

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE CONSTANTINE 3



FACULTE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

N° d'ordre :

Série :

Mémoire de master

Architecture environnement et technologie

**EVALUATION DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE
DANS LES ETABLISSEMENTS UNIVERSITAIRES**

Cas d'étude «Faculté d'Architecture et d'Urbanisme Constantine 3»

Dirigé par:

SOTEHI Oualid

Présenté par :

GOUDACHI Soumia

Année Universitaire 2020/2021.

Session : juin

EVALUATION DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE DANS LES ETABLISSEMENTS UNIVERSITAIRES

Cas d'étude «Faculté d'Architecture et d'Urbanisme Constantine 3»

Résumé

Le dilemme de la rareté des ressources fossiles ainsi que la demande en énergie qui ne cesse d'accroître ont engendré un déséquilibre en matière de consommation de l'énergie notamment dans le secteur du bâtiment qui est considéré comme étant le secteur le plus consommateur en termes d'énergie, ce qui a nécessité de prendre des mesures pour lutter contre ce dilemme.

L'une des mesures passives de l'amélioration de l'efficacité énergétique est bien l'amélioration de la performance énergétique de l'enveloppe à l'aide de l'isolation des parois et l'intégration d'un vitrage plus performant.

L'objectif de cette étude est l'évaluation de la performance énergétique d'un bâtiment à caractère éducatif. Pour cela, nous avons choisi comme cas d'étude la faculté d'architecture et d'urbanisme de l'université Salah Bounider Constantine 3 et pour laquelle nous avons évalué la performance énergétique de son enveloppe.

Les résultats obtenus montrent qu'il est possible de réduire la consommation énergétique des différents blocs par l'utilisation de l'isolation thermique. Cependant, l'utilisation du vitrage performant réduit significativement ces besoins. Alors que la réduction des infiltrations de l'air joue un rôle important dans la réduction de ces besoins.

Afin de rendre cette enveloppe plus performante en termes de consommation d'énergie, à ce titre des recommandations ont été proposées telles que l'introduction d'une isolation thermique des parois ainsi que l'intégration d'un vitrage plus performant.

Mots clés : performance énergétique, efficacité énergétique, enveloppe du bâtiment, isolation thermique, vitrage performant.

EVALUATION OF THE ENERGY PERFORMANCE IN THE UNIVERSITY ESTABLISHMENTS

Case study «Faculty of Architecture and Urbanism Constantine 3»

Abstract

The dilemma of the scarcity of fossil resources as well as the increasing demand for energy has created an imbalance in energy consumption, especially in the building sector which is considered to be the most energy consuming sector, which has necessitated measures to combat this dilemma.

One of the passive measures to improve energy efficiency is to improve the energy performance of the building envelope by insulating the walls and integrating more efficient glazing.

The objective of this study is to evaluate the energy performance of an educational building. For this, we have chosen as a case study the Faculty of Architecture and Urban Planning of the University Salah Bounider Constantine 3 and for which we have evaluated the energy performance of its envelope.

The results obtained show that it is possible to reduce the energy consumption of the different blocks by using thermal insulation. However, the use of high performance glazing significantly reduces these needs. While the reduction of air infiltration plays an important role in the reduction of these needs.

In order to make this envelope more efficient in terms of energy consumption, recommendations have been proposed such as the introduction of thermal insulation of the walls as well as the integration of a more efficient glazing.

Key Words: energy performance, energy efficiency, building envelope, thermal insulation, high performance glazing.

تقييم أداء الطاقة في المؤسسات الجامعية

دراسة حالة "كلية العمارة وال عمران بقسنطينة 3"

الملخص

أدت معضلة ندرة الموارد الأحفورية والطلب المتزايد باستمرار على الطاقة إلى اختلال التوازن في استهلاك الطاقة، لا سيما في قطاع البناء، الذي يعتبر القطاع الأكثر استهلاكاً من حيث استهلاك الطاقة. الأمر الذي استدعى العمل على محاربة هذه المعضلة. أحد الإجراءات السلبية لتحسين كفاءة الطاقة هو بالفعل تحسين أداء الطاقة للمغلف بمساعدة عزل الجدار ودمج الزجاج الأكثر كفاءة. الهدف من هذه الدراسة هو تقييم أداء الطاقة لمبنى تعليمي. لهذا، اخترنا كدراسة حالة كلية الهندسة المعمارية وتخطيط المدن بجامعة صلاح بوبنيدر قسنطينة 3 والتي قمنا من أجلها بتقييم أداء الطاقة في غلافها. أظهرت النتائج أنه من الممكن تقليل استهلاك الطاقة للكتل المختلفة باستخدام العزل الحراري. ومع ذلك، فإن استخدام الزجاج عالي الأداء يقلل بشكل كبير من هذه الاحتياجات. بينما يلعب الحد من تسرب الهواء دوراً مهماً في تقليل هذه الاحتياجات. من أجل جعل هذا الغلاف أكثر كفاءة من حيث استهلاك الطاقة، تم اقتراح توصيات مثل إدخال العزل الحراري للجدران بالإضافة إلى دمج زجاج أكثر كفاءة.

الكلمات المفتاحية

أداء الطاقة، كفاءة الطاقة، غلاف المبنى، العزل الحراري، الزجاج عالي الأداء.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	IV
Résumé en anglais	V
Résumé en arabe	VI
Table des matières	VII
Liste Des Figures	XII
Liste Des Tableaux	XIV
Liste des plans	XV
Abréviations et Acronymes	XVI
Introduction générale	1
CHAPITRE I : L'ENEGIE ET SA CONSOMMATION DANS LE BATIMENT	
Introduction.....	7
I.1. Concepts généraux de l'énergie.....	7
I.1.1. L'homme et l'énergie à travers le temps.....	7
I.1.2. Définition De L'énergie.....	9
I.1.3. Les différentes sources d'énergie.....	10
I.1.3.1. Les Combustibles Fossiles.....	10
I.1.3.2. Les Énergies Renouvelables (EnR).....	11
I.1.4. De l'énergie primaire à l'énergie finale.....	11
I.2. La consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment.....	12
I.2.1. Le besoin d'énergie dans le bâtiment.....	12
I.2.2. Les énergies renouvelables utilisées dans le bâtiment.....	13
I.2.2.1. L'énergie solaire.....	13
I.2.2.2. L'énergie éolienne.....	15
I.2.2.3. L'énergie de la terre (la géothermie).....	16
I.2.2.4. Hydroélectricité.....	16
I.2.3. Etat de la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment.....	17
I.2.3.1. Le contexte mondial.....	17
I.2.3.2. Le contexte Algérien.....	17
I.2.4. La consommation du gaz naturel et d'électricité en Algérie.....	19
I.2.4.1. Consommation du gaz naturel gaz naturel.....	19

I.4.2.2. Consommation d'électricité.....	19
I.3. Le développement durable.....	20
I.3.1 Évolution du concept de développement durable.....	20
I.3.2. Objectifs du développement durable.....	21
I.3.3. L'efficacité énergétique et le développement durable.....	22
I.3.3.1. Qu'est-ce que l'efficacité énergétique ?.....	22
I.3.3.2. Avantages de l'efficacité énergétique.....	23
I.3.3.3. l'efficacité énergétique dans le bâtiment.....	23
I.3.3.4. Caractéristiques des bâtiments économes en énergie.....	24
I.3.4 Certifications et labels.....	24
I.3.4.1. La démarche HQE.....	25
I.3.4.2. Le label BREEM.....	26
I.3.4.3. Le label LEED.....	26
I.3.4.4. Cas de l'Algérie.....	26
Conclusion.....	27
 CHAPITRE II : LA PERFORMANCE ENERGETIQUE DE L'ENVELOPPE D'UN BATIMENT	
Introduction.....	29
II.1. L'enveloppe d'une construction.....	29
II.1.1. L'évolution historique de l'enveloppe.....	29
II.1.1.1. En architecture vernaculaire.....	29
II.1.1.2 Durant l'âge moderne.....	30
II.1.1.3 Après le choc pétrolier de 1973.....	30
II.1.2 Les composants de l'enveloppe.....	31
II.1.2.1 Les murs.....	31
II.1.2.2 Fenestration (fenêtres et portes).....	31
II.1.2.3 Toits.....	31
II.1.3 Les matériaux de construction.....	32
II.1.3.1 Propriété et performances thermiques des matériaux.....	32
II.1.3.2 Le vitrage et ses propriétés thermiques.....	33
II.1.4 L'inertie thermique.....	34
II.1.4.1 Les types de l'inertie thermique.....	35

II.1.4.2 Les effets de l'inertie.....	36
II.1.5 Coefficient global de transmission thermique K (appelé aussi U).....	36
II.1.6 Le transfert de chaleur.....	36
II.1.6.1 La conduction thermique.....	36
II.1.6.2 La Convection thermique.....	36
II.1.6.3 Le rayonnement thermique.....	37
II.1.7 Les défauts de l'enveloppe.....	37
II.1.7.1 Les ponts thermiques.....	37
II.1.7.2 Les défauts d'étanchéité à l'air.....	38
II.2 Le confort thermique.....	39
II.2.1 Définition du confort thermique.....	39
II.2.2 Les paramètres du confort thermique.....	39
II.2.2.1 La température de l'air (Ta).....	40
II.2.2.2 La vitesse de l'air.....	40
II.2.2.3 La température moyenne des parois (Tp).....	40
II.2.2.4 L'humidité relative de l'air.....	41
II.2.2.5 Le métabolisme.....	41
II.2.2.6 L'habillement.....	41
II.2.3 Indicateurs du confort thermique.....	41
II.2.3.1 Les indices environnementaux simples.....	42
II.2.3.2 L'indice PMV et PPD.....	42
II.3 L'isolation thermique.....	44
II.3.1 Les principes de l'isolation thermique.....	44
II.3.1.1 L'isolation intérieure.....	44
II.3.1.2 L'isolation extérieure.....	45
II.3.1.3 L'isolation répartie.....	45
II.3.2 Sélection de l'isolation.....	45
II.3.3 Les types d'isolants.....	46
II.3.4 L'isolation du vitrage et de menuiserie extérieure.....	46
II.3.4.1 le vitrage.....	46
II.3.4.2 Les menuiseries.....	47
II.4 Bilan thermique de la construction.....	47

II.4.1 Déperditions calorifiques (besoins calorifiques).....	47
II.4.1.1 Les besoins calorifiques pour pertes par transmission.....	48
II.4.1.2 Les besoins calorifiques pour pertes par ventilation.....	50
II.4.1.3 Conduite des calculs.....	52
II.4.1.4 Données nécessaires pour le calcul.....	52
II.4.2 Apports pour climatisation.....	52
II.4.2.1 Données de calcul.....	52
II.4.2.2 Evaluation du bilan thermique de climatisation.....	53
II.4.2.3 Données nécessaires pour le calcul du bilan thermique en été.....	56
Conclusion.....	57
CHAPITRE III : CONTEXTE GEOPHYSIQUE	
Introduction.....	59
III.1. Le climat.....	59
III.1.1 Définition.....	59
III.1.2 Eléments utiles du climat.....	59
III.2 Analyse Climatique De La Ville De Constantine.....	60
III.2.1. Le Rayonnement Solaire.....	61
III.2.2. La température de l'air.....	62
III.2.3. Humidité Relative.....	63
III.2.4. Le Vent.....	63
III.2.5. Les Précipitations.....	64
III.3. Présentation de cas d'étude.....	65
III.3.1 Composition du bâtiment.....	66
III.3.2 La composition des enveloppes.....	73
III.4. TRNSYS.....	75
III.4.1. Présentation.....	76
Conclusion.....	77
CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION	
Introduction.....	79
IV.1. Comportement thermique du bâtiment étudié.....	79
IV.2. Amélioration passives des performances énergétiques de la faculté.....	89
IV.2.1. Amélioration de l'isolation thermique.....	89

IV.2.2. Effet des propriétés thermique et optiques du vitrage.....	90
IV.2.3. Infiltration et étanchéité.....	92
IV.2.4. Application de toutes les modifications.....	93
IV.3. Bilan environnemental.....	94
Conclusion.....	95
Conclusion générale.....	97
Bibliographie.....	100
Annexes.....	105

Liste des figures

Figure 1.1. Organisation des contenus sur le thème de l'énergie.....	10
Figure 1.2. Bilan de l'énergie primaire et finale.....	12
Figure 1.3. Demande de l'énergie finale dans le cas du chauffage domestique.....	13
Figure 1.4. Evolution de la capacité cumulée de chauffe-eau solaires (CES) dans le monde (2000-2019).....	14
Figure 1.5. Evolution des capacités de production d'électricité solaire photovoltaïque et répartition à travers le monde (2010-2019).....	15
Figure I.6 Evolution des capacités de production d'électricité éolienne dans le monde (2010-2019).....	15
Figure 1.7. Schéma d'une installation-type de géothermie.....	16
Figure 1.8. Part de la consommation d'énergie finale et d'émissions mondiales des bâtiments et de la construction, 2017.....	17
Figure 1.9. Structure de la consommation finale par secteur en Algérie, 2019.....	18
Figure 1.10. Evolution de la consommation du gaz naturel en Algérie (1991-2019).....	19
Figure 1.11. Evolution de la consommation d'électricité en Algérie (1991-2019).....	20
Figure 1.12. Les objectifs du développement durable.....	22
Figure 1.13. Les 14 cibles de la démarche HQE.....	25
Figure 1.14. Grille d'évaluation des projets architecturaux avec prise en compte de l'efficacité énergétique.....	27
Figure 2.1. L'inertie thermique.....	35
Figure 2.2. Illustration d'un pont thermique.....	37
Figure 2.3. Type de dégagement de chaleur par un individu.....	40
Figure 2.4. Situation de confort et d'inconfort dans un local.....	41
Figure 2.5. Relation entre l'index PMV et PPD.....	43
Figure 3.1. Situation géographique de la ville de Constantine.....	61
Figure 3.2. La température à Constantine 2010-2020.....	62
Figure 3.3. Variation mensuelle de la température extérieure et de l'humidité relative moyenne la ville de Constantine.....	63
Figure 3.4. Précipitation à Constantine 2010-2020.....	64
Figure 3.5. Type de vitrage pour les blocs 1, 2 et 3.....	74

Figure 3.6. Type de vitrage pour les blocs 6, 7 et 8.....	74
Figure 3.7. Type de vitrage pour les blocs 4 et 5.....	75
Figure 3.8. a. Modélisation de la construction sous TRNbuild.....	76
Figure 3.8. b. Modélisation de la construction sous TRNbuild.....	77
Figure 4.1. Besoins en chauffage du bloc 01.....	79
Figure 4.2. Besoins en chauffage et climatisation du bloc 02.....	80
Figure 4.3. Besoins en chauffage du bloc 03.....	82
Figure 4.4. Besoins en chauffage et climatisation du bloc 04.....	83
Figure 4.5. Besoins en chauffage et climatisation du bloc 05.....	84
Figure 4.6. Besoins en chauffage du bloc 06.....	85
Figure 4.7. Besoins en chauffage du bloc 07.....	86
Figure 4.8. Besoins en chauffage et climatisation du bloc 08.....	87
Figure 4.9. Besoins en chauffage et climatisation de la faculté.....	88
Figure 4.10. Variation des besoins en chauffage et en climatisation pour la faculté avec et sans isolation.....	90
Figure 4.11. Effet du type de vitrage sur les besoins thermiques.....	91
Figure 4.12. Effet de l'infiltration de l'air sur les besoins en chauffage de la faculté.....	92
Figure 4.13. Besoins thermiques avec et sans modifications.....	93
Figure 4.14. Quantité du CO2 dégagée pour le cas existant et amélioré.....	94

Liste des tableaux

Tableau 1.1. Evolution de la consommation énergétique de l'homme de la préhistoire à nos jours.....	8
Tableau 1.2. Consommation d'énergie dans les pays industrialisés Mtep (10^3 TJ).....	9
Tableau 1.3. Consommation finale par secteur d'activité en Algérie, année 2008-2019.....	18
Tableau 2.1. Conditions de bases pour les régions climatiques algériennes pour le calcul de chauffage.....	52
Tableau 2.2. Coefficient d'échanges thermiques superficiels.....	53
Tableau 2.3. Conditions de bases extérieures pour les zones climatiques en Algérie.....	55
Tableau 3.1. Types des parois composant l'enveloppe des blocs.....	73
Tableau 4.1. Tableau récapitulatif des besoins en chauffage du bloc 01.....	81
Tableau 4.2. Tableau récapitulatif des besoins en chauffage du bloc 02.....	81
Tableau 4.3. Tableau récapitulatif des besoins en climatisation du bloc 02.....	81
Tableau 4.4. Tableau récapitulatif des besoins en chauffage du bloc 03.....	82
Tableau 4.5. Tableau récapitulatif des besoins en chauffage du bloc 04.....	83
Tableau 4.6. Tableau récapitulatif des besoins en chauffage du bloc 05.....	84
Tableau 4.7. Tableau récapitulatif des besoins en chauffage du bloc 06.....	85
Tableau 4.8. Tableau récapitulatif des besoins en chauffage du bloc 07.....	86
Tableau 4.9. Tableau récapitulatif des besoins en chauffage du bloc 08.....	87
Tableau 4.10. Tableau récapitulatif des besoins en chauffage et climatisation avec isolant...	89
Tableau 4.11. Tableau récapitulatif des besoins en chauffage et climatisation avec différents types de vitrages.....	91

Liste des plans

Plan 3.1. Plan de masse de La faculté d'architecture	65
Plan 3.2. Bloc 1 -L'amphithéâtre N° 300-.....	66
Plan 3.3. Bloc 1 - L'amphithéâtre 3 et 7-.....	67
Plan 3.4. Bloc 2 -L'administration-.....	67
Plan 3.5. Bloc 3 -La 1 ^{ère} partie-.....	68
Plan 3.6. Bloc 3 -La 2 ^{ème} partie-.....	68
Plan 3.7. Bloc 3 -La 2 ^{ème} partie-.....	69
Plan 3.8. Bloc 4.....	69
Plan 3.9. Bloc 6 -Le 1 ^{er} niveau -.....	70
Plan 3.10. Bloc 6 -Le 2 ^{ème} et 3 ^{ème} niveau-.....	71
Plan 3.11. Bloc 6 -Le 4 ^{ème} et 5 ^{ème} niveau-.....	71
Plan 3.12. Bloc 8 -La 1 ^{ère} partie-.....	72
Plan 3.13. Bloc 8 -La 2 ^{ème} partie-.....	73

Abréviations

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

APRUE : Agence de la promotion et de rationalisation de l'utilisation de l'énergie

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

BREEAM: Building Research Establishment Environmental Assessment Method

BTP : Bâtiment et Travaux Publics

CEREFÉ : le Commissariat aux Energies Renouvelables et à l'Efficacité Energétique

CO₂ : Dioxyde de carbone.

DTR : Documents Techniques Réglementaires

ECS : Eau chaude sanitaire

EnR : Énergie Renouvelable

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié

HQE : La Haute Qualité Environnemental

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

LEED: Leadership in Energy and Environmental Design

MTep : Million de tonnes équivalent pétrole

PMV : Vote Moyen Prévisible

PPD : Pourcentage Prévisible D'insatisfait

Acronymes

a : La diffusivité thermique

b : L'effusivité thermique

C : La capacité thermique

CLoc : Chaleur latente des occupants

CSoc : Chaleur sensible des occupants

e : Epaisseur

F : Facteur de rayonnement solaire

F_s : Facteur solaire

g : Facteur de réduction qui tient compte du mode de protection de la fenêtre par rapport au rayonnement solaire

H : Caractéristique d'immeuble

he : Coefficient de la convection thermique interne

hi : Coefficient de la convection thermique externe

K : Coefficient global de transmission thermique ($W/m^2.K$)

n : Nombre d'occupants

Q : Densité de flux de chaleur

Q₀ : Déperditions calorifiques par transmission

q_o : signifie les déperditions calorifiques horaires de l'élément de construction

QL : Besoins calorifiques pour compenser les pertes par ventilation

Q_{Secl} : Apport de chaleur par éclairage

Q_{Séquip} : Apport de chaleur par les équipements, machines et appareillages

Q_{Soc} : Apport de chaleur par les occupants

Q_{Sr} : Apport de chaleur par renouvellement d'air et infiltration

Q_{SRm} : Apport de chaleur par rayonnement solaire à travers les parois

Q_{SRv} : Apport de chaleur par les surfaces vitrées

Q_{Str} : Apport de chaleur par transmission à travers les parois extérieures

QT : Besoins calorifiques de transmission

qv : Débit d'air extérieur de renouvellement

R : Caractéristique de local

R_m : Rayonnement solaire absorbé sur la surface du mur

R_v : Rayonnement solaire incident sur le vitrage

S : Surface

te : Température extérieure

ti : Température intérieure.

U : Coefficient de Transmission

zA : La majoration pour surface froide

zE : Le facteur de majoration pour fenêtres d'angle

zH : La majoration pour orientation

zu : La majoration pour interruption d'exploitation

α : Coefficient d'absorption de la paroi recevant le rayonnement.

τ : Facteur lumineux

λ : La conductivité thermique

χ : Les ponts thermiques ponctuels

Ψ : Les ponts thermiques linéaires

ω_e : Teneur en eau de l'air extérieur g/kg air sec.

ω_i : Teneur en eau de l'air intérieur g/kg air sec.