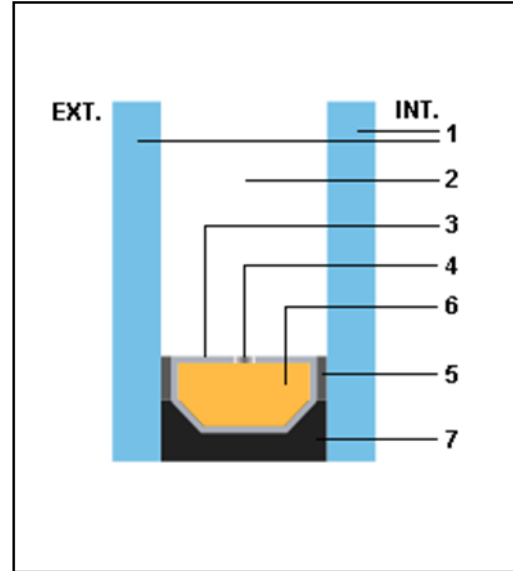


Figure 8: Les différents composants d'un système de verre isolant. (Vue en coupe). Source : www.energieplus-lesite.be

1. Feuilles de verre.
2. Air et/ou gaz déshydraté.
3. Espaceur fixant l'espace entre les feuilles de verre.
4. Ouverture pour l'absorption d'humidité.
5. Première barrière d'étanchéité en polyisobuthylène.
6. Dessicant.
7. Seconde barrière d'étanchéité en polyuréthane, silicone ou polysulfure.

- L'espace intercalaire est rempli de gaz d'isolation thermique ou d'air sec, et rendu étanche vis-à-vis de l'extérieur. Afin d'éviter la formation de condensation dans l'espace intercalaire sur la plaque de verre extérieure froide, le gaz ou l'air rempli doit être sec. Pour cela, il faut utiliser un produit dessicant qui est introduit dans l'intercalaire et qui extrait l'humidité de ce dernier.³⁶

³⁵, Glaverbel, Verre et isolation thermique 2004

³⁶ Glasrosch, Le verre et ses applications, Edition Glas Trösch Holding AG, Conseil, Bützberg, 2013.

- Le dessiccant intégré à l'intercalaire est destiné à rendre sec le gaz emprisonné et à absorber la l'humidité d'eau éventuelle. Le bon fonctionnement des barrières d'étanchéité et du dessiccant conditionne la durée de vie du vitrage.³⁷
- Entre outre tout cet assemblage périphérique doit garantir la liaison durable entre les plaques de verre et former une barrière étanche à la vapeur afin d'éviter toute condensation pendant de nombreuses années.
 - Il doit également résister de manière durable aux agressions chimiques provenant de l'atmosphère ainsi qu'à la lumière (particulièrement aux rayons ultraviolets).³⁸
- La composition des doubles vitrages est donnée par 3 valeurs (en mm):
 - Exemple : 4/12/4 : l'épaisseur de la feuille de verre extérieure / l'épaisseur de l'espaceur / l'épaisseur de la feuille de verre intérieure.³⁹
- En fonction de l'écartement entre les plaques, on obtient des différentes valeurs pour la résistance aux transmissions thermiques:⁴⁰
 - Pour l'air, la valeur maximale est atteinte avec un écartement d'environ 15 mm. Cette valeur diminue lorsque l'espace intercalaire est plus important.
 - Avec l'argon, la valeur optimale est atteinte avec un écartement de 16 mm et pour le krypton avec un écartement d'environ 10 mm.

Les espaceurs les plus couramment utilisés sont ceux de 12 et 15 mm.

2.2.2. Caractéristiques énergétiques

-Lorsqu'une paroi intercepte un rayonnement incident, une partie est réfléchiée vers l'extérieur, une partie est absorbée par le matériau de la paroi et une partie est transmise à l'intérieur. (Voir Figure 10)

-La transmission solaire du double vitrage est plus faible que celle du vitrage simple, puisque la chaleur qui traverse le vitrage est absorbée et réfléchiée par deux couches de verre et non une seule. Les deux schémas qui suivent montrent les coefficients de transmission thermique U et le facteur solaire FS d'un simple vitrage et d'un double vitrage.⁴¹

^{38, 39, 40, 41} Glastrosch, Le verre et ses applications, Edition Glas Trösch Holding AG, Conseil, Bützberg, 2013.

⁴¹ Glaverbel, Verre et isolation thermique 2004.

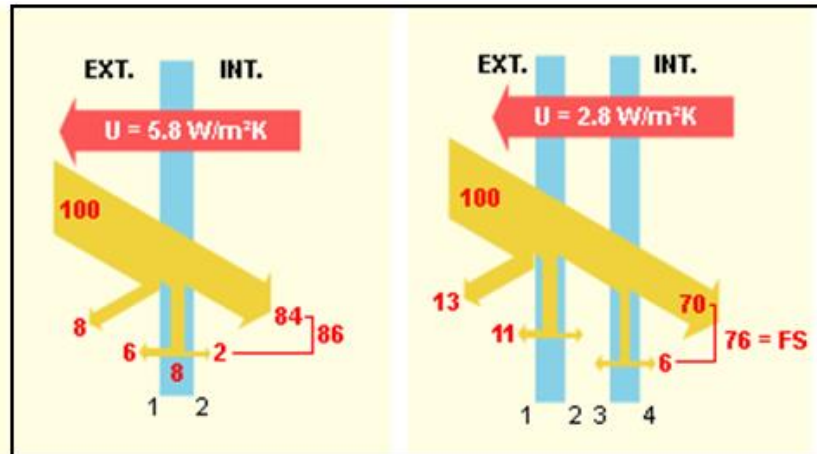


Figure 10: Simple vitrage et double vitrage.

Source : www.energieplus-lesite.be

2.3. Le double vitrage "à basse émissivité"

2.3.1. Le principe

Le développement des techniques de couches déposées sur les vitrages a permis d'apporter une évolution dans l'amélioration de la qualité d'isolation thermique des vitrages. La pose d'une couche métallique sur le vitrage permet d'obtenir des vitrages dits à basse émissivité (aussi appelé à haut rendement, super isolant ou à isolation renforcée).⁴²

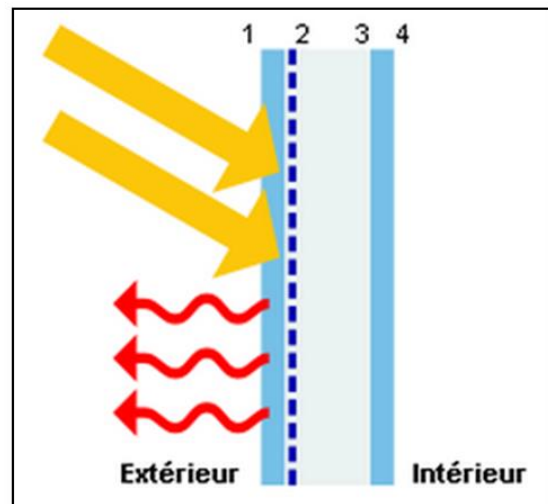


Figure 11: Vitrage à basse émissivité (cas d'été).

Source : www.energieplus-lesite.be

2.3.2. Emissivité

Cette couche métallique est une couche dite basse émissivité, généralement en argent, déposée sous vide et placée à l'intérieur du double vitrage vu sa fragilité, afin de bloquer une partie du transfert de chaleur par rayonnement, et ainsi diminuer le flux total de chaleur au travers de la fenêtre.⁴³

⁴², ⁴³.EnergiePlus, Les vitrages isolants thermiques, disponible sur: <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11673#c12163+c3060>

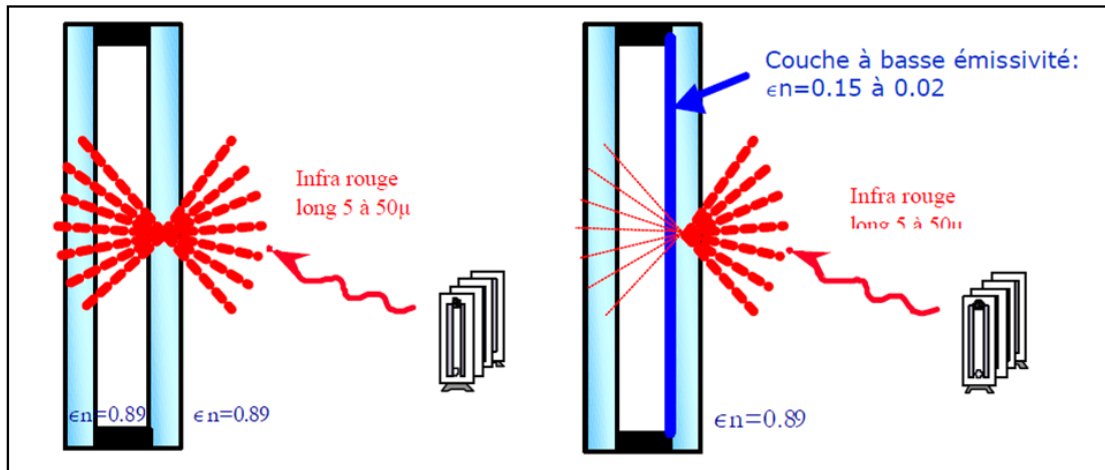


Figure 12: Double vitrage et double vitrage à basse émissivité (cas d'hiver)

Source : Glaverbel, Verre et isolation thermique 2004

La position de la couche basse émissivité

La position de la couche « basse émissivité » dans un double vitrage n'influe pas sur le facteur U. Donc, que ce soit cette couche placée en position 2 ou en position 3, cela n'affecte absolument rien sur les pertes de chaleur par transmission.⁴⁴

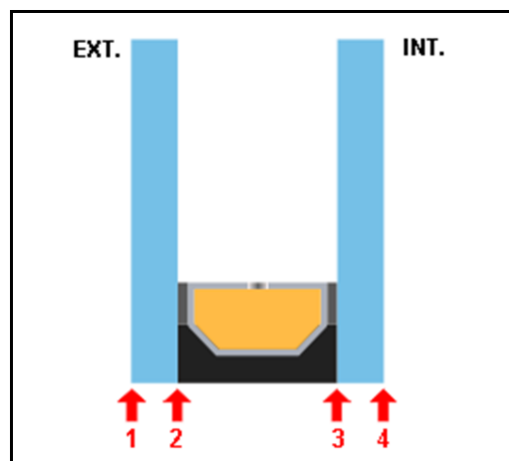


Figure 13: numérotation des faces des vitrages. Source : www.energieplus-lesite.be

Par contre, le facteur solaire FS du vitrage est influencé par la position de la couche « basse émissivité » vue sa capacité à inhiber les transferts d'infrarouges à grande

Numérotation des vitrages:

La face d'un vitrage isolant que ce soit un double ou un triple vitrage, est repérée par un numéro, nous commençons par le numéro 1 pour la face extérieure du vitrage extérieur vers la face intérieure du vitrage intérieur. Donc La face intérieure d'un double vitrage porte le numéro 4

^{44,45}, EnergiePlus, Les vitrages isolants thermiques, disponible sur:

<https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11673#c12163>

longueur d'onde, et à absorber une quantité de l'énergie solaire incidente. Cette énergie absorbée est transformée en chaleur qui chauffe le vitrage. ⁴⁵

Donc si nous voulons diminuer la chaleur incidente (diminuer le FS), nous devons placer la couche basse émissivité dans la position 2, la chaleur absorbée par le vitrage est réémise directement vers l'extérieur.

2.3.3. Le triple vitrage

L'isolation du triple vitrage est augmentée par la présence de la lame d'air, par la fabrication des triples vitrages, c'est-à-dire des vitrages formés de trois plaques de verre séparant deux espaces d'air.

Cette solution n'est plus souvent utilisée à cause des désavantages qu'elle présente, tel que le poids et l'épaisseur importants, la mauvaise adaptation aux menuiseries classiques. En plus de cela d'autres techniques plus performantes ont été développées (Celle de gaz noble et à haut rendement). ⁴⁶



Figure 14: Un triple vitrage.
Source : www.ma-fenetre.net

⁴⁶ Glaverbel, Verre et isolation thermique 2004.

3. Les protections solaires

Les dispositifs de protection solaire de la baie regroupent un grand nombre de produits. Ce sont des produits installés à l'intérieur ou à l'extérieur destinés essentiellement à protéger une ouverture (par exemple: fenêtre, porte) contre les rayons du soleil.⁴⁷

Une protection solaire peut avoir des plusieurs fonctions, selon le type de produit et les conditions d'installation. Elle contribue au confort thermique comme au confort lumineux, mais peut également avoir un rôle décoratif.⁴⁸

3.1. Les objectifs d'une protection solaire

Limiter les surchauffes⁴⁹

En période d'été la quantité d'énergie solaire transmise au travers de vitrages peut entraîner par effet de serre, une chaleur insupportable sur la température ambiante de l'air, cette chaleur peut être une source d'inconfort pour les occupants. Les protections solaires réduisent le flux solaire reçu par les occupants.

De plus, ce n'est pas seulement la température ambiante supportable qui peut définir la notion du confort ici, le rayonnement de la chaleur du vitrage et le rayonnement du soleil sur une partie du corps présente un gêne pour les usagers de l'espace.

Limiter l'éblouissement⁵⁰

Les rayons de soleil trop élevée sur une paroi peuvent influencer directement sur le confort visuel qui joue un rôle très important sur la productivité des usagers d'un espace, et surtout pour certaines tâches.

Ce phénomène n'influe pas uniquement sur les fenêtres orientées au sud durant la saison d'été. Ce problème d'éblouissement est très important aussi lorsque le soleil est bas sur l'horizon : pour les fenêtres orientées à l'est le matin, ou bien celle qui sont orienté à l'ouest le soir. Et même au nord, où la vision directe d'un ciel trop lumineux peut nécessiter aussi une protection pour lutter contre ce phénomène ainsi que pour maîtriser l'apport lumineux.

^{47, 48} De La Protection Solaire Et Des Professions Associées Syndicat National De La Fermeture, Guide de la fermeture et de la protection solaire, guide technique, Edition Metal services, société d'éditions du bâtiment et des travaux publics, 2012.

^{49, 50} Guide de la fermeture et de la protection solaire, guide technique 2010, collection de recherche développement métier.

Les objectifs secondaires ⁵¹

- **Assurer l'intimité des occupants**

Tout dépend des espaces vides laissés par les protections, Les protections intérieures ou extérieures parallèles au vitrage permettent de préserver l'intimité des occupants d'un certain espace.

- **Décorer la fenêtre**

Plusieurs protections solaires ont un aspect décoratif plutôt qu'énergétique, où la volonté principale ici est d'occulter l'espace pour préserver l'intimité des occupants.

- **Augmenter le pouvoir isolant de la fenêtre**

En hiver, conserver la température de l'air ambiant dans une pièce est très important, ceci se fait essentiellement par la réduction des déperditions thermiques et de l'effet de « paroi froide » au niveau des vitrages. A cet effet, l'utilisation de protections solaires garantit de façon plus ou moins le confort d'hiver.

3.2. Les différents types des protections solaires ⁵²

Les différents types suivants présentent l'ensemble des dispositifs de protections solaires et de fermetures et sont couverts par des normes françaises.

- **Les protections extérieures**

- Les brise-soleil
- Les stores vénitiens à lamelles
- Les stores en toiles enroulables (screen)
- Les éléments architecturaux, les auvents, les stores ou volets projetés à l'italienne

- **Les protections intérieures**

- Les stores enroulables et les stores plissés
- Les stores à lamelles et les stores vénitiens
- Les films adhésifs

- **Les protections intégrées aux vitrages doubles**

- Les stores enroulables réfléchissants

5

¹, Guide de la fermeture et de la protection solaire, guide technique 2010, collection de recherche développement métier.

⁵² Energieplus, Les protections solaires, disponible sur: <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=9646>

- Les stores vénitiens
- **Cas particulier : La protection des fenêtres en toiture**
 - Les brise-soleils en aluminium, fixes ou orientables
 - Les stores enroulables extérieurs
 - Les stores plissés, enroulables ou vénitiens intérieurs, coulissant sur des guides
 - Les films adhésifs

Dans notre recherche, on s'intéresse aux brises soleil qui sont considérées comme protection extérieur.

3.2.1. Les brise-soleils

3.2.1.1. Définition

Un brise-soleil est un dispositif qui a pour but de bloquer une partie des rayons du soleil non voulue dans une période chaude, pour une ouverture donnée. L'objectif d'un brise soleil n'est pas pour empêcher le rayonnement diffus nécessaire pour l'éclairage naturel. Généralement, un brise soleil est composé de lames en aluminium disposées sur un châssis. La position des lames peut être :

- Horizontale, perpendiculaire au plan de la fenêtre, pour les fenêtres orientées au sud.
- Verticale, perpendiculaire au plan de la fenêtre pour les fenêtres orientées à l'est ou à l'ouest.
- Parallèle au plan de la fenêtre, soit directement devant la fenêtre (on parle de claustra dans ce cas), soit écartée de la fenêtre. ⁵³

3.2.1.2. Dimensionnement des brises soleil

Le calcul des masques se fait à l'aide d'un diagramme (figure 13), qu'est considéré comme un indicateur d'occultation. Ce diagramme est universel et indépendant des dimensions ainsi que de l'orientation des ouvertures. ⁵⁴

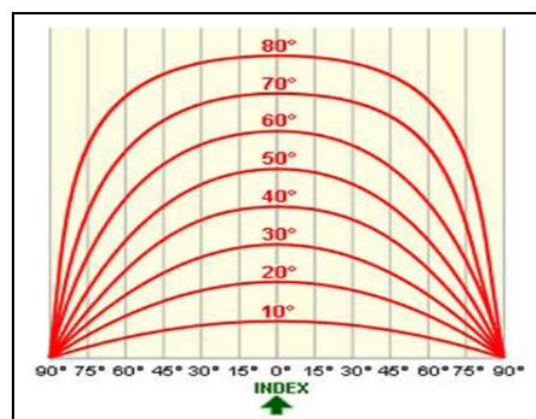


Figure 15: diagramme indicateur d'occultation.

Source : www.energieplus-lesite.be

^{53, 54} EnergiePlus, Les protections extérieures, disponible sur <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10401>

3.2.1.3. Brise-soleil horizontal⁵⁵

Pour dimensionner le l'occultation d'une fenêtre avec un brise soleil horizontal, il faut commencer par déterminer les angles a, b et c, (Voir Figure) par la suite il faut repérer les trois lignes qui correspondent aux trois angles sur le diagramme indicateur d'occultation.

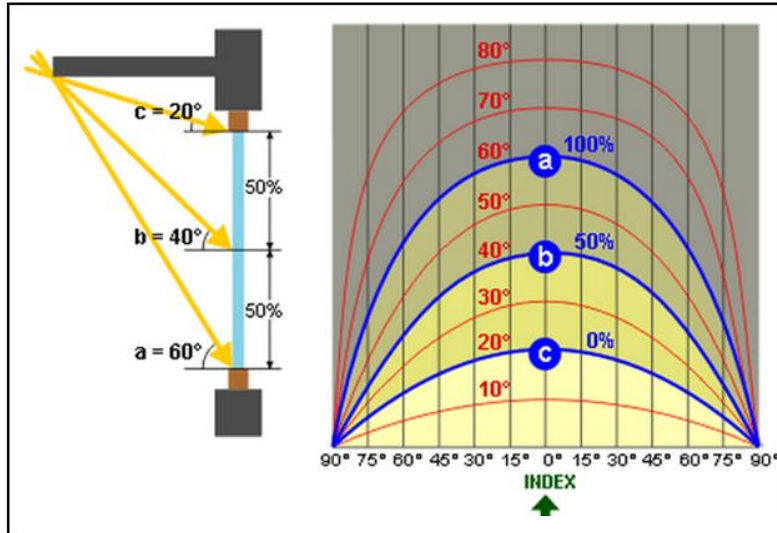


Figure 16: Relation entre la hauteur et l'ombre. Source : www.energieplus-lesite.be

- L'angle « a » correspond à l'occultation complète de la baie.
- L'angle « b » correspond à une occultation de 40 %
- L'angle « c » correspond à une occultation de 20 %

3.2.1.4. Brise-soleil vertical⁵⁶

Nous pouvons distinguer deux types fondamentaux de pare-soleil vertical :

- Les brises soleil perpendiculaires à la façade
- Les brises soleil obliques à la façade

Pour dimensionner le l'occultation d'une fenêtre avec un brise soleil vertical, il faut commencer par déterminer les angles « a » et « b », « c » et « d », « e » et « f » (Voir Figure17), par la suite il faut repérer les trois lignes qui correspondent à ces angles sur le diagramme indicateur d'occultation:

- Les angles « a » et « b » correspondent à l'occultation complète de la baie.
- Les angles « c » et « d » correspondent à une occultation de 50 % de la baie.
- Les angles « e » et « f » correspondent à une occultation de 20 % de la baie.

^{55, 56} EnergiePlus, Les protections extérieures, disponible sur: <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10401>

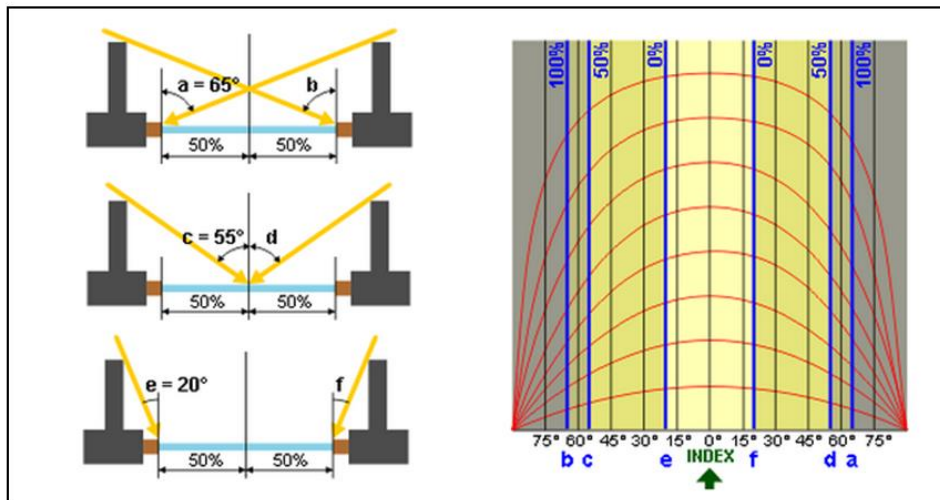


Figure 17: Relation entre l'azimute en $^\circ$ et l'ombre en %. (Pour les brise soleil perpendiculaires à la façade). Source : www.energieplus-lesite.be

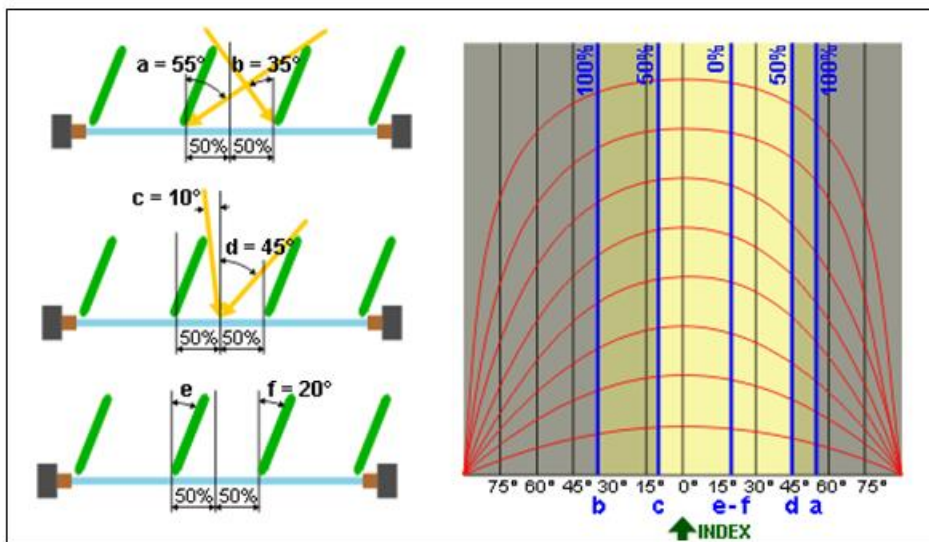


Figure 18: Relation entre l'azimute en $^\circ$ et l'ombre en %. (Pour les brise soleil perpendiculaires à la façade). Source : www.energieplus-lesite.be

3.2.2. Le vitrage réfléchissant

Le verre est un matériau perméable au rayonnement solaire à ondes courtes, mais imperméable au rayonnement thermique à ondes longues. Les espaces se réchauffent parce qu'une grande quantité du rayonnement de soleil qui pénètre dans les locaux, est absorbée par les surfaces éclairées, et transformée en chaleur et réémise sous forme de rayonnement thermique à ondes longues, et c'est ce qui produit l'effet de serre. Les vitrages réfléchissants qui sont dotés d'une couche à base d'oxydes métalliques empêchent cette énergie de pénétrer dans les locaux.⁵⁷

3.2.2.1. Mise en œuvre d'un vitrage réfléchissant

La réflexion d'un vitrage est obtenue par la mise d'une couche ou de plusieurs, à base d'oxydes métalliques sur le vitrage, généralement sur une seule face du verre, qui est celle de à l'intérieur.

Les couches des vitrages réfléchissants sont de plusieurs types:

- Des couches pyrolithiques à base d'oxydes métalliques.
- Des couches sous vide à base d'oxydes métalliques ou de métaux. Ce type de couches est fragile, elles sont obligées à être placées à l'intérieur du double vitrage en position 2.
- Des films adhésifs réfléchissants, ils sont placés d'une manière que leurs décollement est très difficile, généralement à l'intérieur, et souvent utilisés lors d'une rénovation thermique d'un bâtiment existant.⁵⁸

3.2.2.2. Facteurs énergétiques et lumineux

Les vitrages réfléchissants se caractérisent par un facteur solaire FS qui varie entre 0.10 à 0.63 contre 0.78 à 0.81 pour un verre ordinaire, ainsi que par un facteur de transmission lumineuse TL compris entre 0.07 et 0.66 contre 0.65 et 0.76 pour un verre clair. Cette différence est due à la présence des couches sélectives en métaux nobles qui ont pour objectif de:

- Empêcher la pénétration de chaleur du rayonnement solaire infrarouge et ultraviolet qui représentant respectivement 43 % et 3 % de l'énergie solaire pénétrée dans les locaux.
- Réfléter le rayonnement visible du spectre solaire, entraînant une transmission lumineuse plus faible que celle des vitrages clairs.

⁵⁷ ACHILLES Andreas, NAVRATIL Diane, Construire en verre, Eddition Birkhäuser, 2008.

⁵⁸, ⁵⁹ Le verre réfléchissant, disponible sur:

<https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10394&L=0#c598>

- Garder le même coefficient de transmission thermique U, qui est le même, pour un vitrage réfléchissant, ou bien pour le vitrage classique.⁵⁹

L'efficacité sélective des vitrages réfléchissants permettent de laisser passer une grande partie de la lumière tout en stoppant majorité du rayonnement infrarouge, par rapport aux vitrages ordinaires.⁶⁰

4. Conclusion

Dans cette partie, nous avons effectué en premier lieu une recherche sur la réhabilitation thermique. Nous pouvons dire que l'opération de réhabilitation thermique d'un bâtiment existant consiste à améliorer son confort thermique en agissant sur son enveloppe qui considéré comme un échangeur thermique entre l'extérieur et l'intérieur.

En deuxième lieu , nous avons abordé les fenêtres dans la réhabilitation thermique, elles sont considérées comme des éléments très importants dans un bâtiment, le vitrage simple d'une fenêtre présente le point faible de l'enveloppe d'un bâtiment, où durant la période de froid le vitrage le verre perd la chaleur par transmission vers l'extérieur qu'es plus froid, alors que durant la période de chauffe, le verre gagne la chaleur pendant les heures d'ensoleillement, c'est pour cela qu'on doit diminuer les déperdition thermique par l'isolation des vitrages , ainsi que limiter les apports du rayonnement solaire par la protection solaire.

L'isolation thermique des vitrages se fait par le changement des vitrages ordinaires par des vitrages isolants, généralement le principe du vitrage isolant est basé sur le fait que l'air immobile est un très mauvais conducteur qui représente une bonne couche d'isolation thermique.

La protection solaire se fait par l'usage des différents dispositifs de protection. Ces derniers regroupent un grand nombre de produits installés à l'intérieur ou à l'extérieur qui ont pour rôle principale de protéger une fenêtre contre le rayonnement solaire.

⁶⁰ Energieplus, Le verre réfléchissant, disponible sur:
<https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10394&L=0#c598>

Chapitre 3: Présentation du cas d'étude Les ateliers de l'extension l'EPAU

1. Introduction

Nous présentons dans cette partie de travail l'EPAU avec un bref historique. Par la suite nous faisons une étude détaillée sur la partie dite l'extension là où nous avons effectué notre étude. Dans cette partie nous présentons le bloc de l'extension avec son organisation spatiale, ses caractéristiques constructives (dont le système de vitrages utilisé) et les différents équipements de climatisation et de chauffage. L'objectif principal est de faire une proposition d'un système de vitrage isolants et de brise soleil afin de limiter les déperditions de chaleur en hiver et limiter les apports calorifique en été, pour cela nous procédons la vérification de la conformité thermique par rapport à la réglementation thermique algérienne par l'utilisation de l'outil RETA dans les ateliers de l'extension à l'état actuelle et puis la vérification à la conformité thermique dans le modèle réhabilité. Par la suite nous effectuons une simulation thermique afin d'analyser précisément et en détails les déperditions thermiques et les gains calorifiques dans l'état simple et le modèle réhabilité.

2. Historique et présentation de l'EPAU

L'école polytechnique d'architecture et d'Urbanisme est une infrastructure universitaire qui se trouve au quartier de Baulieu à la commune d'El Harrach, wilaya d'Alger.

L'école fait partie d'un campus universitaire qui regroupe trois autres écoles et une cité universitaire. L'EPAU a été réalisée en 1970, elle a été conçue initialement par l'architecte brésilien Oscar Niemeyer qu'est connu par son utilisation du béton armé.

La réalisation de l'EPAU se caractérisait par trois parties essentielles:

2.1. La première partie

Cette partie est conçue initialement par l'architecte brésilien Oscar Nimeyer en 1986, elle est construite en 1970, elle comprend plusieurs espaces:

- Deux amphithéâtres de forme circulaire
- Des salles d'ateliers

- Une administration
- Des salles de cours

2.2. La deuxième partie (dite l'extension)

Cette partie est conçue par l'architecte Jean Jacques Deluz en 1978, elle est constituée de:

- Les salles d'ateliers pour les deuxièmes années classes préparatoires (l'ancienne administration)
- La bibliothèque
- Les salles d'ateliers et les salles de cours
- Le centre de recherche en architecture et urbanisme (CRAU)

2.3. La troisième partie

Cette partie est conçue par le bureau d'étude, de réalisation et d'engineering (BEREG) en 1999, elle comprend:

- Le nouveau bloc qui abrite l'administration
- Le laboratoire Architecture et Environnement

La partie qui nous intéresse dans ce travail de recherche est celle de l'extension comme nous l'avons déjà indiqué, et précisément dans le bloc en L qui regroupe les ateliers et les salles de cours.

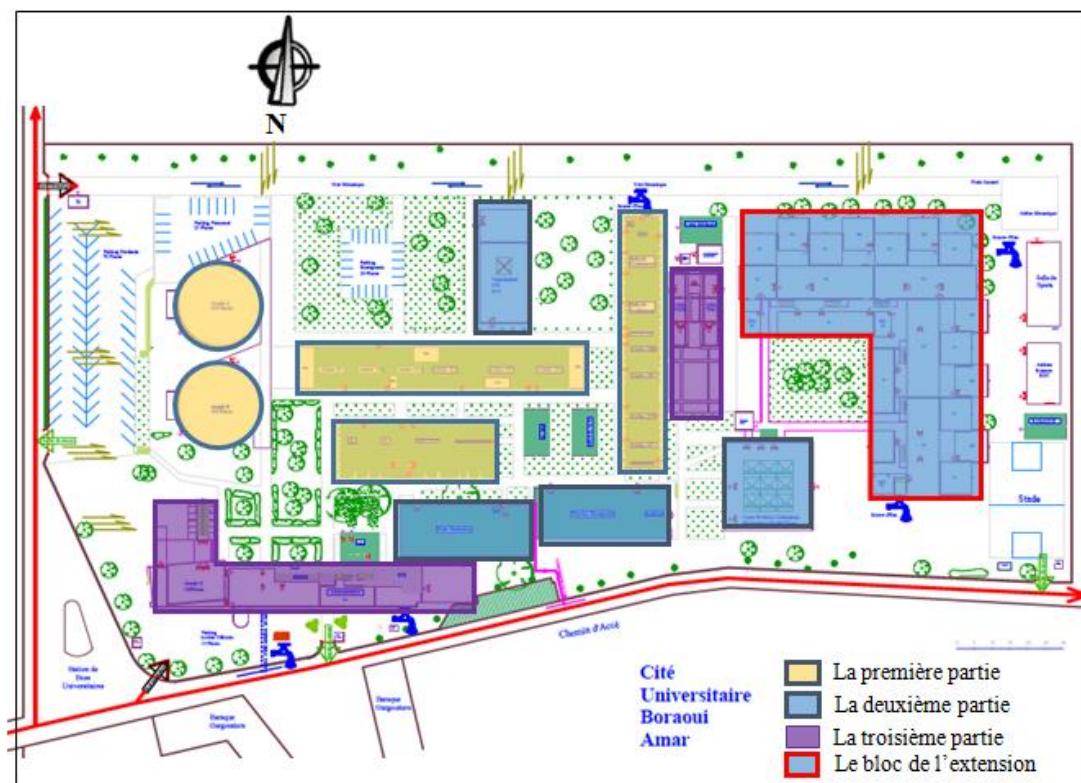


Figure 19: Plan de masse de l'EPAU. Source: service technique de l'EPAU

3. Présentation du bloc de l'extension

3.1. Organisation spatiale

Le bâtiment de l'extension est un bloc en forme de «L» formant un espace vert de forme carré (Voir Figure), ce bloc est constitué de trois niveaux caractérisés par un assemblage de cubes avec une organisation linéaire sur les côtés Nord et Est, ils présentent des salles d'ateliers et des salles de cours sur les trois niveaux où le RDC et le 1^{er} étage se répètent. Ils comprennent des salles d'ateliers orientées parfois vers le nord et l'est, et parfois vers le sud et le ouest là où il y a l'espace vert en forme de carré avec aussi quelques ateliers qui donnent sur les patios. L'ensemble des ateliers est relié par une circulation horizontale. Au troisième étage, nous trouvons deux ailes formant un « L » chaque aile regroupe trois ateliers organisés linéairement et séparés par des murs et connectés par des portes.



Figure 22: Maquette de l'EPAU



Figure 21 : Le bloc de l'extension. Vue 1.
Source : Auteur



Figure 20 : Le bloc de l'extension. Vue 1.
Source : Auteur



Figure 24 : Plan RDC de l'extension. Source : service technique de l'EPAU

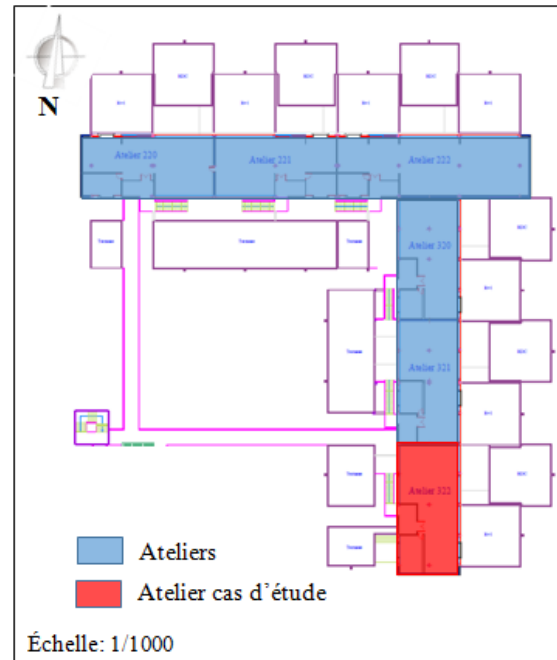


Figure 23 : Plan 1^{er} étage de l'extension. Source : service technique de l'EPAU

3.2. Caractéristiques des ateliers

On peut présenter les caractéristiques des salles d'ateliers comme suit :

Forme et surface

- Les salles d'atelier se caractérisent par une forme rectangulaire (Voir Figures 21 et 22), la surface de chaque salle d'atelier est d'environ 190 m².

Structure

- La structure porteuse est faite en poteau poutre en béton armé
- Les planchers sont à caisson en béton armé

Parois

- Les parois verticales opaques sont réalisées en béton armé d'une épaisseur de 15cm.
- Les parois sont laissées sans aucun revêtement ni à l'intérieur ni à l'extérieur des salles d'ateliers.
- Dans les parois qui composent l'enveloppe d'une salle d'atelier on trouve des parois totalement opaques et autres parois composés par des grandes vitres coulissantes.

Caractéristiques thermiques

- L'absence des isolants thermiques.
- Les vitrages utilisés ne sont pas isolants.

Les fenêtres

- Les baies vitrées utilisées sont en aluminium, avec des vitrages réfléchissants. (Voir Figure 25 et 26)
- La surface des vitrages dans un atelier est d'environ 55 m², elle présente 27 % de la surface totale de l'enveloppe.
- Les brises soleil en amiante qui étaient utilisés auparavant ont été tous enlevés sauf au RDC dans des parties où il y a les loges des ateliers orientées Est. (Voir Figure 27 et 28)



Figure 26 : Vitrages réfléchissants utilisés actuellement au niveau des ateliers (de l'intérieur) . Source Auteur



Figure 25: Vitrages réfléchissants utilisés actuellement au niveau des ateliers (de l'extérieur). Source Auteur



Figure 28 Modèle de l'ancienne brise soleil utilisés au niveau des ateliers (de l'intérieur). Source Auteur



Figure 27: Modèle de l'ancien brise soleil utilisé au niveau des ateliers (de l'extérieur) . Source Auteur

3. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié le bloc de l'extension suivant son organisation spatiale, ses matériaux de construction, l'orientation de ses espaces...etc. Pour conclure nous essayons de faire sortir les potentialités et les problèmes que le bloc de l'extension présente par rapport aux fenêtres:

Nous remarquons que le bloc présente plusieurs caractéristiques :

- L'éclairage naturel est assuré par les grandes baies vitrées, qui assurent aussi la ventilation naturelle.
- L'installation des vitrages réfléchissants au niveau des baies vitrées assurent une certaine protection contre le rayonnement solaire.
- La présence des anciens brise soleil verticaux dans les loges de quelques ateliers du RDC qui sont orientés vers l'est rappellent le choix de l'architecte pour une protection solaire avec des brises soleil.
- Par contre, nous remarquons que les fenêtres du bloc ne disposent d'aucune solution pour assurer un environnement intérieur confortable sauf dans deux étiers au RDC qui ont été réhabilités par du vitrage isolant. Généralement les fenêtres présentent le point le plus faible dans le bâtiment en termes de pouvoir isolant. Et ce surtout avec des grandes surfaces tel que le cas dans les salles d'ateliers de l'extension.
- Concernant le confort thermique le recours pour la climatisation ainsi que le chauffage sont une preuve que les ateliers souffrent d'un inconfort thermique.

Nous allons vérifier la conformité à la réglementation thermique des ateliers et proposer une réhabilitation des fenêtres.

Chapitre 4 : Simulation thermique statique (STS) du cas d'étude à l'état simple à l'aide de l'outil RETA

1. Choix de l'atelier

Après avoir choisi notre cas d'étude pour effectuer l'évaluation, nous introduisons les données de cette salle à l'état actuel et nous faisons une simulation thermique et énergétique avec des vitrages ordinaires et sans protection solaire.

Pour effectuer notre recherche, nous avons choisi la salle d'atelier N°322. Elle est située au dernier étage, au Sud de l'aile de l'extension avec des baies vitrées orientées Est/Oest. Nous considérons qu'elle représente un cas défavorable vue le nombre de parois en contact avec l'extérieur.

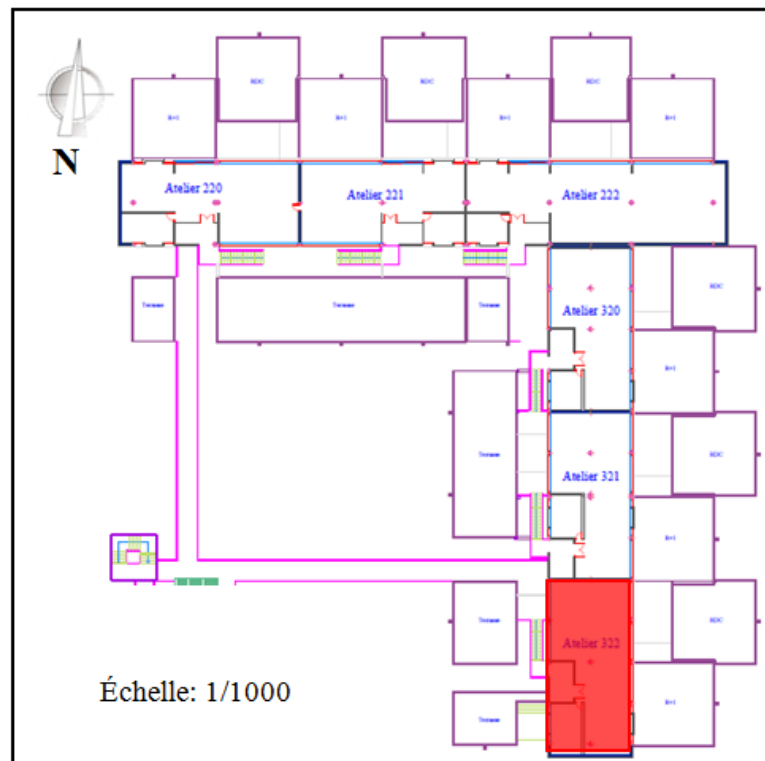


Figure 29: Plan de l'atelier 322



Figure 31: Vue 1 à l'intérieur de l'atelier 322.
Source Auteur.



Figure 30 : Vue 2 à l'intérieur de l'atelier 322.
Source Auteur.

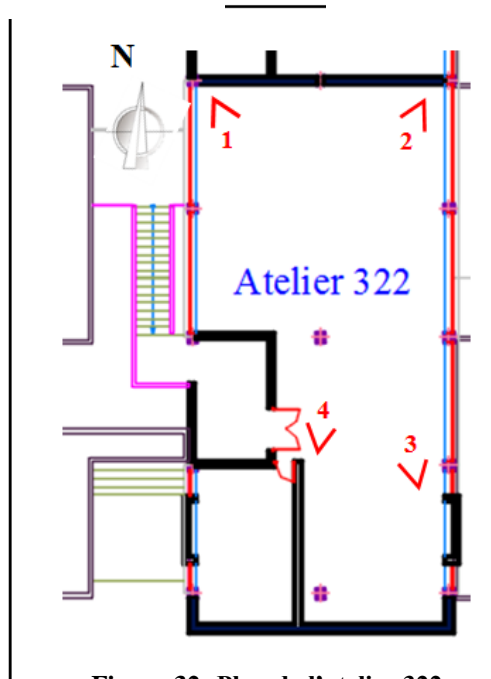


Figure 32: Plan de l'atelier 322



Figure 34 : Vue 3 à l'intérieur de l'atelier 322.
Source Auteur.



Figure 33 : Vue 4 à l'intérieur de l'atelier 322.
Source Auteur.

2. Démarche de la STS de la salle d'atelier 322 avec RETA

Pour la simulation thermique, nous avons suivi les étapes suivantes :

1. Création d'un nouveau projet
2. Identification du modèle des parois
3. Identification de l'enveloppe

2.1. Input du projet

Nouveau projet : Cas d'étude, l'extension de l'EPAU

Description

Le projet est composé de la salle d'atelier située au deuxième étage. Elle présente un volume thermique constitué principalement d'une toiture terrasse en caisson, d'un plancher bas en caisson, et de quatre surfaces planes verticales dont trois sont en contact avec l'extérieur dont chacune est constituée de plusieurs parois différentes.

Introduire les différentes données techniques: comme suit:

- Le titre du projet: Cas d'étude: Atelier 322
- L'altitude: 0
- La latitude: 36.72
- Le Site d'implantation: Zone urbaine;
- La wilaya: 16 - Alger

The screenshot shows the 'Nouveau projet' window with the following data entered:

- Titre du projet: Cas d'étude: L'extension de l'EPAU
- Altitude (m): 0
- Latitude en °: 36.72028
- Site d'implantation: Zones urbaines ; zones indu
- Classe de rugosité: Classe IV
- Coef. de limpidité de l'atmosphère: 0,870
- Wilaya: 16 - Alger
- Zones Climatiques: Eté : A, Hiver : A
- Groupes de communes: Toutes les communes

Figure 35: fenêtre des données du projet

2.2. Input des différents modèles de parois

Nous avons d'abord introduit les modèles de parois avec composition et matériaux pour qu'on puisse les utiliser directement dans l'enveloppe du projet par la suite nous introduit les couches des matériaux qui composent les parois par famille puis par sous famille comme il est indiqué dans la figure suivante:

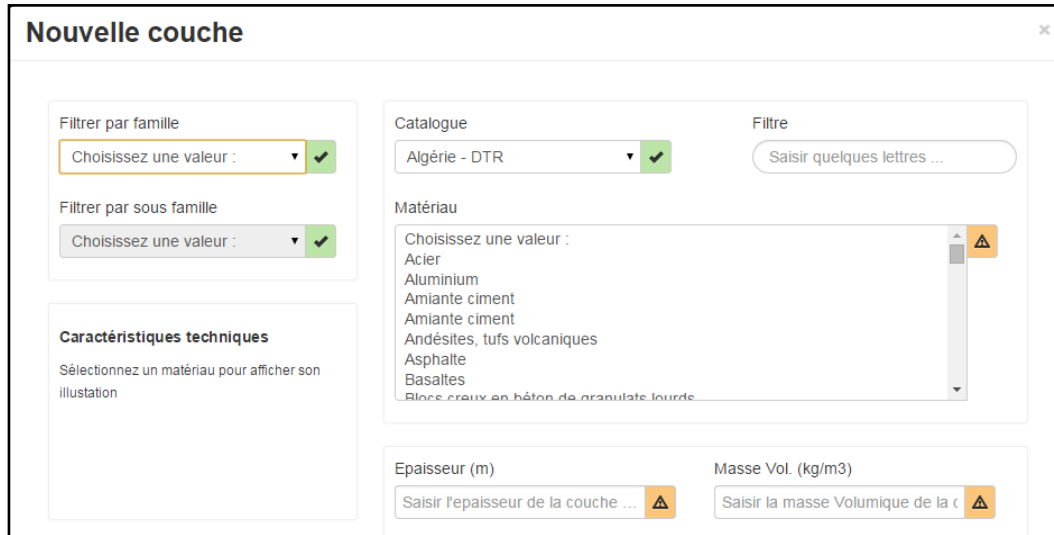


Figure 36: fenêtre des modèles de parois

Les modèles suivants expliquent les différentes couches qui composent les parois de notre cas d'étude.

Le plancher: est constitué des différentes couches suivantes:

- Carreaux de granito
- Sable sec
- Mortier de ciment
- Béton plein

Matériau de l'extérieur vers l'intérieur	Ep. e	Rés. r	M. Sur. P	Cond. λ
0 - Carreaux de mosaïque de marbre dit « granito »	0,020 m	0,0095 (m ² . °C)/W	44,0000	2,1000 W/m.°C
2 - Sable sec	0,020 m	0,0333 (m ² . °C)/W	26,0000	0,6000 W/m.°C
3 - Béton plein	0,200 m	0,1143 (m ² . °C)/W	700,0000	1,7500 W/m.°C
3 - Mortier de ciment	0,020 m	0,0143 (m ² . °C)/W	44,0000	1,4000 W/m.°C
Total	0,2600 m	0,1714 (m ² . °C)/W	814,0000	

Figure 37: composition des planchers

Les murs de séparation : sont en béton plein de 0,24 d'épaisseur.


Composition					Ajouter une couche
Matériau de l'extérieur vers l'intérieur	Ep. e	Rés. r	M. Sur. P	Cond. λ	
0 - Béton plein	0,240 m	0,1371 (m ² . °C)/W	528,0000	1,7500 W/m.°C	 ▼
Total	0,2400 m	0,1371 (m ² . °C)/W	528,0000		

Figure 38: Composition des murs de séparation

Les poutres: sont en béton plein de 0.35 d'épaisseur.


Composition					Ajouter une couche
Matériau de l'extérieur vers l'intérieur	Ep. e	Rés. r	M. Sur. P	Cond. λ	
0 - Béton plein	0,350 m	0,2000 (m ² . °C)/W	1 225,0000	1,7500 W/m.°C	 ▼
Total	0,3500 m	0,2000 (m ² . °C)/W	1 225,0000		

Figure 39: Composition des poutres

Les poteaux: sont en béton plein de 0,3 m d'épaisseur.


Composition					Ajouter une couche
Matériau de l'extérieur vers l'intérieur	Ep. e	Rés. r	M. Sur. P	Cond. λ	
0 - Béton plein	0,300 m	0,1714 (m ² . °C)/W	660,0000	1,7500 W/m.°C	 ▼
Total	0,3000 m	0,1714 (m ² . °C)/W	660,0000		

Figure 40: Composition des poteaux

Les murs du sas d'entrée en brique: sont de 0,13 d'épaisseur

Composition Ajouter une couche				
Matériau de l'extérieur vers l'intérieur	Ep. e	Rés. r	M. Sur. P	Cond. λ
0 - Brique creuse	0,130 m	0,2708 (m ² . °C)/W	117,0000	0,4800 W/m.°C
Total	0,1300 m	0,2708 (m ² . °C)/W	117,0000	

Figure 41: composition des murs en brique

f. Mur de l'extérieur : sont en béton plein de 0,1 m d'épaisseur.

Composition Ajouter une couche				
Matériau de l'extérieur vers l'intérieur	Ep. e	Rés. r	M. Sur. P	Cond. λ
0 - Béton plein	0,100 m	0,0571 (m ² . °C)/W	350,0000	1,7500 W/m.°C
Total	0,1000 m	0,0571 (m ² . °C)/W	350,0000	

Figure 42: composition des murs de l'extérieur

g. La toiture: est constitué des différentes couches suivantes:

- Béton plein
- Sable et gravillons

Composition Ajouter une couche				
Matériau de l'extérieur vers l'intérieur	Ep. e	Rés. r	M. Sur. P	Cond. λ
0 - Béton plein	0,200 m	0,1143 (m ² . °C)/W	440,0000	1,7500 W/m.°C
1 - Sable + gravillons	0,040 m	0,0333 (m ² . °C)/W	72,0000	1,2000 W/m.°C
Total	0,2400 m	0,1476 (m ² . °C)/W	512,0000	

Figure 43: composition de la toiture

2.3. Input de chauffage, climatisation et renouvellement d'air de l'enveloppe

2.3.1. Chauffage de l'enveloppe

Nous avons Introduit le type de chauffage utilisé pour pouvoir déterminer le coefficient de surpuissance (Cin) et le coefficient des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel, pour cela nous avons choisi un chauffage discontinu et individuel.



Figure 44: Fenêtre des données de chauffage

2.3.2. Climatisation de l'enveloppe

Nous avons introduit les différentes données qui concernent la climatisation comme suit:

- Le nombre d'occupant de l'atelier: 22 occupants
- La puissance de l'éclairage: 0,0 vue que nous avons considéré que les heures de travail sont pendant le jour.
- Les autres puissances Dégagées:0,0



Figure 45: Fenêtre des données de climatisation

2.3.3. Renouvellement d'air

Nous avons introduit Introduire les différentes données qui concernent le renouvellement d'air comme suit:

- L'usage de la pièce principale: Salle d'étude

- Le type de la pièce principale: Ateliers
- Le multiplicateur (exprimé en occupants): 22

Pièce / local	Multiplicateur	QVEmin
Ateliers (Classes, salles d'études, laboratoires / Avec interdiction de Fumer)	22 x Occupants	396,0000

Figure 46: fenêtre des données du renouvellement d'air

2.4. Input de l'enveloppe

Nous avons introduit les données générales de l'enveloppe comme suit:

- Nom de l'enveloppe: Atelier 322 avant la réhabilitation
- Surfaces des planchers intermédiaires:
- Volume: 662.88 m³

Nous introduisons aussi les données de calcul d'hiver comme:

- Le type de l'enveloppe: immeuble collectif

Finalement, nous introduisons les données de calcul d'été comme suit:

- L'usage de l'enveloppe: Enseignement
- Le temps de fonctionnement de la climatisation: 12 Heures
- Les conditions internes: Confort amélioré (24 °)

Nouvelle enveloppe

Général

Nom de l'enveloppe: Atelier 322 ✓

Surface des planchers intermédiaires (m2): 192.14 ✓

Volume brut (m3): 662.88 ✓

Volume d'air net (m3): 530.304 ✓

Calcul Hiver

Type de l'enveloppe: Immeuble collectif ✓

Calcul été

Usage de l'enveloppe: Enseignement ✓

Temps de fonctionnement (climatisation): 12 Heures ✓

Conditions internes: Confort Amélioré (24°) ✓

Gains latents importants

Figure 47: Introduction des données de l'enveloppe

2.4.1. Les parois de l'enveloppe avec leurs données

Les différentes données à introduire sont indiquées dans le tableau suivant comme suit:

- Le nom de la paroi
- La surface
- L'inclinaison (toiture, plancher ou verticale)
- L'orientation
- Le type (opaque, vitrée ou porte)
- Le contact de la paroi (extérieur, local non chauffé, local non climatisé... etc.)

Figure 48: Introduction des données des parois

Nous introduisons dans le sens des aiguilles d'une montre les données des quatre parois principales de l'atelier, ensuite nous introduisons les trois parois du sas d'entrée. (Voir figure 49)

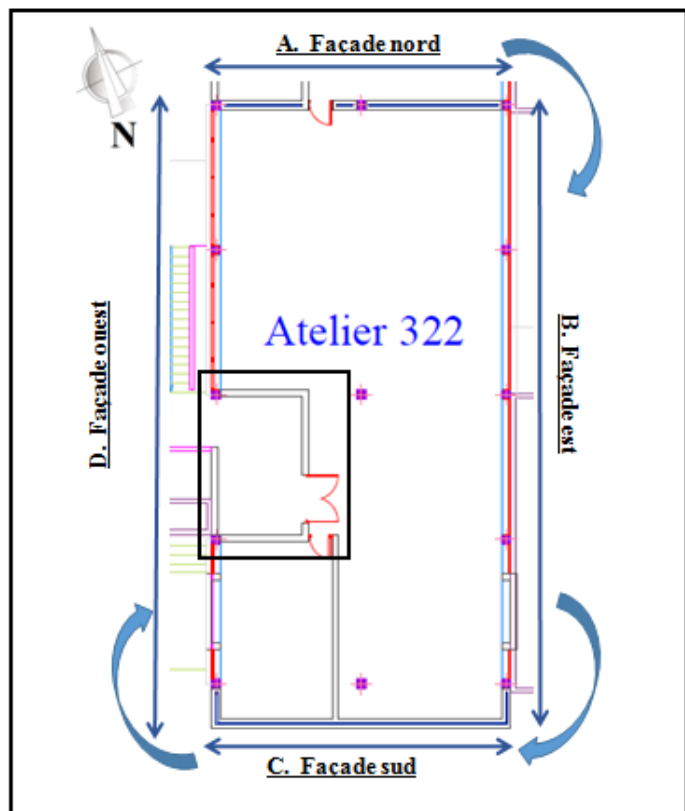


Figure 49: les 4 parois principales de l'atelier 322

2.4.2. Les parois de la salle

Commençons par ajouter les quatre parois principales de l'atelier et introduire leurs données

A. Paroi nord

La façade nord est composée des modèles de parois suivants : (voir figure et tableau)



Figure 50: Façade nord. Source Auteur

Type de paroi	Nom de paroi	Surface (m ²)	Composition (modèle)
Opaque	Paroi nord	4,45	Poutre
	poteaux nord	2,34	Poteau
	paroi nord	21,06	Mur de séparation
Vitrée	////////////////////////////////////	////////////////////////////////////	////////////////////////////////////
Porte	porte de bois	2,34	////////////////////////////////////

Tableau 2: Données de la façade nord de l'atelier

B. Paroi est

La façade est composée des modèles de parois suivants : (voir figure 51 et tableau3)

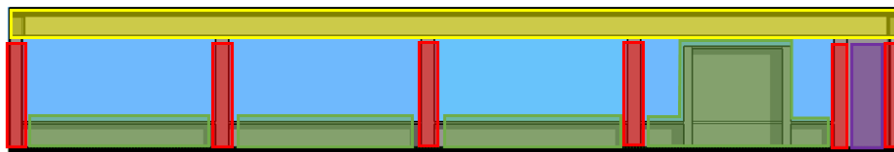


Figure 51: Façade est. Source Auteur

Type de paroi	Nom de paroi	Surface (m ²)	Composition (modèle)
Opaque	poteaux est	3,12	Poteau
	poutre est	9,09	Poutre
	Mur est	15,17	Mur de béton
	Paroi est	2,60	Mur de séparation
Vitrées	Vitrage est	31,63	////////////////////////////////////
Porte	////////////////////////////////////	////////////////////////////////////	////////////////////////////////////

Tableau 3: Données de la façade est de l'atelier

C. Paroi sud

La façade sud est composée des modèles de parois suivants : (voir figure et tableau)

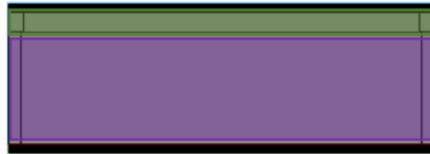


Figure 52: Façade sud. Source Auteur

Type de paroi	Nom de paroi	Surface (m ²)	Composition (modèle)
Opaque	Paroi sud	25,74	Mur de séparation
	Caisson sud	4,45	Mur de béton
Vitrée	////////////////////	////////////////////	////////////////////
Porte	////////////////////	////////////////////	////////////////////

Tableau 4: Données de la façade sud de l'atelier

B. Paroi ouest

La façade ouest est composée des modèles de parois suivants : (voir figure et tableau)

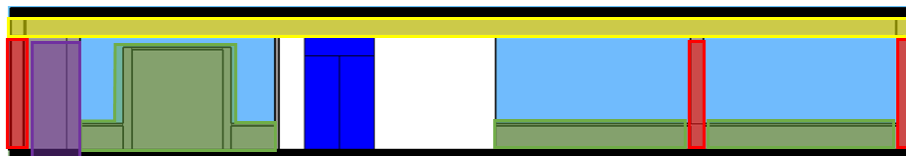


Figure 53: Façade ouest. Source Auteur

Type de paroi	Nom de paroi	Surface (m ²)	Composition (modèle)
Opaque	Paroi ouest	2,60	Mur de séparation
	Poutre ouest	9,09	Poutre
	Poteaux ouest	3,12	Poteau
	Mur ouest	12,47	Mur de l'ext
Vitrées	vitrage ouest	22,63	////////////////////
Porte	////////////////////	////////////////////	////////////////////

Tableau 5: Données de la façade ouest de l'atelier

2.4.3. Les parois du sas d'entrée

Par la suite, nous introduisons les parois du sas d'entrée avec leurs données.

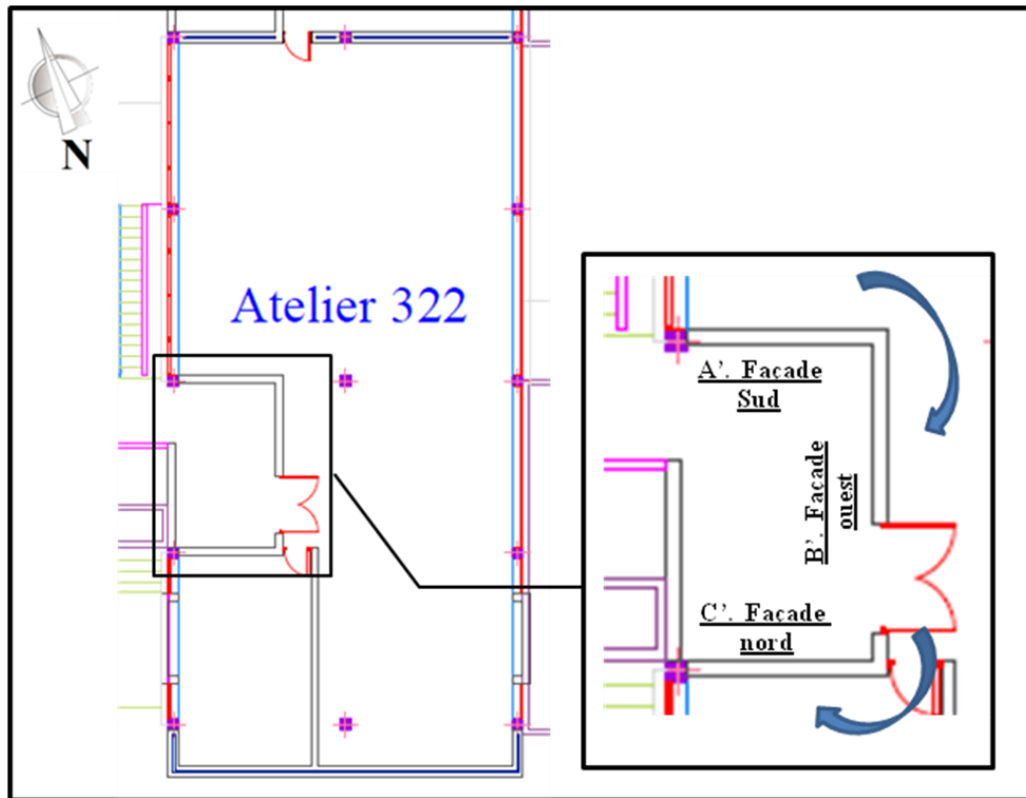


Figure 54: les parois du sas d'entrée de l'atelier 322

B'. Paroi sud

La paroi sud du sas d'entrée composée des modèles de parois suivants (voir figure et tableau)

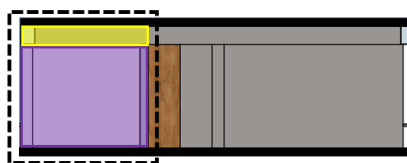


Figure 55 : sud du sas d'entrée. Source Auteur

Type de paroi	Nom de paroi	Surface (m ²)	Composition (modèle)
Opaque	Paroi sud (sas d'entrée)	7,02	Brique
	Caisson sud (sas d'entrée)	1,21	Mur de béton
Vitrée	////////////////////////////////////	////////////////////////////////////	////////////////////////////////////
Porte	////////////////////////////////////	////////////////////////////////////	////////////////////////////////////

Tableau 6: Données de la façade sud du sas d'entrée

B'. Paroi ouest

La façade est ouest du sas d'entrée composée des modèles de parois suivants : (voir figure et tableau)

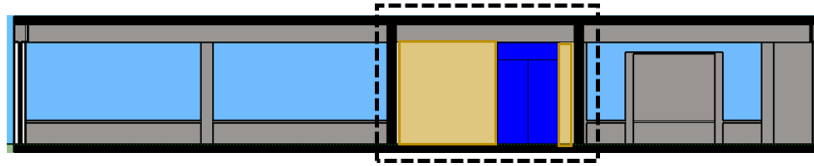


Figure 56: Façade ouest du sas d'entrée. Source Auteur

Type de paroi	Nom de paroi	Surface (m ²)	Composition (modèle)
Opaque	Paroi ouest (sas d'entrée)	8,32	Brique
Vitrées	////////////////////////////////////	////////////////////////////////////	////////////////////////////////////
Porte	Porte de l'entrée	4,16	////////////////////////////////////

Tableau 7: Données de la façade ouest du sas d'entrée

C'. Paroi nord

La façade nord du sas d'entrée composée des modèles de parois suivants : (voir figure et tableau)

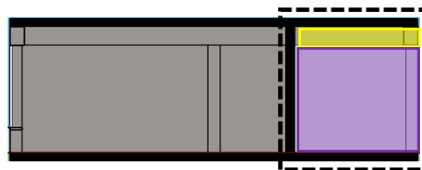


Figure 57: Façade nord du sas d'entrée. Source Auteur

Type de paroi	Nom de paroi	Surface (m ²)	Composition (modèle)
Opaque	Paroi nord (sas d'entrée)	7,02	Brique
	Caisson nord (sas d'entrée)	1,21	Mur de béton
Vitrée	////////////////////////////////////	////////////////////////////////////	////////////////////////////////////
Porte	////////////////////////////////////	////////////////////////////////////	////////////////////////////////////

Tableau 8: Données de la façade nord du sas d'entrée

4. Résultats de la conformité à la réglementation thermique

Hiver

ΣDT	$\Sigma Dréf$	Vérification C-3.2
1 524,00 W/°C	1 106,61 W/°C	1,38 ✘ Non conforme

Eté

$\Sigma APO + \Sigma AV$	$\Sigma APOréf + \Sigma AVréf$	Vérification C-3.4
34 223,57 W	12 180,17 W	2,81 ✘ Non conforme

3. Conclusion

Dans cette partie, nous avons effectué un travail pratique sur le cas d'étude. L'objectif était de faire la simulation thermique statique (STS) de la salle d'atelier à l'état simple à l'aide de l'outil RETA afin de vérifier la conformité à la réglementation thermique. La simulation a montré la non-conformité thermique de la salle à la réglementation thermique en été et en hiver. Nous avons ainsi remarqué que la non-conformité thermique de l'été est plus forte que celle de l'hiver. Dans le chapitre suivant nous effectuons une réhabilitation thermique de la salle d'atelier afin d'améliorer le niveau de confort thermique.

Chapitre 5: Choix de la réhabilitation par simulation thermique statique avec RETA

1. Introduction

Après avoir vérifié la conformité de la salle d'atelier à la réglementation thermique, nous présentons dans ce chapitre la démarche et résultats de la simulation thermique et énergétique de différents cas de réhabilitation des fenêtres par protection solaire et/ou isolation des vitrages.

2. Evaluation des réhabilitations proposées

Afin d'atteindre la conformité à la réglementation thermique nous proposons une réhabilitation des surfaces vitrées selon les scénarios suivants :

- a. **Une réhabilitation par des protections solaires**
 - a- Simple vitrage ordinaire avec brise-soleil.
 - b- Simple vitrage réfléchissant.
- b. **Une réhabilitation par vitrages isolants et protection solaire**
 - a- Vitrage isolant (sans brise-soleil ni vitrage réfléchissant)
 - b- Vitrage isolant avec brise soleil.
 - c- Vitrage isolant + Vitrage réfléchissant.

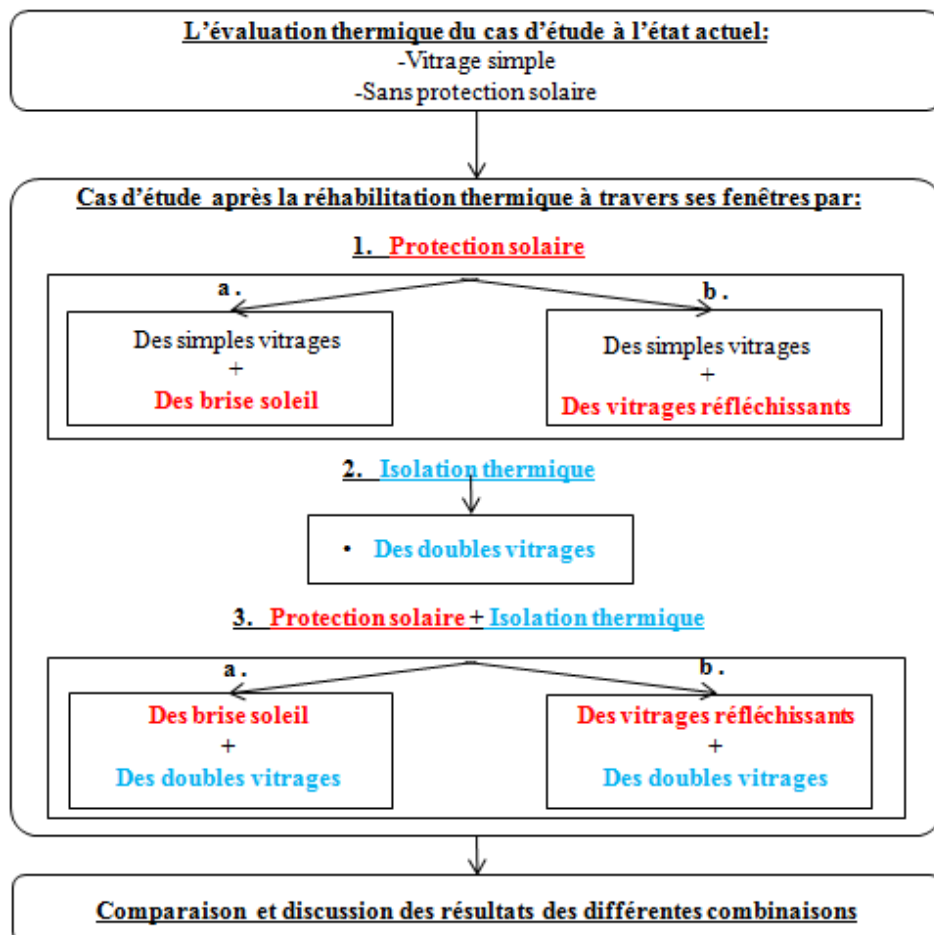


Figure 58 : Organigramme de la démarche d'évaluation des scénarios de réhabilitation thermique 53

2.1. Evaluation de la réhabilitation par des protections solaires

2.1.1. Avec simple vitrage ordinaire et brise-soleil

Les brises soleil utilisés auparavant (l'état initial) étaient des brises soleil verticaux fixés avec un angle de 34 °.



Figure 59: Les anciens brises soleil utilisés au niveau des ateliers. Source Auteur



Figure 60: Les anciens brises soleil utilisés au niveau des ateliers. Source Auteur

Vue que l'outil RETA n'offre pas la possibilité de répartir plusieurs brises-soleil sur une fenêtre, nous allons diviser chaque fenêtre en plusieurs petites fenêtres, chacune de ses dernières possède sa protection verticale, ceci est pour qu'on puisse avoir la même combinaison qui a été utilisée par l'architecte Jean Jack Deluz au début.

2.1.1.1. Définir les données de chacune des petites fenêtres

Surface vitrée (m ²)	<input type="text" value="1.1"/>	✓
Hauteur moyenne du sol (m)	<input type="text" value="0.6"/>	✓
Menuiserie	<input type="text" value="Métal"/>	▼ ✓
Type de vitrage	<input type="text" value="Vitrage simple"/>	▼ ✓
Epaisseur lame d'air	<input type="text" value="-"/>	▼ ✓

Figure 61: fenêtre de composition des vitrages

Définir la composition des fenêtres utilisées actuellement, comme suit

- La surface vitrée: 8,8 m²
- La hauteur moyenne du sol: 0,6 m
- La menuiserie: métal
- Type de vitrage: vitrage simple

Pour les brises soleils, l'outil RETA exige à introduire les données suivantes:

- C: Le décrochement de la protection horizontale
- d: Le décrochement de la protection verticale
- H: La hauteur de la surface vitrée
- F: La distance entre la surface vitrée et la protection horizontale
- B: La largeur de la surface vitrée
- b: La distance entre la surface vitrée et la protection verticale

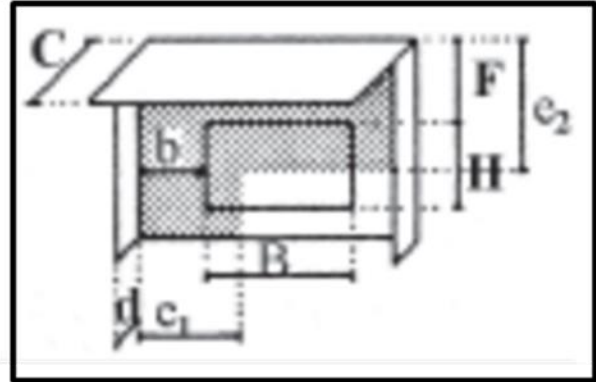


Figure 62: schéma de RETA pour la protection solaire des fenêtres

L'outil RETA ne donne pas la possibilité de refaire la même combinaison des brise soleil verticales inclinées de Jean Jack Deluz, c'est pour cela nous allons faire un calcul pour remplacer ces brises inclinées par d'autres simples et qui ont la même efficacité.

2.1.1.2. Calcul des brises soleil

Nous avons essayé de trouver la dimension de décrochement de la protection verticale « d est la dimension de décrochement de la protection verticale retrouvée et qui correspond aux anciens brises soleil. »

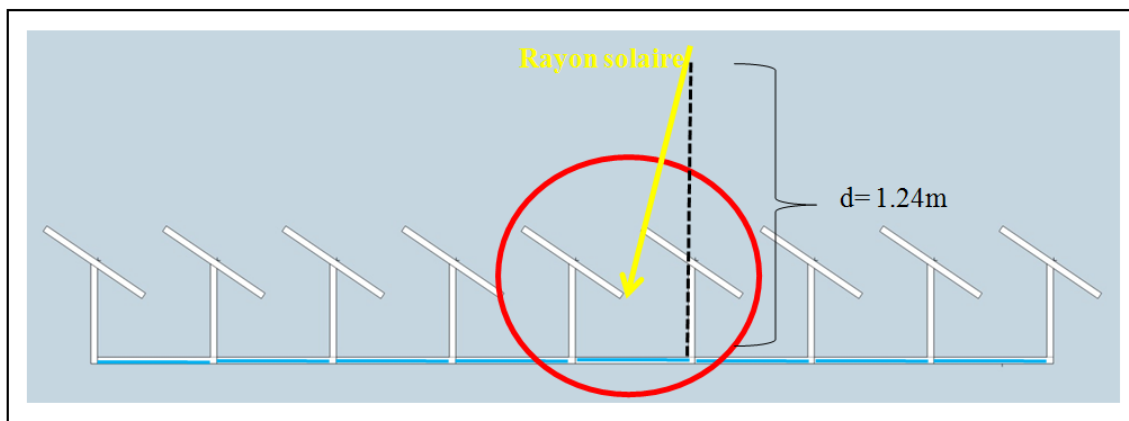


Figure 63: Dessin des anciennes brises soleil en plan. Source Auteur

Définir les données nécessaires suivantes et qui se résument dans la figure

- La hauteur de la surface vitrée « H »: 2,0 m
- La largeur de la surface vitrée « B »: 0,55 m
- Le décrochement de la protection verticale « d »: 1,24 m

C (m) 0.0 ✓	D (m) 1.24 ✓
H sans le cadre (m) 2.0 ✓	F (m) 0.0 ✓
B sans le cadre (m) 0.55 ✓	b (m) 0.0 ✓

Figure 64: Fenêtre des données de protection solaire

2.1.1.3. Résultats de la conformité à la réglementation thermique

Hiver

ΣDT	$\Sigma Dréf$	Vérification C-3.2
1 524,00 W°C	1 106,61 W°C	1,38 ✗ Non conforme

Eté

$\Sigma APO + \Sigma AV$	$\Sigma APO_{réf} + \Sigma AV_{réf}$	Vérification C-3.4
27 801,25 W	10 202,28 W	2,73 ✗ Non conforme

Les coefficients de vérifications sont nettement supérieurs au coefficient de référence = 1.05.

2.1.2. Avec simple vitrage réfléchissant

Les vitrages utilisés actuellement sont des vitrages réfléchissants avec une menuiserie en aluminium.



Figure 66: Vitrages réfléchissants utilisés actuellement au niveau des ateliers. Source Auteur



Figure 65: Vitrages réfléchissants utilisés actuellement au niveau des ateliers. Source Auteur

2.1.2.1. Définir la composition des fenêtres utilisées actuellement

- La surface vitrée: 8,8 m²
- La hauteur moyenne du sol: 0,6 m
- La menuiserie: métal
- Type de vitrage: vitrage simple

A screenshot of a software interface for defining window composition. The interface consists of several input fields, each with a green checkmark icon to its right, indicating that the values are correct or confirmed. The fields are: 'Surface vitrée (m²)' with the value '8.8'; 'Hauteur moyenne du sol (m)' with the value '0.6'; 'Menuiserie' with a dropdown menu showing 'Métal'; 'Type de vitrage' with a dropdown menu showing 'vitrage simple'; and 'Epaisseur lame d'air' with a dropdown menu showing '-'. The text 'Fig. Définir la composition des fenêtres' is overlaid on the interface.

Figure 67: Fenêtre de la composition des fenêtres

2.1.2.2. Définir la protection par les vitrages réfléchissants

- Famille de vitrage: Glace réfléchissante
- Verre : bronze 6.0 mm

Figure 68: Définir la protection par les vitrages réfléchissants

2.1.2.3. Résultats de la conformité à la réglementation thermique

Hiver

ΣDT	$\Sigma Dréf$	Vérification C-3.2
1 524,00 W/°C	1 106,61 W/°C	1,38 ✘ Non conforme

Été

$\Sigma APO + \Sigma AV$	$\Sigma APOréf + \Sigma AVréf$	Vérification C-3.4
29 499,07 W	12 180,17 W	2,42 ✘ Non conforme

2.2. Evaluation de la réhabilitation thermique par protection solaire et vitrages isolants

2.2.1. Cas du vitrage isolant (doubles vitrages) (sans brise soleil ni vitrages réfléchissants)

2.2.1.1. Définir la composition des fenêtres

Nous avons gardé les mêmes données des fenêtres actuelles, et nous avons remplacé le vitrage simple réfléchissant par un vitrage double transparent, pour cela nous avons choisi l'épaisseur la plus importante et qui varie de 12 à 13 mm.

Surface vitrée (m ²)	8.8	✓
Hauteur moyenne du sol (m)	0.6	✓
Menuiserie	Métal	✓
Type de vitrage	Vitrage Double	✓
Epaisseur lame d'air	12 à 13	✓

2.2.1.2. Résultats de la conformité à la réglementation thermique

Figure 69: Définir la composition des fenêtres.

Hiver

ΣDT	$\Sigma Dréf$	Vérification C-3.2
1 387,76 W/°C	1 106,61 W/°C	1,25 ✗ Non conforme

Été

$\Sigma APO + \Sigma AV$	$\Sigma APOréf + \Sigma AVréf$	Vérification C-3.4
32 861,26 W	12 180,17 W	2,70 ✗ Non conforme

2.2.1.3. Cas du vitrage isolant avec des brises soleil

Nous avons gardé les mêmes données des fenêtres avec leurs anciens brise-soleil (de l'état initial de Jean Jack Deluz), et nous avons remplacé les vitrages simples par des vitrages doubles.

Résultats de la conformité à la réglementation thermique

Hiver

ΣDT	$\Sigma Dréf$	Vérification C-3.2
1 387,76 W/°C	1 106,61 W/°C	1,25 ✘ Non conforme

Eté

$\Sigma APO + \Sigma AV$	$\Sigma APOréf + \Sigma AVréf$	Vérification C-3.4
26 438,94 W	10 202,28 W	2,59 ✘ Non conforme

2.2.1.4. Cas du vitrage isolant avec vitrage réfléchissant

Définir la composition des fenêtres

Nous gardons les mêmes données des fenêtres actuelles, et nous remplaçons le vitrage réfléchissant non isolant par un vitrage réfléchissant double.

Résultats de la conformité à la réglementation thermique

Hiver

ΣDT	$\Sigma Dréf$	Vérification C-3.2
1 387,76 W/°C	1 106,61 W/°C	1,25 ✘ Non conforme

Eté

$\Sigma APO + \Sigma AV$	$\Sigma APOréf + \Sigma AVréf$	Vérification C-3.4
27 106,38 W	12 180,17 W	2,23 ✘ Non conforme

3. Discussion des résultats de simulation pour les différents cas

Dans le tableau suivant, nous avons essayé de résumer les résultats de la simulation et la réhabilitation thermique par des différentes combinaisons, à savoir l'isolation thermique à travers des doubles vitrages, la protection solaire à travers les brises soleil et les vitrages réfléchissants, et l'isolation thermique avec la protection solaire à travers des double vitrages avec des brise soleil, et aussi des doubles vitrages avec des vitrages réfléchissants.

		Avant	Après la réhabilitation des fenêtres				
Types d'amélioration			Isolation thermique	Protection solaire Avec vitrages ordinaires	Isolation thermique + Protection solaire		
Dispositifs		V.S	D.V	V.S + B.S	V.R	D.V + B.S	D.V + V.R
Échanges thermiques des fenêtres	Ds (W/°C)	376.26	240.3	376.26	376.26	240.0	240.3
	AV (W)	14242	12879.7	7819.69	9514.8	6457.4	7124.81
Vérification de conformité	Hiver	1.38	1,25	1.38	1.38	1.25	1,25
	Été	2.81	2.70	2.73	2.42	2.59	2.23
Dimensionnement (KW)	Chauf	42.20	38,9	42.20	42.20	38,9	38,9
	Clim	42,53	41,17	36.11	37.81	34,75	35,41
Consommation énergétique journalière (KWh)	Chauf	333.7	311.2	333.7	333.7	311.2	311.2
	Clim	340.24	329.36	288.88	302.48	278	283.28

Tableau 9: Résultats de la simulation et la réhabilitation thermique. Source Auteur

Ds: Déperditions thermiques

AV : Apports thermiques

[APO+AV]/Aréf : Vérification de la conformité en été

DT/Dréf : Vérification de la conformité en hiver

V.S : vitrage simple

D.V : double vitrage

B.S : Brise soleil

V.R : Vitrage réfléchissant

N.B : La consommation énergétique journalière de chauffage est calculée comme suit:

Consommation énergétique = Puissance * 8 heures de travail

3.1. Cas Hiver (DTR C3-2)

Les résultats de la simulation et de la réhabilitation pour l'hiver (DTR C3-2) sont représentés dans les figures suivantes :

Vérification de la conformité

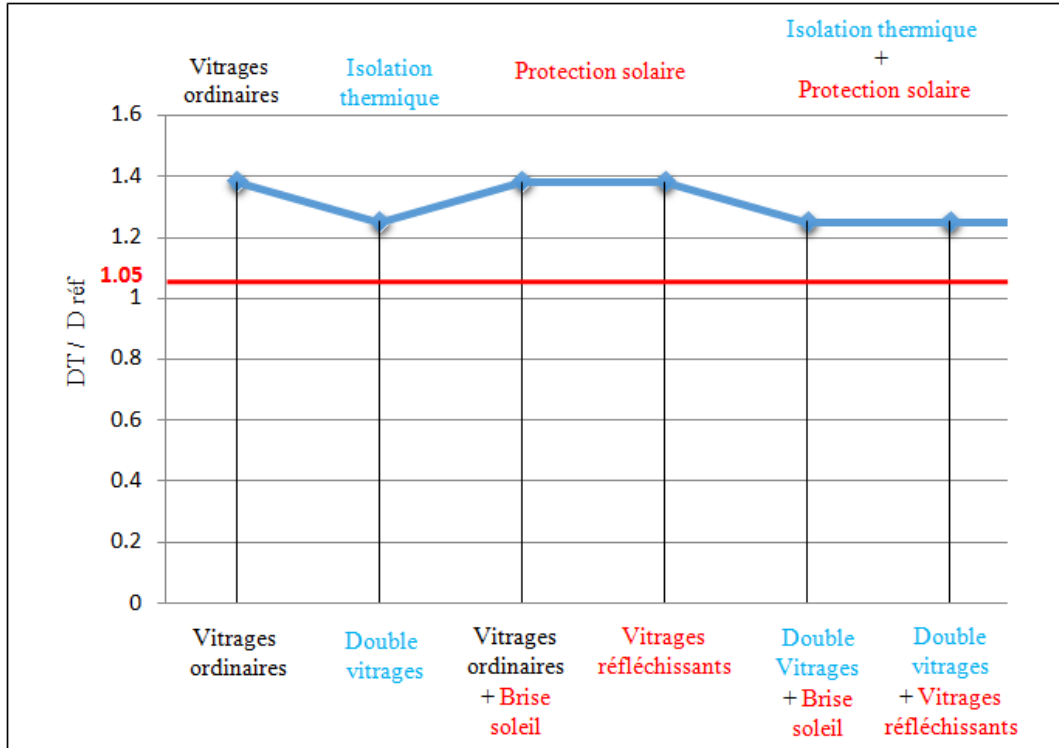


Figure 70: Vérification de la conformité de l'hiver (DTR C3-2) pour les différentes combinaisons.
Source Auteur

Pour la vérification de la conformité du DTR C3-2 de l'hiver qui est représentée ci-dessus. La lecture des courbes fait sortir que la valeur $DT / D_{réf}$ n'atteint à aucun moment la valeur 1.05 de la conformité thermique.

Rapport $DT / D_{réf}$ est de 1.38, il reste le même après la réhabilitation par les protections solaires, elle diminue jusque 1.25 après l'usage des doubles vitrages.

On note que seul l'isolation thermique des vitrages a pu faire diminuer le Rapport $DT / D_{réf}$ en le rapprochant à la conformité thermique de l'hiver.

Les déperditions thermiques

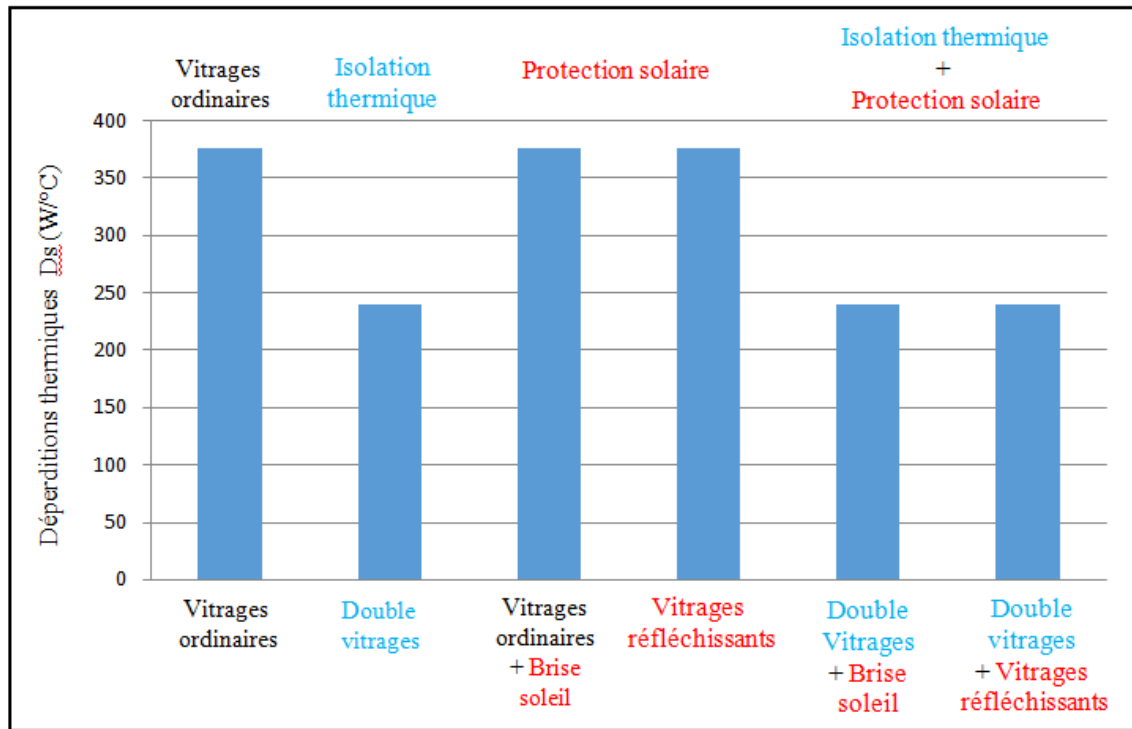


Figure 71: Les déperditions thermiques dans les différentes combinaisons utilisées. Source Auteur

Les déperditions thermiques après la réhabilitation par la protection solaire sont restées les mêmes qu'auparavant, par contre ils ont diminué après la réhabilitation par des vitrages isolants.

A la lecture de l'histogramme nous voyons que les déperditions thermiques enregistrés pour les fenêtres sont passés de 376.26 W/°C avant la réhabilitation jusqu'à 240.03 W/°C après la réhabilitation, soit une diminution de 36.2 %.

On note que seul l'isolation thermique des vitrages qui a pu diminuer les déperditions thermiques contrairement à la protection solaire qui ne change rien.

Dimensionnement de chauffage

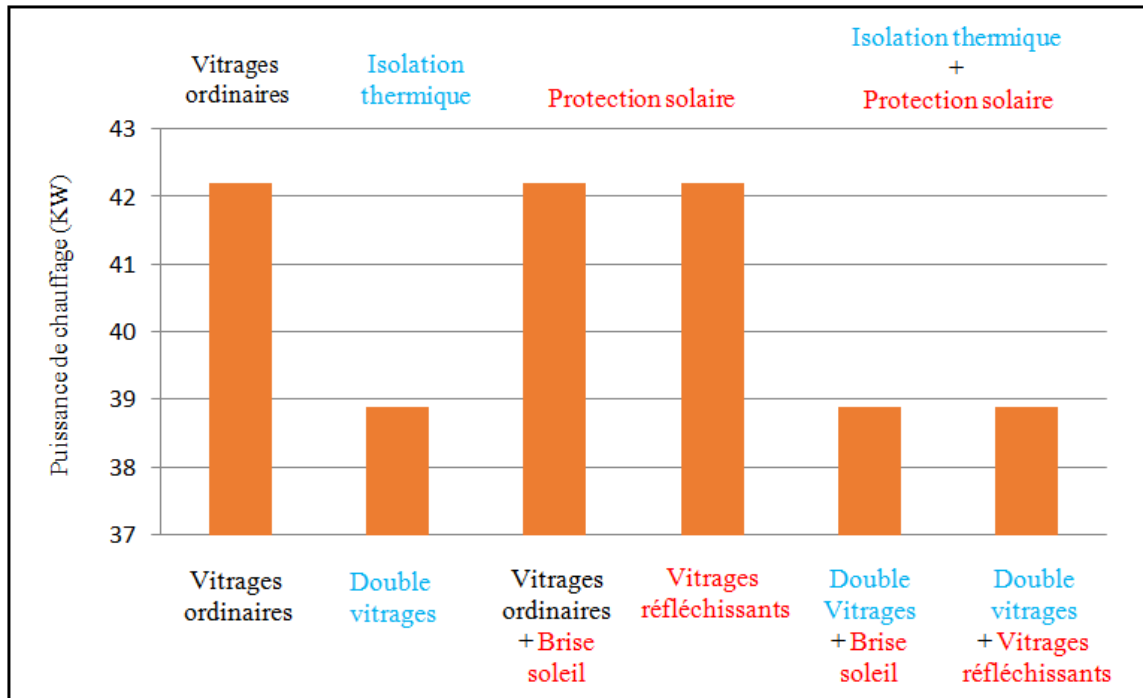


Figure 72: Dimensionnement de la puissance du chauffage pour les différentes combinaisons. Source Auteur

Consommation énergétique journalière de chauffage

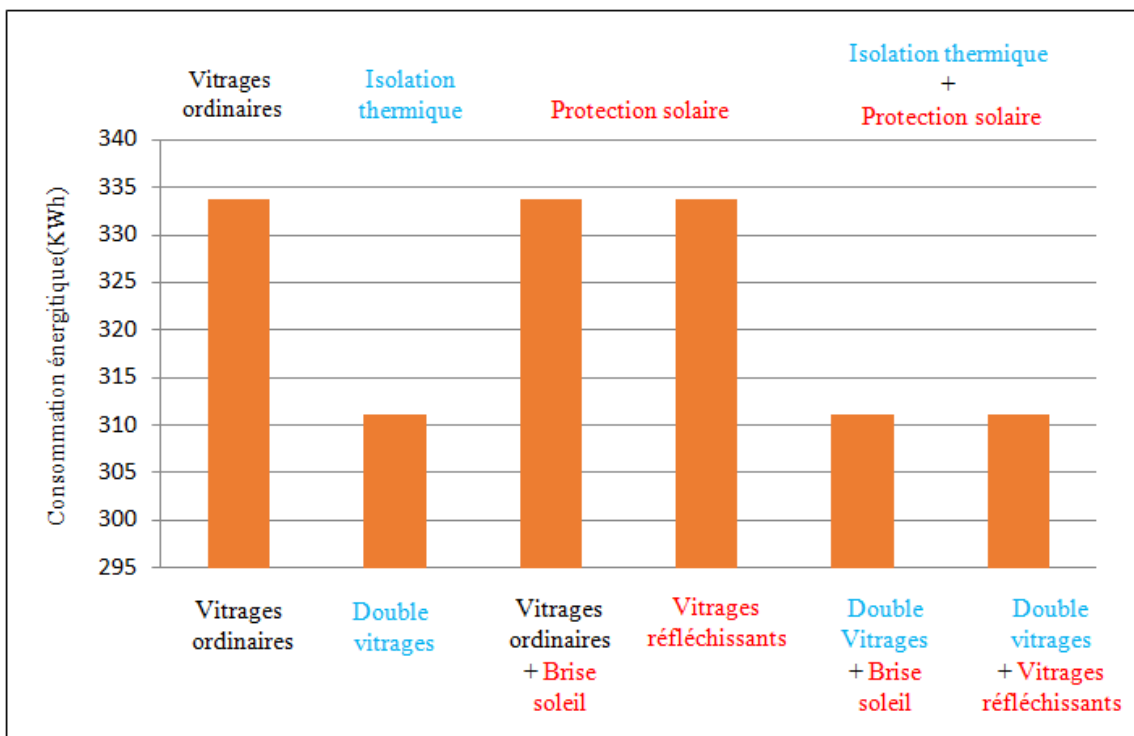


Figure 73: Consommation énergétique du chauffage pour les différentes combinaisons. Source Auteur

Pour la consommation énergétique de chauffage qui est représenté ci-dessus. La lecture de l'histogramme fait sortir que la consommation enregistrée pour l'enveloppe avant la réhabilitation est de 333.7 KWh, et a diminué jusqu'à 311.2 KWh pour le double vitrage. soit une diminution de 7 %

La consommation énergétique de chauffage après la réhabilitation par la protection solaire est resté la même qu'auparavant, par contre le dimensionnement après la réhabilitation diminuent jusque 311.2 KWh, soit une différence de 22.5 KWh.

On confirme que seule l'isolation thermique des vitrages peut diminuer la consommation énergétique de chauffage, la protection solaire n'ayant pas d'influence.

3.2. Cas Eté (DTR C3-2)

Les résultats de la simulation et de la réhabilitation pour l'hiver (DTR C3-2) sont représentés dans les figures suivantes :

Vérification de la conformité

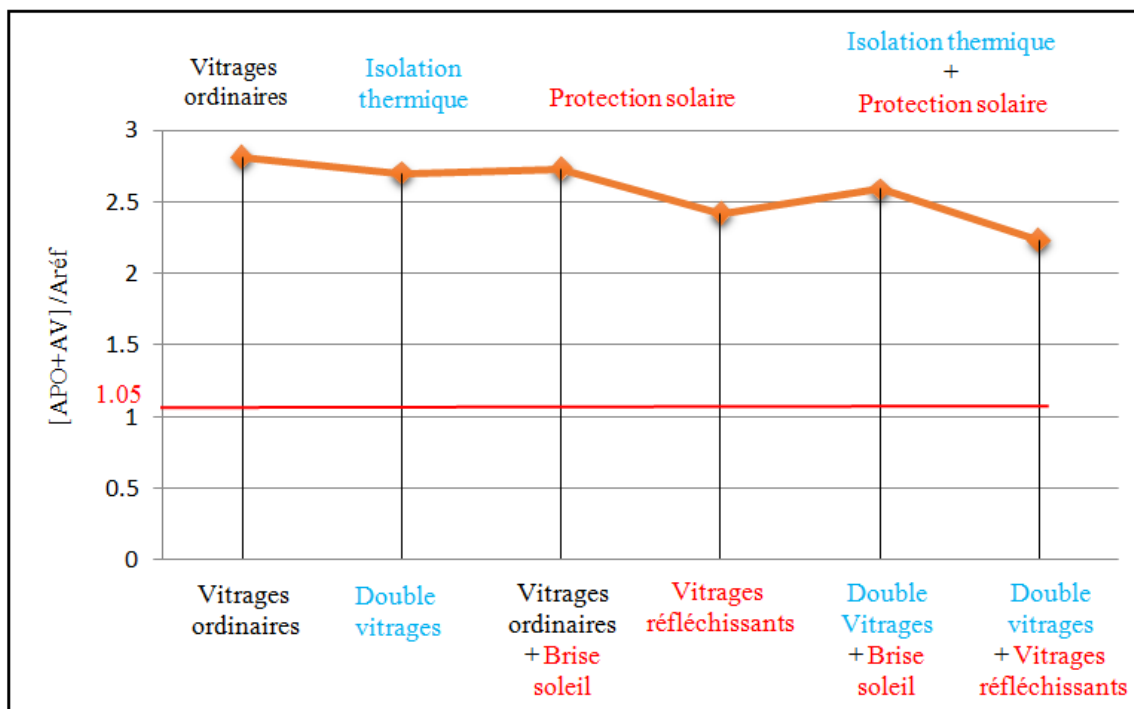


Figure 74: Vérification de la conformité de l'été (DTR C3-4) pour les différentes combinaisons. Source Auteur

Pour la vérification de la conformité du DTR C3-4 de l'été et du DTR C 3-4 de l'été qui est représentée ci-dessus. La lecture des courbes fait sortir que le rapport de la conformité $[A_{PO+AV}] / A_{réf}$ n'atteint à aucun moment le rapport 1.05 de la conformité thermique.

Le rapport $[APO+AV] / Aréf$ est de 2.81, dans les différents modèles réhabilités ce rapport se diminue comme suit:

- De 2.81 à 2.70 avec l'usage des doubles vitrages
- De 2.81 à 2.73, et de 2.81 à 2.42 respectivement avec l'usage des brises soleil et des vitrages réfléchissants.
- De 2.81 à 2.59, et de 2.81 à 2.23 respectivement à travers l'usage des brises soleil avec des vitrages doubles, et l'usage des vitrages réfléchissants doubles.

On note que l'usage des protections solaires et notamment les brises soleil peut diminuer le rapport en le rapprochant de la conformité beaucoup plus par rapport aux vitrages isolants, la combinaison de ces deux dispositifs (brise soleil et vitrages doubles) donne automatiquement la meilleure efficacité.

Rappelons que la conformité nécessite la réhabilitation de toute l'enveloppe et non pas seulement les vitrages.

Les apports thermiques:

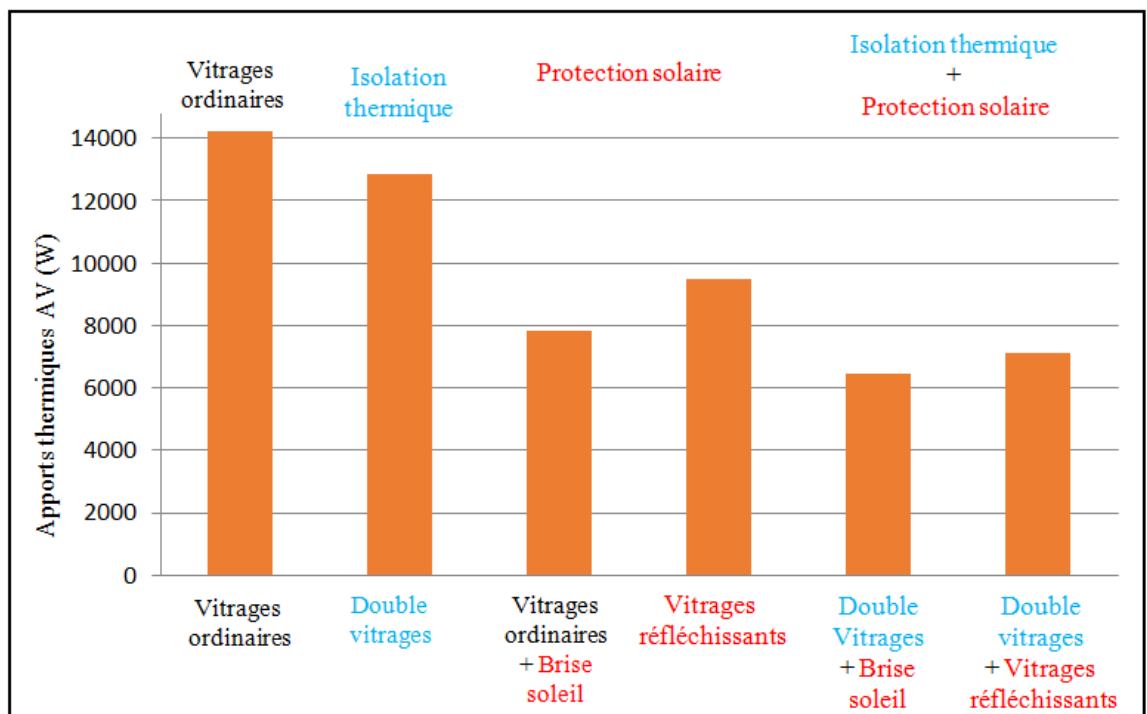


Figure 75: Les apports thermiques dans les différentes combinaisons utilisées. Source Auteur

Pour les apports thermiques sont représentées ci-dessus. La lecture de l'histogramme fait sortir que les apports thermiques enregistrés pour les fenêtres avant la réhabilitation est de 14242 W. Les apports thermiques diminuent dans les différents modèles réhabilités:

-L'usage des doubles vitrages peut diminuer 1362.3 W des apports thermiques, soit une diminution de 9.56 %

-L'usage des protections solaires par les brises soleil et les vitrages réfléchissants peut diminuer respectivement 6422 W et 4727.2 W des apports thermiques. Soient des diminutions de 45 % et 33.19 %.

-L'usage des brises soleil avec des doubles vitrages et les vitrages réfléchissants doubles peut diminuer respectivement 7784.63 W et 7117.19 W des apports thermiques. Soient des diminutions de 54.66 % et 50 %.

On note que l'usage des protections solaires et notamment les brises soleil diminuent plus des apports thermiques par rapport aux vitrages réfléchissants, la combinaison des deux dispositifs brise soleil et vitrages isolants donne automatiquement la meilleure efficacité.

Dimensionnement de climatisation

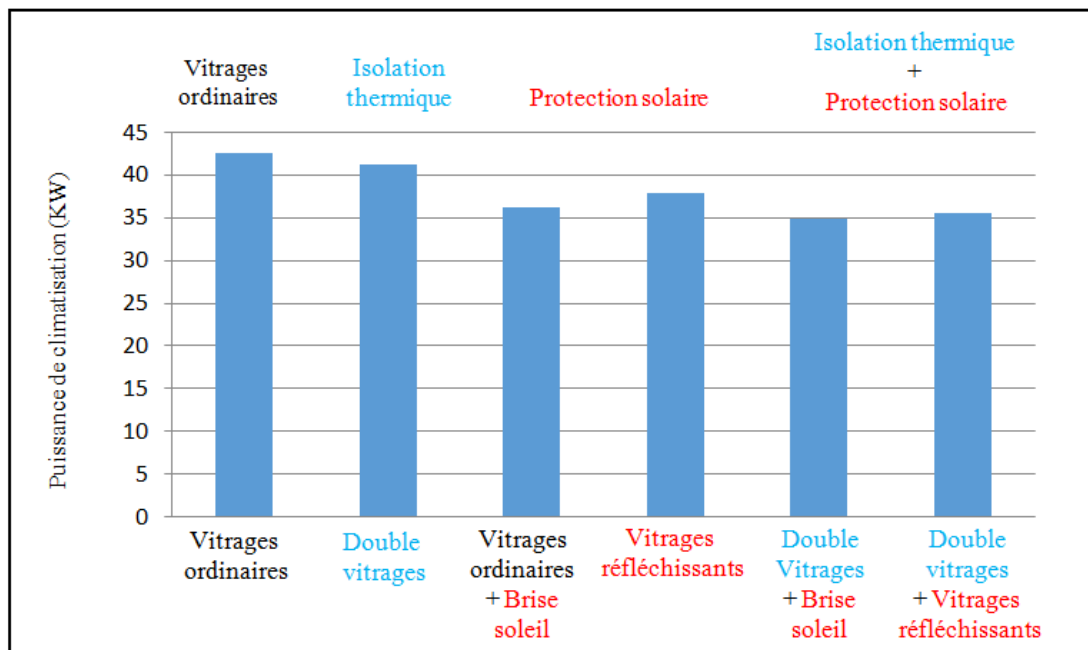


Figure 76: Dimensionnement de la puissance de climatisation pour les différentes combinaisons.
Source Auteur

Consommation énergétique journalière de climatisation

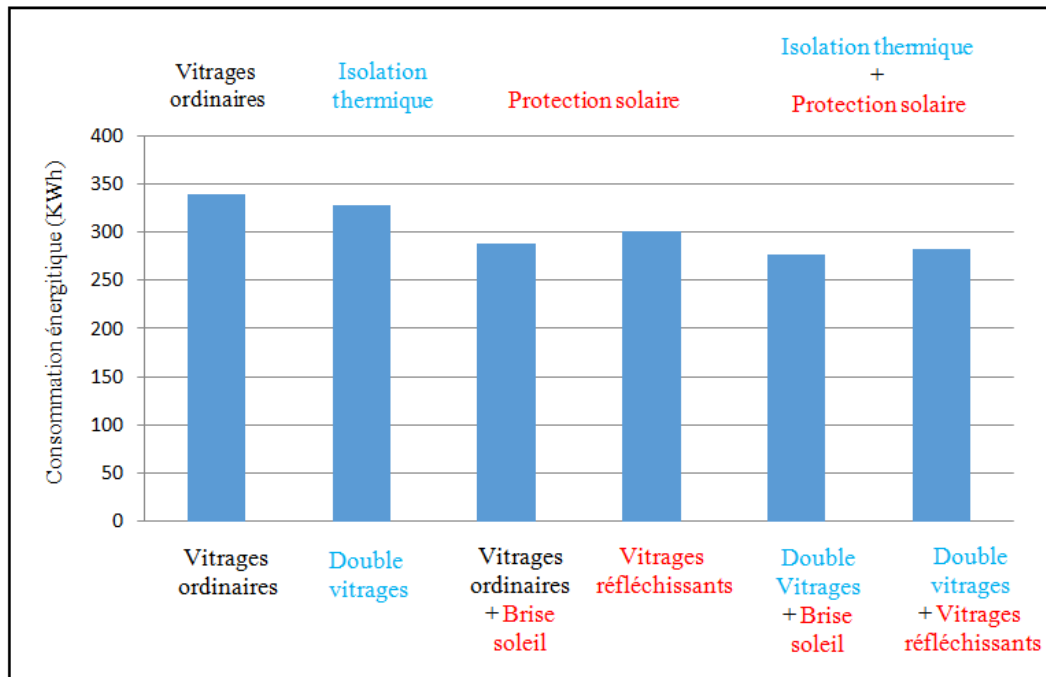


Figure 77: Consommation énergétique de la climatisation pour les différentes combinaisons. Source Auteur

Pour la consommation énergétique de climatisation représentée ci-dessus. La lecture de l'histogramme fait sortir que la consommation énergétique de climatisation enregistrée pour les fenêtres avant la réhabilitation est de 340.24 KWh. La consommation diminue dans les différents modèles réhabilités:

- De 340.24 KWh à 329.36 KWh, soit une diminution de 3 % avec l'usage des doubles vitrages
- De 340.24 KWh à 288.88 KWh, et de 340.24 KWh à 302.48 KWh, des diminutions de 15.6 % et 17.29 % respectivement avec l'usage des brises soleil et des vitrages réfléchissants.
- De 340.24 KWh à 278, et de 340.24 KWh à 283.28 KWh, des diminutions de 18.9% et 17.29% respectivement à travers l'usage des brises soleil avec des vitrages doubles, et l'usage des vitrages réfléchissants doubles.

On note que l'usage des protections solaires et notamment les brises soleil peut diminuer la consommation énergétique de climatisation beaucoup plus par rapport aux vitrages isolants, la combinaison de ces deux dispositifs (brise soleil et vitrages doubles) donne automatiquement la meilleure efficacité.

4. Conclusion

Dans cette partie, nous avons effectué le travail pratique de notre recherche sur le cas d'étude présenté dans le chapitre 3 dans le but dans le but d'améliorer le confort thermique et de diminuer la consommation énergétique, nous avons commencé le travail par la simulation thermique avec l'outil RETA.

Nous avons également fait une réhabilitation thermique du cas d'étude à travers les fenêtres, par les différentes combinaisons de réhabilitation thermiques suivantes : Isolation thermique par des double vitrages, protection solaire par des vitrages réfléchissants et des doubles vitrages, ainsi que par la combinaison de l'isolation thermique avec la protection solaire, par des doubles vitrages avec des brise soleil, et aussi des doubles vitrages réfléchissants.

Les résultats de simulation thermique du modèle avec des vitrages ordinaire et sans protection solaire montrent la non-conformité à la réglementation thermique de la salle d'atelier en été et en hiver.

Pour les différents modèles réhabilités, la conformité thermique en été et en hiver n'a toujours pas été vérifiée, par contre ces modèles peuvent nous aider pour améliorer le confort thermique de l'été et de l'hiver et même diminuer la consommation énergétique du chauffage et de la climatisation.

En hiver, on peut diminuer de 36.13 % des déperditions thermiques des fenêtres, et avoir une économie de 6.74 % de consommation énergétique du chauffage en hiver, avec l'usage des vitrages isolants.

En été, on peut diminuer de 54.66 % des apports thermiques des fenêtres, et avoir une économie de 18.3 % de consommation énergétique de climatisation, avec la combinaison des deux dispositifs brise soleil et les vitrages isolants.

Pour améliorer le confort thermique de l'atelier, nous avons effectué des simulations avec des différents modèles de réhabilitation, pour comparer le niveau de confort et la consommation énergétique en hiver et en été. Les résultats de simulation montrent que nous obtenons plus de confort et d'économie d'énergie en été qu'en hiver.

Conclusion Générale

A travers cette recherche, nous avons évalué la conformité à la réglementation thermique algérienne d'une salle d'atelier de l'epau avant et après la réhabilitation thermique des parois vitrées.

Notre recherche s'est établie en deux parties principales, la première théorique, où nous avons analysé les connaissances existantes en matière d'efficacité énergétique en Algérie et de réhabilitation thermique des bâtiments existants à travers leurs parois vitrées par l'usage des vitrages isolants et des protections solaires.

Nous avons relevé que la réhabilitation thermique n'est pas prise en considération dans les textes de la réglementation thermique algérienne, où l'ensemble des actions potentielles de la réhabilitation thermique auraient du s'inscrire dans un cadre réglementaire précis.

Nous avons pu relever également que l'opération de réhabilitation thermique d'un bâtiment existant consiste à améliorer le confort thermique en agissant sur son enveloppe qui est considéré comme un échangeur thermique entre l'extérieur et l'intérieur où les vitrages ordinaires présentent le point plus faible.

L'amélioration du confort thermique à travers les parois vitrées, se fait par le remplacement des vitrages ordinaire par des vitrages isolants, basés sur le fait que l'air immobile est un très mauvais conducteur, elle se fait aussi par leur protéger contre le rayonnement solaire.

Pour démontrer la faisabilité et l'intérêt de la réhabilitation thermique des enveloppes des bâtiments existants à travers les parois vitrées, nous avons eu recours à la simulation thermique statique pour pouvoir évaluer le confort thermique et la consommation énergétique d'un bâtiment que nous avons choisi (Le bloc de l'extension à l'EPAU) à l'état simple et après réhabilitation. Pour cela nous avons choisi RETA qui est un outil algérien qui facilite la vérification de la conformité thermique par rapport au DTR, ainsi que le dimensionnement énergétique.

Pour pouvoir améliorer l'efficacité thermique du bâtiment choisi, nous avons analysé ce dernier et les éléments qui le constituent. Cela nous a permis de remarquer que l'enveloppe extérieure est marquée par des surfaces importantes en parois vitrées, qui constituent le point plus faible de ce bâtiment, elles ne présentent aucun pouvoir isolant et aucune protection solaire, ce qui a contribué à générer un inconfort thermique à l'intérieur des ateliers. Un problème qui est corrigé par la présence des climatiseurs qui jouent le rôle de climatisation et de chauffage.

Les résultats de la simulation thermique effectuée sur le modèle sans amélioration montrent la non-conformité à la réglementation thermique algérienne du volume thermique de la salle d'atelier étudiée, cela est prouvé par l'inexistence de la conformité thermique en hiver et en été. Cela est dû à l'absence du pouvoir isolant entre l'ambiance intérieure et celle de l'extérieure.

Pour les modèles réhabilités, les résultats de la simulation thermique montrent une réduction énergétique, par la diminution de la consommation énergétique de chauffage et de climatisation. Les résultats montrent aussi une amélioration du confort intérieur par rapport au modèle simple, tout cela est prouvé par la diminution de 36.13 % des déperditions thermiques avec les vitrages isolants en hiver, et la diminution de 54.66 % des apports calorifiques avec des vitrages et des brises soleil en été.

Toutefois, malgré les gains thermiques atteints après la réhabilitation nous n'avons pas pu atteindre le niveau de conformité nécessaire à la réglementation thermique. Ainsi la réhabilitation thermique à travers les parois vitrées peut diminuer les pertes de chaleur et les apports calorifiques, comme elle peut aussi diminuer la consommation énergétique, mais cela reste toujours non suffisant pour avoir le confort thermique nécessaire pour notre cas d'étude.

Nous sommes conscients que pour atteindre la conformité à la réglementation thermique algérienne, la réhabilitation thermique devra être effectuée aussi sur les parois opaques, ces derniers présentent, par leur épaisseurs faibles en béton, un échangeur thermique très important entre l'intérieur et l'extérieur.

Malgré les résultats et la faisabilité que nous avons pour effectuer cette recherche à l'aide de l'outil RETA, nous avons constaté que ce dernier présente plusieurs anomalies. Sa disponibilité seulement en ligne, la difficulté d'utilisation due au manque de plusieurs commandes, L'insuffisance de la base des données (tels que les matériaux, les modèles et les paramètres des vitrages isolants...etc.), et la difficulté de concevoir

des éléments architecturaux (multiplier les brise-soleil sur une fenêtre, installer des brises inclinés,...etc.) sont tous des lacunes qui restent à améliorer pour une meilleure efficacité.

Perspectives de recherche

Ce travail de recherche dans le cadre du Master est loin d'être exhaustif. Il a été pour nous une occasion de nous initier aux problématiques de réhabilitation thermique en Algérie.

Nous aurions aimé faire le même travail avec d'autres paramètres, tel que l'influence de la taille, la position et l'orientation des fenêtres sur l'efficacité énergétique et thermique du bâtiment, à cause du manque de temps cela n'était pas possible, Nous aurions aimé également faire les calculs de la consommation énergétique annuelle, cela était impossible avec RETA qui donne ses résultats de simulation dans des journées précises en été et hiver.

Suite à ce travail, plusieurs pistes de recherche se dessinent. Une recherche sur l'impact de l'orientation et le positionnement et dimensionnement et ratios des fenêtres sur l'efficacité thermique et énergétique serait très intéressante dans un futur travail.

Il serait également intéressant de développer des outils de simulations plus adaptés au contexte algérien pour les opérations de rénovation et de réhabilitation thermique. Ainsi que faire un travail de recherche relatif à la réglementation thermique pour les opérations de réhabilitation thermique des bâtiments existants afin de simplifier l'information aux acteurs dans le domaine du bâtiment.

Bibliographie

1. ACHILLES Andreas, NAVRATIL Diane, Construire en verre, Eddition Birkhäuser, 2008.
2. Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie, Consommation Energétique Finale de l'Algérie, Edition 2007.
3. ANDRE BONHOME, Isolation thermique de bâtiments parois opaques, parois translucides, aération et ventilation, Edition Le Moniteur, Paris, 1979.
4. ASTRID Denker, S.M.K El Hassar, SAAD Baradiy, pour une construction éco-énergétique en Algérie, Edition Deutche Gesellschaft für, Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2014.
5. BESSALCHI, Mehdi; Evaluation de la consommation énergétique et du confort dans les salles de classes préparatoire à l'EPAU, Master 2013, EPAU.
6. BOUSQUET Lilian, Mise en œuvre des réglementations thermique et acoustique, Edition Le Moniteur, Paris, 2014.
7. Bureau Veritas , Isolation thermique et acoustique des bâtiments, Editeur Le Moniteur, 2015.
8. CATHERINE Charlot-Valdieu, PHILIPPE Outrequin, La réhabilitation énergétique es logements, Editions Le Moniteur, Paris, 2011.
9. CLANDE Rougeron, L'isolation acoustique et thermique dans les bâtiments, Edition Eyrolles, Paris, 1975.
10. De La Protection Solaire Et Des Professions Associées Syndicat National De La Fermeture, Guide de la fermeture et de la protection solaire, guide technique, Edition Metal services,société d'éditions du bâtiment et des travaux publics, 2012.
11. DIRAHOUI, Mohamed Adlene, Caractérisation de la qualité de l'environnement lumineux à l'intérieur des ateliers d'architecture à l'EPAU, Magister 2015, EPAU.
12. ENGEL, Pierre, Guide de la réhabilitation des enveloppes et des planchers, Edition Eyrolles, 2014.
13. F. Boudali Errebai , L. Derradji, Y. Maoudj , M. Amara, A. Mokhtari, Confort thermique d'un local d'habitation: Simulation thermoaéraulique pour différents systèmes de chauffage, Revue des Energies Renouvelables Vol. 15 N°1 (2012) 91 – 102.
14. FERNANDEZ, Pierre; LAVINGE, Pierre, Concevoir des bâtiments bioclimatiques, Edition Le Moniteur, Paris, 2009
15. GALLAUZIAUX, Thierry, FEDULLO, David, L'isolation thermique par l'extérieur, Edition Eyrolles, 2015.
16. GALLAUZIAUX, Thierry, FEDULLO, David, Le grand livre de l'isolation, Edition Eyrolles, 2012.
17. Glastrosch, Le verre et ses applications, Edition Glas Trösch Holding AG, Conseil, Bützberg, 2013.
18. Glaverbel, Verre et isolation thermique 2004.

19. I.Benoudjafer, F.Ghomari, A. Mokhtari, Etude comparative relative à l'efficacité énergétique de deux appartements situés à Béchar, Algérie, Revue des Energies Renouvelables Vol. 15 N°1 (2012) 1 – 12.
20. LE BRUN Christian, TERRIER Jean Claude, La réhabilitation thermique dans le bâtiment, Revue de l'usage de l'énergie. N° 62 Décembre 2015.
21. LEVARD, Catherine, Isolation intérieur et extérieur, Edition Charles Massin, 2011
22. MAGRI ELOUADJERI, Sahar, Rapport entre éclairage naturel et confort thermique dans les milieux à climat chaud aride, Magister 2006, EPAU.
23. MEDJELEKH Dalel, Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment, Magister 2006, Université Mentouri de Constantine.
24. MICHEL, FRENOT, L'isolation thermique, Edition Edisud, 2007.
25. Ministère de l'habitat algérien, Document technique réglementaire D.T.R C 3.2.
26. Ministère de l'habitat algérien, Document technique réglementaire D.T.R C 3.4.
27. N. Kadri11 et A. Mokhtari22, Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°2 (2011) 301 – 311.
28. OLIVA, JEAN-Pierre; COURGEY, Samuel, L'isolation thermique écologique, Edition Terre vivante, 2010.
29. OUAL, Mohamed Seddik, L'influence de l'éclairage et de la couleur sur l'appréciation des ateliers de l'architecture à l'EPAU, Magister 2013, EPAU.
30. P. Joffroy, 'La Réhabilitation des Bâtiments: Conserver, Améliorer, Restructurer les Logements et les Equipements', Edition Le Moniteur, Paris, 1999.
31. SMAILI Imene, L'influence de la qualité des espaces verts sur la qualité de vie à l'EPAU, Master, EPAU.
32. Soojung Kim, Puyan A. Zadeh, Sheryl Staub-French, Thomas Froese, Belgin Terim Cavka, –Assessment of the Impact of Window Size, Position and Orientation on Building Energy Load Using BIM, Revue Procedia Engineering 145 (2016) 1424 – 1431.
33. THIERRY Gallauziaux et DAVID Fedullo, Le grand livre de l'isolation, Edition, Eyrolles, 2012.
34. Zouggari, MAGID, Amélioration du confort thermique dans les espaces de travail, Master, EPAU.

Webographie

35. Centre de Développement des énergies Renouvelables, RETA- Logiciel d'application de la Réglementation Thermique Algérienne, http://www.cder.dz/vlib/bulletin/pdf/ber36_8_9.pdf
36. Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment, Missions, <http://www.aprue.org.dz/maitrise-energetique.html>
37. Energieplus, Améliorer les fenêtres, <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16843>
38. EnergiePlus, Dimensionner une protection fixe (avancée architecturale, brise-soleil), disponible sur: <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11151#collapse2+c1422+c1423+c1424>

39. Energieplus, Les protections extérieures, <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10401>
40. Energieplus, Les vitrages isolants thermiques, disponible sur: <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11673#c12163>
41. L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie, Qui sommes nous ?, <http://www.aprue.org.dz/maitrise-energetique.html>
42. Portail algérien des énergies renouvelables, Application RETA : Réglementation Thermique Algérienne, <http://portail.cder.dz/spip.php?article4969>
43. Portail algérien des énergies renouvelables, L'efficacité énergétique dans le bâtiment, <http://portail.cder.dz/spip.php?article3746>

Annexe – Rapport RETA

Enveloppe : Atelier 322 avant la réhabilitation

Données techniques

Volume Brut	Volume Net	Usage		
662,88 m ³	530,30 m ³	Enseignement	Immeuble collectif	Confort Amélioré
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté	
12 H		21°	24°	

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
1 524,00 W/°C	1 106,61 W/°C	1,38 Non conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	19 981,56 W	6 104,88 W	14 242,01 W	6 075,29 W	2,81 Non conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
354,56 m ³ /h	396,00 m ³ /h	255,19 W/°C	455,74 m ³ /h - Orientation: E

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouveaulement d'air total
396,00 m ³ /h	1 267,20 W	1 458,35 W	1 941,01 W	2 233,81 W	6 900,37 W

Puissance de chauffage

Cin : Coefficient de surpuissance	Cr : Coefficient des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel	Puissance de chauffage
0,15	0,00	30,1 kW

Puissance de climatisation

Nombre d'occupants	Puissance d'éclairage	Autres puissances dégagées	Puissance de Climatisation
22,00	0,00	0,00	42,5 kW

Enveloppe : Atelier 322 après la réhabilitation par des vitrages doubles et des brises soleil

Données techniques

Volume Brut	Volume Net	Usage		
662,88 m ³	530,30 m ³	Enseignement	Immeuble collectif	Confort Amélioré
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Été	
12 H		21°	24°	

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
1 387,76 W/°C	1 106,61 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	19 981,56 W	6 104,88 W	6 457,38 W	4 097,40 W	2,59 Non conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
354,56 m ³ /h	396,00 m ³ /h	255,19 W/°C	455,74 m ³ /h - Orientation: E

Puissance de chauffage

Cin : Coefficient de surpuissance	Cr : Coefficient des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel	Puissance de chauffage	
0,15	0,00	27,8 kW	

Puissance de climatisation

Nombre d'occupants	Puissance d'éclairage	Autres puissances dégagées	Puissance de Climatisation
22,00	0,00	0,00	34,7 kW