

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ DE BOUIRA
FACULTEDES SCIENCES ET DES SCIENCES APPLIQUEES
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'études

Présenté par :
ARABE Kamilia
BAZIZ Lynda

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 2**

Filière : Génie Civil
Spécialité : Structures

Thème :

**Contribution à l'évaluation de la performance énergétique des
bâtiments d'habitation en Algérie en utilisant la méthode AHP –
Cas d'études dans la région de Bouira**

Devant le jury composé de :

Mr. SAOUDI B.	MCB	Université de Bouira	Président
Mr. MOUSSAOUI F.	MCB	Université de Bouira	Encadrant
Mme. BOUMAIZA M.	MAA	Université de Bouira	Examinatrice

Année Universitaire 2022-2023



Remerciements

Nous exprimons tout d'abord notre gratitude à Dieu, le Tout-Puissant, pour nous avoir donné la volonté, le courage et les capacités nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous souhaitons également adresser nos sincères remerciements à **M. Moussaoui**, notre superviseur. Nous le remercions pour ses précieux conseils, sa présence et son suivi tout au long de cette humble tâche.

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance envers les membres du jury qui ont accepté d'examiner notre travail et de l'enrichir de leurs suggestions.

Enfin, nous souhaitons remercier chaleureusement toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Leur soutien et leur collaboration ont été précieux

Kamília & Lynda

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à mes parents bien-aimés, qui m'ont encouragé à progresser et ont toujours été à mes côtés, me soutenant dans les moments difficiles. Ils ont sacrifié leur vie pour me voir grandir et devenir ce que je suis aujourd'hui. Je prie Dieu le Tout-Puissant de les protéger et de leur accorder une longue vie.

À ma sœur KHALIDA, mes chers MARIA & KHALIL & ACIL,

À mes frères : RABEH et KHALED,

À RIMA & WARDA & KHADIDJA,

À mon amie LYNDA ; je tiens à la remercier pour tous les moments de joie et de folie que nous avons passés ensemble,

À mes autres amies.

Kamília

Je dédie humblement ce travail,

À mes chers parents qui ont été mes guides pendant les moments les plus difficiles de ma carrière. Ma mère, source de tendresse, a été à mes côtés et m'a soutenu tout au long de ma vie. Mon père a sacrifié sa vie pour que je devienne ce que je suis aujourd'hui. Merci à mes parents.

À mon petit frère, M. Mahdi.

À ma grande sœur, Hafida, qui m'a apporté son aide précieuse chaque fois que j'en avais besoin.

À mon binôme, Kamilia, qui a été à mes côtés pendant toutes ces années d'études partagées ensemble.

À toutes les personnes qui me connaissent, à toute la famille universitaire et à tous ceux qui m'ont soutenu. Votre soutien a été essentiel dans la réalisation de ce travail. Merci du fond du cœur.

Lynnda

Table des matières

Sommaire

Remerciements	i
Dédicaces.....	ii
Table des matières	iii
Listedes figures.....	vi
Listedes tableaux.....	ix
Listedesabréviations	xi
Trois résumés.....	xii

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre 01 : Contexte énergétique nationale et mondiale : Revue de littérature

I.1	Introduction.....	4
I.2	Contexte énergétique mondiale – Statistiques et perspectives	4
I.2.1	Énergies primaires – Statistiques	4
I.2.2	Mix énergétique mondial en 2021	10
I.2.3	Énergies renouvelables – Statistiques	11
I.2.4	Statistiques des émissions du CO2 dans le monde.....	14
I.2.5	Perspectives de la situation énergétique mondiale	15
I.3	Contexte énergétique algérien – Statistiques et perspectives	16
I.3.1	Énergies primaires – Statistiques	17
I.3.2	Énergies renouvelables – Statistiques	20
I.4	Conclusion	24

Chapitre 02 : Efficacité énergétique des bâtiments d’habitation – Vue d’ensemble

II.1	Introduction.....	24
II.2	Situation énergétique dans le secteur résidentiel dans le monde	24
II.2.1	Etat des lieux de la situation mondiale	25
II.2.2	Enjeux de l’efficacité énergétique des bâtiments d’habitation.....	26
II.3	Situation énergétique dans le secteur résidentiel en Algérie	28

II.3.1	Etat des lieux de la situation nationale	28
II.3.2	Politique d'efficacité énergétique dans le secteur	31
II.4	Introduction.....	33
II.5	Outils et systèmes de notation environnementale et de durabilité.....	34
II.5.1.3	Principales méthodes de certifications existantes	35
A.	La méthode BREEAM	35
II.6	Méthodes multicritères d'aide à la décision	41
II.6.1	Définition.....	41
II.6.2	Domaines d'application.....	42
II.6.3	Principales méthodes multicritères d'aide à la décision.....	42
II.7	Discussion et conclusion.....	43

Chapitre 03 : Contribution au développement d'une méthodologie d'évaluation de la performance énergétique des bâtiments d'habitation en Algérie

III.1	Introduction.....	46
III.2	Méthodologie d'évaluation proposée	46
III.2.1	Structure de la méthodologie.....	46
III.2.2	Approches Top-down et Bottom-up : deux approches opposées ou complémentaires ?.....	47
III.2.3	Approche diagnostic descendante – "Top-down	48
III.3	Approche « Bottom-up » Agrégation multicritère.....	61
III.3.1	Description du processus d'agrégation adopté.....	61
	Hiérarchisation des indicateurs par importance	63
	Comparaison des indicateurs par importance	64
	Détermination des poids associés à chaque indicateur	65
	Vérification de la consistance de résultat.....	65
III.4	Conclusion	66

Chapitre 04 : Application de la méthodologie développée sur des cas réels dans la région de Bouira

IV.1	Introduction.....	67
IV.2	Présentation des cas d'études.....	67
IV.2.1	Cas d'étude n°1	67
IV.2.2	Cas d'étude n°2	71
IV.3	Application de la méthodologie.....	74
IV.3.1	Cas d'étude n°1	74

IV.3.1.3	Détail de calcul de IP du critère.....	82
IV.3.2	Synthèse de calcul des IPs du cas d'étude n°1	83
IV.3.3	Cas d'étude n°2	85
A.	Les déperditions thermiques par transmission de référence	89
IV.3.3.2	Détail de calcul de IP du critère.....	90
IV.3.4	Synthèse de calcul des IPs du cas d'étude n°2	90
IV.4	Pondération des IPs – Méthode AHP	93
IV.4.1	Pondération des IPs – Méthode AHP	93
IV.4.2	Calcul des performances – Méthode MSP	96
IV.4.3	Programmation d'un outil d'évaluation des performances	97
IV.5	Discussion des résultats	101
IV.6	Conclusion	103
	Conclusion générale	104
	Références bibliographiques	106

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1. Réserves prouvées de pétrole (en milliards de barils). Source : (BP, 2020)	5
Figure I.2. Réserves prouvées de gaz naturel (en milliards de mètres cubes). Source : (BP, 2020).....	5
Figure I.3. Réserves prouvées de charbon (en milliards de tonnes). Source : (BP, 2020)	5
Figure I.4. Evolution de la consommation d'énergies primaire (Delphine, CHAREYRON, MOLINARO, & MULTON, 2020).....	6
Figure I.5. Evolution de la consommation d'énergies primaire. Source : (BP, 2022)	6
Figure I.6. Consommation mondiale d'énergie primaire par énergie (en TWh). Source : (AIE, Agence internationale de l'énergie, Septembre 2021)	7
Figure I.7. Consommation du pétrole et de gaz naturel en 2021. Source : (BP, 2022).....	7
Figure I.8. Statistiques du pétrole e du gaz dans le monde (consommation et production). Sources : (BP, 2022).....	8
Figure I.9. Consommation d'énergie totale et production d'électricité en 2021. Source : (BP, 2022).....	9
Figure I.10. Consommation finale d'énergie par continent. Sources : (BP, 2022).....	9
Figure I.11. Répartition de la consommation mondiale par continent (en Milliers de TWh). Source : (AIE, Agence internationale de l'énergie, Septembre 2021).....	10
Figure I.12. Consommation d'énergies par habitant en 2021	10
Figure I.13. Mix énergétique mondial en 2021. Source: (BP, 2022)	11
Figure I.14. Ressources énergétiques primaires renouvelables ramenées à la consommation annuelle d'énergie primaire de l'humanité (Delphine, CHAREYRON, MOLINARO, & MULTON, 2020).....	12
Figure I.15. Production d'énergies renouvelables par source (BP, 2021)	13
Figure I.16. Production d'électricité à partir des énergies renouvelables. Source : (AIE, Agence internationale de l'énergie, Septembre 2021)	14
Figure I.17. Consommation d'énergies renouvelables par région (BP, 2021).....	14
Figure I.18. Émissions mondiales de CO ₂ à partir de la combustion de carburant (1971-2019). Source : (AIE, Agence internationale de l'énergie, Septembre 2021).....	15
Figure I.19. Croissance de la demande mondiale d'énergies de 2020 à 2040. Source : (AIE, Agence internationale de l'énergie, Septembre 2021)	16
Figure I.20. Émissions de CO ₂ par scénario et par région, 2021 et 2030. Source : (AIE, World Energy Outlook, Novembre 2022)	16
Figure I.21. Carte des régions pétrolières d'Afrique du nord	17
Figure I.22. Carte des bassins sédimentaires de l'Algérie. Source : (Ministère de l'Énergie et des Mines, bilan énergétique de , l'année 2021).....	18

Figure I.23. Structure de la production d'énergies primaires.....	18
Figure I.24. Structure de la production d'énergies dérivées.....	19
Figure I.25. Puissance installée par producteur à fin 2017. Source : (Ministère de l'Énergie et des Mines, bilan énergétique de , l'année 2021).....	20
Figure I.26. Puissance installée par type d'équipement à fin 2017. Source : (Ministère de l'Énergie et des Mines, bilan énergétique de , l'année 2021).....	20
Figure I.27. Carte de l'Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011). 21	
Figure I.28. Carte du vent annuel moyen à 50m (Période 2001-2010).....	22
Figure I.29. Ressources géothermique de l'Algérie(GmbH, 2022)	22
Figure I.30. Carte pluviométrique pour le nord de l'Algérie (GmbH, 2022).....	23
Figure I.31. Localisation des barrages Algériens (GmbH, 2022)	23
Figure I.32. Structure de la production d'électricité d'origine renouvelable (Daci & Aliouane, 2022).....	24

Chapitre II

Figure II.1. Part mondiale des bâtiments et de la construction dans la consommation finale d'énergie et les émissions (2019). Source : (Global Alliance for Buildings and construction Rapport sur la situation mondiale des bâtiments et de la construction, 2020)	25
Figure II.2. Principales tendances sur l'état de la situation des bâtiments dans le monde entre 2015 et 2021. Source : (Global Alliance for Buildings and construction Rapport sur la situation mondiale des bâtiments et de la construction, 2020).....	25
Figure II.3. Consommation d'énergie dans les bâtiments par combustible, 2010-2021 (à gauche) et émissions de CO2 dans les bâtiments 2010-2021 (à droite). Source : (Global Alliance for Buildings and construction Rapport sur la situation mondiale des bâtiments et de la construction, 2020).....	26
Figure II.4. Mentions des bâtiments dans les dernières CDN de l'ensemble des pays. Source : (Global Alliance for Buildings and construction Rapport sur la situation mondiale des bâtiments et de la construction, 2020).....	27
Figure II.5. Investissement dans les énergies propres et les combustibles fossiles par scénario, 2025 et 2030. Source : (AIE, World Energy Outlook, Novembre 2022).....	28
Figure II.6. Efficacité énergétique dans le monde à l'horizon 2050. Source : (AIE, Net Zero by 2050, Mai 2021)	28
Figure II. 7. Nombre des logements réalisés en Algérie (1999-2018). Source : (Lkeria, 2019)	28
Figure II.8. Consommation finale d'énergies par secteur d'activité. Source : (APRU, Consommation énergétique finale de l'Algérie)	29
Figure II.9. Évolution de la consommation finale d'énergie de l'Algérie dans le secteur résidentiel (2000- 2019) (Unité : Mt-ep) (DRIS, 2021)	29
Figure II.10. Répartition de la consommation du secteur résidentiel par type de logement et d'énergies. Source : (APRU, Consommation énergétique finale de l'Algérie)	29
Figure II.11. Répartition de la consommation d'énergies par zone climatique (Ouahabe, 2015)	30

Figure II.12. Émission des GES par secteur en millions de teq CO ₂ . Source : (APRU, Consommation énergétique finale de l'Algérie)	30
Figure II.13. Emissions de CO ₂ par type de logement à l'horizon 2050(Ouahabe, 2015).....	31
Figure II.14. Potentiel d'économie des énergies jusqu'à à l'horizon 2030 (Baouchi, 2014)	31
Figure II.15. Programme de construction de bâtiments efficaces en Algérie	32
Figure II.16. Objectifs de la méthode BREEAM (MOUSSAOUI, 2018).....	35
Figure II.17. Evaluations certifiées BREEAM (Green Book Live, 9/2017)	36
Figure II.18. Catégories et crédits de la méthodes LEED (MOUSSAOUI, 2018).....	37
Figure II.19. Répartition des projets LEED dans le monde (US GBC, 2017)	38
Figure II.20. Catégories et crédits de la méthodes DGNB	39
Figure II.21. Réseau de partenaire de la DGNB dans le monde	39
Figure II.22. Schéma illustratif de processus de prise de décision.....	41
Figure II.23. Fréquence de l'utilisation des MMAD dans les publications scientifiques (Mardani, 2017).....	44

Chapitre III

Figure III.1. Méthodologie adoptée pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique pour un bâtiment d'habitation.....	47
--	----

Chapitre IV

Figure IV.1. Plan de masse du bâtiment n°1	68
Figure IV.2. Façades du bâtiment n°1	69
Figure IV.3. Plans d'étages du bâtiment n°1	69
Figure IV.4. Localisation du bâtiment n°1	70
Figure IV.5. Photos prise sur le site du bâtiment n°1	70
Figure IV.6. Plan de masse du bâtiment n°2	71
Figure IV.7. Coupe A-A du bâtiment n°2	72
Figure IV.8. Plan étage courant du bâtiment n°2	72
Figure IV.9. Localisation du bâtiment n°2	73
Figure IV.10. Photos prise sur le site du bâtiment n°2.....	73
Figure IV.11. Agrégation des performances de l'objectif « Aspect architectural ».....	97
Figure IV.12. Programme de l'outil informatique sur Visuel Basic studio	100
Figure IV.13. Processus d'agrégation des performances du cas d'étude n°01 sur Visual Basic studio	100
Figure IV.14. Processus d'agrégation des performances du cas d'étude n°02 sur Visual Basic studio	101
Figure IV.15. Performances obtenues par critères	102
Figure IV.16. Performances obtenues par objectifs	103
Figure IV.17. Performance énergétique des bâtiments étudiés	103

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1. Indicateurs des réserves de pétrole et de gaz de l'Algérie en 2019 (DRIS, 2021)	17
--	----

Chapitre II

Tableau II. 1. Les 14 cibles de la démarche HQE®	40
Tableau II. 2. Principales méthodes multicritères d'aide à la décision	42
Tableau II. 3. Principales méthodes multicritères d'aide à la décision (Suite)	43
Tableau II. 4. Fréquence d'application des MMAD dans les disciplines de recherches scientifique (Mardani, 2017)	44
Tableau II. 5. Fréquence d'application des MMAD dans les articles scientifique (Mardani, 2017)	45

Chapitre III

Tableau III. 1. Tableau de bord de diagnostic de la qualité énergétique d'un bâtiment d'habitation – Présentation des IPs	48
Tableau III. 2. Tableau de bord de diagnostic de la qualité énergétique d'un bâtiment d'habitation – Présentation des IPs (Suite)	49
Tableau III. 3. Tableau des méthodes de calcul des IPs	50
Tableau III. 4. Tableau des méthodes de calcul des IPs (Suite)	51
Tableau III. 5. Degré d'importance des indicateurs (SAATY, 1990)	64
Tableau III. 6. Valeurs de RI (SAATY, 1990)	66
Tableau III. 1. Tableau de bord de diagnostic de la qualité énergétique d'un bâtiment d'habitation – Présentation des IPs	48
Tableau III 2 Tableau des méthodes de calcul des IPs	50
Tableau III 3. Tableau des méthodes de calcul des IPs (Suite)	51
Tableau III 4 Degré d'importance des indicateurs (SAATY, 1990)	64
Tableau III 5 Valeurs de RI (SAATY, 1990)	66

Chapitre IV

Tableau IV.1. Présentation du cas d'étude n°01	67
Tableau IV.2. Présentation du cas d'étude n°02	71
Tableau IV.3. Calcul des IPs du cas d'étude n°01	74
Tableau IV.4. Calcul des IPs du cas d'étude n°01 (Suite)	74
Tableau IV.5. Calcul des IPs du cas d'étude n°01 (Suite)	75
Tableau IV.6. Calcul des IPs du cas d'étude n°01 (Suite)	76
Tableau IV.7. Calcul des IPs du cas d'étude n°01 (Suite)	77
Tableau IV.8. Calcul des IPs « conductivité, effusivité et diffusivité »	78
Tableau IV.9. Détails de calcul des $D_{Tréf}$	79
Tableau IV.10. Résistance thermique des matériaux constituant les parois	80
Tableau IV. 11.Coefficients de d'échanges superficiels pour les murs	80
Tableau IV.12. Résistance thermique des matériaux constituant la toiture.	81
Tableau IV. 13. Coefficients de d'échanges superficiels pour les planchers.	81
Tableau IV.14. Synthèse de calcul des IPs et valeurs de performances du cas d'étude n°01. .	83
Tableau IV.15. Synthèse de calcul des IPs et valeurs de performances du cas d'étude n°01 (Suite)	84
Tableau IV.16. Synthèse de calcul des IPs et valeurs de performances du cas d'étude n°01 (Suite)	85
Tableau IV.17. Calcul des IPs du cas d'étude n°02	85
Tableau IV.18. Calcul des IPs du cas d'étude n°02 (Suite)	86
Tableau IV.19. Calcul des IPs du cas d'étude n°02 (Suite)	87
Tableau IV.20. Calcul des IPs du cas d'étude n°02 (Suite)	88
Tableau IV.21. Détails de calcul des $D_{Tréf}$	89
Tableau IV.22. Synthèse de calcul des IPs et valeurs de performances du cas d'étude n°02 ..	90
Tableau IV.23. Synthèse de calcul des IPs et valeurs de performances du cas d'étude n°02 (Suite)	91
Tableau IV.24. Synthèse de calcul des IPs et valeurs de performances du cas d'étude n°02 (Suite)	92
Tableau IV.25. Attribution des ordres de préférences entre les IPs	93
Tableau IV.26. Synthèse de pondération des indicateurs de la performance	94
Tableau IV.27. Synthèse de pondération des critères	95
Tableau IV.28. Synthèse de pondération des objectifs	96

Liste des abréviations

- GPL** : gaz de pétrole liquéfié.
AIE : Agence internationale de l'énergie
BP :Blood patch
LBC : lampe basse consommation.
En R : énergie renouvelable.
OPGI : office promotion et gestion immobilier.
MSP: Methode de la Somme pondérée
APRUE : l'agence nationale de promotion et de rationalisation de l'énergie
EU : les États-Unis.
OPEP : organisation de l'OPEP.
GES :Gaz à effet de serre.
CME :Conseil Français de l'Énergie.
TIC : technologies de l'information et de la communication.
CEI : Communauté des États indépendants
PIB : le produit intérieur brut.
MMAD : Méthodes multicritères d'aide à la décision.
MODM : Les méthodes d'aide à la décision multi-objectif.
MADM : Les méthodes d'aide à la décision multi- attributs.
SAW : méthode de la somme pondérée.
AHP : Processus de Hiérarchie Analytique.
TOPSIS :Technique pour l'Ordre de Préférence par Similarité de Solution Idéale.
PROMETHEE : Les méthodes de Préférence Ranking Organisation.
ELECTRE : Élimination Et choix Traduisant réalité
MAUT: Multi-attribute utility theory.
VIKOR: Multicriteria optimization and compromise solution.
COPRAS : Complex proportional assessment
CP : Compromise programming
GP : Goal programming
MACBETH: Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MAVT: Multi-attribute value theory
MOVISS : Méthode d'évaluation spatio-temporelle
SKS: Shariket Kahraba Skikda
SKB: Shariket Kahraba Berrouaghia
SKH : Shariket Kahraba Hadjret Ennousse
SKT: Shariket Kahraba Terga
SKD : Shariket Kahraba de Koudiet Edraouch

Résumé

Cette étude contribue à l'élaboration d'une méthodologie d'évaluation de l'efficacité énergétique des bâtiments d'habitation en Algérie. La méthodologie repose sur deux approches complémentaires : l'approche descendante (Top-down) et l'approche ascendante (Bottom-up). La première approche consiste à réaliser un diagnostic description descendante afin de créer un tableau de bord regroupant les différents indicateurs d'évaluation de la performance énergétique des bâtiments d'habitation. La seconde approche est une agrégation multicritère basée sur la méthode de la somme pondérée, qui vise à calculer les performances des critères et objectifs de l'efficacité énergétique. Les poids des indicateurs seront déterminés à l'aide de la méthode ANALYSE HIÉRARCHIQUE DES PROCÉDÉS . Pour illustrer cette méthodologie développée, nous la mettons en pratique dans deux cas d'études réels situés dans la Wilaya de Bouira, en prenant en compte la disponibilité des données nécessaires pour évaluer la performance globale. Les résultats obtenus sont présentés et discutés.

Mots-clés : Performance énergétique, bâtiment d'habitation, indicateur de performance, méthode AHP, agrégation multicritère.

Abstract

This study contributes to the development of a methodology for evaluating the energy efficiency of residential buildings in Algeria. The methodology is based on two complementary approaches: the top-down approach and the bottom-up approach. The top-down approach involves conducting a descriptive diagnostic to create a dashboard that includes various indicators for evaluating the energy performance of residential buildings. The bottom-up approach is a multicriteria aggregation based on the weighted sum method, which aims to calculate the performance of energy efficiency criteria and objectives. The weights of the indicators will be determined using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. To demonstrate this developed methodology, it is applied to two real case studies in the Wilaya of Bouira, taking into account the availability of data required to assess overall performance. The obtained results are presented and discussed.

Key words: Energy performance, residential building, performance indicator, AHP method, multi-criteria aggregation.

المخلص

هذه الدراسة تساهم في وضع منهجية لتقييم فعالية الطاقة في المباني السكنية بالجزائر. تعتمد المنهجية على نهجين متكاملين: النهج التنازلي (من الأعلى إلى الأسفل) والنهج التصاعدي (من الأسفل إلى الأعلى). يتضمن النهج الأول إجراء تشخيص وصفي هرمي لإنشاء لوحة تحكم تضم مؤشرات تقييم أداء الطاقة في مباني السكن المختلفة. النهج الثاني هو عبارة عن تجميع متعدد المعايير يستند إلى طريقة المجموع المرجح، والتي تهدف إلى حساب أداء معايير وأهداف الكفاءة الطاقة. ستتم تحديد أوزان المؤشرات باستخدام طريقة AHP. لتوضيح هذه المنهجية المطورة، نطبقها عملياً في حالتين دراسيتين حقيقيتين في ولاية البويرة، مع مراعاة توفر البيانات اللازمة لتقييم الأداء الشامل. يتم عرض النتائج المستخلصة ومناقشتها

الكلمات المفتاحية: أداء الطاقة، مبنى سكني، مؤشر أداء، طريقة AHP، تجميع متعدد المعايير.



Introduction générale

Introduction générale

Depuis plusieurs décennies, la consommation énergétique mondiale connaît une croissance sans précédent, remettant en question les politiques économiques qui dépendent d'une quantité d'énergie colossale pour leur développement. Parmi tous les secteurs économiques, c'est le secteur du bâtiment qui consomme le plus d'énergie à l'échelle mondiale. Cette situation est principalement due à la forte demande de logements, résultant d'une importante croissance démographique. À l'échelle planétaire, le secteur du bâtiment est extrêmement gourmand en énergie, représentant 43% de la consommation énergétique totale mondiale en 2019 (AIE, 2019).

En Algérie, le secteur résidentiel est l'un des plus grands consommateurs d'énergie, représentant 41% de la consommation totale d'énergie finale (APRU, 2019). Le niveau de consommation de ce secteur est l'une des préoccupations majeures dans le cadre du modèle de consommation énergétique de l'Algérie.

D'autre part, la majeure partie de la consommation d'énergie en Algérie provient de combustibles fossiles tels que le gaz et le pétrole. Ces sources d'énergie ne sont pas renouvelables et sont destinées à s'épuiser à moyen terme. La consommation de ces énergies a un impact négatif sur l'écosystème et contribue au changement climatique. Par conséquent, la construction de bâtiments à haute efficacité énergétique, utilisant des sources d'énergie respectueuses de l'environnement, est devenue l'un des plus grands défis de notre époque.

Dans les années 1990, l'Algérie a mis en place plusieurs dispositifs réglementaires dans sa politique d'efficacité énergétique dans le secteur du logement. Suite à une réflexion sur la consommation des nouveaux logements lancée en 1995, le ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme a élaboré des documents techniques réglementaires (DTR) en 1997. Ces documents définissent notamment les valeurs de référence concernant les pertes de chaleur et les apports calorifiques des nouveaux bâtiments résidentiels et tertiaires, ainsi que les méthodes de calcul de ces pertes et apports calorifiques pour différentes zones climatiques.

L'amélioration de la performance énergétique des bâtiments vise à relever trois défis majeurs : répondre au problème de la sécurité d'approvisionnement énergétique pour les pays dépendants des ressources extérieures, faire baisser la consommation d'énergie dans tous les secteurs, en particulier le secteur résidentiel, sans compromettre le niveau de confort des occupants, et lutter contre le changement climatique (AitAhmed, 2017).

Objectifs et problématique de la recherche

Dans la première partie de cette étude, l'objectif principal est de discuter des méthodologies d'évaluation de la performance énergétique des bâtiments. Ensuite, une approche sera développée pour évaluer le niveau de qualité énergétique des bâtiments d'habitation en Algérie en utilisant des méthodes multicritères d'aide à la décision.

Pour atteindre cet objectif, plusieurs défis et problématiques doivent être surmontés, notamment :

- La difficulté d'accéder aux données de consommation énergétique et techniques auprès des organismes gouvernementaux et des occupants des bâtiments.
- La difficulté de quantifier l'ensemble des indicateurs de performance en raison de la disponibilité limitée des données.
- La problématique du choix des coefficients de pondération en raison du caractère subjectif de la décision.
- La difficulté d'établir des échelles de performance lorsque celles-ci ne sont pas mentionnées dans la littérature existante.
- La difficulté de proposer des méthodes de calcul et des échelles de performance appropriées pour certains indicateurs de performance énergétique.
- Le choix de la méthode d'agrégation et de pondération des indicateurs en raison de leur diversité et de leur complexité.

La résolution de ces défis et problématiques sera essentielle pour mener à bien la méthodologie proposée

Structure du mémoire

Ce mémoire se compose de quatre chapitres, allant de l'introduction à la conclusion générale. Le premier chapitre présente une recherche bibliographique sur la situation énergétique mondiale et nationale, en examinant les statistiques actuelles sur les réserves, la consommation, la production et les tendances futures des énergies.

Le deuxième chapitre est divisé en deux parties :

- La première partie aborde l'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel à l'échelle mondiale ainsi que dans le contexte spécifique de l'Algérie. Elle présente la part de la consommation énergétique du secteur dans les deux contextes et les politiques actuelles en matière d'efficacité énergétique.
- La deuxième partie présente les outils et méthodes utilisés dans les études d'évaluation de la performance énergétique des bâtiments d'habitation à travers le monde, tout en discutant de l'intérêt de développer une méthodologie adaptée au contexte national.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation de la méthodologie proposée pour l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments d'habitation en Algérie. Notre méthodologie repose sur deux approches complémentaires :

- L'approche descendante, également appelée "Top-down", qui vise à définir les différents aspects et critères d'évaluation de la performance énergétique des bâtiments d'habitation. Cela comprend un diagnostic de la qualité énergétique des bâtiments et la sélection d'indicateurs de performance pertinents.
- L'approche ascendante, également appelée "Bottom-up", qui vise à évaluer les niveaux de performance de chaque critère d'évaluation retenu. Le processus d'agrégation multicritère proposé utilise la méthode de la somme pondérée avec la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) pour le calcul des coefficients de pondération.

Enfin, le quatrième chapitre applique la méthodologie développée et la base de données collectées à des cas réels de bâtiments d'habitation dans la région de Bouira. Un outil informatique sera également développé en utilisant le logiciel Visual Basic dans le but de faciliter les calculs

Chapitre 01

Contexte énergétique nationale et mondiale : Revue de littérature

I.1 Introduction

Depuis plusieurs décennies, le monde fait face à une augmentation croissante de la consommation énergétique, ce qui remet fondamentalement en question le modèle économique qui dépend largement d'une quantité considérable d'énergie pour son développement. Parmi les secteurs économiques, le secteur du bâtiment est celui qui consomme la plus grande part d'énergie à l'échelle mondiale. Cette situation découle de la forte demande de logements due à une croissance démographique importante et à la recherche de niveaux de confort plus élevés. À l'échelle mondiale, le secteur du bâtiment est caractérisé par une forte intensité énergétique, représentant plus de 41% de la consommation énergétique mondiale en 2019([AIE, 2019](#)).

Dans ce chapitre, nous nous efforcerons de fournir une synthèse aussi complète que possible du contexte énergétique national et mondial, en mettant l'accent sur le secteur résidentiel. Nous aborderons des aspects tels que les statistiques actuelles, les perspectives futures et les enjeux liés à la consommation d'énergie dans ce secteur

I.2 Contexte énergétique mondiale – Statistiques et perspectives

En 2021, la consommation énergétique a connu une reprise fulgurante après la pandémie de COVID-19, dépassant même les niveaux atteints en 2019. Les émissions résultant de la production d'énergie ont également augmenté. En effet, l'année 2021 a vu une consommation d'énergie supérieure à celle de 2020. Après deux années marquées par la pandémie, la consommation énergétique a connu une croissance exceptionnelle de 5,5%, une tendance inédite depuis les années 60.([Enerdata, 2023](#))

I.2.1 Énergies primaires – Statistiques

I.2.1.1 Réserves mondiales en énergies primaires

Malgré certaines publications rapportant une situation différente, il est prévu que l'humanité continuera de dépendre des énergies fossiles pendant au moins les 50 prochaines années. En effet, au cours des 20 dernières années (de 1999 à 2019), les réserves d'énergies fossiles n'ont cessé de croître et ont atteint en 2019 des niveaux considérablement satisfaisants pour répondre aux besoins de l'humanité (Figures I.1, I.2 & I.3).

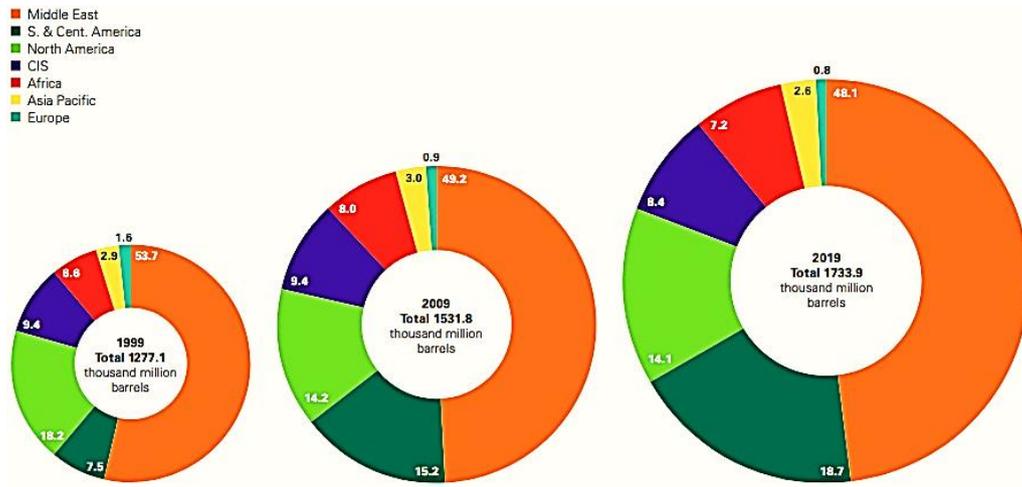


Figure I.1. Réserves prouvées de pétrole (en milliards de barils). Source : (BP, 2020)

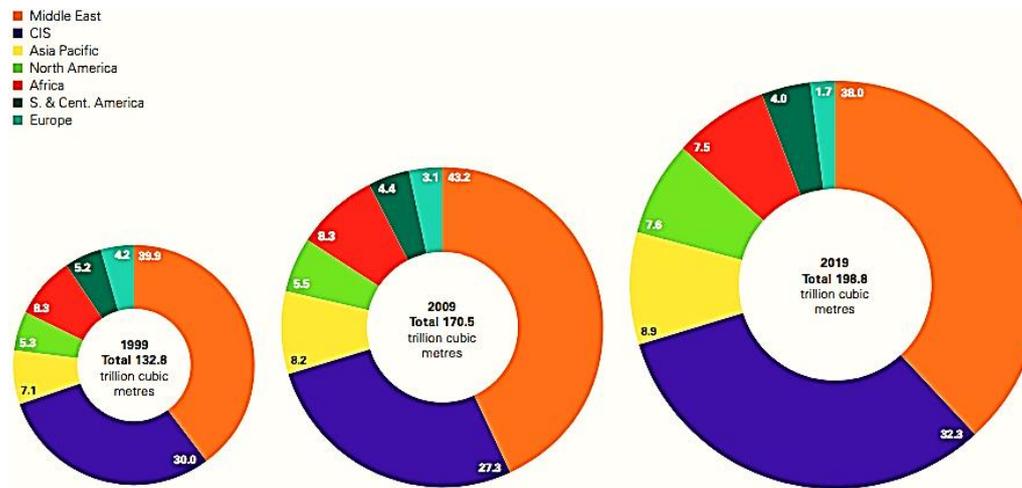


Figure I.2. Réserves prouvées de gaz naturel (en milliards de mètres cubes). Source : (BP, 2020)

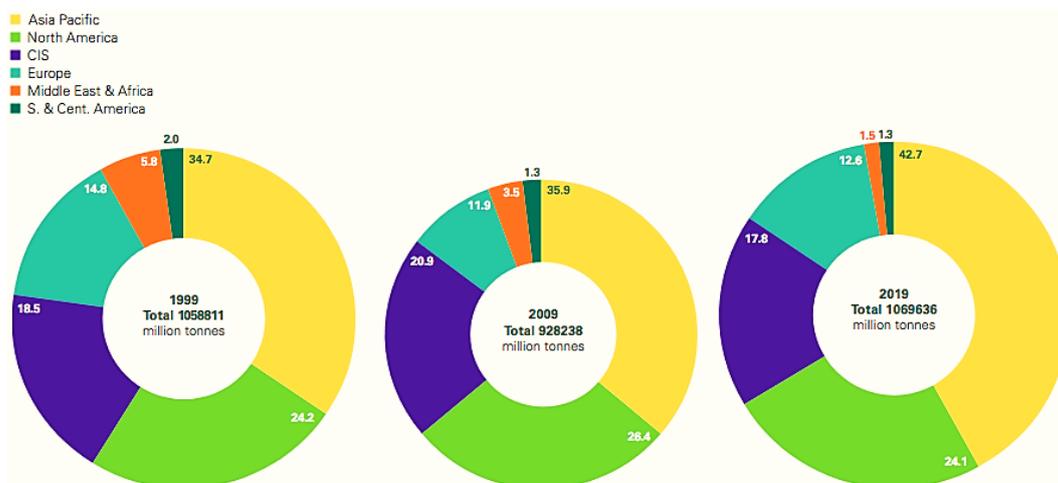


Figure I.3. Réserves prouvées de charbon (en milliards de tonnes). Source: (BP, 2020)

I.2.1.2 Consommation mondiale d'énergies primaires

A. Consommation énergétique par produit

La Figure I.4 illustre l'évolution de la consommation mondiale d'énergie primaire sur une période de deux siècles, de 1800 à 2018. Cette représentation graphique met en évidence le rôle majeur que l'énergie a joué dans la vie de l'humanité au cours des derniers siècles

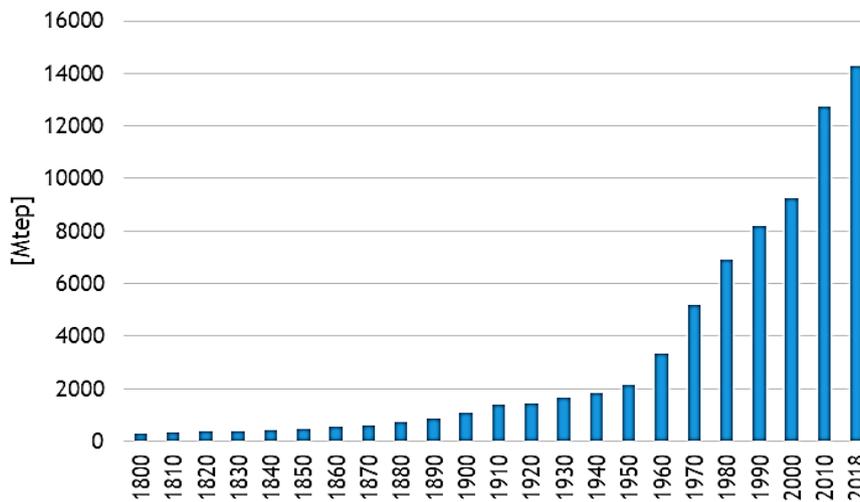


Figure I.4. Evolution de la consommation d'énergies primaire (Delphine, CHAREYRON, MOLINARO, & MULTON, 2020)

Selon British Petroleum, la consommation mondiale d'énergie primaire a enregistré une augmentation de 5,8% en 2021 par rapport à l'année 2020 (BP, 2022). Cette augmentation de la demande en énergies a été principalement due à la croissance des économies émergentes et au retour à une vie plus normale après la pandémie de COVID-19 (Figure I.5).

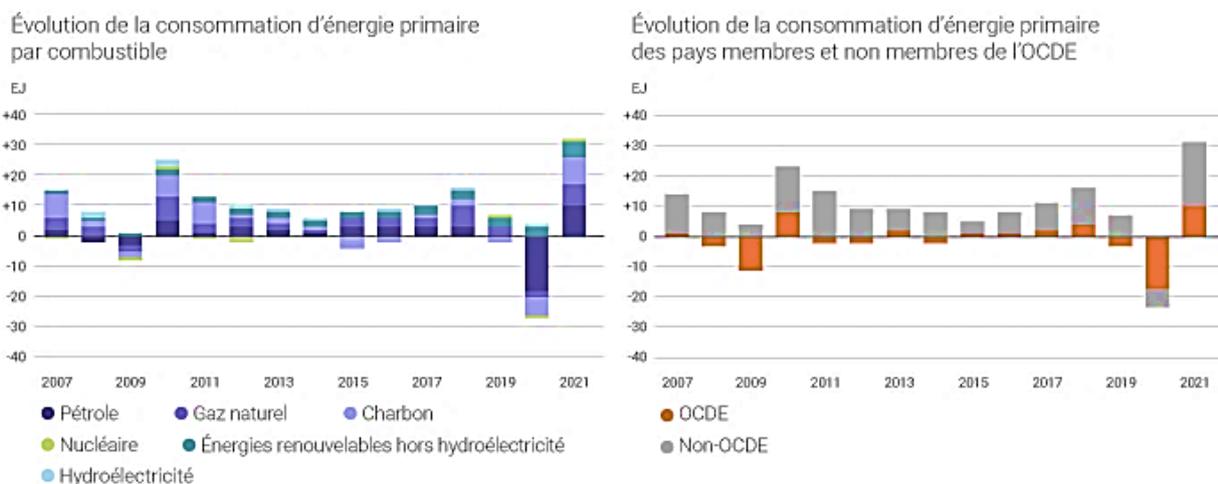


Figure I.5. Evolution de la consommation d'énergies primaire. Source : (BP, 2022)

L'Agence internationale de l'énergie (AIE) publie régulièrement des informations intéressantes sur le secteur de l'énergie (AIE, Agence internationale de l'énergie, Septembre 2021) la consommation mondiale d'énergie primaire s'élève à 168 500 TWh en 2019, soit

deux fois plus qu'en 1979 (83 700 TWh) (Figure I.6). D'après la même source, en 40 ans, la part des produits pétroliers a diminué, alors que celles du gaz naturel et du charbon ont progressé (AIE, Agence internationale de l'énergie "key world Energy statistics", 2020)(Figure I.6).

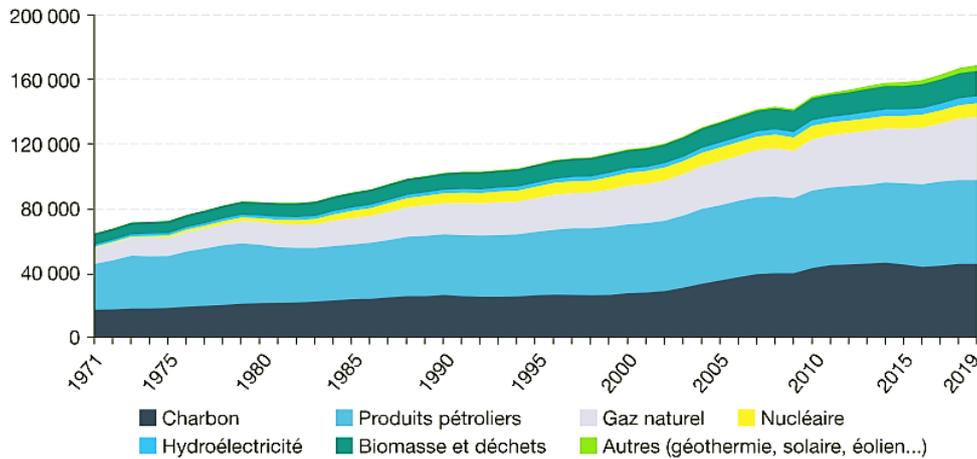


Figure I.6. Consommation mondiale d'énergie primaire par énergie (en TWh). Source : (AIE, Agence internationale de l'énergie, Septembre 2021)

B. Part du pétrole et du gaz

En raison de la pandémie de Covid-19, la consommation mondiale de pétrole a connu une augmentation en 2021 par rapport à l'année précédente. Cette augmentation est principalement attribuable à l'augmentation de la demande de carburant dans le secteur de l'aviation, qui a été fortement impacté par les restrictions liées à la pandémie (CDE, 2023)

La consommation mondiale de gaz naturel a augmenté en 2021 par rapport à 2020.

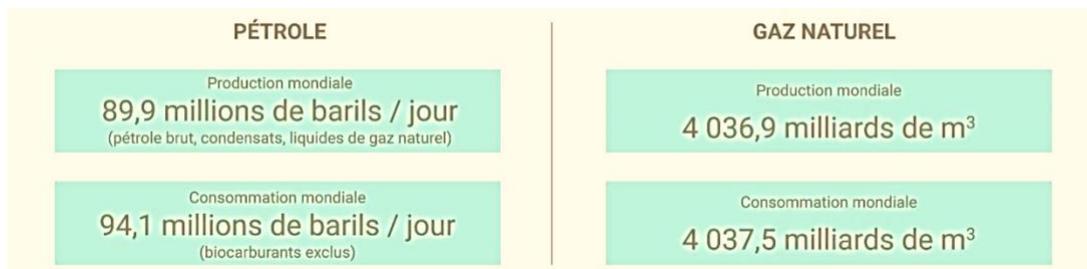


Figure I.7. Consommation du pétrole et de gaz naturel en 2021. Source : (BP, 2022)

Les États-Unis sont prédominants à l'échelle mondiale en ce qui concerne la consommation et la production de pétrole. En ce qui concerne le continent européen, en 2021, la Russie a représenté environ 40% de la consommation de gaz naturel de l'Union européenne et environ 25% des importations de pétrole des États membres de l'Union européenne (CDE, 2023) (Figure I.8).

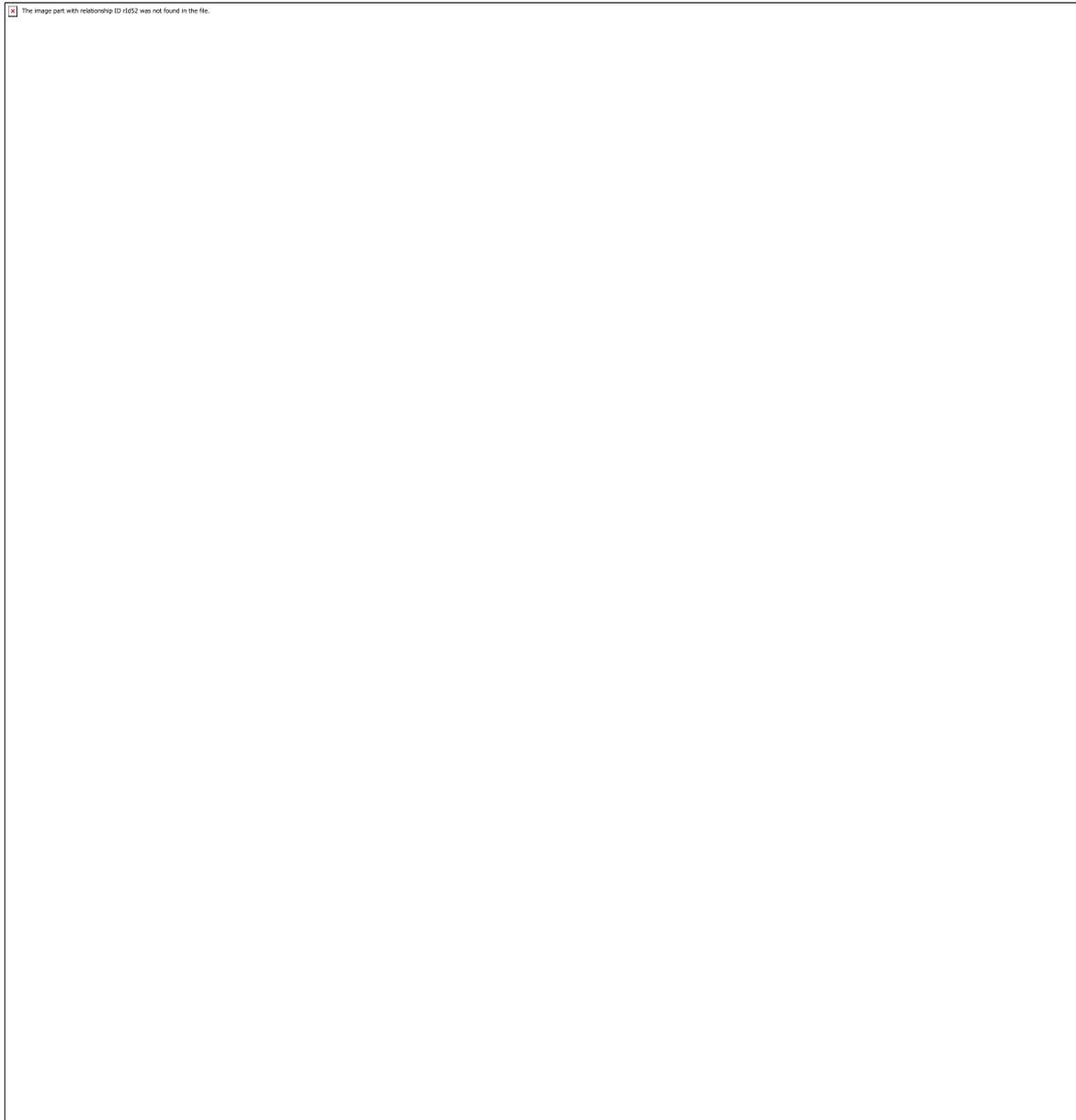


Figure I.8. Statistiques du pétrole e du gaz dans le monde (consommation et production).

Sources : (BP, 2022)

C. Part de l'électricité

En 2021, les sources d'énergie fossile ont représenté plus de 82% de la consommation mondiale d'énergie primaire et plus de 61% de la production mondiale d'électricité (CDE, 2023). En 2021, le charbon a continué de représenter une part importante du mix électrique mondial, atteignant 36% (contre 35% en 2020) de la production d'électricité à lui seul (CDE, 2023).

L'hydroélectricité a conservé sa position dominante parmi les énergies renouvelables, tant dans le mix énergétique que dans le mix électrique mondial. En revanche, la consommation d'énergies renouvelables, excluant l'hydroélectricité, a connu une augmentation de 15% en 2021, selon les informations fournies par BP. Près de 226 GW de capacités éoliennes et

solaires ont été installées dans le monde l'année dernière, se rapprochant ainsi du record de 236 GW établi en 2020. Cependant, la part des autres filières renouvelables n'a pas été précisée dans le contexte donné. En 2021, la part des énergies renouvelables autres que l'hydroélectricité dans le mix électrique mondial était seulement de 13%, tandis que l'hydroélectricité représentait 15% de cette part. En ce qui concerne l'énergie nucléaire, elle continue de contribuer à près d'un dixième de la production annuelle mondiale d'électricité (CDE, 2023)

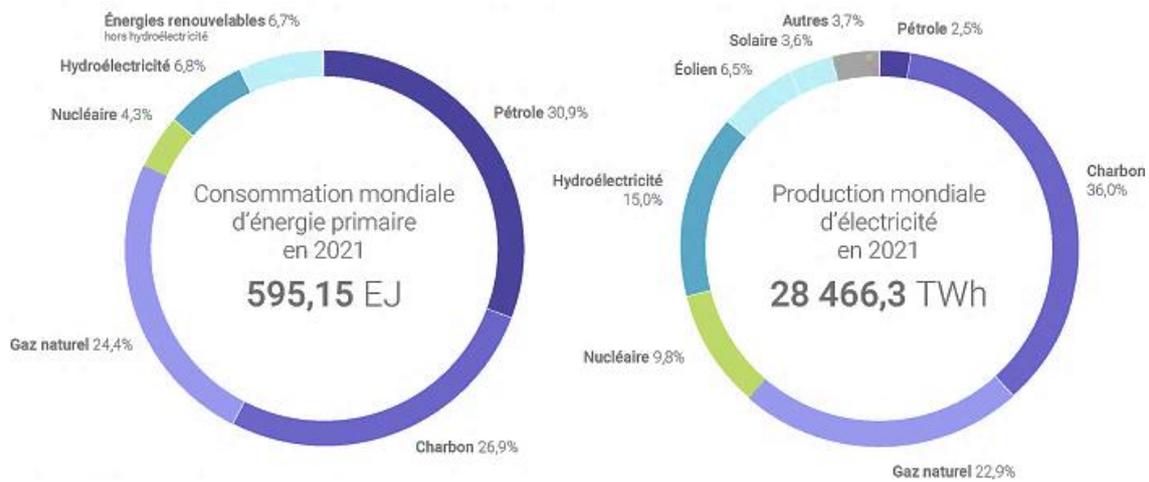


Figure I.9. Consommation d'énergie totale et production d'électricité en 2021. Source : (BP, 2022)

D. Consommation énergétique par région

Les chiffres présentés par (BP, 2022) nous montrent l'existence de fortes disparités entre les régions du globe au niveau du mix énergétique (Figure I.10).

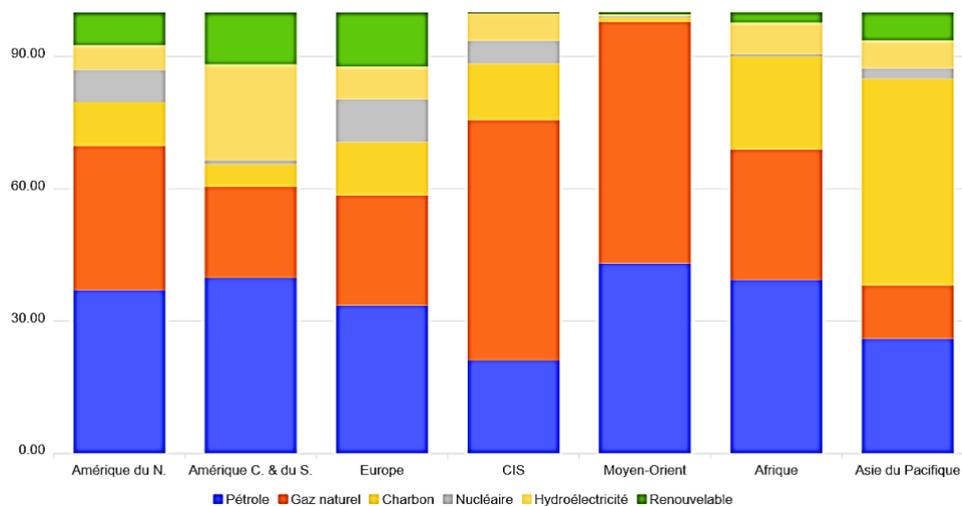


Figure I.10. Consommation finale d'énergie par continent. Sources : (BP, 2022)

Selon (AIE, Agence internationale de l'énergie, Septembre 2021) La consommation finale mondiale est principalement dominée par les produits pétroliers, représentant 40% de celle-ci.

En revanche, à partir des données de 2019, les parts du charbon et de la biomasse s'élèvent toutes deux à 10%. La part du gaz naturel reste relativement stable, atteignant 16% en 2019. Quant à l'électricité, dont environ 60% était produite à partir de charbon et de gaz naturel en 2019, sa part dans la consommation finale mondiale n'a pas été spécifiée dans le contexte donné (Figure I.11).

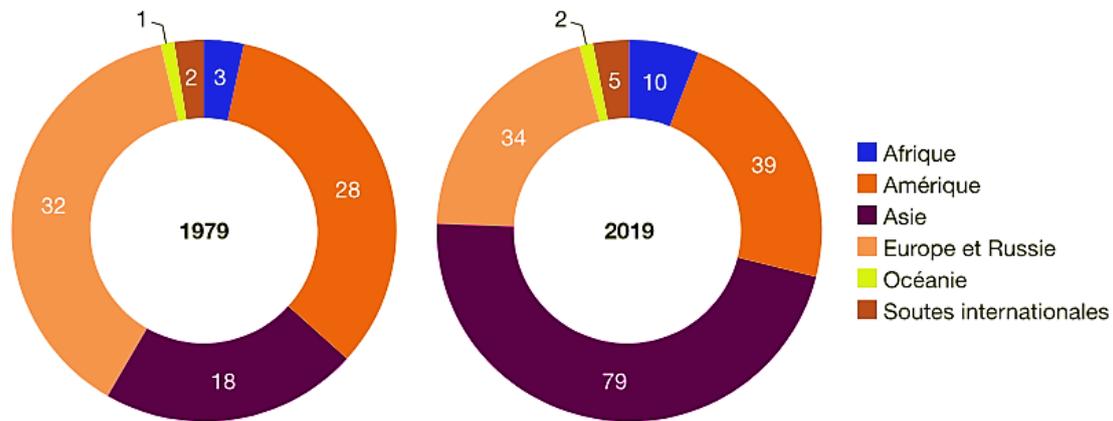


Figure I.11. Répartition de la consommation mondiale par continent (en Milliers de TWh).
Source : (AIE, Agence internationale de l'énergie, Septembre 2021)

E. Consommation d'énergies par habitant en 2021

En 2021, la consommation moyenne d'énergie par habitant aux États-Unis était plus de 19 fois supérieure à celle d'un habitant moyen d'Afrique. De plus, un habitant du Qatar aurait consommé environ 47 fois plus d'énergie qu'un habitant moyen d'Afrique (Connaissance des énergies, Juin 2022) (Figure I.12).

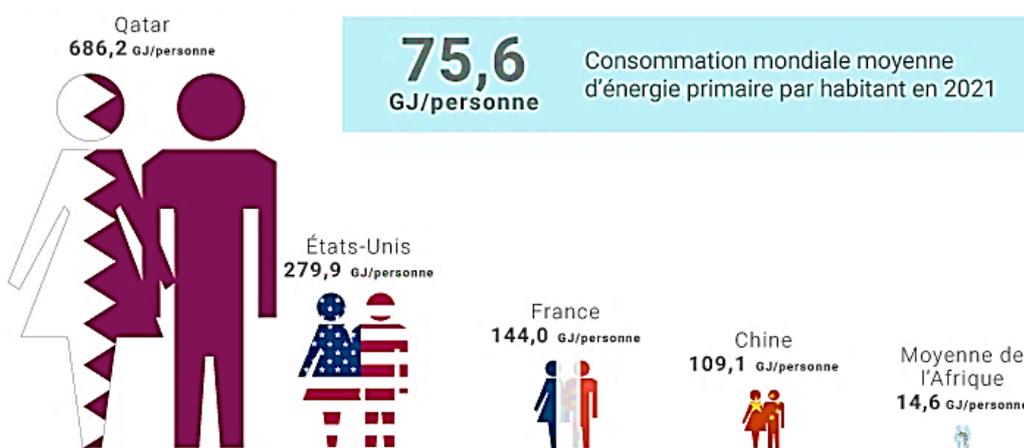


Figure I.12. Consommation d'énergies par habitant en 2021

I.2.2 Mix énergétique mondial en 2021

En 2021, selon (BP, 2022) on observe une diminution de 2,03 % de la part des énergies carbonées. Cette baisse est principalement due à la diminution significative de la consommation de pétrole, qui passe de 33,1 % à 30,95 %. Parallèlement, les énergies

renouvelables ont connu une progression de 1,7 %. Malgré cela, les énergies carbonées restent prédominantes dans la production mondiale d'énergie, représentant 82,27 % de la consommation totale.

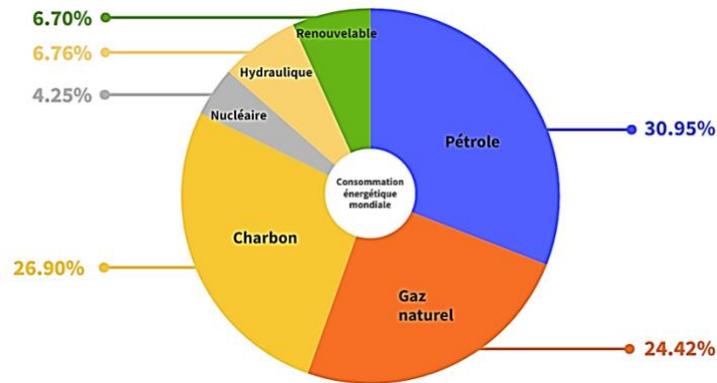


Figure I.13. Mix énergétique mondial en 2021. Source: (BP, 2022)

I.2.3 Énergies renouvelables – Statistiques

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergie qui se régénèrent rapidement et sont considérées comme inépuisables à l'échelle de temps humain. Elles proviennent de phénomènes naturels réguliers ou constants, principalement causés par le soleil (rayonnement solaire), la lune (marées) et la chaleur de la Terre (énergie géothermique). Ces sources d'énergie sont basées sur des processus naturels qui les rendent inépuisables.

Il est important de noter que le caractère renouvelable d'une énergie dépend non seulement de la vitesse à laquelle la source se régénère, mais également de la vitesse à laquelle elle est consommée. Ainsi, le comportement des consommateurs d'énergie joue un rôle crucial dans cette définition.

De plus, les énergies renouvelables sont considérées comme plus "propres" que les énergies fossiles, car elles émettent moins de dioxyde de carbone (CO₂) et entraînent moins de pollution. (Robert, 2008).

Les énergies renouvelables ont un bilan carbone très faible, ce qui en fait un atout majeur dans la transition énergétique et la lutte contre le changement climatique. Contrairement aux énergies fossiles, elles contribuent de manière positive à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la préservation de l'environnement (CED, 2021).

I.2.3.1 Réserves mondiales en énergies renouvelables

A. Ressources énergétiques renouvelables

Lorsque nous examinons les ressources énergétiques renouvelables, nous utilisons les termes "ressources" et "Potentiels Techniques Exploitable" (PTE) au lieu de "ressources" et "réserves" (Delphine, CHAREYRON, MOLINARO, & MULTON, 2020) Le (PTE) représente

ce que les technologies actuelles permettent d'extraire des ressources primaires renouvelables, en prenant en compte leurs caractéristiques spécifiques et les espaces disponibles...

Une grande proportion de l'énergie renouvelable, équivalant à 10 000 fois la consommation mondiale d'énergie primaire (notée 10 000 Eh), provient de l'énergie solaire. Environ 30% de cette énergie solaire atteint les hautes couches de l'atmosphère et est directement réémise dans l'espace. Environ 45% (4 500 Eh) atteint la surface des terres et des océans, où elle est convertie en chaleur à basse température avant d'être rayonnée à nouveau vers l'espace. Enfin, environ 25% (2 500 Eh) de l'énergie solaire est convertie dans les cycles hydrologiques, tels que les vents, le cycle de l'eau, les vagues et les courants de circulation thermohaline. (Delphine, CHAREYRON, MOLINARO, & MULTON, 2020)

Deux autres sources d'énergie, bien plus modestes, proviennent de la chaleur des profondeurs de la terre (géothermie, environ 2 Eh) et des effets des marées résultant de l'interaction gravitationnelle entre le soleil, la terre et la lune (0,16 Eh) (Delphine, CHAREYRON, MOLINARO, & MULTON, 2020)

Eh : Energie primaire de l'humanité prise comme référence (environ 14 Gtep en 2018)

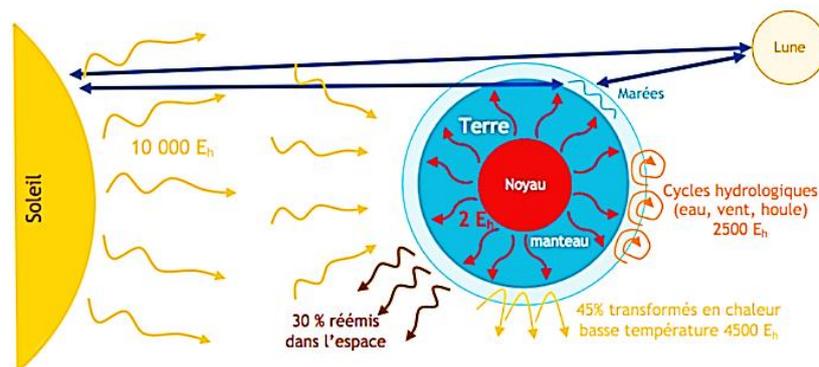


Figure I.14. Ressources énergétiques primaires renouvelables ramenées à la consommation annuelle d'énergie primaire de l'humanité (Delphine, CHAREYRON, MOLINARO, & MULTON, 2020)

B. Production d'énergies renouvelables

La Figure I.15 illustre que l'énergie solaire occupe une position dominante dans la production mondiale d'énergie renouvelable, suivie de près par l'énergie éolienne, qui a contribué à une augmentation de la production d'électricité de 173 térawattheures (TW/h) (BP, 2022)

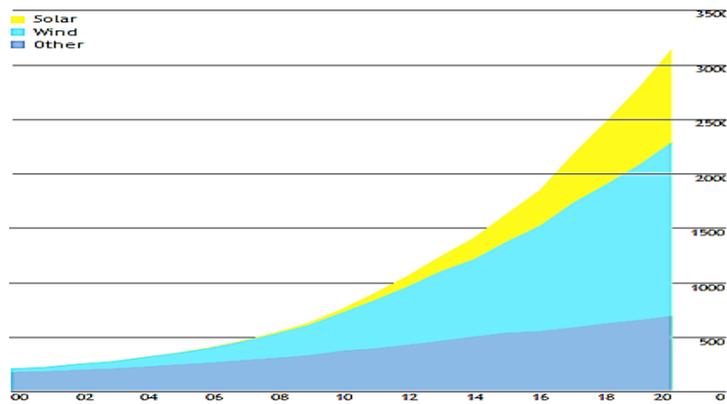
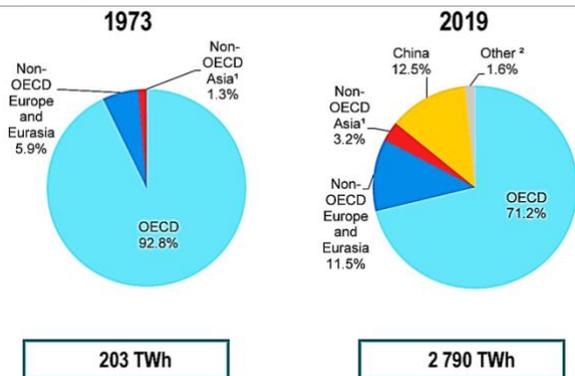
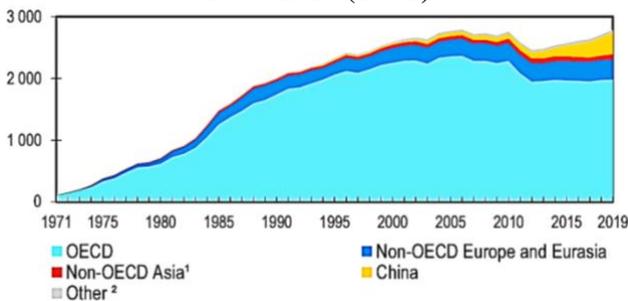


Figure I.15. Production d'énergies renouvelables par source (BP, 2021)

C. Part de l'électricité dans la production énergétique renouvelable

Étant donné que l'électricité est la forme d'énergie la plus produite à partir des combustibles fossiles et la plus demandée sur Terre, nous présentons ci-dessous quelques statistiques relatives à sa production à partir de ressources énergétiques renouvelables.

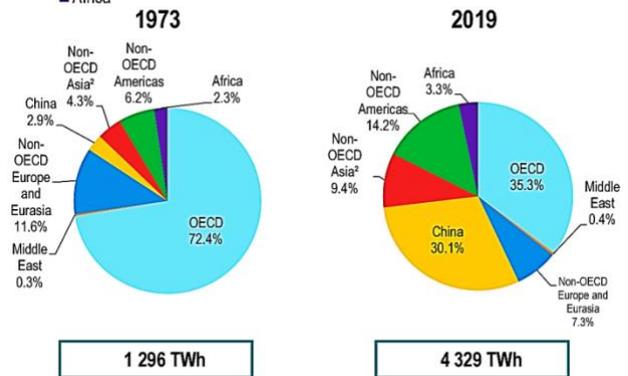
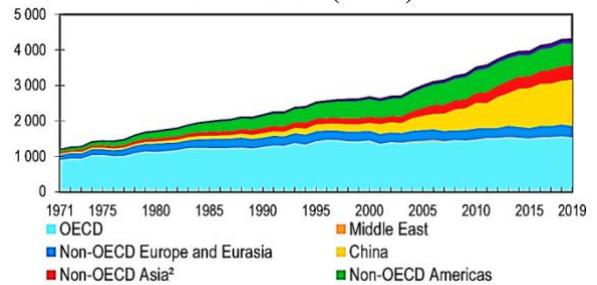
Production mondiale d'électricité nucléaire 1973–2019 (TWh)



203 TWh

2 790 TWh

Production mondiale d'hydroélectricité 1973–2019 (TWh)



1 296 TWh

4 329 TWh

Production mondiale d'électricité éolienne 2005–2019 (TWh)

Production mondiale d'électricité solaire photovoltaïque 2005–2019 (TWh)

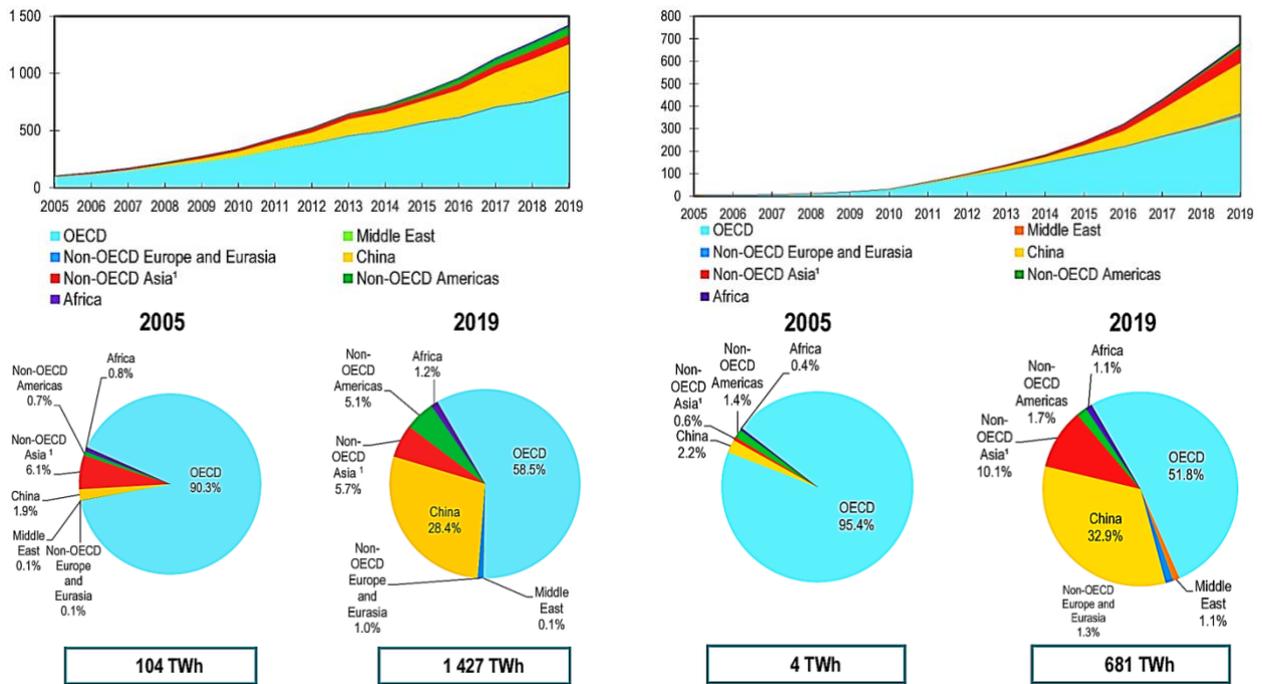


Figure I.16. Production d'électricité à partir des énergies renouvelables. Source : (AIE, Agence internationale de l'énergie, Septembre 2021)

1.2.3.2 Consommation des énergies renouvelables par région

Actuellement, la Chine est le plus grand consommateur mondial d'énergie, y compris les énergies renouvelables, en raison de l'augmentation de sa population et du développement de son secteur industriel. Le Japon, l'Inde, la Chine et l'Allemagne suivent ensuite les États-Unis dans le classement des plus grands consommateurs d'énergie dans le monde.

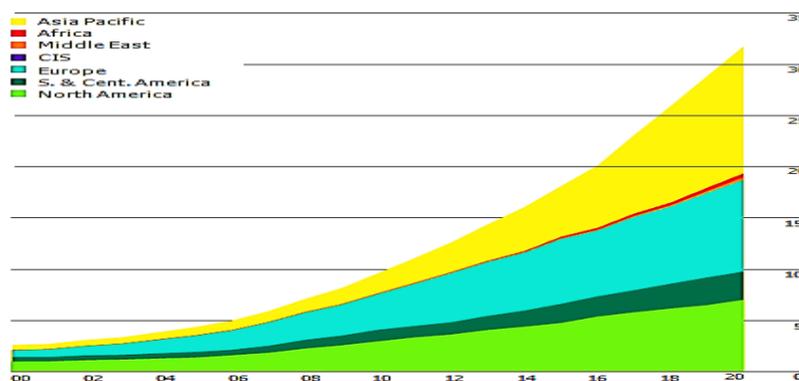


Figure I.17. Consommation d'énergies renouvelables par région (BP, 2021)

1.2.4 Statistiques des émissions du CO2 dans le monde

Malgré l'adoption de politiques visant à protéger l'environnement et à lutter contre le réchauffement climatique dans la plupart des pays du monde, les émissions mondiales de dioxyde de carbone (CO2) continuent d'augmenter. Cependant, grâce aux efforts déployés pour réduire ces émissions, une diminution significative a été observée à partir de l'année 2014

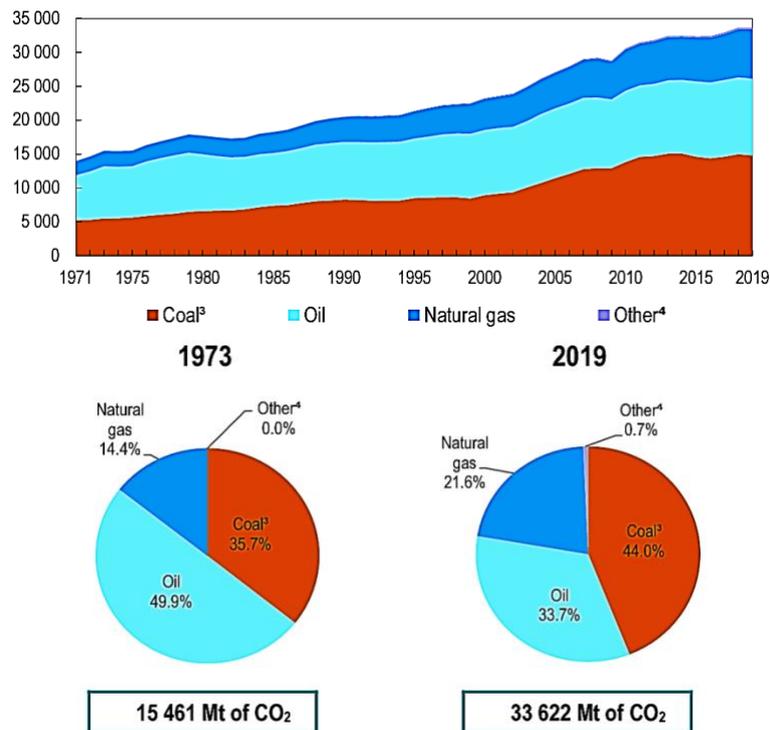


Figure I.18.Émissions mondiales de CO₂ à partir de la combustion de carburant (1971-2019).Source : (AIE, Agence internationale de l'énergie, Septembre 2021)

I.2.5 Perspectives de la situation énergétique mondiale

Alors que l'Agence internationale de l'énergie (AIE) prévoit une augmentation de l'utilisation des énergies renouvelables, une amélioration de l'efficacité énergétique et une transition vers les véhicules électriques, le pétrole et le gaz naturel continueront de répondre à la demande croissante de produits (Figure I.19).

Selon la même source, la demande de gaz naturel devrait particulièrement augmenter, car de nombreux pays cherchent à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre en remplaçant le charbon pour le chauffage et la production d'électricité. Le gaz naturel présente l'avantage d'être rentable, abondant et fiable, et il émet environ la moitié moins d'émissions que le charbon (AIE, Agence internationale de l'énergie, Septembre 2021)

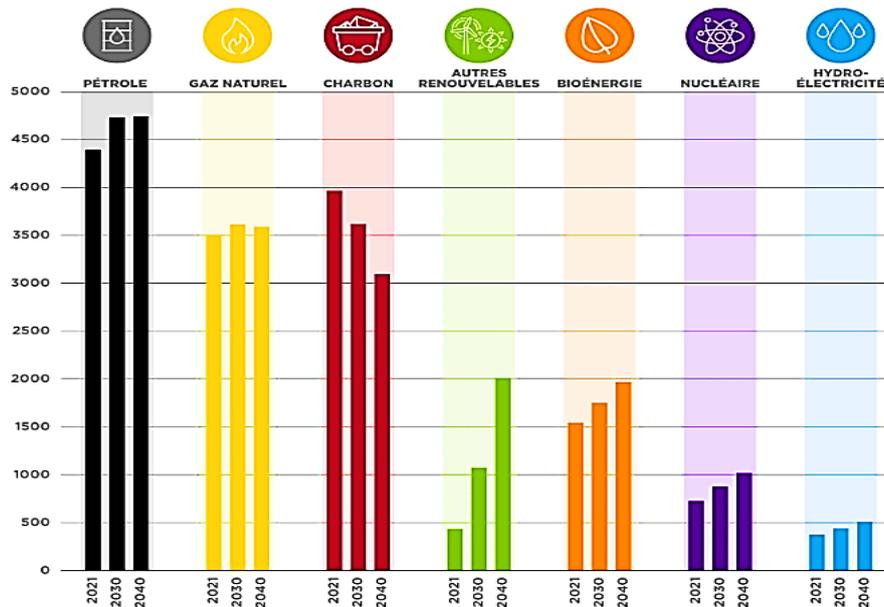


Figure I.19. Croissance de la demande mondiale d'énergies de 2020 à 2040. Source : (AIE, Agence internationale de l'énergie, Septembre 2021)

D'après la même source, les politiques actuelles sont loin de correspondre aux scénarios prévus pour l'action climatique d'ici 2030, nécessaires pour respecter les engagements collectifs de réduction des émissions de CO₂ (comme illustré dans la Figure I.20).

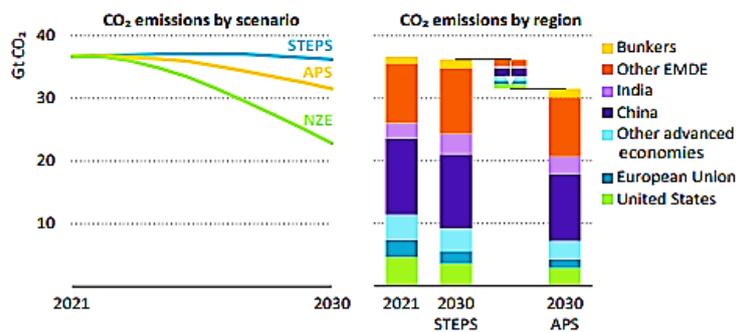


Figure I.20. Émissions de CO₂ par scénario et par région, 2021 et 2030. Source : (AIE, World Energy Outlook, Novembre 2022)

I.3 Contexte énergétique algérien – Statistiques et perspectives

Comme tous les pays du globe, l'Algérie est un grand consommateur d'énergie, en particulier d'énergies primaires. Cependant, en ce qui concerne les réserves, l'Algérie dispose d'un potentiel remarquable en termes de ressources énergétiques conventionnelles telles que le pétrole et le gaz naturel (comme indiqué dans la Figure I.21)

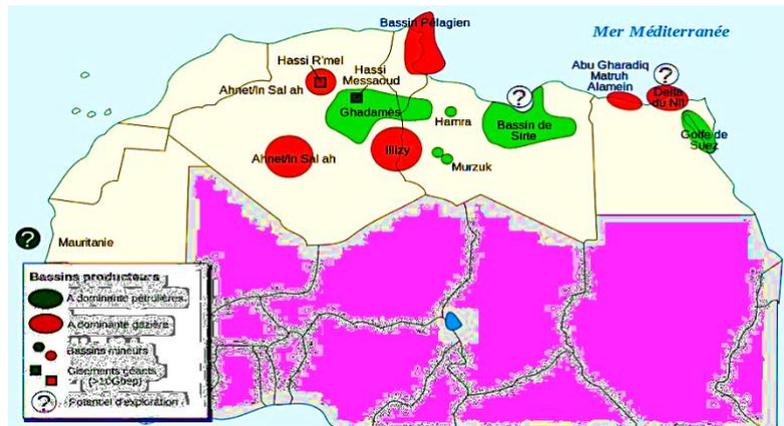


Figure I.21. Carte des régions pétrolières d’Afrique du nord

Les énergies renouvelables ne font pas exception, et les potentiels énergétiques, en particulier dans le domaine de l’énergie solaire photovoltaïque, sont très considérables

I.3.1 Énergies primaires – Statistiques

I.3.1.1 Réserves des énergies primaires

Un rapport de classification internationale, supervisé par la fondation américaine ([Business Insider](#)) l’Algérie occupe la 18e place mondiale en termes de réserves d’énergies fossiles. Ce rapport prend en compte tous les pays possédant les plus grandes réserves d’énergies provenant de combustibles fossiles, tels que le pétrole, le gaz et le charbon. Il révèle également que l’Algérie se classe sixième dans le monde arabe, après l’Arabie saoudite, l’Irak, les Émirats arabes unis, le Koweït et la Libye. ([Saliha, 2014](#))

Dans le Tableau I.1, nous présentons quelques statistiques sur les réserves en énergies primaires de l’Algérie.

Tableau I.1. Indicateurs des réserves de pétrole et de gaz de l’Algérie en 2019 ([DRIS, 2021](#))

Volume	Rang	Part mondiale
12,20 Milliards de barils des réserves prouvées de pétrole (conventionnel, schale)	3 ^{ème} plus importantes réserves de pétrole en Afrique	0,70% des réserves mondiales prouvées de pétrole
4 504 Gm ³ des réserves prouvées de gaz (conventionnel, shale, gaz de couche)	2 ^{ème} plus importantes réserves de gaz en Afrique	0,70% des réserves mondiales prouvées de pétrole

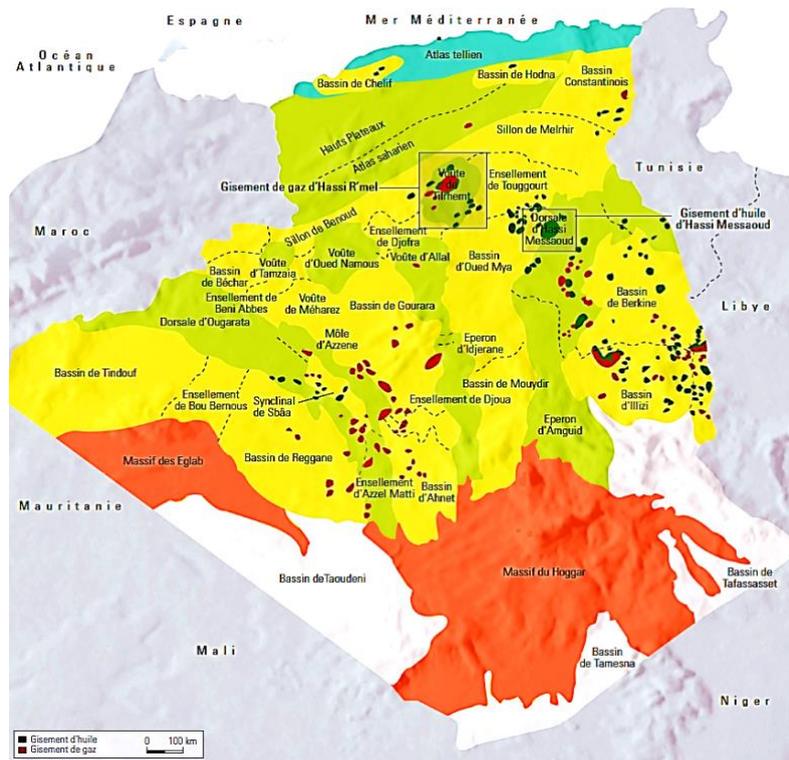


Figure I.22. Carte des bassins sédimentaires de l’Algérie. Source : (Ministère de l’Energie et des Mines, bilan énergétique de , l'année 2021)

I.3.1.2 Production des énergies primaires

L'Algérie a choisi, dans sa politique énergétique, de se concentrer sur le développement des infrastructures électriques et gazières. Le gouvernement s'est fixé comme objectif prioritaire de renforcer tous les domaines permettant de répondre de manière durable aux besoins du pays en termes d'électricité et de gaz...

A. Production énergétique

La production d'énergie primaire commerciale en Algérie est toujours largement dominée par le gaz naturel, représentant 54% de la structure de production, comme le montre le graphique ci-dessous (Minister de l'énergie , 2019)

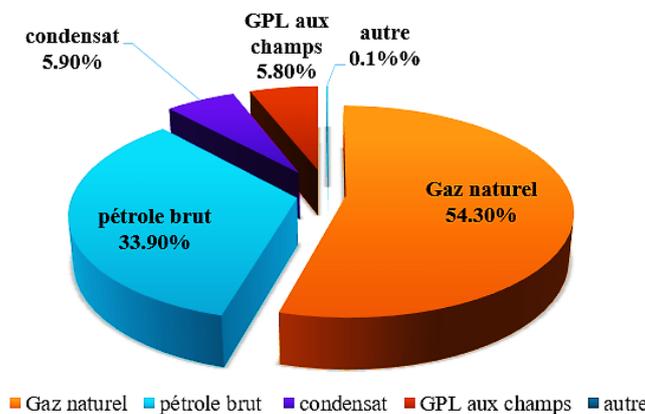


Figure I.23. Structure de la production d’énergies primaires en Algérie.

B. Production d'énergie dérivée

La production d'énergie dérivée en Algérie demeure principalement dominée par les produits pétroliers, représentant 44% de la structure de production, comme le montre l'illustration ci-dessous (Minister de l'énergie , 2019)

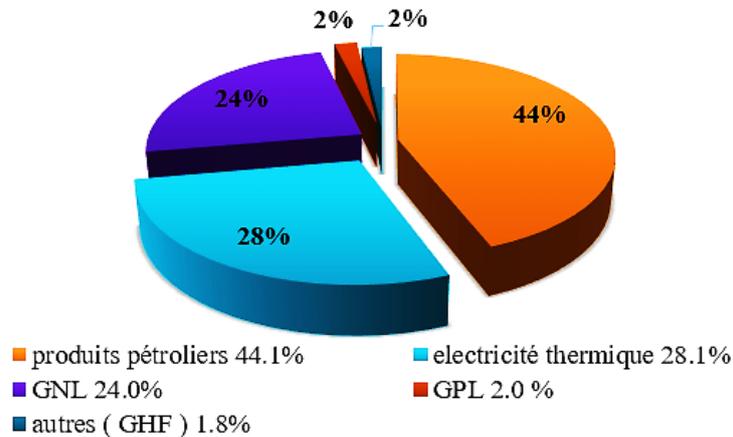


Figure I.24. Structure de la production d'énergies dérivées

C. Production d'électricité

Les exigences de préservation de l'environnement ont conduit à l'utilisation du gaz naturel comme principale source d'énergie pour la production d'électricité. De plus, il est nécessaire de développer d'autres sources d'énergie propres et renouvelables, telles que l'énergie solaire et éolienne, qui bénéficient de gisements disponibles et abondants dans tout le pays (MEM, 2021)

Le parc de production électrique national comprend les centrales électriques de la Société Algérienne de Production de l'Électricité (SPE), ainsi que les sociétés en partenariat avec Sonelgaz, à savoir... (MEM, 2021):

- Kahrama Arzew entrée en service en 2005 ;
- Shariket Kahraba Skikda « SKS » entrée en service en 2006
- Shariket Kahraba Berrouaghia « SKB » (Médéa) entrée en service en 2007 ;
- Shariket Kahraba Hadjret Ennousse « SKH » entrée en service en 2009 ;
- SPP1 entrée en service en 2010 ;
- Shariket Kahraba Terga « SKT » entrée en service en 2012 ;
- Shariket Kahraba de Koudiet Edraouch « SKD » entrée en service en 2013.

Ces dernières années, Sonelgaz et ses sociétés filiales ont considérablement renforcé leurs capacités de production, ce qui a conduit à une augmentation significative de la puissance installée pour la production d'électricité, atteignant 19 586 MW en 2017 (MEM, 2021)

Les graphiques ci-dessous (Figures I.25 et Figure I.26) illustrent la répartition de la puissance installée par producteur et par type d'équipement pour l'année 2017.

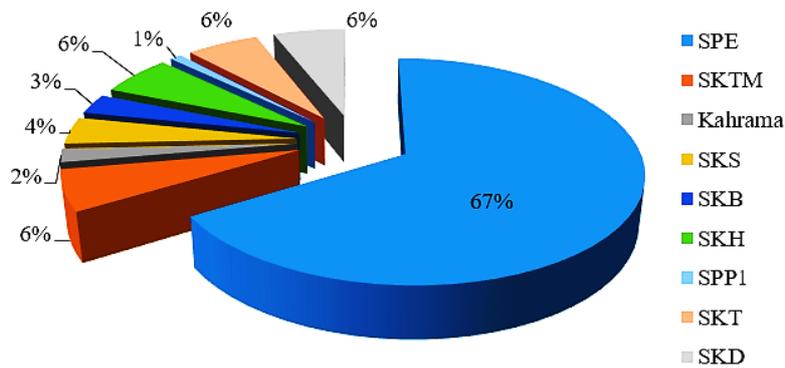


Figure I.25. Puissance installée par producteur à fin 2017. Source : (Ministère de l’Energie et des Mines, bilan énergétique de , l’année 2021)

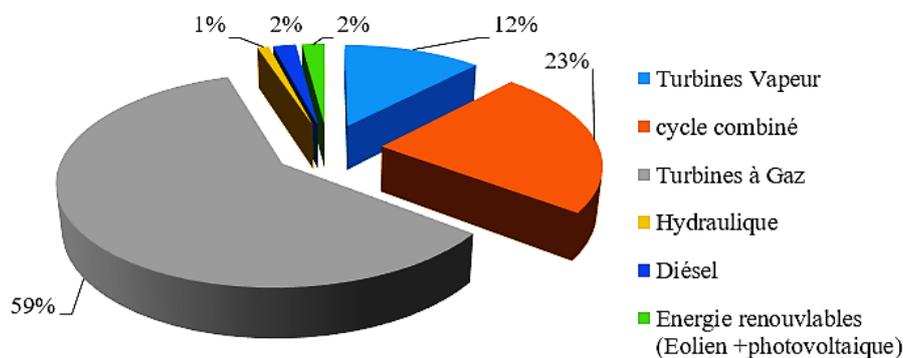


Figure I.26. Puissance installée par type d'équipement à fin 2017. Source : (Ministère de l’Energie et des Mines, bilan énergétique de , l’année 2021)

I.3.2 Énergies renouvelables – Statistiques

I.3.2.1 Potentiel solaire

En raison de sa position géographique, l'Algérie est considérée comme un pays très ensoleillé. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures par an et peut atteindre jusqu'à 3900 heures dans les hauts plateaux et le Sahara (Figure I.27). Chaque année, près de 3 kWh/m² d'énergie solaire est reçu sur une surface horizontale de 1 m² dans le nord du pays, tandis qu'au grand sud, cette valeur dépasse les 5,6 kWh/m² (MEM, 2021)

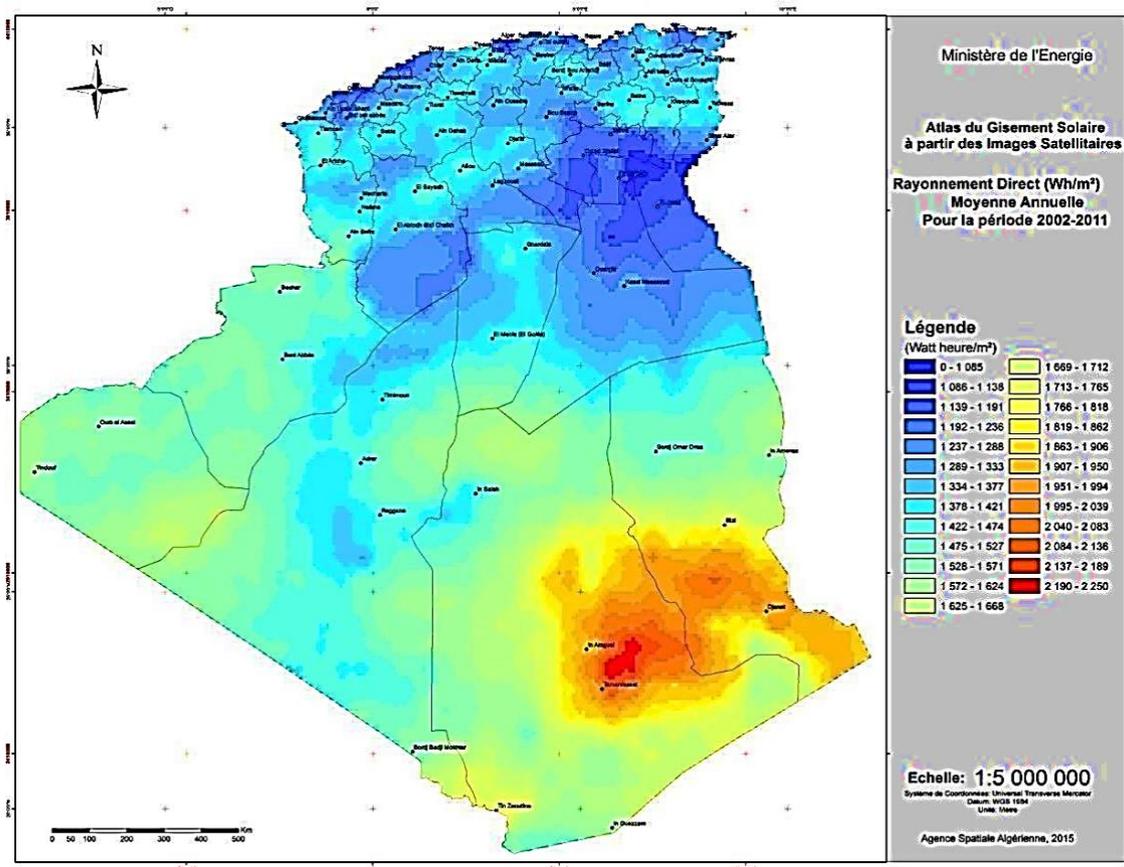


Figure I.27. Carte de l'Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011)

I.3.2.2 Potentiel Eolien

La disponibilité de la ressource éolienne en Algérie présente une variation significative d'une région à l'autre, principalement en raison de la diversité topographique et climatique du pays. La région nord méditerranéenne se distingue par son long littoral et son relief montagneux. En revanche, la région sud est marquée par un climat saharien (MEM, 2021)

La Figure I.28 met en évidence que le Sud de l'Algérie présente des vitesses de vent plus élevées que le Nord, notamment dans le sud-est, avec des vitesses dépassant 7 m/s et atteignant plus de 8 m/s dans la région de Tamanrasset. En revanche, les vitesses de vent dans le Nord sont relativement faibles. Cependant, il est important de noter l'existence de microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaia et Annaba, ainsi que sur les hauts plateaux de Tébessa, Biskra, Msila et El-Bayad, où les vitesses de vent sont comprises entre 6 et 7 m/s (MEM, 2021)

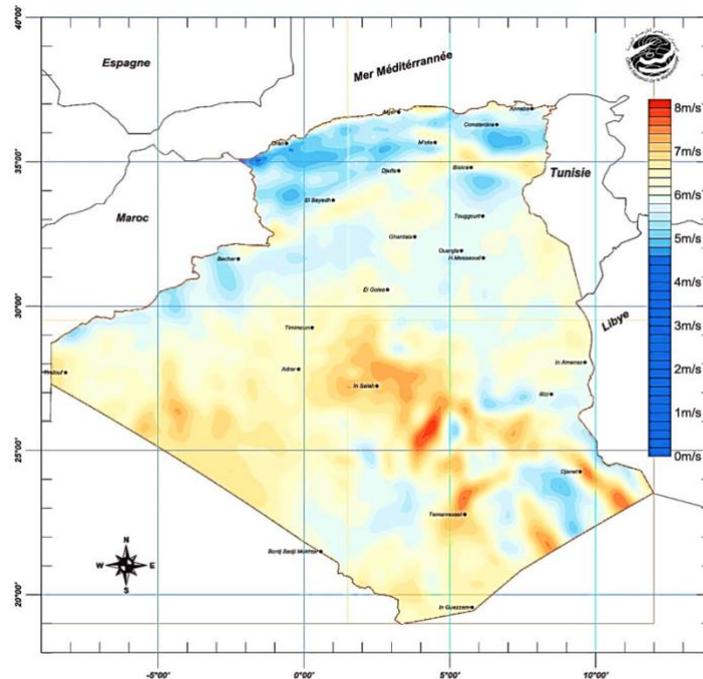


Figure I.28. Carte du vent annuel moyen à 50m (Période 2001-2010)

I.3.2.3 Potentiel Géothermique

L'Algérie dispose d'un potentiel élevé en ressources énergétiques géothermiques, avec plus de 240 sources thermales. Les principales ressources géothermiques sont classées en fonction de leur température. Parmi celles-ci, la source thermale de Hammam Debagh (anciennement Hammam Meskhoutine) est particulièrement renommée. Elle est classée parmi les sources thermales les plus chaudes au monde, avec une température d'eau à l'émergence atteignant 98°C.

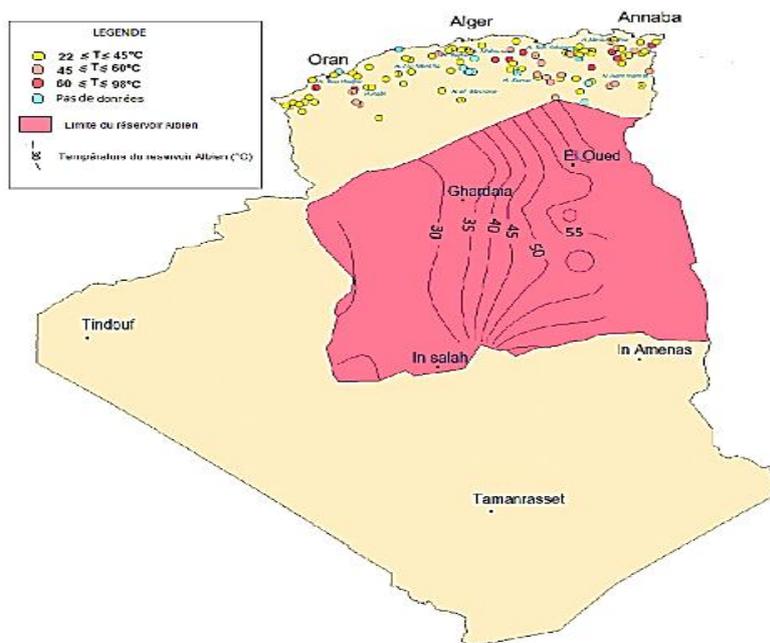


Figure I.29. Ressources géothermique de l'Algérie (GmbH, 2022)

I.3.2.4 Potentiel Hydraulique

Les précipitations totales sur le territoire algérien sont significatives et estimées à environ 65 milliards de mètres cubes

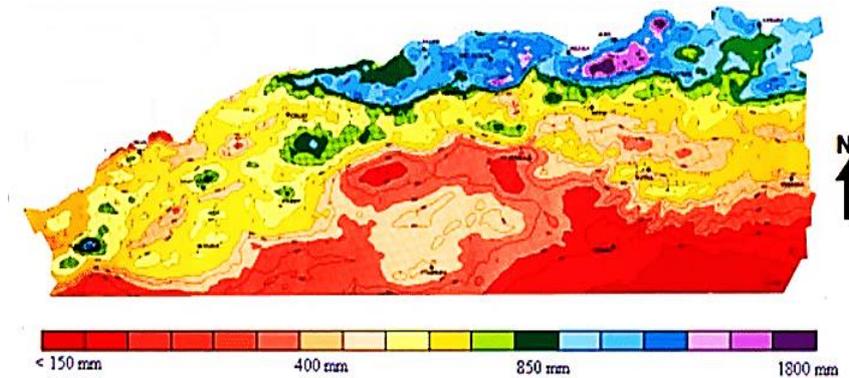


Figure I.30. Carte pluviométrique pour le nord de l'Algérie (GmbH, 2022)

En Algérie, l'hydroélectricité occupe la troisième place en tant que source d'électricité, après le gaz naturel et le pétrole. Le pays abrite 13 centrales hydroélectriques situées dans le nord, bénéficiant de précipitations abondantes. (ATTAQA, 2022)

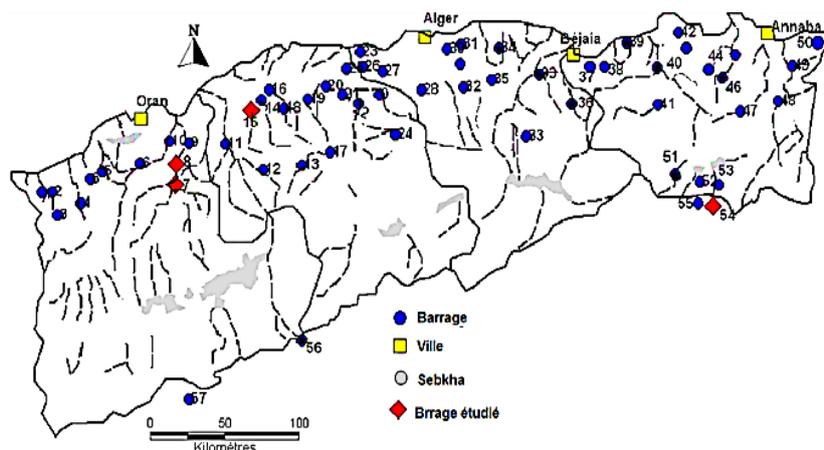


Figure I.31. Localisation des barrages Algériens (GmbH, 2022)

I.3.2.5 Production des énergies renouvelables

En 2020, l'Algérie s'est classée au troisième rang en Afrique en termes de capacités d'énergies renouvelables installées, avec une capacité de 0,5 gigawatt (GW), après l'Afrique du Sud et l'Égypte (Algerie presse service, 2022)

La majeure partie de la production d'électricité en Algérie repose presque exclusivement sur les combustibles fossiles (99,2 %), afin de répondre à la demande croissante de sa population. Les énergies renouvelables ne représentent qu'une part minime du mix électrique national (0,8 %), répartie entre l'hydroélectricité (0,7 %) et l'énergie solaire photovoltaïque (0,1 %). (Observ'ER, 2013)

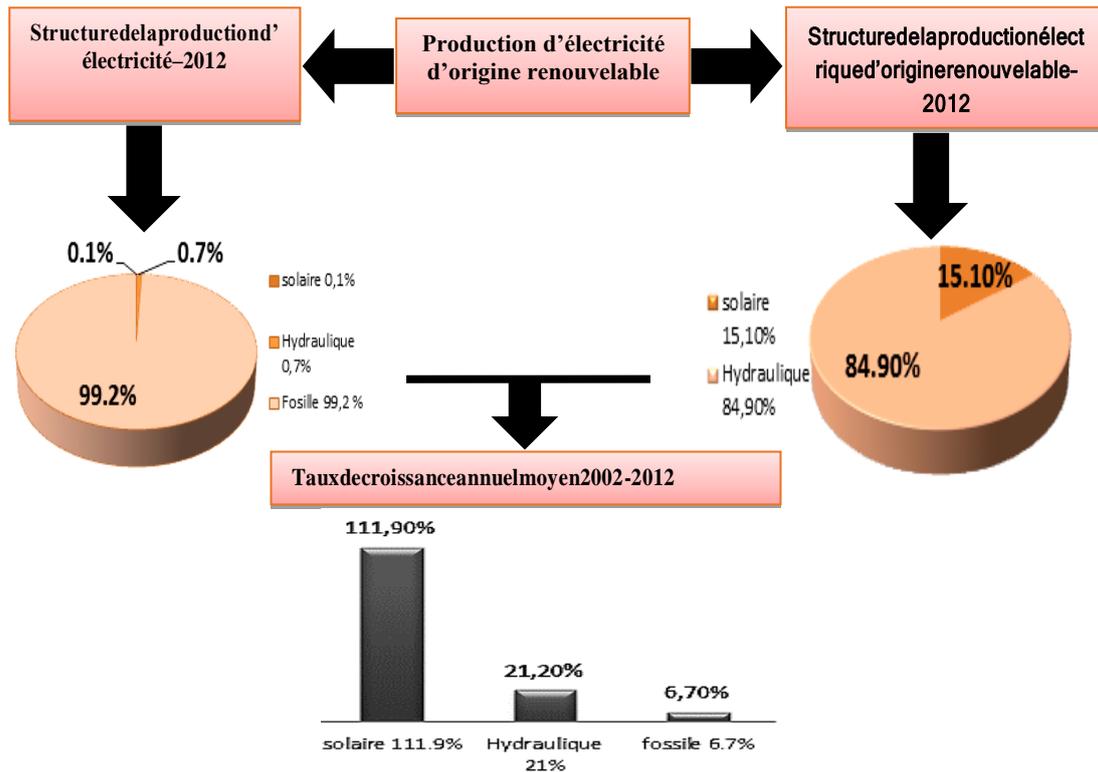


Figure I.32. Structure de la production d'électricité d'origine renouvelable (Daci & Aliouane, 2022)

I.4 Conclusion

Ce chapitre souligne l'importance vitale de l'énergie pour toutes les activités humaines. Actuellement, le pétrole, le charbon et le gaz naturel, qui sont des sources d'énergie polluantes et non renouvelables, fournissent la majeure partie de la consommation mondiale quotidienne d'énergie.

Lorsqu'on évoque l'énergie en Algérie, notre attention se porte immédiatement sur les énergies non renouvelables, et cela est justifié car l'Algérie est l'une des plus grandes sources et contributeurs de ce type d'énergie (gaz, pétrole, etc.). Le pays utilise ces énergies dans ses échanges commerciaux et, surtout, pour stimuler le développement de tous ses secteurs, notamment le secteur résidentiel.

En raison de l'augmentation préoccupante de la consommation d'énergie et des émissions de carbone dans le secteur résidentiel ces dernières années, ainsi que de l'épuisement des réserves d'énergie fossile, les gouvernements en Algérie ont entrepris une révolution dans ce secteur en introduisant les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique. Cela vise à résoudre les problèmes rencontrés dans ce domaine et à promouvoir une politique axée sur les énergies vertes.

Cette réflexion sera explorée plus en détail dans le chapitre 2.

Chapitre 02

Efficacité énergétique des bâtiments d'habitation – Développements et outils de mesures

Partie 01

Efficacité énergétique des bâtiments d'habitation – Politiques et développements

II.1 Introduction

En Algérie, au cours des deux dernières décennies, le secteur de la construction a connu une croissance remarquable. Cependant, cette expansion a également fait du secteur résidentiel l'un des principaux consommateurs d'énergie et pollueurs de l'environnement.

Dans le contexte énergétique actuel, marqué par l'épuisement des ressources fossiles et le réchauffement climatique, il est nécessaire d'exiger de nouvelles performances des bâtiments, à la fois sur le plan énergétique et environnemental. La performance énergétique est liée à la quantité d'énergie consommée par un bâtiment pour garantir la santé et le confort de ses occupants.

Par conséquent, la construction de bâtiments à faible consommation d'énergie (bâtiments écoénergétiques) qui utilisent des sources d'énergie respectueuses de l'environnement est devenue l'un des défis majeurs de notre époque.

Pour améliorer la performance énergétique des bâtiments, il existe trois principaux leviers sur lesquels tout le monde s'accorde : les solutions passives (comme l'enveloppe du bâtiment et son orientation), les solutions actives (comme les systèmes de chauffage et de refroidissement) et le comportement des occupants

II.2 Situation énergétique dans le secteur résidentiel dans le monde

Après la fin de la pandémie, les projets de construction ont retrouvé leur rythme habituel dans la plupart des grandes économies mondiales. Cependant, cette reprise s'est accompagnée d'une utilisation accrue d'énergie dans les bâtiments, en particulier avec la réouverture des lieux de travail.

De plus, de nombreuses économies émergentes continuent de s'appuyer sur une utilisation croissante de combustibles fossiles dans leurs politiques énergétiques pour les bâtiments. Par conséquent, la demande énergétique des bâtiments a augmenté.

Le secteur de la construction occupe une place prépondérante dans les statistiques de consommation énergétique mondiale. En effet, il se positionne en tête en termes de consommation d'énergie et d'émissions de CO2 (Figure II.1)

II.2.1 Etat des lieux de la situation mondiale

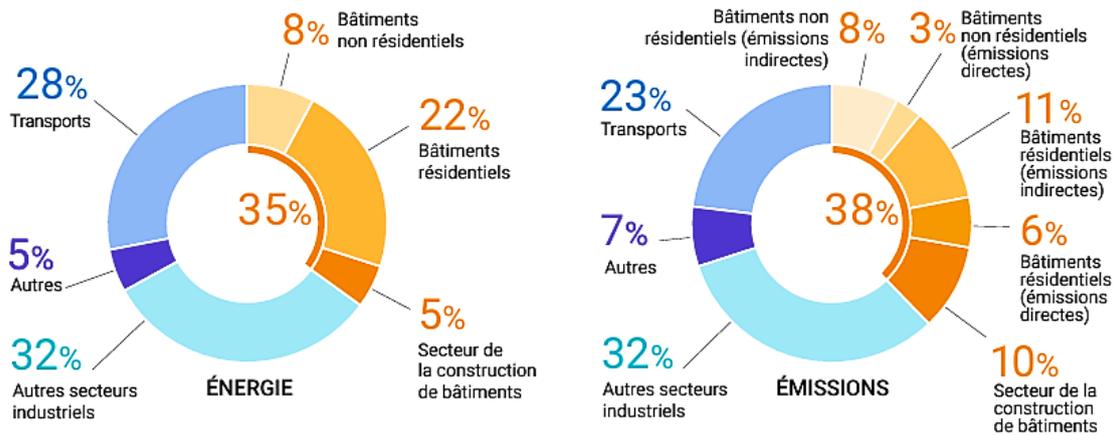


Figure II.1.Part mondiale des bâtiments et de la construction dans la consommation finale d'énergie et les émissions (2019). Source : (Global Alliance for Buildings and construction Rapport sur la situation mondiale des bâtiments et de la construction, 2020)

Cependant, le secteur du bâtiment montre des progrès encourageants en termes de réduction de la consommation d'énergie et des émissions de CO2. La Figure II.2 met en évidence les évolutions observées dans ce secteur entre 2015 et 2021

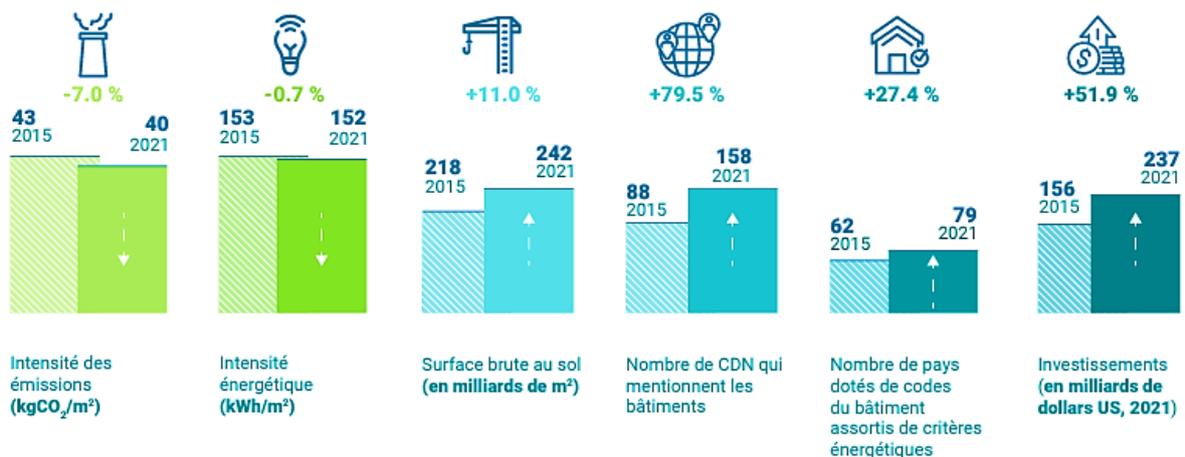


Figure II.2.Principales tendances sur l'état de la situation des bâtiments dans le monde entre 2015 et 2021. Source : (Global Alliance for Buildings and construction Rapport sur la situation mondiale des bâtiments et de la construction, 2020)

Malgré ces chiffres encourageants, les émissions de CO2 provenant de l'utilisation des bâtiments ont atteint un niveau record en 2021, augmentant d'environ 5% par rapport à 2020 et de 2% par rapport au précédent pic de 2019 (Figure II.3).

La Figure met également en évidence la persistance d'une forte consommation énergétique des bâtiments en 2021, voire une augmentation nette. La consommation par produit est également représentée sur la même Figure

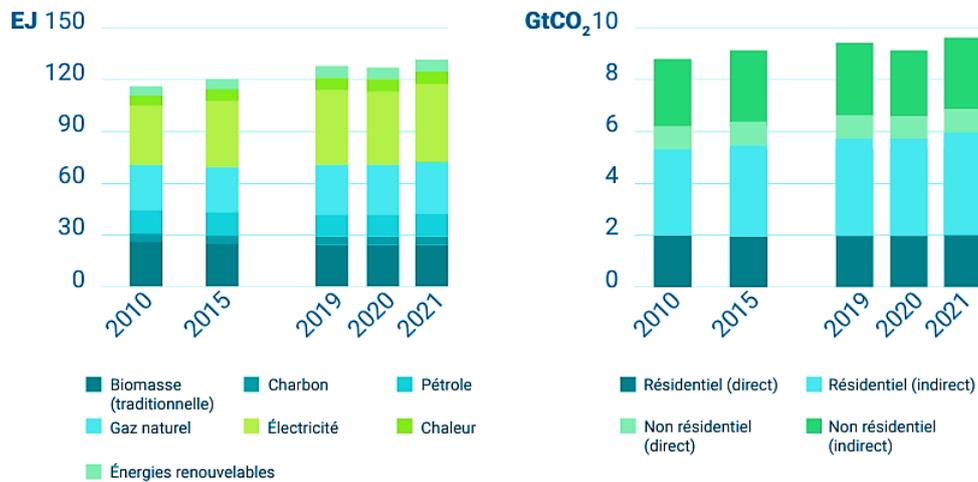


Figure II.3. Consommation d'énergie dans les bâtiments par combustible, 2010-2021 (à gauche) et émissions de CO2 dans les bâtiments 2010-2021 (à droite). Source : ([Global Alliance for Buildings and construction Rapport sur la situation mondiale des bâtiments et de la construction, 2020](#))

II.2.2 Enjeux de l'efficacité énergétique des bâtiments d'habitation

L'efficacité énergétique fait référence à la réduction de la consommation d'énergie dans les bâtiments sans compromettre le confort ou la qualité des services. En tant que premier consommateur mondial d'énergie et principal pollueur, le secteur du bâtiment joue un rôle clé dans les politiques visant à améliorer l'efficacité énergétique et à protéger l'environnement. Il est potentiellement le seul secteur offrant des possibilités de progrès suffisamment significatives pour atteindre les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre (Lazzari, 2019)

Pour prendre des mesures efficaces en vue de réduire de manière significative la consommation d'énergie, il est important d'identifier les indicateurs prioritaires à mettre en place et à évaluer dans les initiatives liées à l'efficacité énergétique.

Différents termes sont utilisés pour désigner les bâtiments qui démontrent une forte efficacité énergétique

- **Maison passive** : Lancée en 1990 par l'ingénieur Wolfgang Feist, cette approche vise à rendre les bâtiments pratiquement autonomes en termes de chauffage. Ces résultats sont obtenus grâce à une excellente isolation, à une utilisation optimale mais passive

de l'énergie solaire et de la chaleur du sol, ainsi qu'à une réduction de la consommation d'énergie des appareils ménagers.

- **Bâtiment basse énergie** : Un bâtiment dont la consommation finale d'énergie pour le chauffage se situe entre 30 et 60 kWh/(m².an)
- **Bâtiment très basse énergie** : Un bâtiment dont la consommation finale d'énergie pour le chauffage se situe entre 10 et 15 kWh/(m².an)
- **Bâtiment à zéro énergie** : Un bâtiment qui génère autant d'énergie qu'il en consomme en utilisant des sources d'énergie renouvelables, telles que des panneaux solaires par exemple. Cependant, il convient de noter que lorsqu'on évalue cette notion, il est souvent incorrect de comparer l'énergie finale reçue par le bâtiment à l'énergie primaire produite.

Les politiques relatives aux bâtiments et à la construction ont connu des avancées, témoignant d'un engagement croissant en faveur de l'efficacité énergétique et de l'adaptation des bâtiments. Selon (GABC, 2022) Actuellement, 80 % des pays intègrent les bâtiments dans leurs plans d'action nationaux déterminés au niveau national (CDN), comparé à environ 69 % en 2020 (Figure II.4).

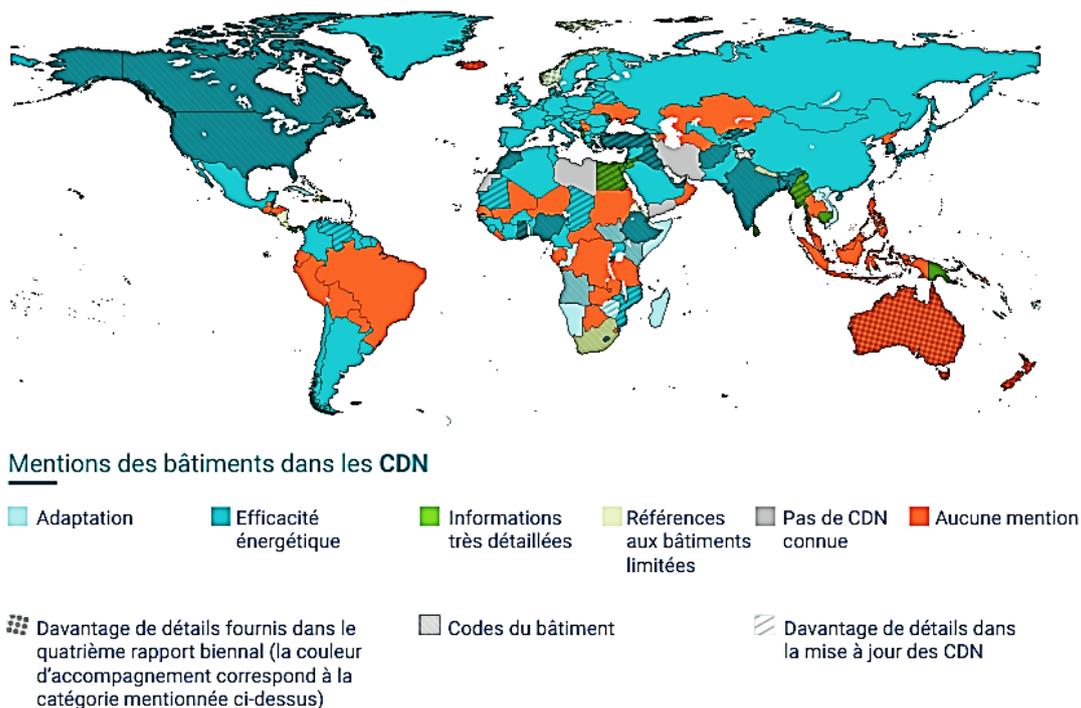


Figure II.4. Mentions des bâtiments dans les dernières CDN de l'ensemble des pays. Source : (Global Alliance for Buildings and construction Rapport sur la situation mondiale des bâtiments et de la construction, 2020)

Un large éventail de solutions écoénergétiques est désormais disponible pour les bâtiments, les véhicules, les appareils électroménagers et l'industrie. La plupart des gouvernements ont engagé des politiques visant à promouvoir l'efficacité énergétique dans différents secteurs. Cela est clairement illustré par la Figure II.5, qui met en évidence l'importance des investissements actuels et projetés selon différents scénarios.

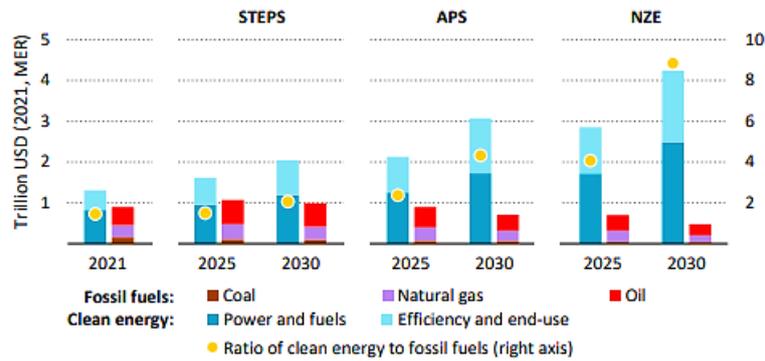


Figure II.5. Investissement dans les énergies propres et les combustibles fossiles par scénario, 2025 et 2030. Source : (AIE, World Energy Outlook, Novembre 2022)

Selon les prévisions de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), plus de 85 % des bâtiments d'ici 2050 seront classés comme "zéro carbone". Ces projections indiquent également une réduction significative de la consommation d'énergie, tant pour le chauffage et la climatisation que pour les appareils électroménagers (Figure II.6)

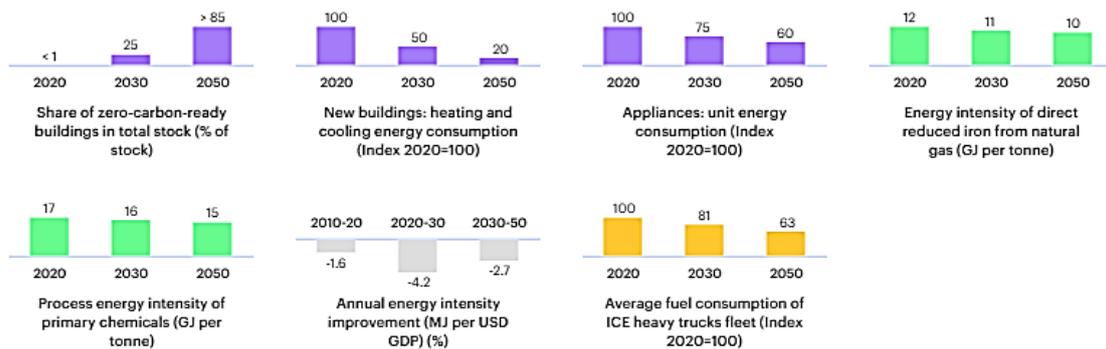


Figure II.6. Efficacité énergétique dans le monde à l'horizon 2050. Source : (AIE, Net Zero by 2050, Mai 2021)

II.3 Situation énergétique dans le secteur résidentiel en Algérie

II.3.1 Etat des lieux de la situation nationale

L'évolution du parc du logement entre 1999 et 2018 est représenté ci-dessous :

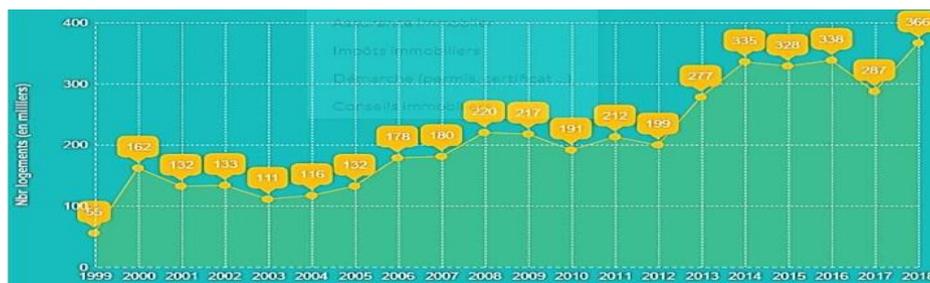


Figure II. 7. Nombre des logements réalisés en Algérie (1999-2018). Source : (Lkeria, 2019)

En Algérie, le secteur du bâtiment est le principal consommateur d'énergie. Bien qu'il s'agisse d'un secteur non productif, il représente une part importante de la consommation énergétique finale, atteignant 43 %. Il devance ainsi le secteur industriel qui consomme 22 % de l'énergie, ainsi que les secteurs des transports et de l'agriculture, avec respectivement 33 % et 1 % de la consommation énergétique totale (APRU, 2019) (Figure II.8).

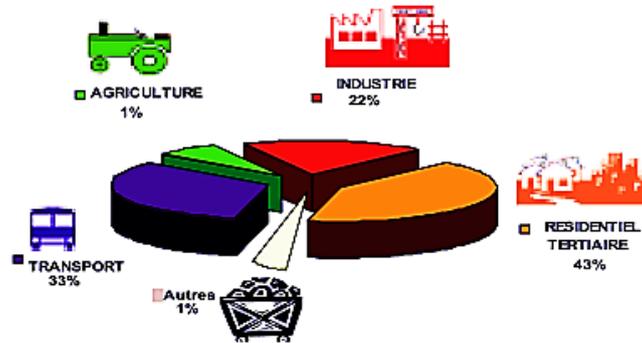


Figure II.8. Consommation finale d'énergies par secteur d'activité. Source : (APRU, Consommation énergétique finale de l'Algérie)

Au cours des deux dernières décennies, la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel a considérablement augmenté en Algérie, principalement en raison de l'amélioration du niveau de vie de la population algérienne (Figure II.9)

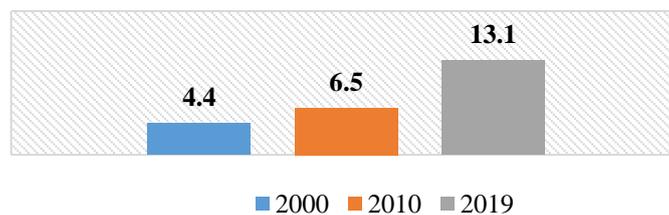


Figure II.9. Évolution de la consommation finale d'énergie de l'Algérie dans le secteur résidentiel (2000- 2019) (Unité : Mt-ep) (DRIS, 2021)

D'après l'Agence Nationale de Promotion et de Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (APRUE), en 2017, les bâtiments individuels représentaient 65% de la consommation énergétique totale, tandis que les bâtiments collectifs en représentaient 35%. Cette consommation d'énergie était répartie entre différentes sources, avec 65% attribués au gaz naturel, suivi de l'électricité à 19%, puis du GPL et des combustibles domestiques avec des taux respectifs de 13% et 0,01% (Figure II.10)

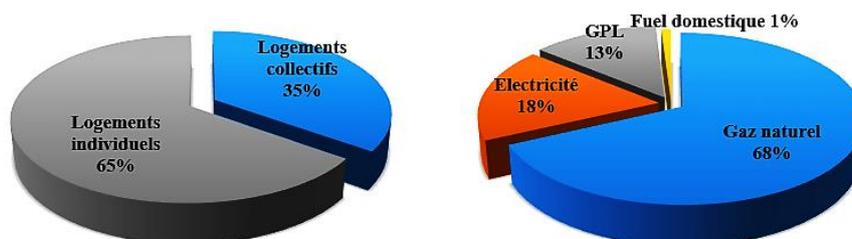


Figure II.10. Répartition de la consommation du secteur résidentiel par type de logement et d'énergies. Source : (APRU, Consommation énergétique finale de l'Algérie)

Il est évident que la zone B prédomine en termes de besoins énergétiques à l'échelle régionale. En effet, avec près de 48,5 TWh, la zone B représente 41% de la consommation totale du parc. Pourtant, cette zone est moins densément peuplée que la zone A (2,36 millions de logements en zone A contre 1,7 million en zone B). Cependant, d'un point de vue climatique, la zone B est considérée comme étant la plus froide. Cela explique que malgré le nombre de logements inférieur, l'écart est compensé par des températures extérieures ou des conditions d'eau significativement différentes. (Ouahabe, 2015)

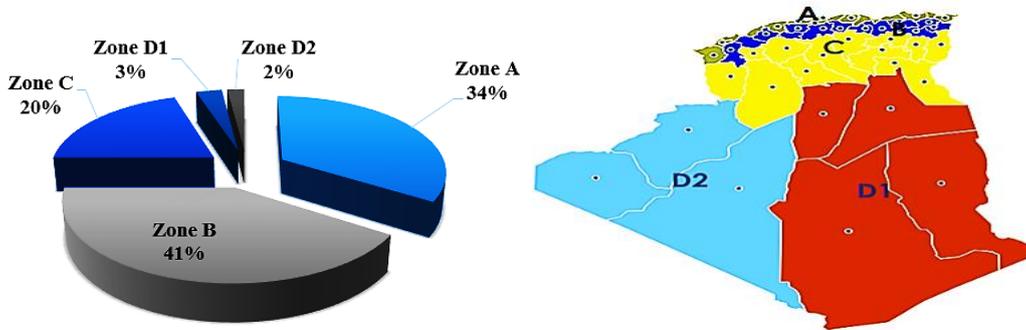


Figure II.11. Répartition de la consommation d'énergies par zone climatique (Ouahabe, 2015)

Les émissions de gaz à effet de serre, en particulier le CO₂, contribuent au changement climatique de la Terre, ce qui peut avoir de graves conséquences sur les êtres humains et leur environnement. Selon l'agence de protection de l'environnement, les émissions mondiales de dioxyde de carbone représentent environ 80% des émissions totales de gaz à effet de serre. En Algérie, le secteur résidentiel est responsable d'environ 36% des émissions totales du pays en 2017. Ces émissions sont principalement dues à l'utilisation de combustibles fossiles tels que le gaz et le pétrole pour la production d'énergie et le maintien du confort dans ce secteur (chauffage, électricité, cuisine, etc).

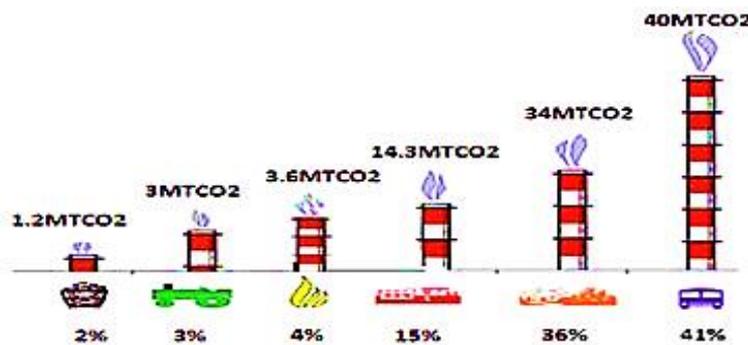


Figure II.12. Émission des GES par secteur en millions de teq CO₂. Source : (APRU, Consommation énergétique finale de l'Algérie)

Ces émissions de carbone contribuent à l'augmentation de la température globale en emprisonnant l'énergie solaire dans la couche d'ozone, ce qui perturbe l'approvisionnement en eau, les conditions météorologiques et la croissance des cultures agricoles, tout en menaçant les communautés côtières avec l'élévation du niveau de la mer. Des études ont été réalisées sur les émissions de CO₂ du secteur résidentiel d'ici 2050, en tenant compte des différents

types de logements et sources d'énergie utilisées(Ouahabe, 2015)est sont représentés dans la Figure II.13.

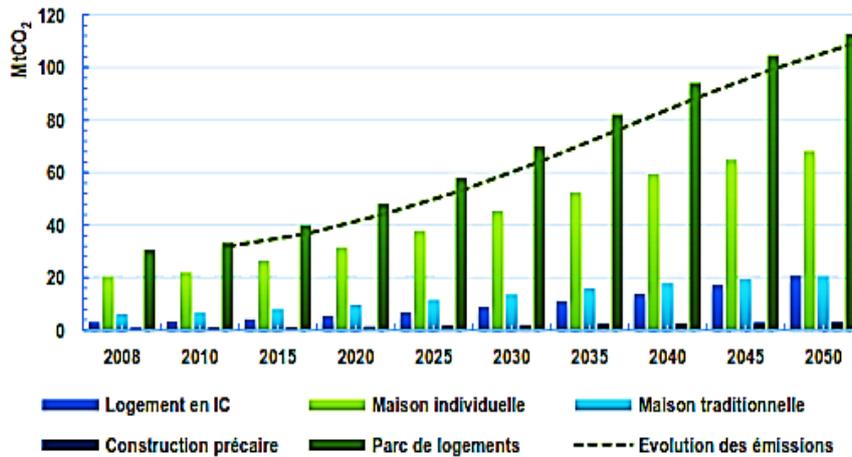


Figure II.13.Emissions de CO₂ par type de logement à l'horizon 2050(Ouahabe, 2015)

II.3.2 Politique d'efficacité énergétique dans le secteur

En février 2011, l'Algérie a mis en place un programme ambitieux axé sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique. Les autorités publiques accordent une grande importance à la réussite de ce programme, qui repose sur une stratégie verte définie jusqu'en 2030.(Baouchi, 2014)D'ici à 2030, il est estimé qu'il existe un potentiel d'économie d'énergie de plus de 10 millions de tonnes équivalent pétrole (tep), ce qui représente une réduction de plus de 15% de la consommation actuelle

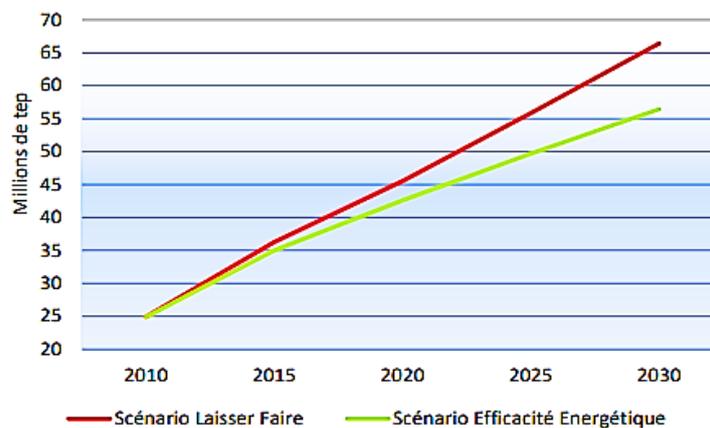


Figure II.14.Potentiel d'économie des énergies jusqu'à à l'horizon 2030(Baouchi, 2014)

Dans le domaine du logement, le programme vise à promouvoir l'adoption de pratiques et de technologies innovantes, en particulier dans le domaine de l'isolation thermique des bâtiments existants et nouveaux. Des mesures appropriées seront prises dès la phase de conception architecturale des logements.

De plus, l'objectif est de faciliter l'adoption généralisée d'équipements et d'appareils performants sur le marché local, tels que les chauffe-eaux solaires et les lampes à économie

d'énergie. Cela permettra d'améliorer le confort intérieur des logements tout en réduisant la consommation d'énergie

Le développement d'une industrie locale de matériaux isolants thermiques ainsi que d'équipements et d'appareils performants tels que les chauffe-eaux solaires et les lampes économiques est l'un des principaux atouts pour promouvoir l'efficacité énergétique dans le secteur du logement.

En termes d'économie d'énergie, plus de 30 millions de tonnes équivalent pétrole (TEP) seront réalisées d'ici à 2030, réparties de la manière suivante : [Veuillez fournir les détails de la répartition des économies d'énergie prévues. (MEM, 2021):

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

Le gouvernement algérien a mis en place plusieurs programmes visant à réduire et améliorer l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments. Voici quelques-uns de ces programmes initiés par l'État algérien : (APRU, 2019)



Figure II.15. Programme de construction de bâtiments efficaces en Algérie

Partie 02

Outils et méthodologies d'évaluation de l'efficacité énergétique d'un bâtiment d'habitation

II.4 Introduction

La nécessité d'évaluer la performance énergétique des bâtiments d'habitation a conduit à l'émergence d'un domaine de recherche très prisé : l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments. De nombreux travaux et approches ont été développés pour répondre à cette exigence.

Les méthodes utilisées dans ce domaine peuvent être divisées en deux catégories :

1. Les outils d'évaluation, de certification et de benchmarking : Ce sont des solutions commerciales qui ont été créées grâce à des partenariats entre entreprises et recherche scientifique, dans le but d'évaluer, certifier et comparer les performances énergétiques des bâtiments.
2. Les approches académiques : Ce sont des méthodologies développées dans le cadre de la recherche scientifique, qui visent à évaluer la performance énergétique des bâtiments. Ces approches sont généralement le fruit d'études et de travaux réalisés par des chercheurs académiques

Ces méthodes reposent sur des approches de prise de décision multicritères, qui ont pour objectif d'aider les décideurs à résoudre des problèmes impliquant différents points de vue, parfois contradictoires. Elles fournissent des outils permettant de prendre en compte ces multiples aspects lors du processus décisionnel. (Bellut, 2002)

II.5 Outils et systèmes de notation environnementale et de durabilité

II.5.1.1 Contexte général

Dans le domaine du bâtiment, il existe un grand nombre de normes, couvrant divers domaines tels que l'accessibilité, l'environnement, la sécurité, etc. Cependant, moins de 2 % de ces normes sont obligatoires. Les autres sont volontaires et sont souvent reconnues par des labels délivrés par les pouvoirs publics ou des organismes privés.

L'intérêt pour les certifications et les labels s'est développé récemment, en particulier avec l'émergence du concept de développement durable. Un label certifie les performances d'un bâtiment, ce qui permet de valoriser les pratiques de construction ou de rénovation ayant un impact positif sur l'environnement et le confort des occupants. Contrairement aux certifications, les labels ne sont pas nécessairement mentionnés dans la réglementation (à l'exception des labels d'État), tandis que les certifications sont encadrées par la réglementation. Dans la suite, nous présenterons de manière concise les réglementations et labels les plus connus. (Beddiar, Chazel, & Ziour, 2022)

II.5.1.2 L'enjeu des certifications et labels

Obtenir une certification ou un label est une démarche volontaire entreprise par un maître d'ouvrage ou un promoteur souhaitant faire évaluer et reconnaître la qualité de ses constructions ou rénovations. Ces certifications et labels servent d'indicateurs pour les futurs acquéreurs ou locataires en termes de confort, d'économies de charges et de respect de l'environnement. Ils reposent sur des référentiels et sont soumis à des procédures d'audit et d'évaluation.

La démarche de certification et de labélisation permet également de faire valider les performances obtenues par un organisme accrédité ou une association habilitée. Cela évite l'auto-proclamation et permet de fournir des preuves concrètes aux clients, qui peuvent ainsi prendre connaissance des critères précis qui ont été évalués. Une certification ou un label délivré par un organisme externe offre une garantie d'indépendance, ce qui est à la fois indispensable et requis par la législation. Le Code de la consommation exige en effet une séparation entre l'organisme certificateur et l'entreprise ou le produit certifié.

Dans le contexte de la crise économique actuelle, les candidats à l'acquisition ou à la location, que ce soit dans le secteur résidentiel ou tertiaire, recherchent des bâtiments de qualité et à faible consommation énergétique. Ils cherchent à la fois des investissements sûrs et des économies de charges, et sont sensibles à la protection de l'environnement, ce qui les amène à s'intéresser de plus en plus à l'éco-construction et à l'éco-rénovation.

Les maîtres d'ouvrage et les promoteurs doivent donc répondre à ces attentes et garantir à leurs clients la qualité environnementale et énergétique de leurs offres, en faisant évaluer leurs projets par un organisme ou une association qualifiée et indépendante, disposant généralement d'un réseau de vérificateurs à l'échelle nationale. Ainsi, le secteur du bâtiment est

particulièrement concerné par cette évolution, à la fois sur le plan éthique, réglementaire et économique.

Les labels et certifications servent également de références pour les collectivités, les partenaires et les clients à la recherche de professionnels reconnus pour leur capacité à réaliser des bâtiments respectueux de l'environnement et économes en énergie, ainsi qu'à mettre en place une gestion environnementale adaptée à ces opérations.

Enfin, ces référentiels, qui sont plus exigeants que les réglementations en vigueur, aident les maîtres d'ouvrage et les promoteurs à anticiper les futures réglementations et à dépasser les exigences légales. Cela leur offre l'opportunité de progresser et de mesurer leurs améliorations sous le regard critique d'un organisme indépendant et reconnu. Ces démarches constituent également un vecteur de progrès et de mobilisation en interne. (Maes, 2009).

II.5.1.3 Principales méthodes de certifications existantes

A. La méthode BREEAM

Mis en place en 1986, le système BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) a pour objectif d'évaluer les performances environnementales des bâtiments. La certification BREEAM repose sur les évaluations suivantes (BREEAM, 2016) :

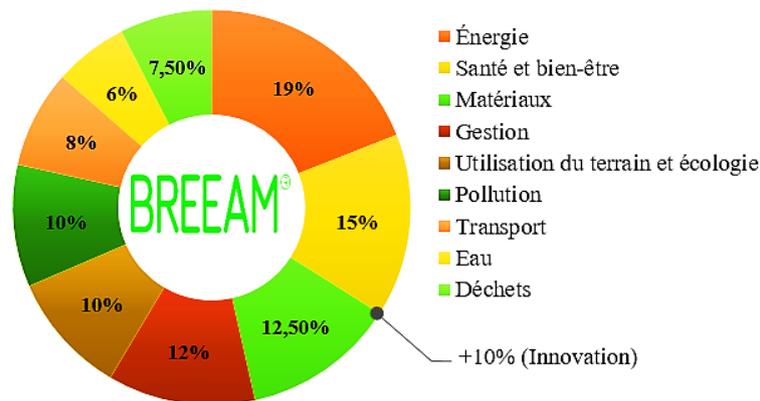


Figure II.16. Objectifs de la méthode BREEAM (MOUSSAOUI, 2018)

- **Energie** : favoriser la mise en place de solutions durables permettant de réduire la consommation d'énergie et de favoriser l'utilisation d'énergies renouvelables
- **Santé et bien-être** : mettre en place des infrastructures garantissant le confort des occupants
- **Innovation** : miser sur des concepts innovants pour construire, gérer et entretenir le bâtiment
- **Biodiversité** : garantir une construction respectueuse de la biodiversité environnante
- **Matériaux** : utiliser des matériaux produits de façon responsable et durable pour la construction, l'équipement et l'entretien du bâtiment.
- **Management** : assurer un management responsable et durable du bâtiment dès sa construction.

- **Pollution** : assurer le contrôle et la prévention de la pollution du bâtiment que ce soit par sa construction que par son occupation.
- **Transport** : favoriser l'utilisation de solutions de transport non polluantes en mettant à disposition des occupants les infrastructures nécessaires (garage à vélo, borne pour voiture électrique...)
- **Recyclage** : instaurer le recyclage et garantir le bon traitement des déchets et des rejets liés à la construction du bâtiment, à son exploitation et à son entretien.
- **Eau** : faire une utilisation raisonnée de l'eau potable et utiliser les solutions les plus responsables pour traiter les rejets d'eaux liées aux activités menées dans le bâtiment.

BREEAM évalue ensuite chaque bâtiment selon une échelle de notation allant de "Acceptable, Passable, Bien, Très bien, Excellent à Exceptionnel". Cela permet aux investisseurs, partenaires et occupants de comparer les performances environnementales de différents biens bénéficiant de la certification BREEAM.

Cependant, il convient de noter que BREEAM n'a pas encore été largement utilisé dans les pays en développement, bien que des évaluations aient été enregistrées dans 78 pays à travers le monde, y compris plusieurs pays en développement tels que le Nigeria, le Myanmar, les Philippines, le Soudan et le Sri Lanka. Malgré cela, pour être considérée comme une méthode internationale, son utilisation doit être plus répandue, en particulier dans les pays en développement



Figure II.17. Evaluations certifiées BREEAM (Green Book Live, 9/2017)

B. La méthode LEED

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) a révolutionné l'approche de la planification, de la construction, de l'entretien et de l'exploitation des bâtiments et des communautés. Élaboré par des comités techniques, LEED est l'outil phare du Green Building

Council des États-Unis (U.S. GBC). Il a été lancé en 1998 et a connu plusieurs mises à jour depuis. La version la plus récente de LEED est "LEED v4" (US. GBC., 2018) (US. GBC, 2019)(US GBC, 2014)(US GBC, 2015a)(US GBC, 2015b)est conçue pour être plus flexible et améliorer l'expérience globale des utilisateurs.

LEED s'applique à tous les types de bâtiments, des maisons individuelles aux immeubles de grande hauteur. Les projets visant la certification LEED accumulent des points dans différents domaines qui traitent des problèmes de durabilité. En fonction du nombre de points obtenus, un projet se voit attribuer l'un des quatre niveaux de certification LEED : Certifié, Argent, Or et Platine. Les bâtiments certifiés LEED sont efficaces en termes de ressources, utilisant moins d'eau et d'énergie tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. De plus, ils permettent de réaliser des économies financières.

Dans le secteur résidentiel, le système de notation LEED s'applique aux projets de grande hauteur. Pour les projets de taille moyenne (jusqu'à huit étages), il existe une adaptation spécifique appelée LEED Homes. Le LEED ND est un système de notation distinct pour évaluer les quartiers.

Cependant, l'adaptation de LEED dans d'autres pays peut parfois poser des problèmes en raison de certains critères spécifiquement américains qui sont difficiles à transposer et à adapter aux réglementations nationales.((Lavergne, Micaelli, & Marc-Antoine, 2017))

LEED v4 est axé sur sept objectifs de catégories d'impacts et de crédits (US GBC, 2017). Dans la plupart des catégories de LEED v4, une performance minimale est requise. Ensuite, les projets peuvent accumuler des crédits facultatifs, appelés "points de gain". En fonction du total des crédits obtenus, chaque bâtiment se verra attribuer un niveau de certification allant de "Certifié" à "Platine"

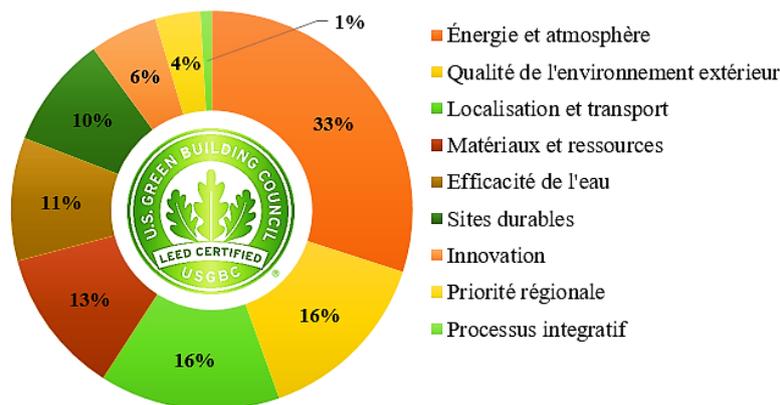


Figure II.18. Catégories et crédits de la méthodes LEED (MOUSSAOUI, 2018)

L'U.S. GBC propose également une plateforme permettant aux professionnels d'obtenir une certification LEED. LEED est applicable à tous les types de bâtiments, partout dans le monde. Il est présent dans plus de 165 pays et territoires. Les dirigeants du monde entier ont fait de LEED la référence la plus couramment utilisée pour la certification des bâtiments durables, avec environ 2,2 millions de pieds carrés certifiés chaque jour.(US GBC, 2017)

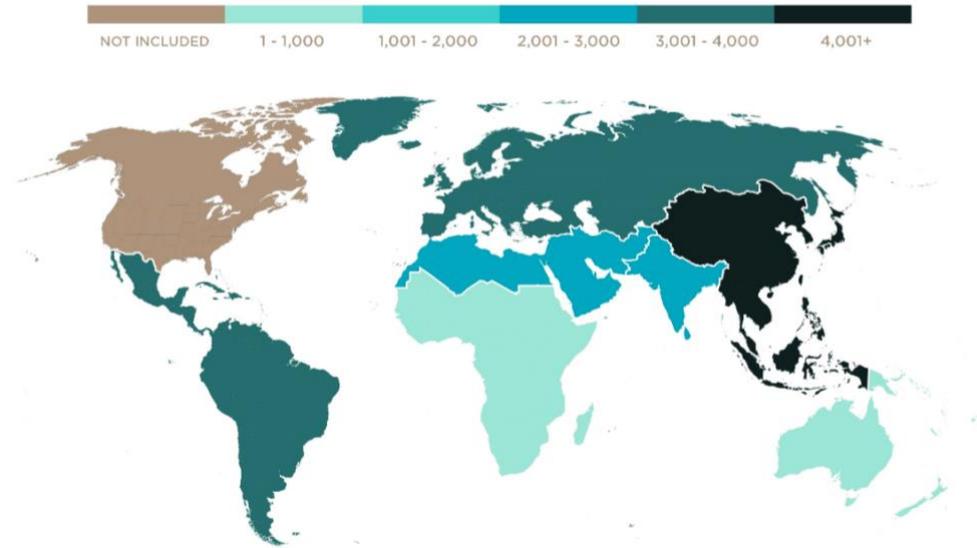


Figure II.19.Répartition des projets LEED dans le monde (US GBC, 2017)

C. La méthode DGNB

L'un des labels les plus répandus et complets dans le domaine de la construction durable est le DGNB, qui signifie Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (Société allemande pour la construction durable).

Fondé en 2007, le label DGNB est le fruit d'une collaboration entre un consortium de professionnels comprenant des architectes, des fabricants de matériaux de construction, des investisseurs et des scientifiques.

Contrairement à d'autres labels tels que LEED ou OWA, le système de certification DGNB adopte une approche globale en prenant en compte l'ensemble du cycle de vie d'un bâtiment, incluant ses aspects écologiques, économiques et parfois même socioculturels. Ce label peut être appliqué à tout type de construction qui respecte cinq catégories de critères

- Ecologie : Effet sur l'environnement local (protection des ressources).
- Economie : Coût du cycle de vie et stabilité de la valeur.
- Qualité sociale : Santé, bien-être.
- Qualité technique.
- Qualité des processus : planification, construction, exploitation.

Un bâtiment labellisé écologiquement se distingue par une construction qui offre une valeur sûre, qui répond aux besoins des occupants tout en préservant l'environnement, le tout avec des coûts d'exploitation et d'entretien de plus en plus bas

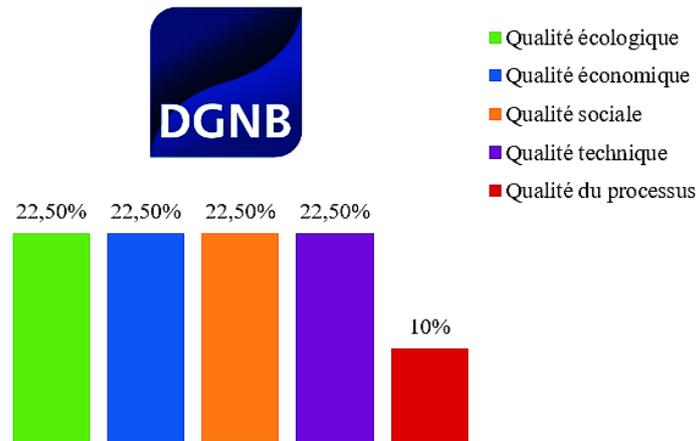


Figure II.20. Catégories et crédits de la méthodes DGNB

La DGNB a développé une version internationale de son système, qui repose sur les normes et standards européens en vigueur. Grâce à son adaptation aux particularités climatiques, structurelles, juridiques et culturelles de différents pays, la DGNB est en mesure de délivrer des certifications à l'échelle mondiale en collaboration avec ses partenaires. (DGNB. , 2017).



Figure II.21. Réseau de partenaire de la DGNB dans le monde

D. La certification HQE®

Il est pratiquement impossible de donner une définition précise de la Haute Qualité Environnementale (HQE) car ses créateurs l'ont conçue comme une approche globale.

Une construction qui répond aux exigences de la démarche HQE offre toutes les qualités que l'on peut légitimement attendre d'un logement : confort, design, durabilité, en plus d'une limitation durable de son impact sur l'environnement. Cela englobe plusieurs aspects, depuis le choix du terrain jusqu'à toutes les phases de la construction (fondations, murs, charpente, toit et finitions) ainsi que les alentours. La durée de vie du bâtiment, la gestion des ressources énergétiques, l'entretien et, éventuellement, la démolition fait également partie de cette

approche. En somme, cela constitue le cœur de la démarche HQE et sa raison d'être. (" HQE démarche et enjeux", 2015)

Les évaluations de la démarcheHQE® reposent sur 14 cibles à savoir :

Tableau II.1.Les 14 cibles de la démarche HQE®

Cibles d' éco-gestion	Cible 04	Gestion de l'énergie <ul style="list-style-type: none"> • Réduction des besoins en énergie et optimisation des consommations par choix architecturaux et choix des énergies
	Cible 05	Gestion de l'eau <ul style="list-style-type: none"> • Economiser l'eau potable, récupérer et gérer les eaux de pluie • Maîtriser les eaux usées
	Cible 06	Gestion des déchets d'activité <ul style="list-style-type: none"> • Locaux adaptés à la collecte sélective et valorisation des déchets
	Cible 07	Gestion de l'entretien et de la maintenance <ul style="list-style-type: none"> • Mise en place de procédés efficaces de gestion technique et de maintenance, et maîtrise de leurs effets environnementaux
Cibles de confort	Cible 08	Confort hygrothermique <ul style="list-style-type: none"> • Homogénéité et permanence des ambiances hygrothermiques
	Cible 09	Confort acoustique <ul style="list-style-type: none"> • Protection contre les bruits extérieurs et internes
	Cible 10	Confort visuel <ul style="list-style-type: none"> • Veiller aux apports en lumière naturelle et à la qualité de l'éclairage artificiel
	Cible 11	Confort olfactif <ul style="list-style-type: none"> • Recherche de la qualité de l'air ambiant (limitation des polluants à la source et ventilation des locaux)
Cibles de santé	Cible 12	Conditions sanitaires des espaces <ul style="list-style-type: none"> • Création d'ambiances intérieures satisfaisantes et de conditions d'hygiène optimale • Aide au nettoyage des déchets d'activité • Accessibilité aux personnes à mobilité réduite
	Cible 13	Qualité sanitaire de l'air <ul style="list-style-type: none"> • Gestion des risques de pollution par les matériaux de construction, les équipements et l'entretien • Garantie d'une qualité de l'air satisfaisante en limitant les pollutions et en assurant une bonne ventilation
	Cible 14	Qualité sanitaire de l'eau <ul style="list-style-type: none"> • Assurer et préserver une bonne qualité d'eau potable • Gérer les risques liés aux réseaux d'eau non potable

II.6 Méthodes multicritères d'aide à la décision

II.6.1 Définition

D'après [Vincke](#) : «La méthodologie d'aide à la décision multicritères vise à fournir des outils aux décideurs pour les aider à résoudre des problèmes de décision complexes où plusieurs critères, souvent en contradiction les uns avec les autres, doivent être pris en compte. Son objectif est de modéliser de manière précise les préférences d'un expert, ce qui permet ensuite la création d'outils adaptés capables d'assister ou de remplacer le décideur dans la résolution de ces problèmes complexes ».

([Mareschal, 1988](#)) De son côté, affirme que : l'analyse multicritère est une sorte de prolongement de la recherche opérationnelle, mais pas une rivalité qui cherche à l'éliminer. Pour ([ROY, 1993](#)) Le paradigme multicritère représente un nouveau modèle de réflexion pour comprendre et agir sur un système en prenant en compte la présence de multiples critères qui influencent son fonctionnement ou guident son évolution. Ces critères peuvent être localement contradictoires, ce qui nécessite de trouver des compromis ou de procéder à des arbitrages. L'objectif de ces compromis ou arbitrages est d'attribuer des valeurs aux critères qui soient compatibles avec une certaine forme d'équilibre. Si des compromis sont nécessaires, c'est parce que l'équilibre atteint est temporaire et transitoire.

Le processus d'aide à la décision multicritère se compose en quatre étapes fondamentales qui sont représentées dans la Figure II.22 :

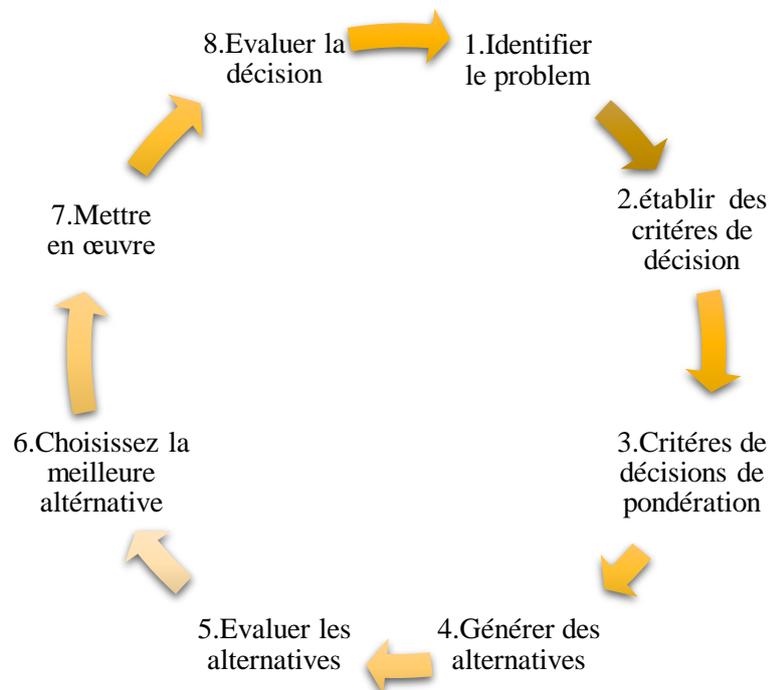


Figure II.22. Schéma illustratif de processus de prise de décision

II.6.2 Domaines d'application

Les méthodes multicritères d'aide à la décision (MMAD) sont largement employées pour résoudre des problèmes de sélection dans de nombreux domaines tels que la planification des ressources d'entreprise, les services cloud, les collaborations entre partenaires et les scénarios agricoles, entre autres. Elles offrent aux décideurs un moyen de prendre en compte tous les critères pertinents du problème en utilisant un processus décisionnel rationnel et efficace.

Ces méthodes sont fréquemment utilisées comme un outil d'aide lors de la résolution de diverses catégories de problèmes de décision qui peuvent se présenter dans des domaines variés :

- Application à l'industrie aéronautique (Slavica, 2019);
- Application dans développement énergétique durable (Indre, 2018);
- Application avec la modélisation de l'informatique des bâtiments (Tan, 2021);
- Application en science de l'environnement (Jeffrey, 2017);
- Application pour la gestion des infrastructures (Golan, 2014);
- Application dans l'évaluation des systèmes énergétiques (Witt, 2022) et pour les systèmes d'énergies solaire (Sahim, 2022);
- Etc.

II.6.3 Principales méthodes multicritères d'aide à la décision

Parmi les méthodes d'aide à la décision, on peut citer les tableurs SMART et SWING, basés sur la théorie MAUT (Brunner & Starkl, 2004) et le logiciel Expert Choice (Harbi, 2001) appliquant le processus de hiérarchisation analytique (AHP). "La diversité de ces méthodes réside dans la façon d'effectuer la synthèse de l'information" (Mena, 23 février 2000) En effet, l'exhaustivité sur le nombre des MMAD est difficile à cerner, néanmoins, nous avons essayé de regrouper les principales méthodes dans le Tableau II.3 ci-dessous :

Tableau II.2. Principales méthodes multicritères d'aide à la décision

Groupe	Méthode	Référence
Méthodes de notation	Simple additive weighting (SAW)	(Sustainability, 2016)
	Complex proportional assessment (COPRAS)	
Méthodes basées sur la distance	Goal programming (GP)	
	Compromise programming (CP)	
	Technique for order of preference by similarity to ideal solution (TOPSIS)	
	Multicriteria optimization and compromise solution (VIKOR)	
	Data envelopment analysis (DEA)	
Méthode par paires de comparaison	Analytic hierarchy process (AHP)	
	Analytic network process (ANP)	
	Measuring Attractiveness by a Categorical	

	Based Evaluation Technique(MACBETH)	
--	-------------------------------------	--

Tableau II.3.Principales méthodes multicritères d'aide à la décision (Suite)

Groupe	Méthode	Référence
Méthode de sur-classement	Preference ranking organization method for enrichment of evaluations (PROMETHEE)	(Sustainability, 2016)
	Elimination and choice expressing reality (ELECTRE)	
Méthode utilitaires/évaluation	Multi-attribute utility theory (MAUT)	
	Multi-attribute value theory (MAVT)	
Méthode de vulnérabilité sociale	Méthode d'évaluation spatio-temporelle (MOVISS)	
	Analyse multicritère spatial (SEVI) et Indice de vulnérabilité sociale (SoVI)	

II.7 Discussion et conclusion

Dans ce chapitre, nous avons constaté que le secteur résidentiel est le principal consommateur d'énergie et le plus grand émetteur de CO2 à l'échelle mondiale et locale. Nous avons également examiné quelques politiques mondiales et nationales en matière d'efficacité énergétique, concluant que l'Algérie doit adopter le concept d'efficacité énergétique et de transition énergétique (énergie renouvelable) dans le secteur résidentiel afin de réduire la consommation d'énergie sans compromettre le confort thermique.

Comme mentionné précédemment, l'efficacité énergétique est un indicateur précieux pour répondre aux défis énergétiques actuels et aux exigences de performance énergétique des bâtiments, ainsi qu'aux contraintes imposées par la réglementation thermique et les différents labels.

Dans cette optique, nous proposons, dans le chapitre 3, une contribution au développement d'une méthodologie d'évaluation de la performance énergétique des bâtiments résidentiels en Algérie. Cette méthodologie sera basée sur les méthodes multicritères d'aide à la décision (MMAD).

L'intérêt croissant de la communauté scientifique internationale pour les MMAD est de plus en plus évident et a connu une croissance exponentielle ces dernières années (Figure II.23)

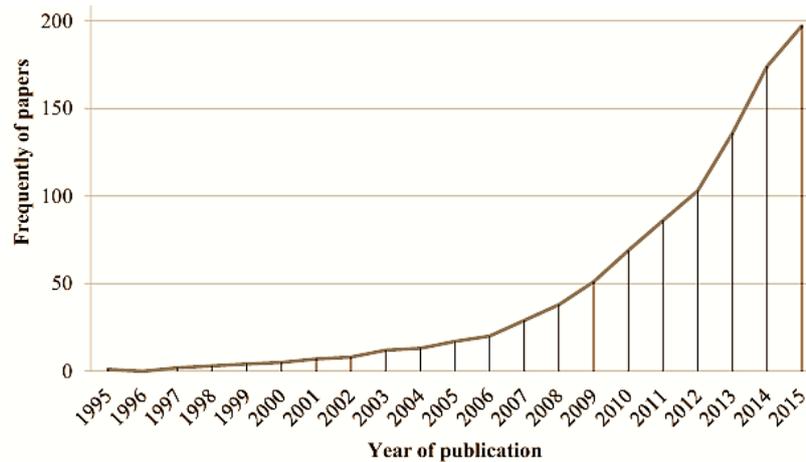


Figure II.23.Fréquence de l'utilisation des MMAD dans les publications scientifiques (Mardani, 2017)

Selon (Mardani, 2017) les domaines attirant plus l'intérêt des MMAD dans les publications sont : les évaluations de l'impact environnemental et la gestion de l'énergie (Tableau II.5).

Tableau II.4.Fréquence d'application des MMAD dans les disciplines de recherches scientifique (Mardani, 2017)

Application fields	Papers	%
Environmental impact assessment	31	15,82 %
Energy management	21	10,71 %
Construction and environmental management	21	10,71 %
Sustainability assessment	18	9,18 %
Waste management	16	8,16 %
Renewable energy	12	6,12 %
Green management topics	12	6,12 %
Water resources management	10	5,10 %
Climate change	10	5,10 %
Energy sustainability	9	4,59 %
Land management	8	4,08 %
Strategic environmental assessment	7	3,57 %
Other environmental areas	21	10,71 %

Pour la méthode, nous avons choisi la méthode AHP. En effet, c'est la méthode la plus utilisée dans les publications scientifiques entre 2000 e 2014 (Tableau II.6).

Tableau II.5. Fréquence d'application des MMAD dans les articles scientifique (Mardani, 2017)

MCDM méthode	Pourcentage
AHP	32,57 %
Hybrid MCDM	16,28 %
Agrégation DM methods	11,70 %
TOPSIS	11,40 %
ELECTRE	8,65 %
ANP	7,38 %
PROMETHEE	6,62 %
VIKOR	3,56 %
DEMATEL	1,78 %

Autres raisons qui nous ont motivées :

- 1) Elle permet de structurer le problème de décision en hiérarchisant les critères et les alternatives. Cela facilite la compréhension du problème et permet de l'analyser de manière plus efficace.
- 2) Elle permet d'intégrer des critères qualitatifs et quantitatifs dans l'analyse. Les critères sont pondérés en fonction de leur importance, ce qui permet de prendre en compte les préférences et les contraintes de la décision.
- 3) La méthode AHP permet de prendre en compte les interactions entre les critères et les alternatives. Elle permet d'analyser l'impact de chaque critère sur les alternatives et de déterminer la contribution de chaque alternative à l'ensemble des critères.
- 4) Elle fournit un résultat facilement compréhensible et exploitable. La méthode AHP permet de générer des résultats sous forme de graphiques et de tableaux, ce qui facilite la prise de décision.
- 5) La méthode AHP est flexible et peut être appliquée à différents types de problèmes de décision, tels que la sélection de projets, l'évaluation des performances des employés, la gestion de la chaîne d'approvisionnement, etc.

En résumé, l'Analytic Hierarchy Process (AHP) est une méthode d'analyse de décision efficace et adaptable qui permet de classer les alternatives en fonction de critères pondérés, en tenant compte des interactions entre les critères et les alternatives. Cette méthode peut être appliquée à différents types de problèmes de décision et fournit des résultats clairs et exploitables, faciles à comprendre

Chapitre 03

Contribution au développement d'une méthodologie d'évaluation de la performance énergétique des bâtiments d'habitation en Algérie

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, notre objectif est d'effectuer un diagnostic approfondi et de développer un indice de performance énergétique (IPE) qui reflète la qualité des bâtiments résidentiels en Algérie. Pour ce faire, nous avons regroupé les différents objectifs et critères de durabilité dans un tableau de bord, qui constitue la base de cet indice. La méthodologie que nous proposons repose principalement sur la définition, le calcul, l'évaluation et l'agrégation des indicateurs de performance à l'aide de la méthode AHP. Cette approche servira de fondement pour la création d'un outil d'aide à la décision qui répondra aux besoins des gestionnaires dont la politique est axée sur la conception de bâtiments durables

III.2 Méthodologie d'évaluation proposée

III.2.1 Structure de la méthodologie

La méthode que nous proposons se base sur des objectifs qui représentent les principaux aspects du projet, et ces objectifs sont quantifiés selon une approche descendante. Chaque objectif d'un projet de bâtiment d'habitation est évalué à travers un ensemble de critères et d'indicateurs de performance (IP) qui sont ensuite agrégés dans un processus ascendant. Les approches descendantes permettent aux experts de définir le cadre de vulnérabilité ainsi que ses indicateurs. Les approches ascendantes, quant à elles, favorisent la participation des parties prenantes dans ce processus (Singh & al, 2008); (Waas, et al., 2014)).

La première approche "Top-down" (Figure III.1) suit la logique suivante :

1. Fixer un objectif ;
2. Définir, pour chaque objectif, des sous objectifs ;
3. Identifier, pour chaque sou objectif, des critères éventuels pouvant contribuer à son évaluation ;
4. Identifier, pour chaque critère des indicateurs qui vont contribuer à son évaluation ;
5. Élaborer, pour chaque indicateur, une (ou des) méthode(s) d'évaluation ;
6. Définir des méthodes d'appréciation de la performance de l'indicateur (normes, fonctions, base de données, avis d'experts, etc.).

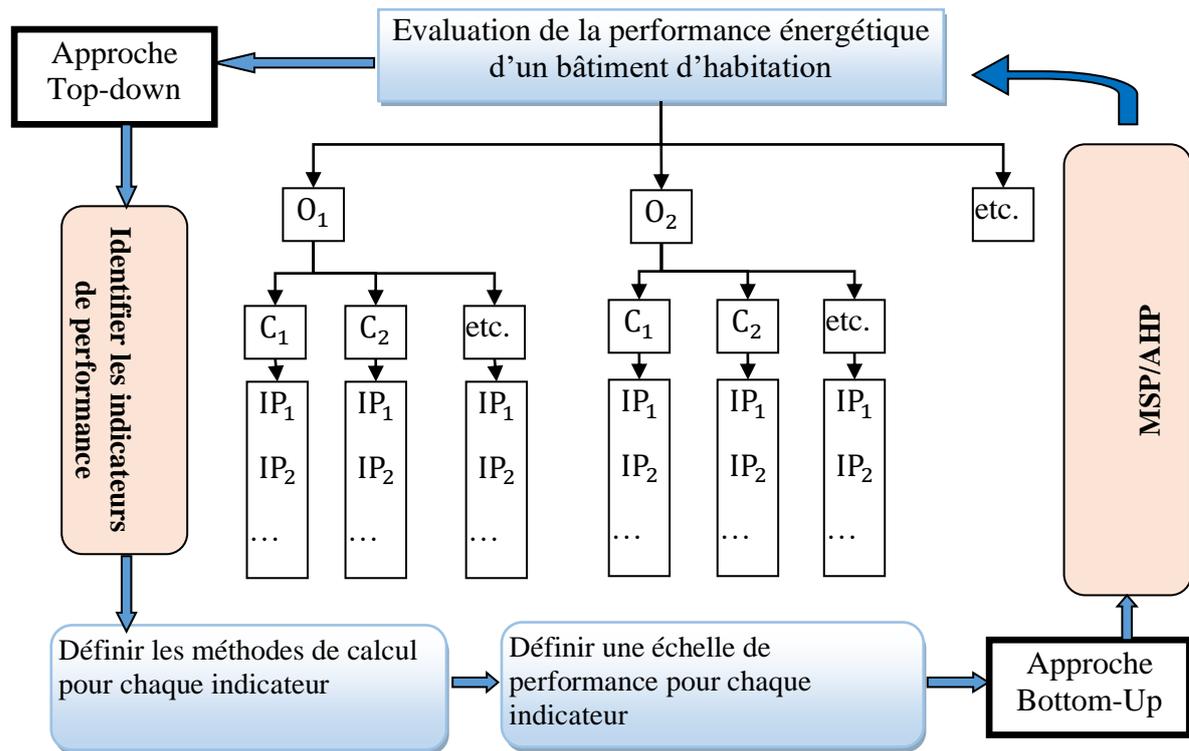


Figure III.1. Méthodologie adoptée pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique pour un bâtiment d'habitation

En opposition, l'approche ascendante "Bottom-up" (Figure III.1) présente l'avantage majeur de prendre en considération les données disponibles dès le départ. Cependant, elle ne garantit pas nécessairement un système d'objectifs exhaustif et équilibré, car elle se base uniquement sur les données disponibles sans tenir compte d'une vision complète des attentes.

Cette approche ascendante consiste à élaborer et à comparer des modèles et/ou des méthodes pratiques et précises basés sur les performances des indicateurs. Elle permet d'évaluer les performances des critères de durabilité en remontant des simples indicateurs aux objectifs globaux associés.

III.2.2 Approches Top-down et Bottom-up : deux approches opposées ou complémentaires ?

Les approches Top-down et Bottom-up représentent deux approches traditionnellement opposées dans la construction d'un processus d'évaluation. L'approche "top-down", également appelée démarche "experte", repose principalement sur les sciences, l'ingénierie et l'architecture. En revanche, l'approche "bottom-up" se fonde sur les statistiques et la recherche opérationnelle (Reed & Al, 2006). Ces deux approches ont tenté de répondre de manière différente aux questions posées par l'évaluation du développement durable. Cependant, chacune présente à la fois des avantages et des limites.

III.2.3 Approche diagnostic descendante – "Top-down"

L'approche diagnostique Top-down est une méthode descendante utilisée pour décrire les objectifs. Elle implique un diagnostic approfondi de la performance énergétique des bâtiments existants. Ce processus comprend l'identification et la définition de divers critères de durabilité, allant des objectifs de performance généraux aux indicateurs de performance plus détaillés

III.2.3.1 Identification des IPS

L'indice de performance énergétique (IPE) est un outil essentiel pour les ingénieurs du bâtiment en Algérie, en particulier lorsqu'il s'agit d'évaluer les anciens bâtiments. Son élaboration nécessite un diagnostic approfondi des différents paramètres qui peuvent fournir des informations sur la qualité énergétique d'un bâtiment résidentiel.

Le diagnostic de la performance énergétique (DSP) permet de créer un tableau de bord complet comprenant les objectifs, les critères et les indicateurs de performance liés à la qualité énergétique d'un bâtiment résidentiel (Moussaoui & Cherrared, 2023) comme le tableau suivant la montre :

Tableau III.1. Tableau de bord de diagnostic de la qualité énergétique d'un bâtiment d'habitation – Présentation des IPs

Objectif	Critère	IP	Symbole	Référence
Conception du bâtiment	Orientation	Orientation du bâtiment	OR	(RAHMOUNI, 2020)
		Ratio de la façade orienté	RFO	(Kim, 2005)
	Morphologie	Nombre des niveaux	N_{étage}	(Amirat et al., 2011)
		Compacité du bâtiment	C_p	(Rahmouni, 2020)
	Couleur des parois	Couleur des parois intérieures	C_{int}	(Mehira, 2021)
		Couleur des parois extérieures	C_{ext}	
	Ouverture	Coefficient de gain de soleil	S_w	(Helleux, 2019)
		Indice Windows	U_w	
		Forme de fenêtre	FF	(Rahmouni, 2020)
	Aspect architectural	Distance entre les bâtiments	D_w	(Yong, 2010)
		Ventilation naturelle	V_{nat}	(Camara, 2018)
		Humidification	H_{umi}	
		Protection solaire	P_s	
		Chauffage solaire passif	CH_{auff}	
	Implantation	Zone climatique	ZC	(Benoudjafer, 2018)
		Altitude	A_{lti}	

Tableau III.2. Tableau de bord de diagnostic de la qualité énergétique d'un bâtiment d'habitation – Présentation des IPs (Suite)

Objectif	Critère	IP	Symbole	Référence
Performance de l'enveloppe	Caractéristique physique des matériaux	Conductivité thermique	λ	/
		Diffusivité / Effusivité	D / E	(Camara, 2018)
	Isolation	Déperdition thermique par transmission	D_T	(Yong, 2010)
		Utilisation d'un isolant	UT_{iso}	
		Nature de l'isolant utilisée	N_{iso}	
Consommation des énergies	Consommations des EF	Electricité	ELE	(Yong, 2010)
		GAZ	GAZ	
	Consommation des ER	Intégration des ER	Inté_{ER}	(Kim, 2005)
	Ratio de consommation E _R /E _F	R_{R/F}		
Confort thermique	Ambiancesintérieur	Humidité intérieure du bâtiment	H	(Yong, 2010)
		Température intérieure du bâtiment	T	
		Eclairage intérieur	Φ	
Utilisation et fonction	Efficacité énergétique des équipements	Classe énergétique des équipements	CEE	/
		Systèmes de chauffage et refroidissement à base d'RR	Sys	(CoExpert, 2018)
	Usage des énergies	Utilisation des nouvelles technologies	UT_{ntech}	
		Utilisation d'un manuel d'aide à l'usage	UT_{mdl}	
Impact environnemental	Pollution	CO ₂ émissions à partir de la consommation des énergies	EM_{CO2}	(Yong, 2010)
		Utilisation des matériaux respectivement l'environnement	UT_{mrl}	

III.2.3.2 Méthodes de calcul des IPs

Après avoir défini les IPs, la prochaine étape consiste à les calculer. Chaque IP doit être associée à une méthode de calcul appropriée. Ces méthodes de calcul peuvent prendre différentes formes, telles que des normes, des relations analytiques et/ou empiriques, des modèles basés sur des logiciels de calcul, etc. Les différentes méthodes de calcul des IPs de notre méthodologie sont récapitulées dans le Tableau III.3.

Tableau III.3. Tableau des méthodes de calcul des IPs

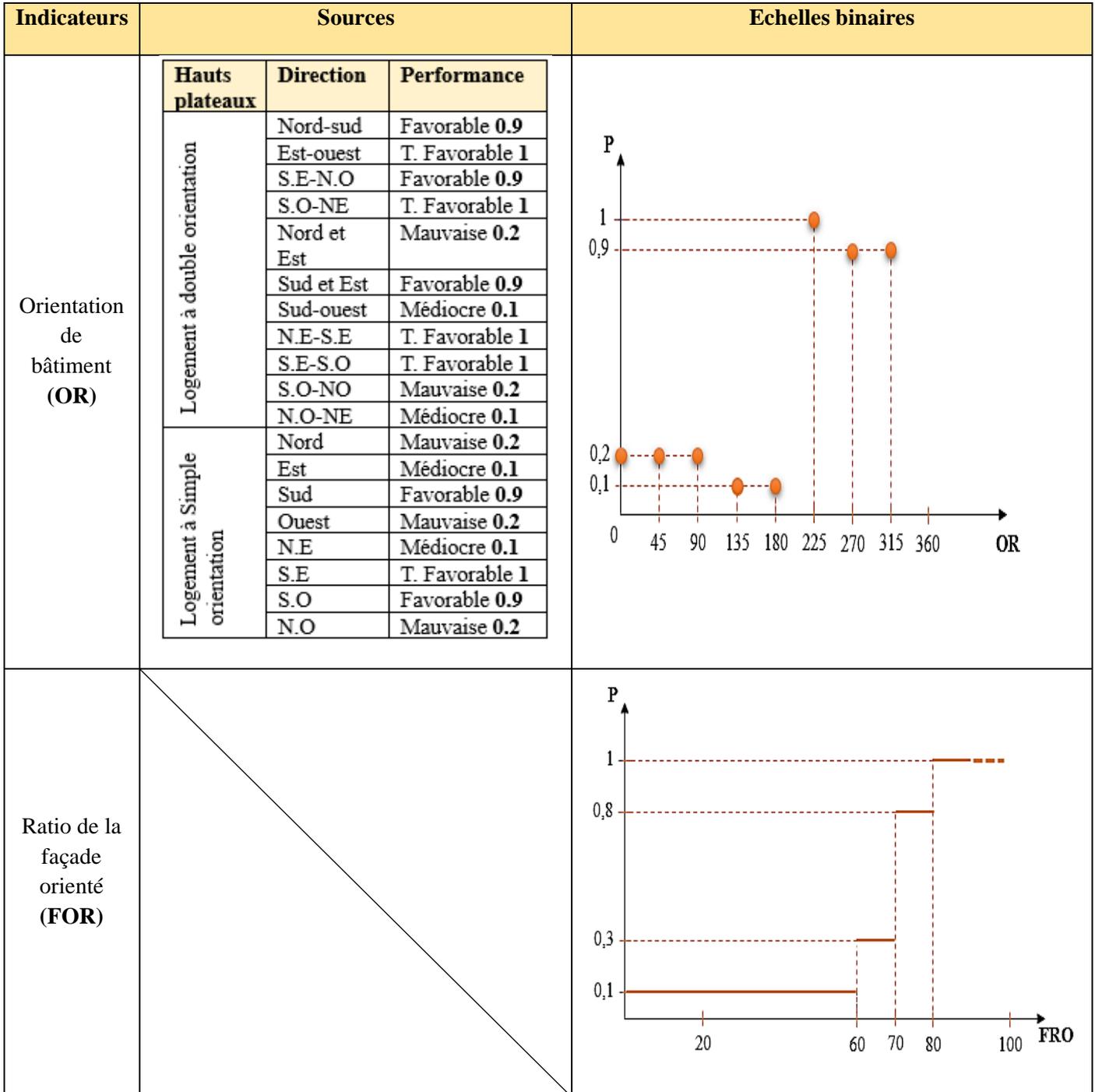
Critère	IP	Méthode de calcul	Unité	Référence
Orientation	OR	Norme	/	(MHU,2001)
	RFO	(Surface orienté /surface totale) ×100	%	(Kim, 2005)
Morphologie	N _{étage}	Nombre d'étage	/	/
	C _P	$C_p = \frac{V}{S}$; (V: volume du bâtiment et S : surface au sol)	m ⁻¹	(RAHMOUNI, 2020)
Couleur des parois	C _{int}	Essais au laboratoire	/	(Mehira, 2021)
	C _{ext}			
Ouverture	S _w	Essais au laboratoire(entre 0 et 1)	/	(Helleux, 2019)
	U _w	Essais au laboratoire	W/m ² K	
	FF	Norme	/	(RAHMOUNI, 2020)
Aspect architectural	D _w	D _w =W/H ; W : distance entre bâtiments, H : hauteur du bâtiment	/	(Mehaoued, 2019)
	V _{nat}	Techniques de conceptions architecturales	/	(Camara, 2018)
	H _{umi}			
	P _s			
CH _{auff}				
Implantation	ZC	Réglementation algérienne	/	
	A _{lti}	Mesure d'altitude (Google earth)	m	(Benoudjafer, 2018)
Caractéristique physique des matériaux	λ	$\lambda_{moy} = \frac{\lambda_i}{n}$ λ _i : conductivité des matériaux utilisés et n : nombre de matériaux	W/m.C°	/
	D / E	$D = \frac{\lambda}{\rho \times C}$ ρ : poids volumique du matériaux et C : température	m ² /S	(Camara, 2018)
		$E = \sqrt{(\lambda \times \rho \times C)}$	J/Kg. K	
Isolation	D _T	La méthode de calcul est détaillée dans la norme algérienne de calcul des déperditions calorifiques	Watts/C°	(DTR C 3-2)
	UT _{iso}	/	/	/
	N _{iso}	Les caractéristiques sur la nature des isolants sont données dans les fiches techniques	/	(D.T.R.C 3-2)

Tableau III.4. Tableau des méthodes de calcul des IPs (Suite)

Critère	IP	Méthode de calcul	Unité	Référence
Consommations d'énergie fossile	ELEC	$\frac{\text{semestre1} + S2 + S3 + S4}{\text{surface habitable}}$	KWh/m ² /an	/
	GAZ	$\frac{\text{semestre1} + S2 + S3 + S4}{\text{surface habitable}}$	KWh/m ² /an	
Consommation des ER	Inté _{ER}	Existence d'un isolant	/	(Yong, 2010)
	R _{R/F}	$(E_R/E_F) \times 100$	%	(Kim, 2005)
Ambiances intérieur	H	Appareille (hygromètre)	%	/
	T	Appareille (thermomètre)	C° ou K	
	Φ	$S_{\text{pièce}} \times N_{\text{luxe}} \times \frac{1}{R_{\text{temp}}} \times \frac{1}{f_{\text{acréflexion}}}$ S _{pièce} : superficie de la pièce N _{luxe} : nombre de luxe R _{temp} : Rendement lumineux Fac de réf : Facteurs de réflexion	Lumens	(Silamp, 2021)
Efficacité énergétique des équipements	CEE	$CEE = \sum_{i=1}^n \frac{CEE_i}{n}$ CEE : classe énergétique des équipements et n : nombre d'équipements	KWh/an	/
	S _{YS}	Existe ou non	/	/
Usage des énergies	UT _{ntech}	Existe ou non	/	/
	UT _{mdl}	Disponibilité di manuel ou non	/	/
Pollution	E _{CO2}	$ECO_2 = (CE \times f_E) + (CG \times f_G)$ CE et CG : consommations d'électricité et de gaz et f _E et f _G sont les facteurs d'émissions de l'électricité et du gaz	Kg e-Co ₂ /m ² /an	(Yong, 2010)
	UT _{mrl}	Oui ou non	/	

III.2.3.3 Échelles de performance binaires des IPs par critères

1) Orientation



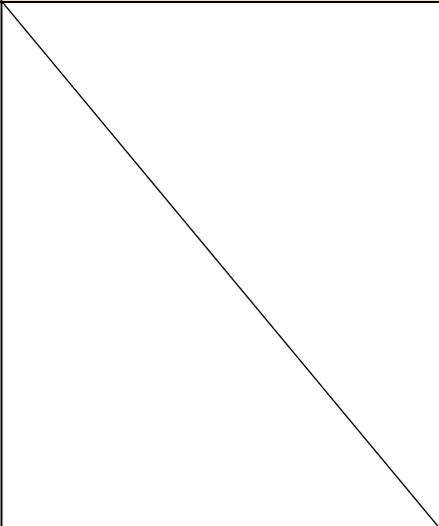
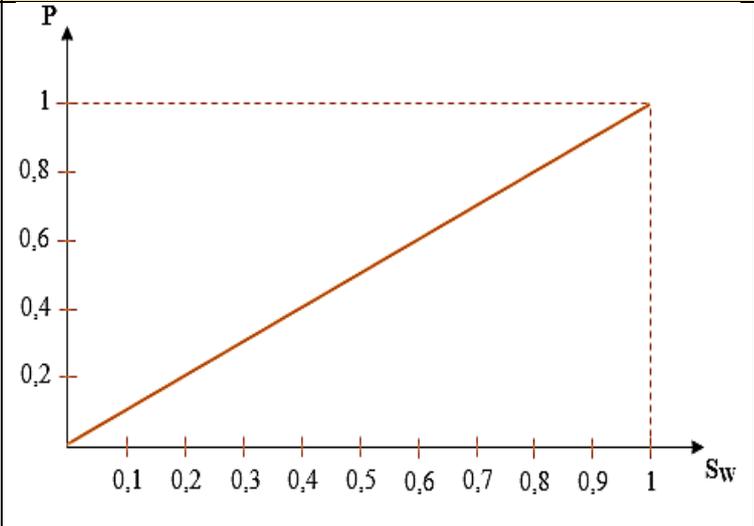
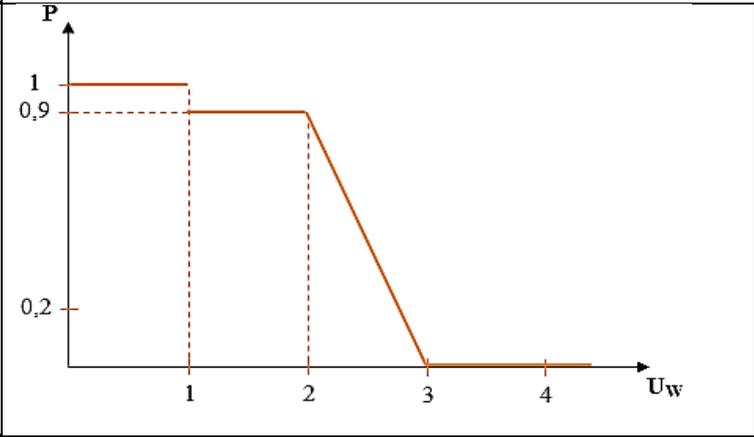
2) Morphologie

Indicateurs	Sources	Echelles binaires
Nombre des niveaux (N _{étage})		
Compacité (C _p)		

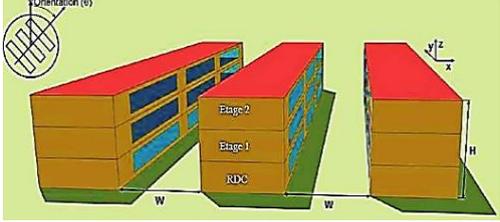
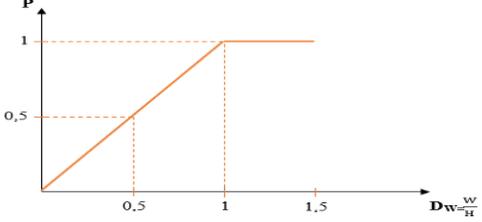
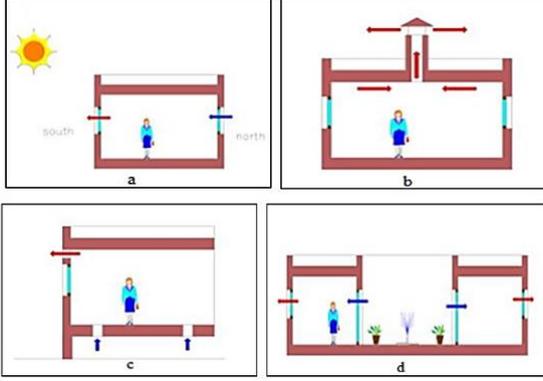
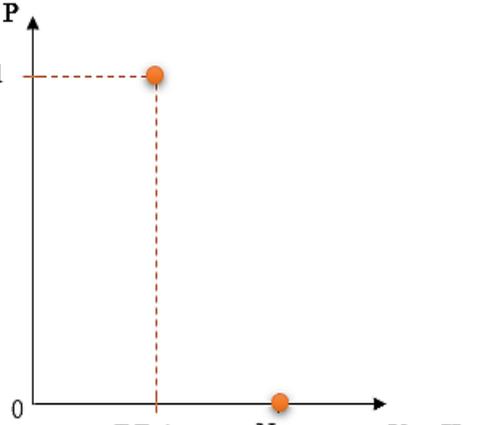
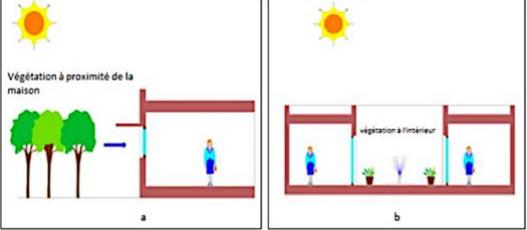
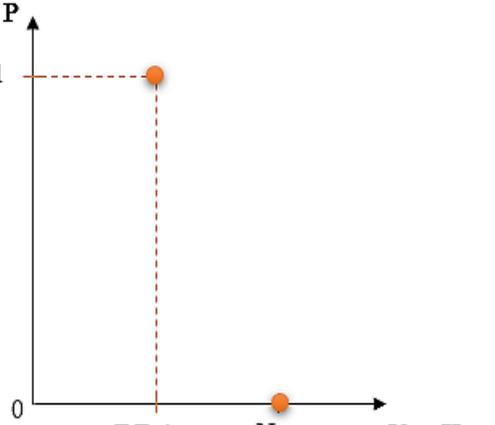
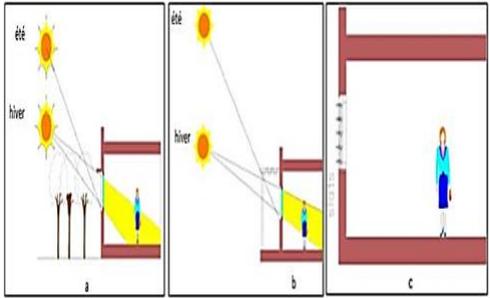
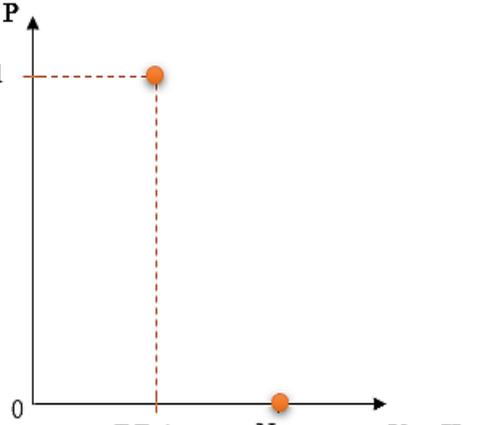
3) Couleur des parois

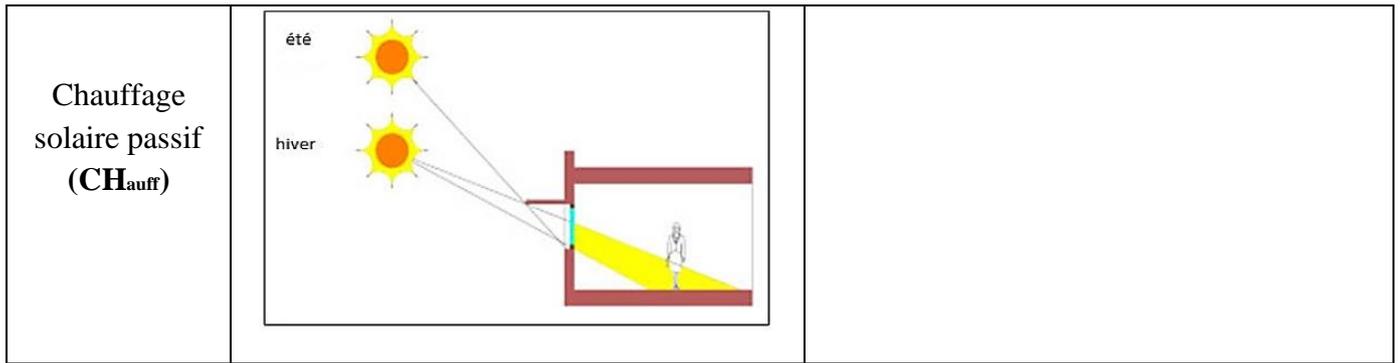
Indicateurs	Sources	Echelles binaires
Couleur des parois intérieures (C _{int})		
Couleur des parois extérieures (C _{ext})		

4) Ouvertures

Indicateurs	Sources	Echelles binaires						
Coefficient de gain de solaire (S_w)								
Indice Window (U_w)								
Forme des fenêtres(FF)		<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 10%;">Forme 1</td> <td>  Fixe Battant Auvent </td> </tr> <tr> <td>Forme 2</td> <td>  Guillotine Simple Guillotine Double </td> </tr> <tr> <td>Forme 3</td> <td>  Coulissante Simple Coulissante Double </td> </tr> </table>	Forme 1	 Fixe Battant Auvent	Forme 2	 Guillotine Simple Guillotine Double	Forme 3	 Coulissante Simple Coulissante Double
Forme 1	 Fixe Battant Auvent							
Forme 2	 Guillotine Simple Guillotine Double							
Forme 3	 Coulissante Simple Coulissante Double							

5) Aspect architectural

Indicateurs	Sources	Echelles binaires
Distance entre les bâtiments (D_w)		
Ventilation naturelle (V_{nat})		
Humidification (H_{umi})		
Protection solaire (P_s)		



6) Implantation

Indicateurs	Sources	Echelles binaires
Zone climatique(ZC)	/	
Altitude (A_{ti})	/	

7) Caractéristique physique des matériaux de l'enveloppe

Indicateurs	Sources	Echelles binaires
Conductivité thermique (λ)	/	

<p>L'effusivité thermique(E)</p>		
<p>Diffusivité thermique (D)</p>		

8) Pollution

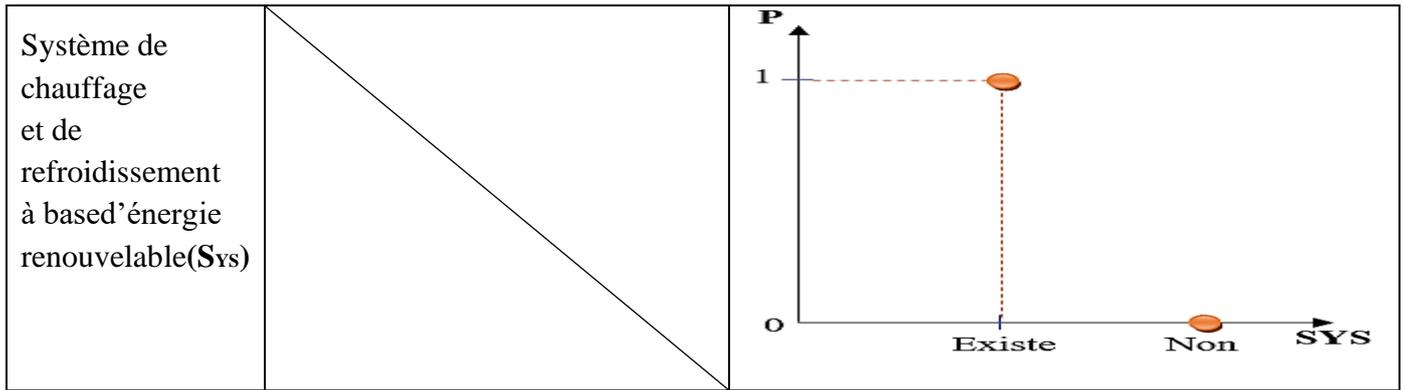
Indicateurs	Sources	Echelles binaires
<p>Utilisation de matériaux respectueux de l'environnement (UT_{mrl})</p>		
<p>Emission des gaz à effet de serre (CO₂)</p>	<p>Faible émission de GES</p> <ul style="list-style-type: none"> ≤ 5 A 6 à 10 B 11 à 20 C 21 à 35 D 36 à 55 E 56 à 80 F > 80 G <p>Forte émission de GES</p>	

9) Usage des énergies

Indicateurs	Sources	Echelles binaires
Utilisation des nouvelles technologies (UT_{ntech})		
Utilisation d'un manuel d'aide à l'usage (UT_{mdl})		

10) Caractéristique Efficacité énergétique des équipements

Indicateurs	Sources	Echelles binaires
Classe énergétique des équipements (CEE)		

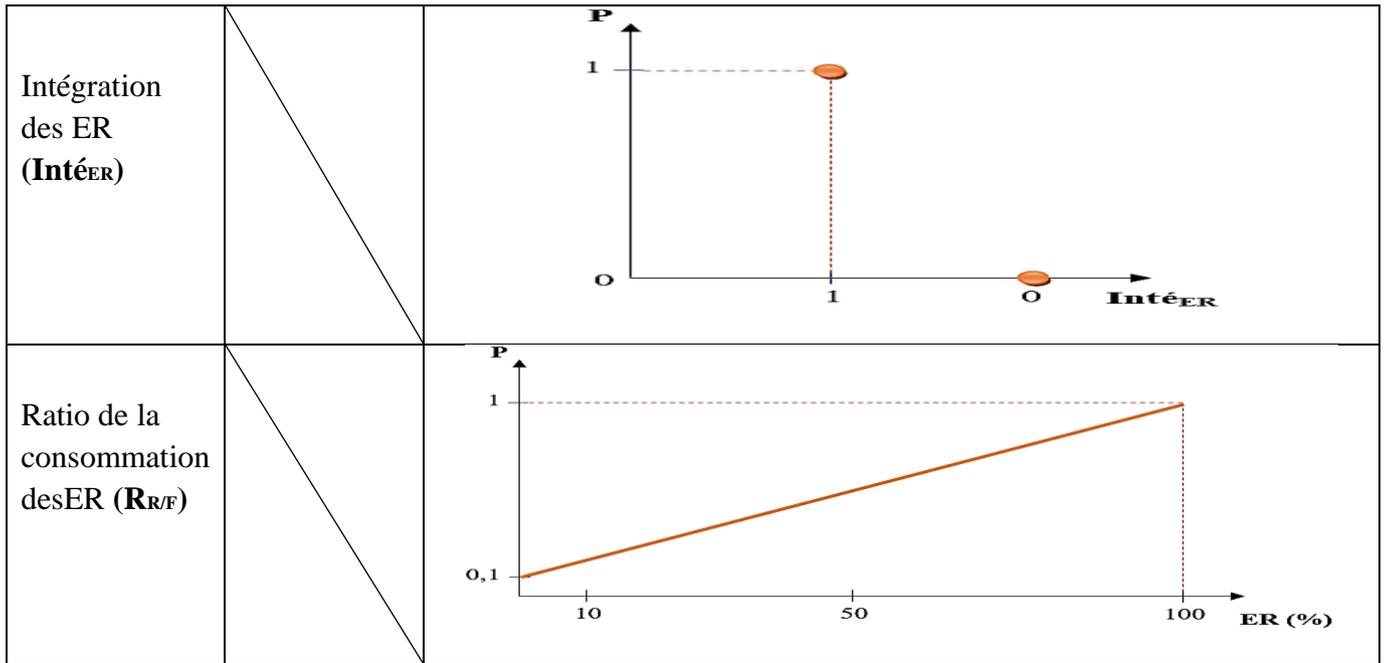


11) Ambiances intérieures

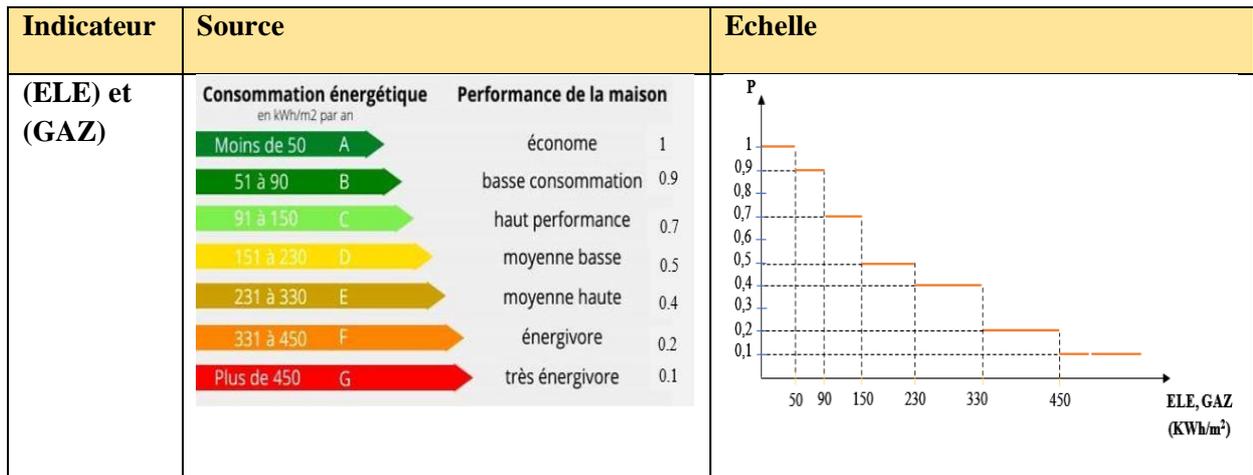
Indicateurs	Sources	Echelles binaires
Humidité intérieure (H)		
Température intérieure du bâtiment (T)		
Eclairage intérieur (ECint)		

12) Consommation d'énergie renouvelable »

Indicateurs	Sources	Echelles binaires
-------------	---------	-------------------

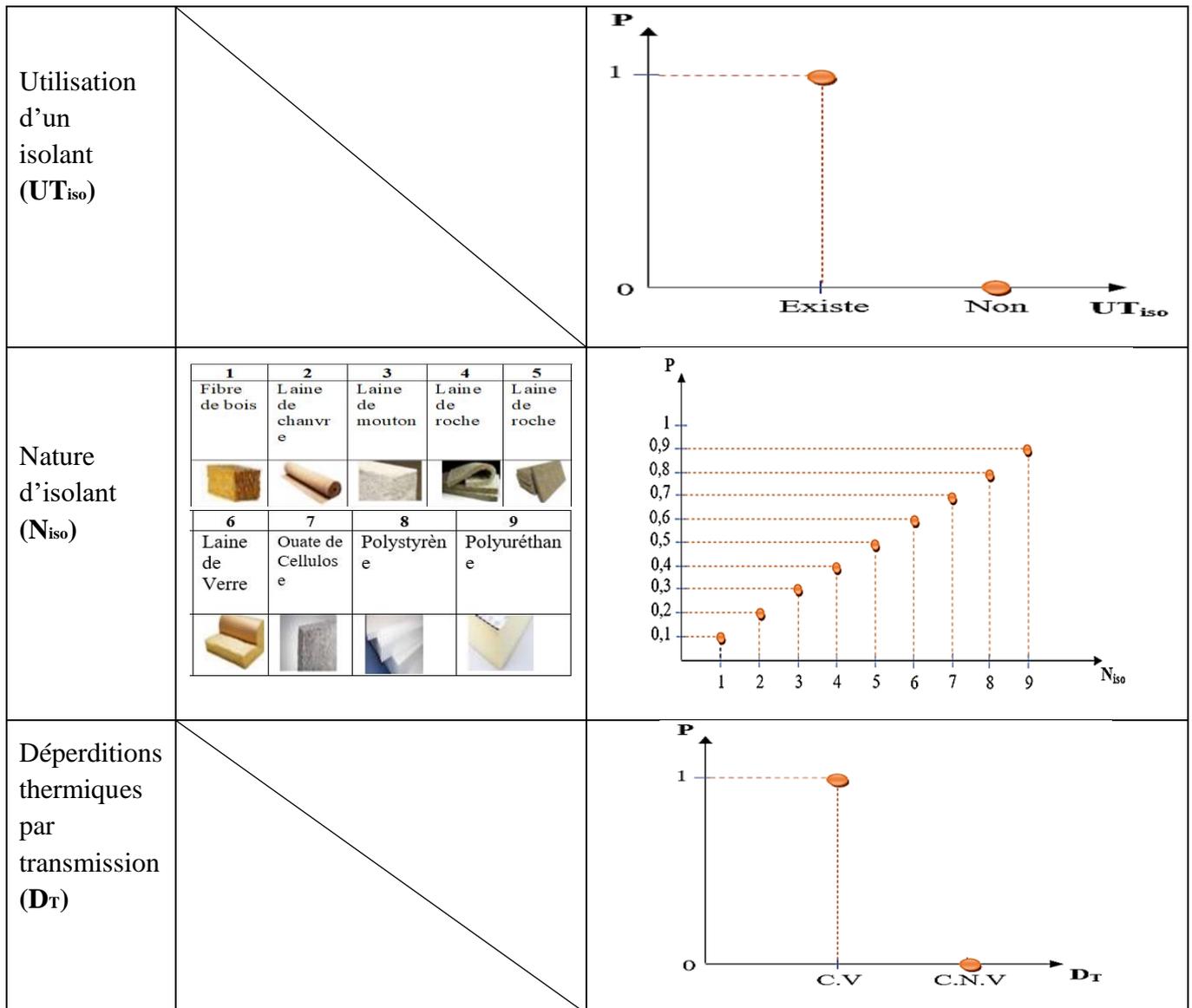


13) Consommation des énergies fossiles



14) Caractéristique Isolation

Indicateurs	Sources	Echelles binaires
-------------	---------	-------------------



III.3 Approche « Bottom-up » Agrégation multicritère

III.3.1 Description du processus d'agrégation adopté

L'approche ascendante consiste à développer des méthodes d'agrégation permettant de calculer un score global pour la performance globale du bâtiment en utilisant les valeurs des indicateurs de performance (IP). Dans notre étude, nous adoptons une approche d'agrégation multicritère basée sur la méthode de la somme pondérée (MSP). Les poids des indicateurs de performance sélectionnés sont déterminés en utilisant la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process)

III.3.1.1 Méthode de la somme pondérée (MSP)

La méthode MSP est largement préférée et couramment utilisée parmi les différentes techniques disponibles. ((Mena, 23 février 2000);(Poherkar & Ramachandran, 2004)(Janssen,

2001) affirme que : "La méthode de la somme pondérée est couramment utilisée dans les études de décision en raison de sa simplicité et de sa clarté. Cette approche est relativement simple : la note globale est obtenue en calculant la moyenne pondérée des scores standardisés.

La (MSP) implique l'attribution d'une note de performance à chaque indicateur IP_{ji} , qui est ensuite pondérée par un coefficient w_i . En additionnant les scores pondérés pour tous les indicateurs, nous obtenons un résultat agrégé exprimé sous forme de note globale (Janssen, 2001) (comme indiqué dans la formule suivante) :

$$PC_j = \sum_{i=1}^n PI_{ji} \times W_i$$

- PC_j : valeur de performance pour le critère C_j ;
- PI_{ji} : valeur de performance pour l'indicateur I_i du critère C_j ;
- w_i : valeur du coefficient de pondération pour l'indicateur I_i du critère C_j .

Pour déterminer les coefficients de pondération (w_i), nous appliquerons la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process).

La méthode AHP est largement utilisée pour la prise de décision entre 2000 et 2014. Par conséquent, notre approche consiste à calculer les poids des critères à l'aide de la méthode AHP, puis à agréger ces critères en utilisant une somme pondérée.

III.3.1.2 Méthode AHP

Il y a environ 40 ans, un modèle appelé AHP a été proposé, et il s'est avéré être une méthode simple et facile à mettre en œuvre. Cela explique peut-être le nombre important de publications scientifiques qu'elle a suscité. La méthode AHP est largement utilisée pour résoudre des problèmes d'analyse multicritère, car elle guide le décideur dans la formulation de son problème et propose une méthode d'évaluation des paramètres d'importance. (SAATY, 1990) Les raisons de sa popularité et ses points forts sont les suivants :

Unités de mesures : qualitatives et quantitatives

- Structure hiérarchique : trie des éléments d'un système dans différents niveaux
- Interdépendance : permet de considérer l'interdépendance des éléments d'un système
- Consistance : permet de garder une consistance logique des jugements utilisés pour déterminer les priorités
- Synthèse : permet d'obtenir une appréciation générale de la désirabilité de chaque alternative
- Identification des priorités : permet de considérer la priorité relative de chaque critère pour ainsi obtenir la meilleure alternative selon les objectifs identifiés
- Unicité : sa flexibilité permet son utilisation dans un éventail varié de problèmes non structurés.

Nous présentons cette méthode en quatre étapes :

- Hiérarchisation des critères par importance du plus important au moins important
- Construction d'une matrice à partir de la comparaison deux à deux des critères
- Détermination des poids associés à chaque critère grâce à une méthode approchée de calcul des vecteurs propres
- Enfin vérification de la consistance du résultat.

III.3.1.3 Présentation générale de la méthode

En 1977, Saaty a développé la méthode de l'AHP dans le but de résoudre les problèmes de communication entre les avocats et les scientifiques, qui étaient dus à l'absence d'approches pratiques et systématiques pour l'organisation et la prise de décision prioritaires. L'analyse hiérarchique (AHP) n'est pas une formule magique ou un modèle qui donne la réponse parfaite. C'est plutôt un processus qui aide le décideur à rechercher la meilleure réponse possible. La chose la plus complexe à propos de l'AHP est son nom, Analytic Hierarchic Process, qui peut prêter à confusion

- **Analytic (analyse)** : L'analyse est l'opposé de la synthèse, qui implique de remonter ou combiner des pièces pour en faire une entité.
- **Hierarchic (hiérarchique)** : une entité est presque toujours hiérarchique en structure. Cela veut dire qu'elle est divisée en unités qui sont subdivisées en plus petites unités.
- **Process (procédure)** : une procédure est une série d'action, de transformation, ou de fonctions qui génère une fin ou un résultat.

III.3.1.4 Etapes de la procédure AHP

Cette méthode se décompose en quatre étapes (Chergui, 2017):

- 1) Hiérarchisation des indicateurs par importance du plus important au moins important.
- 2) Construction d'une matrice à partir de la comparaison de deux à deux des indicateurs.
- 3) Détermination des poids associés à chaque indicateur grâce à une méthode approchée de calcul des vecteurs propres
- 4) Vérification de la consistance du résultat.

Hiérarchisation des indicateurs par importance

Une fois que le problème est structuré sous forme de modèle hiérarchique, cette étape consiste à établir les priorités entre les indicateurs appartenant au même critère, en fonction de leur importance. Soit $I_1, I_2, \dots, I_i, \dots, I_n$ l'ensemble des indicateurs pour lesquels nous recherchons les coefficients de pondération. Selon le principe de la hiérarchisation, I_1 est considéré comme plus important que I_2 , et ainsi de suite jusqu'à ce que I_n soit l'indicateur le moins important. Cependant, il convient de noter que l'importance n'est pas nécessairement une relation stricte, car I_{i-1} peut être aussi important que I_i .

Comparaison des indicateurs par importance

Pour établir les préférences, il est nécessaire de sélectionner une échelle de valeurs qui permet de spécifier le degré d'importance d'un indicateur par rapport à un autre. Dans notre étude, nous adoptons une échelle de valeurs allant de 1 à 9, comme indiqué dans le tableau ci-dessous. (Harker, 1989)

En utilisant cette échelle de valeurs, nous permettons au décideur d'exprimer ses jugements de manière plus proche de sa réalité. Ainsi, pour chaque indicateur I_i , nous déterminons le poids w_i en comparant deux indicateurs à la fois, selon le tableau suivant :

Tableau III.5.Degré d'importance des indicateurs(SAATY, 1990)

Intensité de l'importance	Définition	Explication
1	Importance égale	Les deux indicateurs contribuent identiquement à l'objectif
3	Faible importance de l'un sur l'autre	L'expérience et le jugement favorisent légèrement un indicateur sur l'autre
5	Importance essentielle ou forte	L'expérience et le jugement favorisent fortement un indicateur sur l'autre
7	Importance démontrée	Un indicateur est fortement favorisé et sa prépondérance est démontrée
9	Importance absolue	Il est évident qu'un indicateur doit être favorisé au maximum
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires entre deux jugements adjacents quand un compromis est nécessaire	
Valeurs inverses	Utilisées pour montrer la dominance du second élément par rapport au premier.	

A titre d'exemple, si l'indicateur I_i possède une importance essentielle par rapport à l'indicateur I_j , le rapport w_i/w_j sera égal à 5. La comparaison entre tous les indicateurs donne la matrice suivante :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1i} & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & \dots & a_{ii} & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ a_{j1} & \dots & a_{ij} & a_{jj} & \dots & a_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{ni} & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \text{ Avec } a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \text{ et } a_{ii} = 1$$

a_{ij} est l'intensité de l'importance de I_i sur I_j et w_i le coefficient de pondération associé à I_i .

Détermination des poids associés à chaque indicateur

Dans cette étape, nous procédons au calcul du vecteur des coefficients de pondération $W=\{w_1...w_2...w_n\}$ où la somme des w_i doit être égale à 1. Pour ce faire, nous divisons chaque a_{ij} par la somme des valeurs de la colonne correspondante, puis nous effectuons une moyenne par ligne. Cette opération mathématique peut être représentée de la manière suivante :

$$W = \begin{bmatrix} \frac{\frac{a_{11}}{\sum_{k=1}^n a_{k1}} + \dots + \frac{a_{1i}}{\sum_{k=1}^n a_{ki}} + \dots + \frac{a_{1n}}{\sum_{k=1}^n a_{kn}}}{n} \\ \dots \\ \frac{\frac{a_{i1}}{\sum_{k=1}^n a_{k1}} + \dots + \frac{a_{ii}}{\sum_{k=1}^n a_{ki}} + \dots + \frac{a_{in}}{\sum_{k=1}^n a_{kn}}}{n} \\ \dots \\ \frac{\frac{a_{n1}}{\sum_{k=1}^n a_{k1}} + \dots + \frac{a_{ni}}{\sum_{k=1}^n a_{ki}} + \dots + \frac{a_{nn}}{\sum_{k=1}^n a_{kn}}}{n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sum_{l=1}^n \left[\frac{a_{1l}}{\sum_{k=1}^n a_{kl}} \right]}{n} \\ \dots \\ \frac{\sum_{l=1}^n \left[\frac{a_{il}}{\sum_{k=1}^n a_{kl}} \right]}{n} \\ \dots \\ \frac{\sum_{l=1}^n \left[\frac{a_{nl}}{\sum_{k=1}^n a_{kl}} \right]}{n} \end{bmatrix}$$

Donc chaque coefficient w_i est obtenu par la formule suivante :

$$w_i = \frac{\sum_{l=1}^n \left[\frac{a_{il}}{\sum_{k=1}^n a_{kl}} \right]}{n}$$

Vérification de la consistance de résultat

La méthode présente un avantage significatif en calculant un indice appelé "ratio de consistance" ou "indice de cohérence", qui permet d'évaluer la fiabilité des calculs effectués. En d'autres termes, cet indice permet de vérifier si les valeurs attribuées par le décideur sur l'échelle (1-9) sont cohérentes ou non. Il fournit une mesure de la probabilité selon laquelle la matrice a été remplie de manière aléatoire. Par exemple, un ratio CR égal à 0,20 signifie qu'il y a une probabilité de 20 % que les réponses du décideur aient été données de manière purement aléatoire. Par conséquent, il est recommandé au décideur de revoir certains jugements. Ainsi, l'AHP ne requiert pas une cohérence parfaite de la part du décideur, mais plutôt fournit une mesure d'incohérence et permet de réduire cette incohérence.

Dans le cadre de cette méthode, nous définissons les vecteurs suivants :

$[\lambda'_1 \dots \lambda'_i \dots \lambda'_n]$ et $[\lambda_1 \dots \lambda_i \dots \lambda_n]$ tel que :

$$\begin{bmatrix} \lambda'_1 \\ \dots \\ \lambda'_i \\ \dots \\ \lambda'_n \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^n w_k \times \begin{bmatrix} a_{1k} \\ \dots \\ a_{ik} \\ \dots \\ a_{nk} \end{bmatrix} = w_1 \times \begin{bmatrix} a_{11} \\ \dots \\ a_{1i} \\ \dots \\ a_{1n} \end{bmatrix} + \dots + w_i \times \begin{bmatrix} a_{i1} \\ \dots \\ a_{ii} \\ \dots \\ a_{ni} \end{bmatrix} + \dots + w_n \times \begin{bmatrix} a_{n1} \\ \dots \\ a_{in} \\ \dots \\ a_{nn} \end{bmatrix}$$

Et : $\lambda_i = \frac{\lambda'_i}{w_i}$ Puis : $\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{n}$

L'index de consistance CI (SAATY, 1990) est alors : $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$

Pour obtenir le ratio de consistance CR, on divise l'indice de consistance par une valeur de référence RI qui dépend du nombre d'indicateurs n, tel que présenté dans le tableau suivant :

Tableau III.6. Valeurs de RI (SAATY, 1990)

Taille de la matrice(n)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

L'attribution des poids est considérée comme acceptable lorsque le ratio de consistance CR est inférieur à 0,1. Si CR dépasse cette valeur, il est nécessaire de reprendre la procédure.

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes étapes de la méthodologie pour évaluer la performance énergétique des bâtiments résidentiels en utilisant une approche structurée composée de deux approches complémentaires :

- L'approche "Top-down" : Dans cette approche, nous avons défini les différents paramètres nécessaires à l'évaluation, tels que les objectifs, les critères et les indicateurs de performance. Pour chaque indicateur de performance, nous avons établi une méthode de calcul spécifique ainsi qu'une échelle de performance.
- L'approche "Bottom-up" : Dans cette approche, nous avons mis en place un processus d'agrégation en utilisant la méthode de la somme pondérée, combinée à la méthode AHP, pour calculer la performance aux niveaux supérieurs de notre méthodologie.

Ces deux approches se complètent mutuellement pour fournir une évaluation complète de la performance énergétique des bâtiments résidentiels.

Chapitre 04

Application de la méthodologie développée sur des cas réels dans la région de Bouira

IV.1 Introduction

Depuis 1975, le gouvernement algérien a entrepris un vaste programme de construction de logements sociaux dans toutes les villes, comprenant plus de 8 millions d'unités sous forme d'ensembles collectifs. Le concept de performance est devenu de plus en plus populaire et peut être appliqué à différents secteurs, y compris celui du logement résidentiel. Ces dernières années, de nombreuses études ont été réalisées sur les méthodologies permettant d'évaluer la performance des bâtiments résidentiels. La plupart de ces études se sont concentrées sur le développement d'indicateurs de performance (IP) qui permettent de mesurer la performance globale d'un bâtiment résidentiel.

La méthodologie adoptée repose principalement sur deux approches : une approche descendante et une approche ascendante. L'approche descendante est utilisée pour déterminer la qualité énergétique du bâtiment résidentiel, en élaborant des critères prioritaires et des indicateurs de performance pertinents spécifiquement sélectionnés et définis dans le contexte algérien. L'approche ascendante, quant à elle, repose sur une agrégation multicritère en utilisant la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) pour évaluer la performance énergétique des bâtiments résidentiels

IV.2 Présentation des cas d'études

Nous avons sélectionné deux bâtiments résidentiels qui sont tous les deux des immeubles collectifs destinés à l'habitation.

IV.2.1 Cas d'étude n°1

Le premier cas d'étude est localisé à la commune Bouira (120 logements, les Allemands). Les informations relatives à ce premier cas d'étude sont résumées dans le Tableau IV.1 ainsi que dans les Figures qui suivent.

Tableau IV.1.Présentation du cas d'étude n°01

Bâtiment n°1	Informations
Nombre de niveaux	R + 5
Hauteur sans acrotère	19,72 m
Hauteur avec acrotère	20,47 m
La surface habitable	341,12 m ²
Implantation	Logement 120, les Allemands, commune de Bouira.
Altitude	553 m
Année de constructions	2016

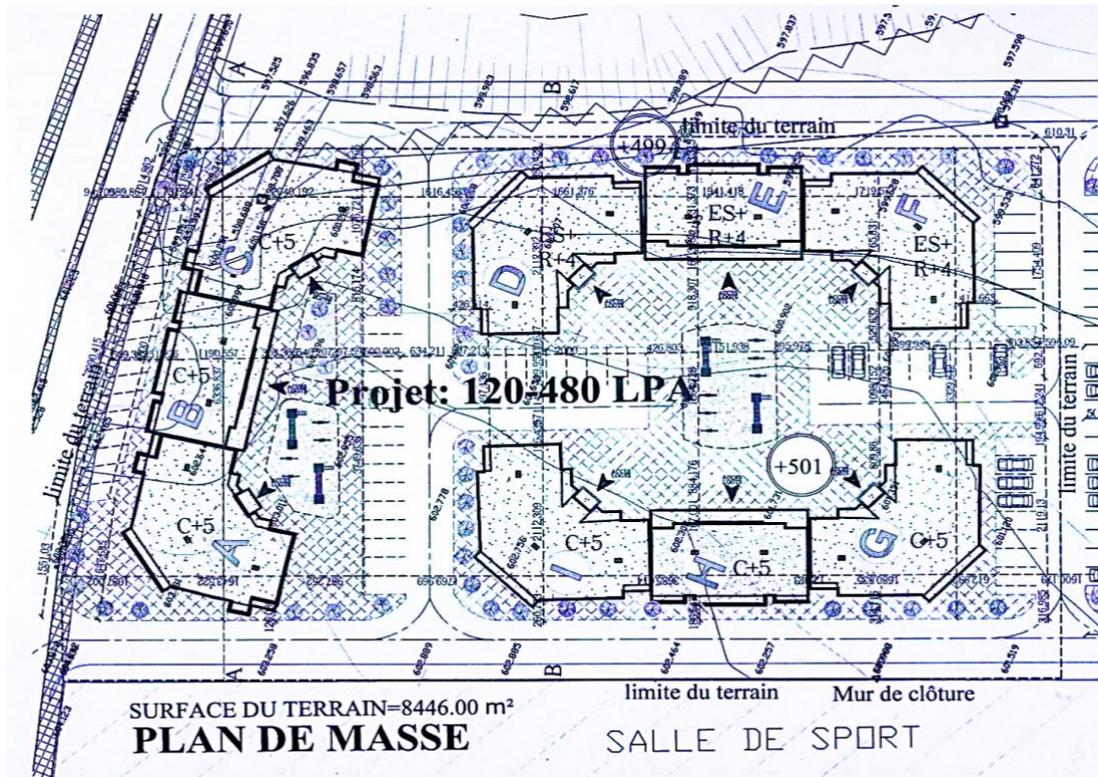


Figure IV.1. Plan de masse du bâtiment n°1

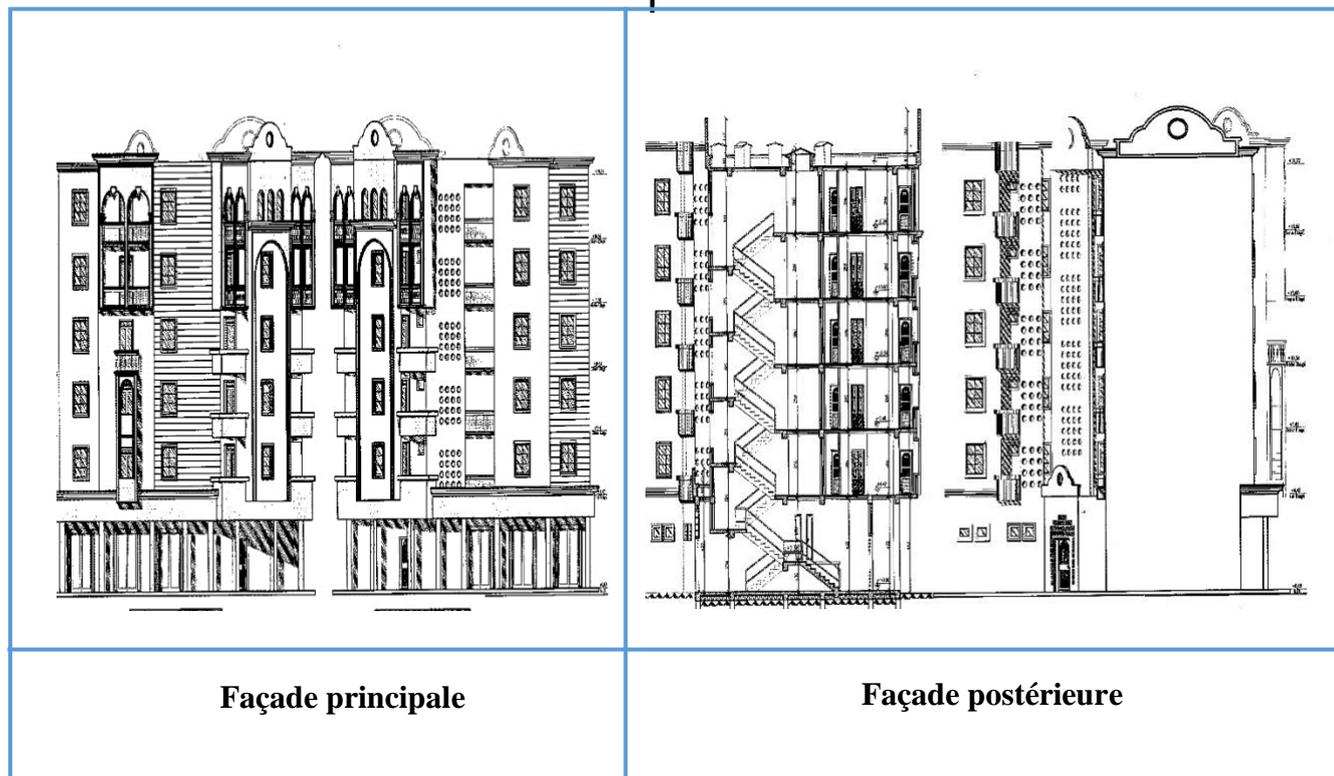


Figure IV.2.Façades du bâtiment n°1

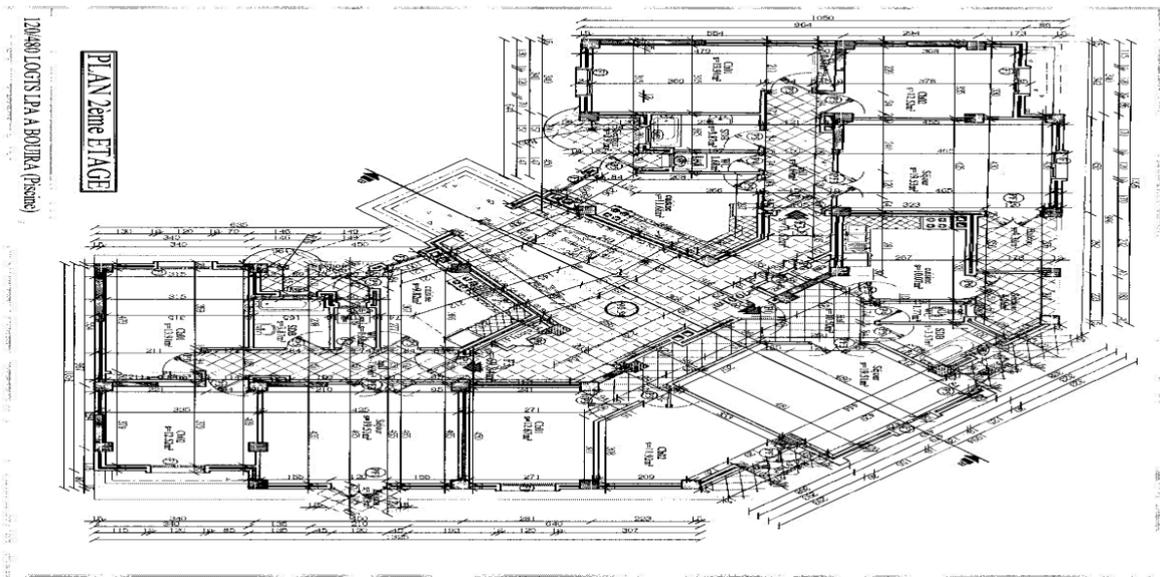
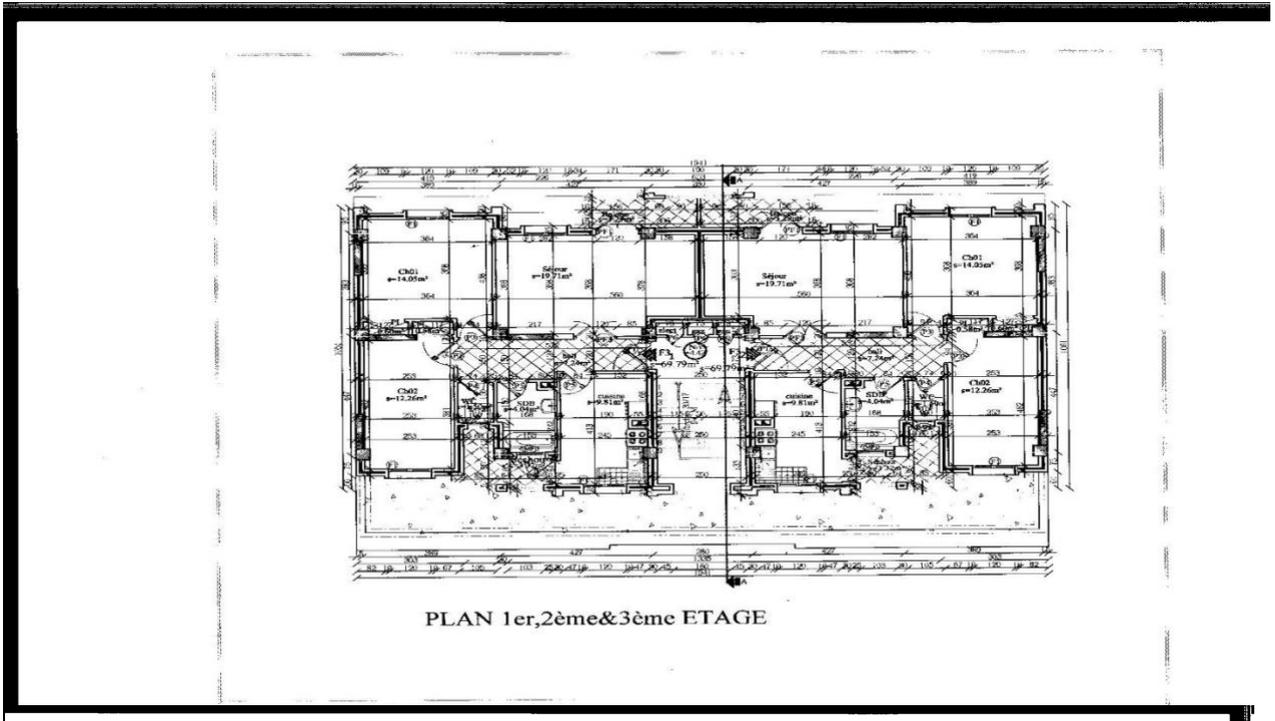


Figure IV.3.Plans d'étages du bâtiment n°1



Figure IV.4. Localisation du bâtiment n°1

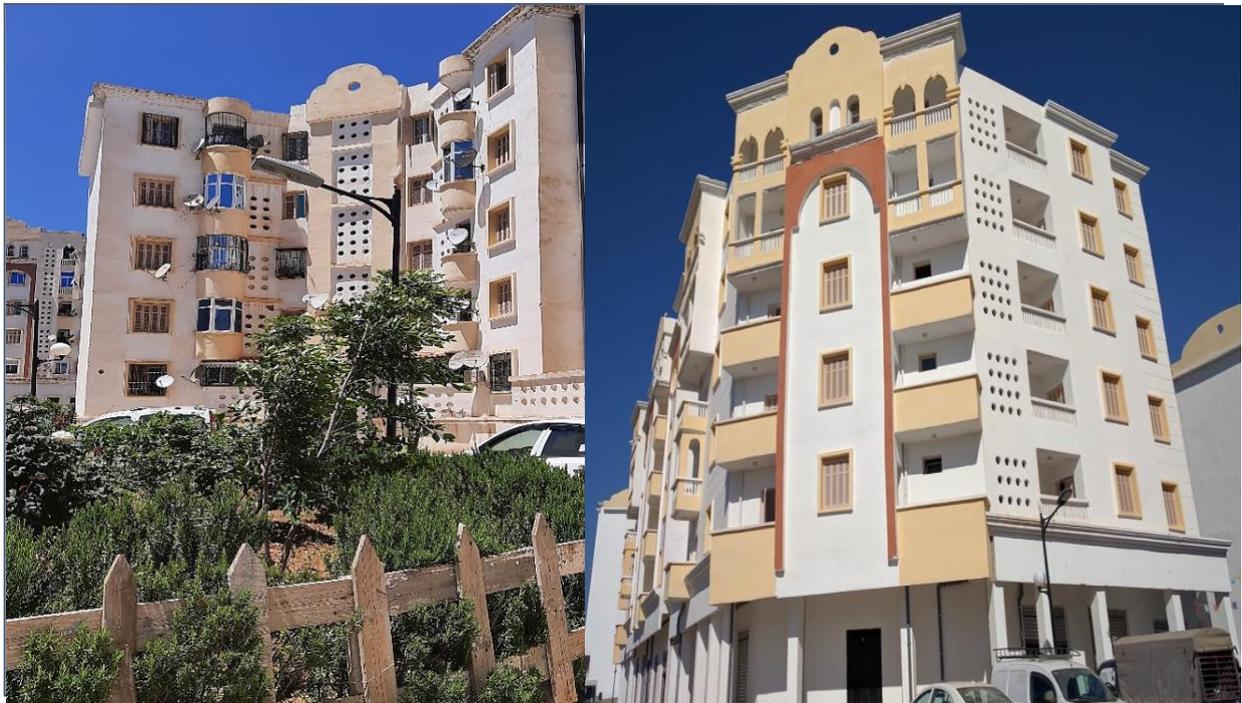


Figure IV.5. Photos prise sur le site du bâtiment n°1

IV.2.2 Cas d'étude n°2

Le deuxième cas d'étude est localisé à la commune Bouira (ADL 2000 Logements ENASSIM). Les informations relatives à ce premier cas d'étude sont résumées dans le Tableau IV.2 ainsi que dans les figures qui suivent.

Tableau IV.2. Présentation du cas d'étude n°02

Bâtiment n°1	Informations
Nombre de niveaux	R + 9
Hauteur sans acrotère	30,4 m
Hauteur avec acrotère	31,6 m
La surface habitable	536,93 m ²
Implantation	ADL Logement 2000, Enassim, commune de Bouira.
Altitude	546 m
Année de constructions	2021



Figure IV.6. Plan de masse du bâtiment n°2

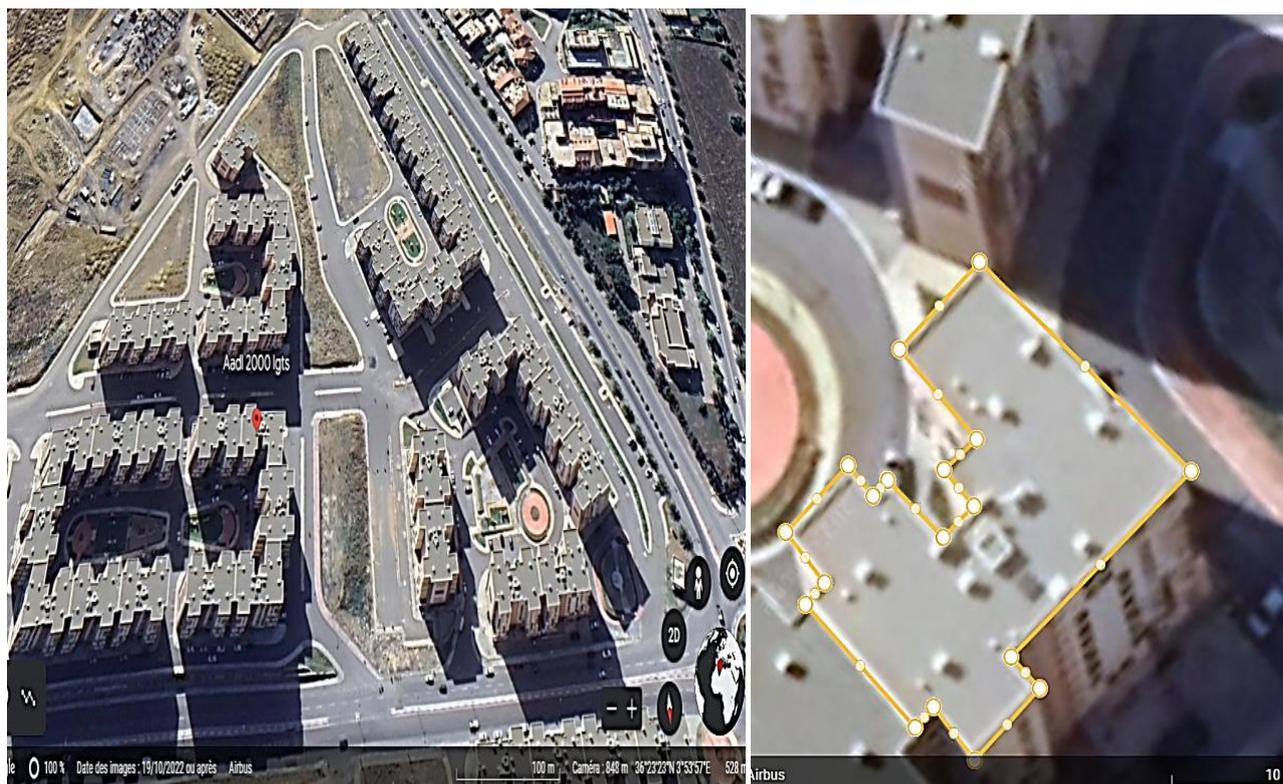


Figure IV.9. Localisation du bâtiment n°2

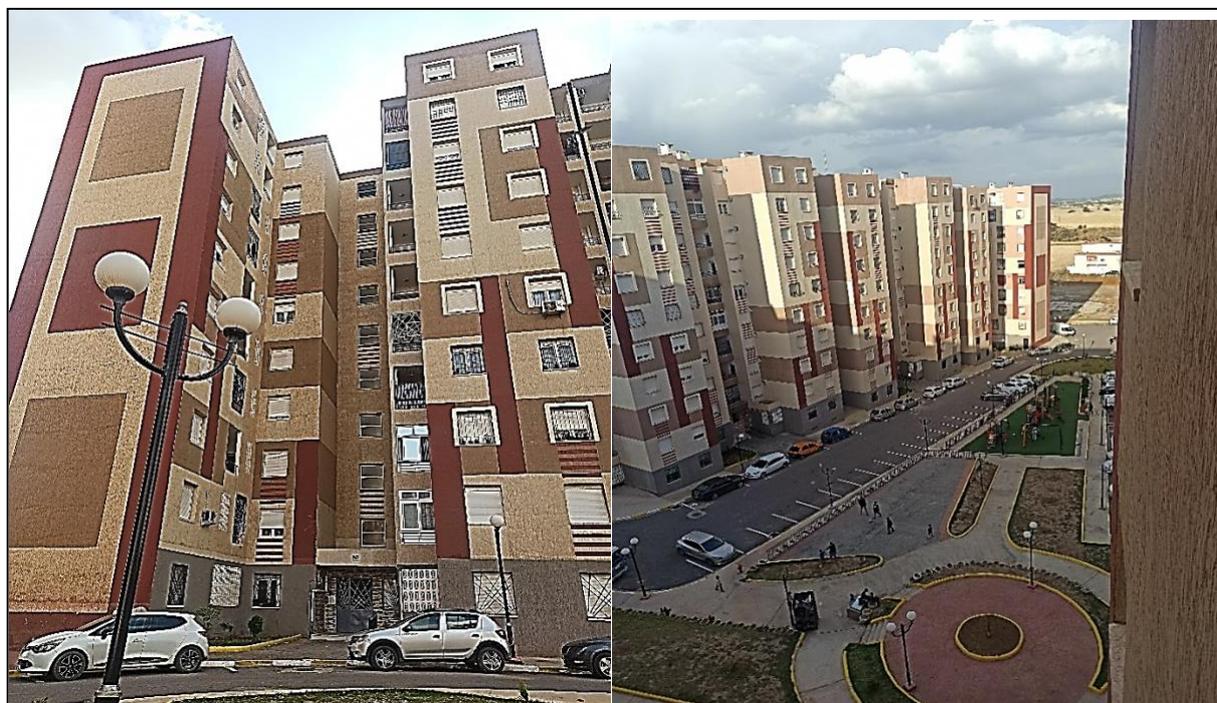


Figure IV.10. Photos prise sur le site du bâtiment n°2

IV.3 Application de la méthodologie

IV.3.1 Cas d'étude n°1

Tableau IV.3.Calcul des IPs du cas d'étude n°01

Critère	Indicateur	Calcul			
Orientation	Orientation de bâtiment (OR)	Le bâtiment est à triple orientation concernant la façade principale ; <ul style="list-style-type: none"> • Nord ⇒ P=0,1 • Nord-ouest ⇒ P=0,2 • Nord-est ⇒ P=0,2 $P_{OR\ Moyenn} = \frac{0,1+0,2+0,2}{3} = 0,167$ Et pour la façade postérieure ; <ul style="list-style-type: none"> • Sud ⇒ P=0,9 • Sud-est ⇒ P=1 • Sud-ouest ⇒ P=0,9 $P_{OR\ Moyenn} = \frac{0,9+1+0,9}{3} = 0,934 \Rightarrow P=0,55$			
	Ratio de la façade orienté (FOR)	$FOR = \frac{19,41 \times 2 \times 19,72}{(19,41+10,61) \times 2 \times 19,72} = 0,6465 \times 100 = 64,65 \Rightarrow P=0,3$			
Morphologie	Nombre des niveaux (N _{étage})	N _{étage} = 6 (R+5) ⇒ P=0,1			
	Compacité (C _p)	$C_p = \frac{(19,41 \times 10,61) + 20,47 \times 2 \times (19,41+10,61)}{19,41 \times 10,61 \times 20,47} = 0,34 \Rightarrow P=0,9$			
Couleur des parois	Couleur des parois intérieures (C _{int})	Pièce	Couleur	Performance	
		Cuisine	Beige, blanc, marron, Vert	$P = \frac{0,5+0,9+0,5+0,5}{4} = 0,6$	
		Salle à manger	Beige, Bordeaux, orange, blanc, gris, violet	$P = \frac{0,5+0,5+0,9+0,9+0,5+0,5}{3} = 0,64$	
		Chambre 1	Blanc, violet, rose, bleu, gris clair, gris foncé, marron	$P = \frac{0,9+0,5+0,5+0,2+0,5+0,1+0,5}{7} = 0,45$	
		Chambre 2	Blanc, violet, rose, bleu, gris clair, gris foncé, marron	$P = \frac{0,9+0,5+0,5+0,2+0,5+0,1+0,5}{7} = 0,45$	
		Hall	Beige, marron, blanc	$P = \frac{0,5+0,5+0,9}{3} = 0,64$	
		Salle de bain	Bleu, blanc, vert	$P = \frac{0,2+0,9+0,5}{3} = 0,54$	
		Les Sanitaires	Banc, bleu	$P = \frac{0,9+0,2}{2} = 0,55$	
		Cage d'escalier	Beige, marron, blanc	$P = \frac{0,5+0,5+0,9}{3} = 0,64$	
		Total	$P = \frac{0,6+(0,64 \times 3)+(0,45 \times 2)+0,54+0,55}{3} =$		P=0,56
		Pour cet indicateur on a pris la moyenne de la performance pour la majorité des appartements que contient ce bâtiment (les informations ont été prises d'après un questionnaire)			

Tableau IV.4.Calcul des IPs du cas d'étude n°01(Suite)

Critère	Indicateur	Calcul												
	Couleur des parois extérieures (C_{ext})	Blanc, orange claire. $P = \frac{0,1+1}{2} = 0,55$												
Ouvertures	Coefficient de gain solaire (S_w)	D'après la fiche technique de la menuiserie et de la vitrerie des fenêtres et après avoir déterminé cet indice pour la majorité des fenêtres (simple vitrage) on a pu déduire la valeur finale de gain solaire pour le bâti ; $SW=0,7 \Rightarrow P=0,7$												
	Indice Window (U_w)	D'après la fiche technique de la menuiserie et de la vitrerie des fenêtres et après avoir déterminé cet indice pour la majorité des fenêtres on a pu déduire la valeur finale de l'indice Window pour le bâti ; $U_w=1,6w/m^2$. K. $\Rightarrow P=0,9$												
	Forme des fenêtres (FF)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Type de fenêtres</th> <th>Nombres</th> <th>P</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Battantes</td> <td>45</td> <td rowspan="2">0,9</td> </tr> <tr> <td>A auvents</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Coulissante simple</td> <td>3</td> <td rowspan="2">0,1</td> </tr> <tr> <td>Coulissante double</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> $P_{moy} = \frac{0,9 + 0,1}{2} = 0,5$	Type de fenêtres	Nombres	P	Battantes	45	0,9	A auvents	30	Coulissante simple	3	0,1	Coulissante double
Type de fenêtres	Nombres	P												
Battantes	45	0,9												
A auvents	30													
Coulissante simple	3	0,1												
Coulissante double	2													
Aspect architectural	Distance entre les bâtiments (D_w)	<p>Pour ce cas le bâtiment a d'autres bâtiments adjacents de 3 côtés ;</p> <ul style="list-style-type: none"> Le premier coté y aucune distance entre eux à par joint sismique donc $\frac{W}{H} = 0 \Rightarrow P=0$ Le deuxième coté il existe une distance de 14,5 m Donc $\frac{W}{H} = \frac{14,5}{20,47} = 0,7 \Rightarrow P=0,7$ Le troisième coté une distance de 10 m Donc $\frac{W}{H} = \frac{10}{20,47} = 0,48 \Rightarrow P=0,48$ <p>En dernier $P = \frac{0,7 + 0,48}{2} = 0,59$</p>												
	Ventilation naturelle (V_{nat})	La conception du bâtiment vérifie la technique (a) $\Rightarrow P=1$												
	Humidification (H_{umi})	La conception du bâtiment vérifie la technique (a) et (b) $\Rightarrow P=1$												
	Protection solaire (P_s)	La conception du bâtiment vérifie la technique (c) $\Rightarrow P=1$												
	Chauffage solaire passif (CH_{auff})	La technique du chauffage solaire passif a été bien prise en considération lors de la conception du bâtiment $\Rightarrow P=0,6$												

Tableau IV.5. Calcul des IPs du cas d'étude n°01 (Suite)

Critère	Indicateur	Calcul
Implantation	Zone	Le bâtiment se situe à la wilaya de Bouira (logement 120, Les allemands) donc

	climatique(Z C)	zone C⇒P=0,5		
	Altitude (A_{ti})	A _{ti} = 553 m ⇒P=0,5		
Caractéristique physique des matériaux de l’enveloppe	Conductivité thermique (λ)	Le détail des calculs est montré dans la section IV.3.1.1		
	L’effusivité thermique(E)			
	Diffusivité thermique(D)			
Isolation	Utilisation d’un isolant (U_{iso})	Aucun isolant n’est utilisé⇒P=0		
	Nature d’isolant (N_{iso})	Aucun isolant n’est utilisé⇒P=0		
	Déperditions thermiques par transmission (D_T)	Le détail des calculs est montré dans la section IV.3.1.2		
Consommation d’énergie fossile	Electricité (ELE)		Electricité (KWh)	Gaz (Th)
		Cons. 2021	5907,5	51063,931
		Cons. 2022	7732 ,75	52952 ,25
		Cons. 2023(Jan à Mai)	5250	73818,5
		A ₁ +A ₂ +A ₃	18890,25	177834 ,681
		Total cons. (KWh/an)	18890,25	206821,734
		(KWh/m ² /an)	55,377	606,301
		Cons. de référence / surface habitable (KWh/m ₂ /an)	661,678	
		Classe énergétique du bâtiment	ClasseG	
	Valeur de la performance	P=0,1		
Gaz				

Tableau IV.6.Calcul des IPs du cas d’étude n°01(Suite)

Critère	Indicateur	Calcul
Consommation	Intégration	Le bâtiment carbure au fossile. Aucune énergie

on d'énergie renouvelable	des ER (Int _{ER})	renouvelable n'est utilisée ⇒ P=0																											
	Ratio de la consommation des ER (R _{R/F})	Comme l'énergie renouvelable n'est pas utilisée ⇒ P=0																											
Ambiance intérieure	Humidité intérieure (H)	On a pris des mesures instantanées et puis la moyenne des valeurs ; H ≈ 45% ⇒ P=1																											
	Température intérieure (T)	On a pris des mesures instantanées et puis la moyenne des valeurs ; T ≈ 24°C ⇒ P=1																											
	Eclairage intérieur (EC _{int})	Le détail des calculs est montré dans la section IV.3.1.2																											
Efficacité énergétique des équipements	Classe énergétique des équipements (CEE)	<p>Pour cet indicateur on a pris la moyenne de la performance pour la majorité des appartements que contient ce bâtiment (les informations ont été prises d'après un questionnaire)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Equipements</th> <th>Classe moyenne</th> <th>Performance moyenne</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Climatiseurs</td> <td>A⁺⁺</td> <td>0,9</td> </tr> <tr> <td>Télévisions</td> <td>A⁺⁺⁺</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Chauffages</td> <td>A⁺</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>Réfrigérateurs</td> <td>A⁺⁺⁺</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Lampes (LED)</td> <td>A⁺⁺</td> <td>0,9</td> </tr> <tr> <td>Lave-vaisselles</td> <td>A⁺</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>Petits électroménagers</td> <td>A</td> <td>0,7</td> </tr> <tr> <td colspan="3"> $P_{\text{moy}} = \frac{0,9+1+0,8+1+0,9+0,8+0,7}{7} = 0,87$ </td> </tr> </tbody> </table>	Equipements	Classe moyenne	Performance moyenne	Climatiseurs	A ⁺⁺	0,9	Télévisions	A ⁺⁺⁺	1	Chauffages	A ⁺	0,8	Réfrigérateurs	A ⁺⁺⁺	1	Lampes (LED)	A ⁺⁺	0,9	Lave-vaisselles	A ⁺	0,8	Petits électroménagers	A	0,7	$P_{\text{moy}} = \frac{0,9+1+0,8+1+0,9+0,8+0,7}{7} = 0,87$		
	Equipements	Classe moyenne	Performance moyenne																										
Climatiseurs	A ⁺⁺	0,9																											
Télévisions	A ⁺⁺⁺	1																											
Chauffages	A ⁺	0,8																											
Réfrigérateurs	A ⁺⁺⁺	1																											
Lampes (LED)	A ⁺⁺	0,9																											
Lave-vaisselles	A ⁺	0,8																											
Petits électroménagers	A	0,7																											
$P_{\text{moy}} = \frac{0,9+1+0,8+1+0,9+0,8+0,7}{7} = 0,87$																													
Système de chauffage et de refroidissement à base d'énergie renouvelable (Sys)	Aucun système de chauffage et/ou de refroidissement intégrant les ER n'est utilisé ⇒ P=0																												

Tableau IV.7. Calcul des IPs du cas d'étude n°01 (Suite)

Critère	Indicateur	Calcul
Usage des	Utilisation	Puisque la majorité des lampes sont à basse consommation

énergies	des nouvelles technologies (UT_{ntech})	énergétique (LED), nous pouvons dire que les nouvelles technologies de réduction de la consommation des énergies sont pratiquement utilisées ⇒ P=0,7								
	Utilisation d'un manuel d'aide à l'usage (UT_{mdl})	Aucun manuel d'aide à l'usage mis à la disposition des usagers ⇒ P=0								
Pollution	Utilisation de matériaux respectueux de l'environnement	Les matériaux utilisés sont des matériaux de l'industrie minière, des carrières, de cimenteries, etc. Les matériaux respectueux de l'environnement ne sont pas une politique de la construction algérienne ⇒ P=0								
	Emission des gaz à effet de serre (CO₂)	$CO_2 = (CE \times f_E) + (CG \times f_G)$ $CO_2 = (55,377 \times 0.383) + (606,301 \times 0.20191)$ CO₂ = 143,6276 (Kg.CO₂-e/m²/an) ⇒ Classe G ⇒ P=0,1 <table border="1" data-bbox="534 1120 1332 1288"> <thead> <tr> <th>Combustible</th> <th>Facteur d'émission</th> <th>Référence</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Electricité</td> <td>0.383 (Kg.CO₂-e/KWh)</td> <td>(Angioletti & despretz, 2004)</td> </tr> <tr> <td>Gaz</td> <td>0.20191 (Kg.CO₂-e/KWh)</td> <td>(APRUE, 2014)</td> </tr> </tbody> </table>	Combustible	Facteur d'émission	Référence	Electricité	0.383 (Kg.CO ₂ -e/KWh)	(Angioletti & despretz, 2004)	Gaz	0.20191 (Kg.CO ₂ -e/KWh)
Combustible	Facteur d'émission	Référence								
Electricité	0.383 (Kg.CO ₂ -e/KWh)	(Angioletti & despretz, 2004)								
Gaz	0.20191 (Kg.CO ₂ -e/KWh)	(APRUE, 2014)								

IV.3.1.1 Détail de calcul de IPdu critère « Caractéristique physique des matériaux de l'enveloppe »

Exemple d'un matériau : « brique creuse »

- La conductivité thermique : $\lambda = 0,48$ (W/m.C°) ⇒ **P=0,86**
- L'effusivité thermique : $E = \sqrt{\lambda \times \rho \times C}$, (C : capacité calorifique (J/Kg.C°) et ρ : masse volumique (Kg/m²))
 $\Rightarrow E = \sqrt{0,48 \times 900 \times 936} = 935,887$ (J.m²/S^{1/2}) ⇒ **P=0,5**
- La diffusivité thermique : $D = \frac{\lambda}{\rho \times C} \Rightarrow D = \frac{0,48}{900 \times 936} \times 10^8 = 56,98$ (m²/S) ⇒ **P=0,5**

Ce calcul est mené pour tous les matériaux composants l'enveloppe extérieure du bâtiment. Ensuite, les valeurs moyennes sont calculées

Tableau IV.8. Calcul des IPs « conductivité, effusivité et diffusivité »

Matériaux	λ (W/m.C°)	P	C (J/Kg.C°)	ρ (Kg/m ³)	E (J.m ² /S ^{1/2})	P	D×10 ⁸ (m/s ²)	P
Mortier deciment	1,4	0,6	1080	2200	1823,842	0,7	58,922	0,5
Brique creuse	0,48	0,86	936	900	635,886	0,5	56,98	0,5
Enduit plâtre	0,35	0,9	936	1000	572,363	0,5	37,39	0,7
Béton plan	1,75	0,5	1080	2500	2173,706	0,9	64,81	0,5
Vert	1,1	0,68	792	2700	1533,701	0,7	51,440	0,5
Aluminium	230	0	936	2700	1533,701	0,7	51,440	0,5
Revêtement de sol et de murs (Céramique)	1	0,71	936	1900	1333,566	0,7	56,23	0,5
Performance		0,6				0,7		0,471

IV.3.1.2 Détail de calcul de IP du critère « Déperdition thermique par transmission »

Il faut que la condition $D_{T\text{ CALC}} \leq 1.05 \times D_{T\text{ réf}}$ (D.T.R. C 3-2) soit vérifiée

A. Les déperditions thermiques par transmission de référence

On a : $D_{\text{réf}} = a \times S_1 + b \times S_2 + c \times S_3 + d \times S_4 + e \times S_5$

S_i : Surfaces sont respectivement toiture, plancher bas, les murs, les porte, fenêtré et porte fenêtrés en (m²)

Et pour les coefficients a, b, c, d, e ; voir le tableau II.1 chapitre II (D.T.R. C 3-2).

Tableau IV.9. Détails de calcul des $D_{T\text{ réf}}$.

S_i (m ²)	Coefficients (W/m ² .C°)	$D_{\text{réf}}$ (W/C°)
S1=341,12	a = 0,85	289,952
S2=341,12	b = 2,40	818,688
S3=1533,5341	c = 1,20	1840,2409
S4=7,92	d = 3,50	27,72
S5=22,8	e = 4,50	102,06
Total		3079,2009

B. Calcul des déperditions thermiques par transmission

$$D_{T\text{ CALC}} = D_{S_i} + D_{L_i} + D_{SOL_i} + D_{LNC_i}$$

1) Calcul de D_{S_i}

$$D_{Si} = K \times A$$

- **D_{Si}** : représente les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur en (W/C°) ;
- **K** (en W/m². °C) est le coefficient de transmission surfacique (appelé aussiconductance) ;
- **A** (en m²) est la surface intérieure de la paroi.

$$D_{Si} = (K \times A)_{\text{parois verticales}} + (K \times A)_{\text{toiture}}$$

Parois verticales

On a : $1/K = \sum R_{th} + 1/h_i + 1/h_e$

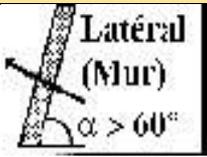
Les valeurs de K des matériaux qui forment les parois sont :

Tableau IV.10. Résistance thermique des matériaux constituant les parois

Matériaux de parois	λ (W/m. C°)	e (m)	$R_{th} = \frac{e}{\lambda}$ (m².W /C°)
Mortier de ciment	1,4	0,02	0,0142
Brique creuse	0,48	0,1	0,2083
Lame d'air	0,25	0,04	0,16
Brique creuse	0,48	0,1	0,2083
Mortier de ciment	1,4	0,02	0,0142
Enduit plâtre	0,35	0,01	0,0285
Total (m².W /C°)			0,6335

Les valeurs des coefficients d'échanges superficiels sont données ci-dessous :

Tableau IV. 11. Coefficients de d'échanges superficiels pour les murs

Description de cas	1/h (intérieure)	1/h (extérieure)	Totale
 <p>Latéral (Mur) $\alpha > 60^\circ$</p>	0.11	0.11	0.22 (m².W/C°)

Donc : $K = \frac{1}{(0.6335 + 0.22)} = 1.172 \text{ (m}^2 \cdot \text{W/C}^\circ\text{)}$

$A_{\text{Prois brute}} = (19.41 \times 20.47) \cdot 61.8 = 355.5227 \text{ m}^2$

Toiture

On a : $1/K = \sum R_{th} + 1/h_i + 1/h_e$

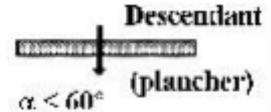
Les valeurs de K des matériaux qui forment les parois sont :

Tableau IV.12.Résistance thermique des matériaux constituant la toiture.

Matériaux de toiture	λ (W/m.C°)	e (m)	$R_{th}=\frac{e}{\lambda}$ (m ² .W/C°)
Forme de ponte	1.75	0.1	0.0571
Dalle de compression	1.75	0.04	0.0228
Plancher corps creuse	1.45	0.16	0.1103
Enduit de ciment	1.4	0.015	0.0107
Totale (m ² .W/C°)			0.2009

Les valeurs des coefficients d'échanges superficiels sont données ci-dessous :

Tableau IV. 13.Coefficients de d'échanges superficiels pour les planchers.

Description de cas	1/h (intérieure)	1/h (extérieure)	Totale
 <p>Descendant (plancher) $\alpha < 60^\circ$</p>	0.17	0.17	0.34 (m ² .W/C°)

Donc : $\frac{1}{K} = \frac{1}{(0.34+0.2009)} = 1.848(\text{m}^2.\text{W}/\text{C}^\circ) \Rightarrow A_{\text{toiture brute}} = 341,12\text{m}^2$

A.N: $D_{Si} = (1.172 \times 335.5227) + (1.848 \times 563.93) \Rightarrow D_{Si} = 1435.3752 \text{ W/C}^\circ$

2) Calcul de D_{Lfi}

$D_{li} = \sum K l \times L = 0.2 \times \sum K \times A = 0,2 \times D_S$

- **D_{Lfi}** : (en W/°C) représente les déperditions à travers les liaisons ;
- **K_I** : (en W/m. °C) représente le coefficient de transmission linéique de la liaison ;
- **L** : (en m) représente la longueur intérieure de la liaison.

A.N : $D_{li} = 0.2 \times D_S = 0.2 \times 1435.3752 \Rightarrow D_{li} = 287.0750 \text{ W/C}^\circ$

3) Calcul D_{SOLi}

On a : $D_{SOL} = K_S \times P$

- **K_S** (en W/m. °C) est le coefficient de transmission linéique du plancher bas ;
- **P** (en m) est la longueur de la paroi définie.

A.N : $D_{SOL} = K_S \times P = 1.75 \times 20.41 \Rightarrow D_{SOL} = 35.7175 \text{ W/C}^\circ$

4) Calcul D_{LNCi}

On a : $D_{LNCi} = \text{Tau} (\sum KL \times L + \sum K \times A)$ Avec **Tau**: est le coefficient de réduction de T°

$$\underline{A.N.}: D_{LNCi} = 1 \times (287.075 + 1435.3752) \Rightarrow D_{LNCi} = 1722.4502 \text{ W/C}^\circ$$

$$\text{Finalement : } D_{T \text{ CALC}} = D_{Si} + D_{Li} + D_{SOLi} + D_{LNCi} \Rightarrow D_{T \text{ CALC}} = 3480.6177 \text{ W/C}^\circ$$

Conclusion

$$D_{T \text{ CALC}} = 3480.6177 \text{ W/C}^\circ > 1.05 \times D_{\text{réf}} = 1.05 \times 3079.2009 \text{ W/C}^\circ = 3233.1609 \text{ W/C}^\circ$$

\Rightarrow Condition n'est pas vérifiée $\Rightarrow P = 0.1$

IV.3.1.3 Détail de calcul de IP du critère « éclairage intérieur (ECint) »

Si $\phi_{\text{réf}} \geq \phi_{\text{cal}} \Leftrightarrow P=1$ Sinon la $P = 0.1$ avec :

1) Calcul de la quantité de l'éclairage intérieur de référence $\phi_{\text{réf}}$:

$$\phi_{\text{réf}} = S_{\text{pièce}} \times N_{\text{luxe}} \times \frac{1}{R_{\text{lamp}}} \times \frac{1}{f_{\text{acréflexion}}} \text{ avec :}$$

- $\phi_{\text{réf}}$: quantité de l'éclairage intérieur de référence ;
- $S_{\text{pièce}}$: superficie de la pièce ;
- N_{luxe} : nombre de luxe.
- $R_{\text{lampLED}} = 0.8$ (conçurent comme une valeur de référence) ;
- $F_{\text{acréflexion}}$: Facture de réflexion.

Calcul de la quantité de l'éclairage intérieur de référence de chaque pièce

$$\phi_{\text{réf}1} = 7.24 \times 200 \left(\frac{1}{0.7}\right) \left(\frac{1}{0.8}\right) = 258.57 \text{ Lux} \Rightarrow \phi = 1$$

$$\phi_{\text{réf}2} = 19.71 \times 200 \left(\frac{1}{0.8}\right) \left(\frac{1}{0.7}\right) = 703.928 \text{ Lux} \Rightarrow \phi = 0.1$$

$$\phi_{\text{réf}3} = 14.05 \times 200 \left(\frac{1}{0.8}\right) \left(\frac{1}{0.5}\right) = 7025 \text{ Lux} \Rightarrow \phi = 0.1$$

$$\phi_{\text{réf}4} = 12.26 \times 300 \left(\frac{1}{0.8}\right) \left(\frac{1}{0.1}\right) = 45975 \text{ Lux} \Rightarrow \phi = 0.1$$

$$\phi_{\text{réf}5} = 4.04 \times 300 \left(\frac{1}{0.8}\right) \left(\frac{1}{0.2}\right) = 7575 \text{ Lux} \Rightarrow \phi = 0.1$$

$$\phi_{\text{réf}6} = 9.81 \times 200 \left(\frac{1}{0.8}\right) \left(\frac{1}{0.35}\right) = 7007.14 \text{ Lux} \Rightarrow \phi = 0.1$$

Donc : $\phi_{\text{réf moy}} = 1,5$

2) Calcul de la quantité de l'éclairage intérieur calculé ϕ_{cal} :

$$\phi_{\text{cal}} = R_{\text{lamp}} = \frac{\text{flux lumineux}}{\text{consommation ELE}} \times \frac{1}{100}$$

$$\phi_{\text{cal}} = \left(\frac{68544.638 \times 15}{18890.25} \right) \times \left(\frac{1}{100} \right) \Rightarrow \phi_{\text{cal}} = 0,544$$

Enfin ; $\phi_{réf} = 1,5 \geq \phi_{cal} = 0,544 \Rightarrow$ condition vérifiée $\Rightarrow P=1$

3) Détermination de la performance de l'éclairage globale du bâtiment :

$$PR\phi_{cal\ moy} = \sum_{i=1}^n \frac{PR\phi_{cal}(i)}{n}$$

- $PR\phi_{cal\ moy}$: performance de quantité d'éclairage moyen de bâtiment ;
- $PR\phi_{cal}(i)$: performance de quantité d'éclairage pour chaque pièce de bâtiment.

$$PR\phi_{cal\ moy} = \frac{0.544}{5} = 0.108$$

IV.3.2 Synthèse de calcul des IPs du cas d'étude n°1

Tableau IV.14.Synthèse de calcul des IPs et valeurs de performances du cas d'étude n°01.

Critère	Indicateur	Valeur de Calcul	Note de performance
Orientation	Orientation de bâtiment (OR)	Cf. Tableau IV.3	
	Ratio de la façade orienté (FOR)	0,6465	
Morphologie	Nombre des niveaux (N _{étage})	6	
	Compacité (C _p)	0.34	
Couleur des parois	Couleur des parois intérieures (C _{int})	Cf. Tableau IV.3	
	Couleur des parois extérieurs (C _{ext})	Couleurs ; Blanc Orange claire	
Ouvertures	Coefficient de gain de solier (S _w)	0,7	
	Indice Window (U _w)	1,6 W/m ² .K	
	Forme des fenêtres (FF)	Norme	
Aspect architectural	Distance entre les bâtiments (D _w)	Cf. Tableau IV.3	
	Ventilation	Technique (a)	

	naturelle (V_{nat})	
	Humidification (H_{umi})	Technique (a) et (b)
	Protection solaire (P_s)	Technique (c)
	Chauffage solaire passif (CH_{auff})	Oui

Tableau IV.15.Synthèse de calcul des IPs et valeurs de performances du cas d'étude n°01(Suite)

Critère	Indicateur	Valeur de Calcul	Note de performance
Implantation	Zone climatique(ZC)	Zone C	
	Altitude (A_{iti})	553m	
Caractéristique physique des matériaux de l'enveloppe	Conductivité thermique (λ)	Cf. TableauIV.3	
	L'effusivité thermique (E)		
	Diffusivité thermique (D)		
Isolation	Utilisation d'un isolant (U_{tiso})	Non	
	Nature d'isolant (N_{iso})	Non	
	Déperditions thermiques par transmission (D_T)	$D_{T cal} > D_{T Ref}$	
Consommation d'énergie fossile	Electricité (ELE)	55.377 (KWh/m ² .an)	
	Gaz	606.301 (KWh/m ² .an)	
Consommation d'énergie renouvelable	Intégration des ER(Inté _{ER})	Il n'y a pas	
	Ratio de la consommation desER ($R_{R/F}$)	$\frac{ER}{EF}=0$	
Ambiance	Température	24°C	

intérieure	intérieur (T)		
	Humidité intérieure (H)	45%	
	Eclairage intérieur (ECint)	Cf. section IV.3.1.3	
Efficacité énergétique d'équipement	Classe énergétique des équipements (CEE)	Cf. Tableau IV.6	

Tableau IV.16. Synthèse de calcul des IPs et valeurs de performances du cas d'étude n°01 (Suite)

Critère	Indicateur	Valeur de Calcul	Note de performance
	Système de chauffage et de refroidissement à base d'énergie renouvelable (Sys)	Non	
Usage des énergies	Utilisation des nouvelles technologies (UT _{ntech})	Non	
	Utilisation d'un manuel d'aide à l'usage (UT _{mdl})	Non	
Pollution	Utilisation de matériaux respectueux de l'environnement (UT _{mr1})	Non	
	Emission des gaz à effet de serre (EMCO ₂)	143.6276 (Kg.CO ₂ -e/m ² /an)	

IV.3.3 Cas d'étude n°2

Tableau IV.17. Calcul des IPs du cas d'étude n°02

Critère	Indicateur	Calcul
Orientation	Orientation de	On a la maison à double orientation :

	bâtiment (OR)	Nord ; P=0.2 et Sud ; P=1 ⇒ P= $\frac{0.2+1}{2} = 0,6$		
	Ratio de la façade orientée (FOR)	FOR= $\frac{2682 \times 2 \times 3.04}{(2682+2020) \times 2 \times 3.04} = 0.57 \Rightarrow P=0,1$		
Morphologie	Nombre des niveaux (N _{étage})	N _{étage} =10 ⇒ P=0.1		
	Compacité (CP)	C _P = $\frac{(26.82 \times 20.20) + 31.6 \times 2 \times (26.82 + 20.20)}{26.82 \times 31.6 \times 20.20} = 0.21 \Rightarrow P=0.9$		
Couleur des parois	Couleur des parois intérieures (C _{int})	Pièce	Couleur	Performance
		Cuisine	Blanc-gris	0.9+0.1/2=0.5
		Salon	Gris-marron-blanc-beige	0.1+0.5+0.9+0.9/4=0.6
		Chambre 1	Rose-bleu-gris-marron	0.5+0.2+0.1+0.5/4=0.33
		Chambre 2	Mauve-gris-orange-rose	0.5+0.1+0.1+0.5/4=0.3
		Hall	Blanc-beige-rose	0.9+0.9+0.5/3=0.76
		Salle de bain	Gris-bleu	0.1+0.9/2=0.5
		Sanitaire	Blanc-gris	0.1+0.9/2=0.5
	Total	0.5 3 +0.6+0.33+0.3+0.76/7=	0.469	

Tableau IV.18. Calcul des IPs du cas d'étude n°02 (Suite)

Critères	Indicateur	calcul
	Couleur des parois extérieurs (C _{ext})	La couleur de la façade extérieure est « Beige et marron et grenat » Donc : P= $\frac{0.9+0.5+0.1}{3} = 0.5$
Ouvertures	Coefficient de gain de solaire (S _w)	La fiche technique de la menuiserie et de la vitrerie des fenêtres indique que le coefficient de gain de soleil : S _w =0,21 Donc P=0,21
	Indice Window (U _w)	La fiche technique de la menuiserie et de la vitrerie des fenêtres indique que l'indice Window U _w =2w/m ² .K. Donc : P=0.9
	Forme des fenêtres (FF)	Les ouvertures vers l'extérieur sont : 4 fenêtres battant Donc : P=0.5
Aspect	Distance entre	Il y a un édifice adjacent pour le bâtiment étudié.

architectural	les bâtiments (Dw)	Donc : $\frac{W}{H} = \frac{0.05}{31.6} = 0.001 \Rightarrow P=0.1$ Le deuxième coté il existe une distance de 5.65 m Donc $\frac{W}{H} = \frac{5.65}{31.6} = 0.17 \Rightarrow P=0,1$
	Ventilation naturelle(Vnat)	Aucune technique de ventilation naturelle n'est utilisée pour le bâtiment étudié : P=0
	Humidification (Humi)	La conception du bâtiment vérifie la technique (a) $\Rightarrow P=1$
	Protection solaire(Ps)	La conception du bâtiment vérifie la technique (c) $\Rightarrow P=1$
	Chauffage solaire passif (CHauff)	La technique du chauffage solaire passif a été bien prise en considération lors de la conception du bâtiment P=1
Implantation	Zone climatique (ZC)	Le bâtiment est implanté à Nassim (Bouira) \Rightarrow Zone C $\Rightarrow P=0.5$
	Altitude (A _{li})	A _{li} = 546m $\Rightarrow P=0.5$
Caractéristique physique des matériaux de l'enveloppe	Conductivité thermique (λ)	Les détails de calcul sont montrés dans la section IV.3.1.1
	L'effusivité thermique(E)	
	Diffusivité thermique (D)	
Isolation	Utilisation d'un isolant (UT _{iso})	Aucun isolant n'est utilisé $\Rightarrow P=0$
	Nature d'isolant (N _{iso})	Aucun isolant n'est utilisé $\Rightarrow P=0$
	Déperditions thermiques par transmission (DT)	Les détail des calculs sont montrés dans la section IV.3.3.2

Tableau IV.19.Calcul des IPs du cas d'étude n°02 (Suite)

Critères	Indicateur	Calcul		
		Electricité (KWh)	Gaz (Th)	
Consommation d'énergie fossile	Electricité (ELE)	Cons. 2021	8143	48362
		Cons. 2022	34289	400686
		Cons. 2023	11509	268691
		A1+A2+A3	53941	717739
		Total cons. (KWh/m ² /an)	53941	834730.457
		Cons. de référence / surface habitable (KWh/m ² /an)	$\frac{53941}{536.93} = 100.461$	$\frac{834730.457}{536.93} = 1554.63$
	Gaz	Total cons.(KWh/m ² /an)	1655.092	
		Classe énergétique	Classe G → Très énergivore	

		Valeur de P	P=0.1																									
Consommation d'énergie renouvelable	Intégration des ER(IntéER)	Aucune énergie renouvelable n'est utilisée⇒ P=0																										
	Ratio de la consommation desER (RR/F)	Comme l'énergie renouvelable n'est pas utilisée⇒ P=0																										
Ambiance intérieur	Humidité intérieure (H)	On a pris des mesures instantanées et puis la moyenne des valeurs ; $H \approx 30\% \Rightarrow P=0$																										
	Température intérieure (T)	On a pris des mesures instantanées et puis la moyenne des valeurs ; $T \approx 27^{\circ}\text{C} \Rightarrow P=0,1$																										
	Eclairage intérieur(ECint)	Les détails des calculs sont montrés dans la section IV.3.3.2																										
Efficacité énergétique des équipements	Classe énergétique des équipements (CEE)	Pour cet indicateur on a pris la moyenne de la performance pour la majorité des appartements que contient ce bâtiment (les informations ont été prises d'après un questionnaire)																										
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Équipement</th> <th>Classe moyenne</th> <th>Performance moyenne</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Climatiseur</td> <td>A⁺⁺⁺</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Télévision</td> <td>A⁺</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>Chauffage</td> <td>A</td> <td>0,7</td> </tr> <tr> <td>Réfrigérateur</td> <td>A⁺⁺⁺</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Lampes (LED)</td> <td>A⁺⁺</td> <td>0,9</td> </tr> <tr> <td>Lave-vaisselle</td> <td>A⁺</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>Petits électroménagers</td> <td>A</td> <td>0,7</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">$P_{\text{moy}} = \frac{1+0,8+0,7+1+0,9+0,8+0,7}{7} = 0,84$</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Équipement	Classe moyenne	Performance moyenne	Climatiseur	A ⁺⁺⁺	1	Télévision	A ⁺	0,8	Chauffage	A	0,7	Réfrigérateur	A ⁺⁺⁺	1	Lampes (LED)	A ⁺⁺	0,9	Lave-vaisselle	A ⁺	0,8	Petits électroménagers	A	0,7	$P_{\text{moy}} = \frac{1+0,8+0,7+1+0,9+0,8+0,7}{7} = 0,84$
Équipement	Classe moyenne	Performance moyenne																										
Climatiseur	A ⁺⁺⁺	1																										
Télévision	A ⁺	0,8																										
Chauffage	A	0,7																										
Réfrigérateur	A ⁺⁺⁺	1																										
Lampes (LED)	A ⁺⁺	0,9																										
Lave-vaisselle	A ⁺	0,8																										
Petits électroménagers	A	0,7																										
$P_{\text{moy}} = \frac{1+0,8+0,7+1+0,9+0,8+0,7}{7} = 0,84$																												
	Système de chauffage et de refroidissement à base d'énergie renouvelable(SYS)	Aucun système de chauffage et/ou de refroidissement intégrant les ER n'est utilisé ⇒ P=0																										

Tableau IV.20.Calcul des IPs du cas d'étude n°02(Suite)

Critère	Indicateur	Calcul
Usage des énergies	Utilisation des nouvelles technologies (UTntech)	Puisque presque les lampes sont à basse consommation énergétique (LED), nous pouvons dire que les nouvelles technologies de réduction de la consommation des énergies sont utilisées : P=1
	Utilisation d'un manuel d'aide à l'usage(UTmdl)	Aucun manuel d'aide à l'usage mis à la disposition des usagers : P=0
Pollution	Utilisation de matériaux respectueux de	Les matériaux utilisés sont des matériaux de l'industrie minière, des carrières, de cimenteries, etc. Les matériaux respectueux de l'environnement ne sont pas une politique de la construction

	l'environnement	algérienne : P=0
	Emission des gaz à effet de serre (CO2)	$CO_2 = (CE \times f_E) + (CG \times f_G)$ $= (100.461 \times 0.383) + (1554.63 \times 0.20191)$ $\Rightarrow CO_2 = (Kg \cdot CO_2 \cdot e/m^2/an) \Rightarrow$ Classe G $\Rightarrow P=0,1$

IV.3.3.1 Détail de calcul de IP « Déperdition thermique par transmission »

A. Les déperditions thermiques par transmission de référence

Tableau IV.21. Détails de calcul des $D_{Tréf}$.

Si (m ²)	Coefficients (W/m ² .C°)	D _{réf} (W/C°)
S1=536.93	a = 0,85	456,3905
S2=536.93	b = 2,40	1287,336
S3=1620.144	c = 1,20	1944,1728
S4=79.2	d = 3,50	277,2
S5=77.76	e = 4,50	349,92
Total		4316,3153

B. Calcul des déperditions thermiques par transmission

1) Calcul de D_{Si}

Parois verticales

$$K = \frac{1}{(0.6335 + 0.22)} = 1.172 (m^2 \cdot W/C^\circ)$$

$$A_{\text{Prois brute}} = (26.82) (20.20) - 131.04 = 410.724 m^2$$

Toiture

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{(0.34 + 0.2009)} = 1.848 (m^2 \cdot W/C^\circ)$$

$$A_{\text{Toiture brute}} = (26.82 \times 20.20) \Rightarrow A_{\text{toiture brute}} = 536.93 m^2$$

2) Calcul de D_{LI}

$$D_{LI} = 0.2 \times D_S = 0.2 \times 1523.51 \Rightarrow D_{LI} = 304.702 W/C^\circ$$

3) Calcul D_{SOLi}

$$D_{SOL} = K_S \times P = 1.75 \times 26.82 = D_{SOL} = 46.935 W/C^\circ$$

4) Calcul D_{LNCi}

$$D_{LNCi} = 1 \times (304.702 + 1523.511) \Rightarrow D_{LNCi} = 1828.213 \text{ W/C}^\circ$$

Finalement :

$$D_{T \text{ CALC}} = D_{Si} + D_{Lli} + D_{SOLi} + D_{LNCi} \Rightarrow D_{T \text{ CALC}} = 3703.361 \text{ W/C}^\circ$$

Conclusion : $D_{T \text{ CALC}} = 3703.361 \text{ W/C}^\circ > 1.05 \times D_{\text{réf}} = 1.05 \times 4316.3153 \text{ W/C}^\circ = 4532,131 \text{ W/C}^\circ$

Condition vérifié donc : $P = 1$

IV.3.3.2 Détail de calcul de IP du critère « éclairage intérieur (ECint) »

Si $\phi_{\text{réf}} \geq \phi_{\text{cal}} \Leftrightarrow P=1$ Sinon la $P = 0.1$ avec :

1) Calcul de la quantité de l'éclairage intérieur de référence de chaque pièce

$$\phi_{\text{réf}1} = 9.10 \times 200 \left(\frac{1}{0.7}\right) \left(\frac{1}{0.8}\right) = 3250 \text{ Lux} \Rightarrow \phi = 1$$

$$\phi_{\text{réf}2} = 19.75 \times 200 \left(\frac{1}{0.8}\right) \left(\frac{1}{0.7}\right) = 7053.57 \text{ Lux} \Rightarrow \phi = 0.1$$

$$\phi_{\text{réf}3} = 12 \times 200 \left(\frac{1}{0.8}\right) \left(\frac{1}{0.5}\right) = 6000 \text{ Lux} \Rightarrow \phi = 0.1$$

$$\phi_{\text{réf}4} = 12.55 \times 300 \left(\frac{1}{0.8}\right) \left(\frac{1}{0.1}\right) = 47062.5 \text{ Lux} \Rightarrow \phi = 0.1$$

$$\phi_{\text{réf}5} = 3 \times 300 \left(\frac{1}{0.8}\right) \left(\frac{1}{0.2}\right) = 5625 \text{ Lux} \Rightarrow \phi = 0.1$$

$$\phi_{\text{réf}6} = 10.9 \times 200 \left(\frac{1}{0.8}\right) \left(\frac{1}{0.35}\right) = 7007.14 \text{ Lux} \Rightarrow \phi = 0.1$$

Donc : $\phi_{\text{réf moy}} = 1,5$

2) Calcul de la quantité de l'éclairage intérieur calculé ϕ_{cal} :

$$\phi_{\text{cal}} = R_{\text{temp}} = \frac{\text{flux lumineux}}{\text{consommation ELE}} \times \frac{1}{100}$$

$$\phi_{\text{cal}} = \left(\frac{76776.78 \times 36}{17496}\right) \times \left(\frac{1}{100}\right) \Rightarrow \phi_{\text{cal}} = 1.5$$

Enfin ; $\phi_{\text{réf}} = 1,5 \geq \phi_{\text{cal}} = 1,5 \Rightarrow$ condition vérifiée $\Rightarrow P=1$

3) Détermination de la performance de l'éclairage globale du bâtiment :

$$PR\phi_{\text{cal moy}} = \sum_{i=1}^n \frac{PR\phi_{\text{cal}}(i)}{n}$$

- $PR\phi_{\text{cal moy}}$: performance de quantité d'éclairage moyen de bâtiment ;
- $PR\phi_{\text{cal}}(i)$: performance de quantité d'éclairage pour chaque pièce de bâtiment.

$$PR\phi_{\text{cal moy}} = \frac{1.5}{9} = 0.1$$

IV.3.4 Synthèse de calcul des IPs du cas d'étude n°2

Tableau IV.22. Synthèse de calcul des IPs et valeurs de performances du cas d'étude n°02

Critère	Indicateur	Valeur de Calcul	Note de performance
---------	------------	------------------	---------------------

Orientation	Orientation de bâtiment (OR)	Nord et Sud	
	Ratio de la façade orienté(FOR)	0,6465	
Morphologie	Nombre des niveaux (N_{étag})	10	
	Compacité (C_p)	0.21	
Couleur des parois	Couleur des parois intérieures (C_{int})	Cf. Tableau IV. 17	
	Couleur des parois extérieurs (C_{ext})	Beige, marron et grenat.	
Ouvertures	Coefficient de gain de solier(S_w)	0,21	
	Indice Window(U_w)	2 W/m ² .K	
	Forme des fenêtres (FF)	0,5	
Aspect architectural	Distance entre les bâtiments (D_w)	0,1	
	Ventilation naturelle (V_{nat})	Non	
	Humidification (H_{umi})	Technique (a)	
	Protection solaire (P_s)	Technique (c)	
	Chauffage solaire passif (CH_{auff})	Oui	
Implantation	Zone climatique(ZC)	Zone C	
	Altitude (A_{lti})	546m	

Tableau IV.23.Synthèse de calcul des IPs et valeurs de performances du cas d'étude n°02(Suite)

Critère	Indicateur	Valeur de Calcul	Note de performance
Caractéristique physique des	Conductivité thermique (λ)	Cf. Section IV.3.1.1	

matériaux de l'enveloppe	L'effusivité thermique (E)		
	Diffusivité thermique (D)		
Isolation	Utilisation d'un isolant (U_{iso})	Non	
	Nature d'isolant (N_{iso})	Non	
	Déperditions thermiques par transmission (D_T)	D_{T cal} > D_{T Réf}	
Consommation d'énergie fossile	Electricité (ELE)	55.377 (KWh/m ² .an)	
	Gaz	606.301 (KWh/m ² .an)	
Consommation d'énergie renouvelable	Intégration des ER (Inté_{ER})	Il n'y a pas	
	Ratio de la consommation des ER (R_{R/F})	$\frac{ER}{EF}=0$	
Ambiance intérieure	Température intérieur (T)	27°C	
	Humidité intérieur (H)	30%	
	Eclairage intérieur (ECint)	Tableau IV.17	
Efficacité énergétique des équipements	Classe énergétique des équipements (CE E)	P=0,84	
	Système de chauffage et de refroidissement à base d'énergie renouvelable (Sys)	Non	

Tableau IV.24. Synthèse de calcul des IPs et valeurs de performances du cas d'étude n°02 (Suite)

Critère	Indicateur	Valeur de Calcul	Note de performance
---------	------------	------------------	---------------------

Usage des énergies	Utilisation des nouvelles technologies (UT_{ntech})	Non	
	Utilisation d'un manuel d'aide à l'usage (UT_{mdl})	Non	
Pollution	Utilisation de matériaux respectueux de l'environnement (UT_{mrl})	Non	
	Emission des gaz à effet de serre ($EMCO_2$)	143.6276 (Kg.CO ₂ -e/m ² /an)	

IV.4 Pondération des IPs – Méthode AHP

IV.4.1 Pondération des IPs – Méthode AHP

IV.4.1.1 Exemple d'application : Pondération des IPs du critère « Isolation »

A. Etape 1 : Hiérarchisation des IPs par importance

Premièrement : On classe les IPs par ordre d'importance décroissant comme suit :

IP de degrés 1 : **T** ⇒ IP de degrés 2 : **EC_{int}** ⇒ IP de degrés 3 : **H**

Deuxièmement : On attribue à chaque IP_E un ordre de préférence à partir du tableau III.5 pour construire une matrice appelée « Matrice de décision ».

Tableau IV.25. Attribution des ordres de préférences entre les IPs

	T	EC_{int}	H
T	1	2	3
EC_{int}	$\frac{1}{2}$	1	2
H	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1

Ainsi, la matrice obtenue est : $A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ \frac{1}{2} & 1 & 2 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$

B. Etape 2 : Détermination des poids associés à chaque IPs

$$\left[\begin{array}{c} \frac{1}{1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}} + \frac{2}{1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}} + \frac{3}{1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}} \\ \frac{1}{2} \\ \frac{1}{3} \end{array} \right] \Rightarrow \text{Ainsi les poids } (W_i) \text{ obtenu sont : } W_i \begin{bmatrix} 0,5390 \\ 0,2973 \\ 0,1638 \end{bmatrix}$$

C. Etape 3 : Vérification de la consistance des résultats

$$\lambda'_i = \begin{bmatrix} \lambda'_1 \\ \lambda'_2 \\ \lambda'_3 \end{bmatrix} = 0.5390 \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{1}{2} \\ \frac{1}{3} \end{bmatrix} + 0.2973 \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ \frac{1}{2} \end{bmatrix} + 0.1638 \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.0002 \\ 1.1661 \\ 0.6108 \end{bmatrix}$$

$$ET: \lambda_i = \frac{\lambda'_i}{W_i} = \begin{bmatrix} 3.014 \\ 3.0085 \\ 3.0044 \end{bmatrix} \Rightarrow \lambda_{max} = \frac{3.014+3.0085+3.0044}{3} = 3.0092$$

- L'indice de consistance : $CI = \frac{3.0092-3}{2} = 0.0046$
- RI est tiré du Tableau III.6 suivant la taille de la matrice de décision. Notre matrice de décision est de (3x3) alors, RI = 0.58
- Finalement : $CR = \frac{0.0046}{0.58} = 0.0079$, CR est inférieur à 0,1 donc l'attribution des poids est **acceptable**.

IV.4.1.2 Synthèse de calcul des pondérations

Tableau IV.26. Synthèse de pondération des indicateurs de la performance

Critère	Classement	Matrice de décision	Wi	λ'	λ	λ _{max}	CI	RI	CR	
Orientation	OR	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	0,5	Vérification non nécessaire	3	0	0,58	0		
	FOR		0,5							
Morphologie	C _p	$\begin{bmatrix} 1 & 3 \\ \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix}$	0,75							
	Nétag		0,25							
Couleur des parois	C _{int}	$\begin{bmatrix} 1 & 6 \\ \frac{1}{6} & 1 \end{bmatrix}$	0,8571							
	C _{ext}		0,1429							
Ouvertures	U _w	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 5 \\ 1 & 1 & 5 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & 1 \end{bmatrix}$	0,4545						1,3636	3
	FF		0,4545						1,3636	3
	S _w		0,0909						0,2727	3
Aspect architectural	D _w	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	0,2						Vérification non nécessaire	
	V _{nat}		0,2							
	H _{umi}		0,2							
	P _s		0,2							
	CH _{auff}		0,2							
Implantation	ZC	$\begin{bmatrix} 1 & 3 \\ \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix}$	0,75							
	A _{ti}		0,25							
Caractéristique physique des	λ	$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 \\ \frac{1}{2} & 1 & 1 \\ \frac{1}{2} & 1 & 1 \end{bmatrix}$	0,5	1,5	3	3	0	0,58	0	
	E		0,25	0,75	3					

matériaux de l'enveloppe	D		0,25	0,75	3				
Isolation	D _{th}	$\begin{bmatrix} 1 & 7 & 8 \\ \frac{1}{7} & 1 & 1 \\ \frac{1}{8} & 1 & 1 \end{bmatrix}$	0,7888	2,3702	3,0047	3,002	0,0009	0,58	0,0017
	UT _{iso}		0,1079	0,3239	3,0006				
	N _{iso}		0,1032	0,3098	3,0006				
Consommation d'énergie fossile	Gaz	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	0,5	Vérification non nécessaire					
	ELE		0,5						
Consommation d'énergie renouvelable	Inté _{ER}	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	0,5						
	R _{R/F}		0,5						
Ambiance intérieure	T	$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ \frac{1}{2} & 1 & 2 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$	0,5390	1,6248	3,0147	3,0092	0,0046	0,58	0,0079
	EC _{int}		0,2973	0,8943	3,00				
	H		0,1638	0,4921	3,00				
Efficacité énergétique des équipements	CEE	$\begin{bmatrix} 1 & 3 \\ \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix}$	0,75	Vérification non nécessaire					
	SYS		0,25						
Usage des énergies	UT _{ntech}	$\begin{bmatrix} 1 & 7 \\ \frac{1}{7} & 1 \end{bmatrix}$	0,8750						
	UT _{mdl}		0,1250						
Pollution	EM _{co2}	$\begin{bmatrix} 1 & 5 \\ \frac{1}{5} & 1 \end{bmatrix}$	0,8333						
	UT _{mrl}		0,1667						

Tableau IV.27.Synthèse de pondération des critères

Objectif	Classement	Matrice de décision	Wi	λ'	λ	λ _{max}	CI	RI	CR
Conception du bâtiment	Aspect architectural	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 3 & 3 & 5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 3 & 5 \\ \frac{1}{3} & 1 & 1 & 3 & 3 & 7 \\ \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{3} & 1 & 4 & 4 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{4} & 1 & 4 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & \frac{1}{7} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & 1 \end{bmatrix}$	0.3009	2.0619	6.8530	6.4952	0.0990	1.24	0.0799
	Ouverture		0.2043	1.3073	6.3992				
	Morphologie		0.2216	1.4903	6.7253				
	Orientation		0.1557	1.0043	6.4490				
	Couleur des parois		0.0814	0.5070	6.2274				
	Implantation		0.0361	0.2281	6.3172				
Performanc e de l'enveloppe	Caractéristique physique des matériaux	$\begin{bmatrix} 1 & 2 \\ \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$	0.6667	Vérification non nécessaire					
	Isolation		0.3333						
Consommat ion des énergies	Consommation d'énergie renouvelable	$\begin{bmatrix} 1 & 9 \\ \frac{1}{9} & 1 \end{bmatrix}$	0.90						
	Consommations d'énergie fossile		0.10						

Utilisation et fonction	Efficacité énergétique des équipements	$\begin{bmatrix} 1 & 2 \\ \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$	0.6667
	Usage des énergies		0.3333
Impact environnemental	Pollution	1	1

Tableau IV.28.Synthèse de pondération des objectifs

	Classement	Matrice de décision	Wi	λ'	λ	λ_{max}	CI	RI	CR
Indice de performance énergétique	Consommation des énergies	$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 2 & 5 \\ \frac{1}{2} & 1 & 2 & 4 & 5 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 & 2 & 5 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & 1 & 5 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & 1 \end{bmatrix}$	0.3366	1.8009	5.3500	5.2997	0.0749	1.12	0.0669
	Impact environnemental		0.2924	1.6133	5.5172				
	Conception du bâtiment		0.1885	0.0054	5.3326				
	Performance de l'enveloppe		0.1366	0.7014	5.1350				
	Utilisation et fonction		0.0458	0.2367	5.1639				

IV.4.2 Calcul des performances – Méthode MSP

Pour notre processus d'agrégation, nous avons choisi la MSP. En effet, parmi les techniques d'agrégation complète, c'est la méthode la plus utilisée. Janssen (2001) affirme que "la somme pondérée est la méthode d'agrégation la plus utilisée dans les études de décision". La méthode de la somme pondérée est utilisée pour sa clarté et sa simplicité. En effet, cette approche est relativement simple : la note globale est calculée comme la pondération moyenne des scores standardisés. (Moussaoui et Cherrared, 2021).

$$PC_j = \sum_{i=1}^n P_{ij} \times W_i$$

Par la suite en va donner un exemple pour illustrer comment fait la méthode d'agrégation da calculer. Nous avons choisi le premier cas avec l'objectif aspect architecturale. Donc la méthode de d'agrégation donnée comme suit ;

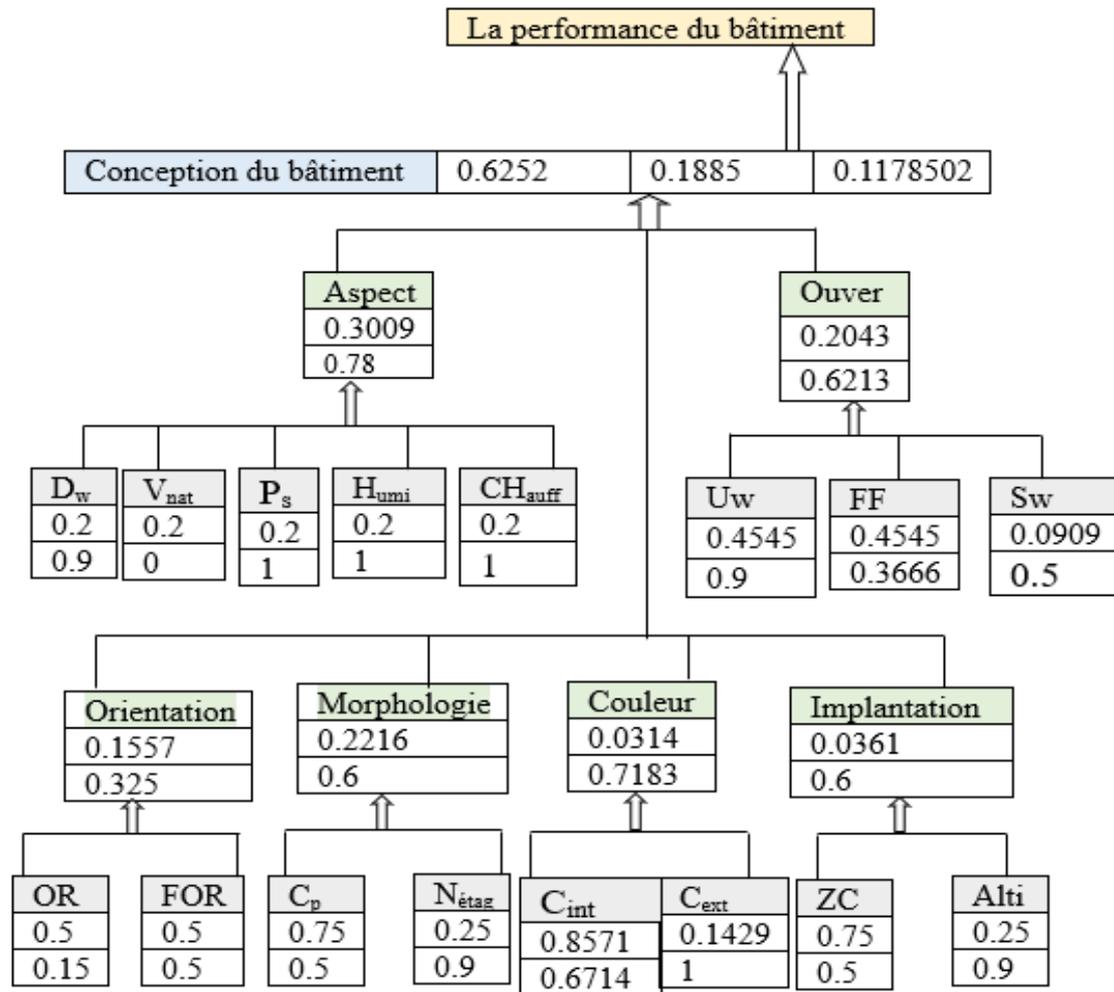


Figure IV.11. Agrégation des performances de l'objectif « Aspect architectural »

IV.4.3 Programmation d'un outil d'évaluation des performances

Dans le but de simplifier l'utilisation de la méthodologie proposée ainsi que de la base de données collectées, nous avons utilisé le programme qui a été déjà programmé par (Daci & Aliouane, 2022) sur le logiciel Visual Basic studio

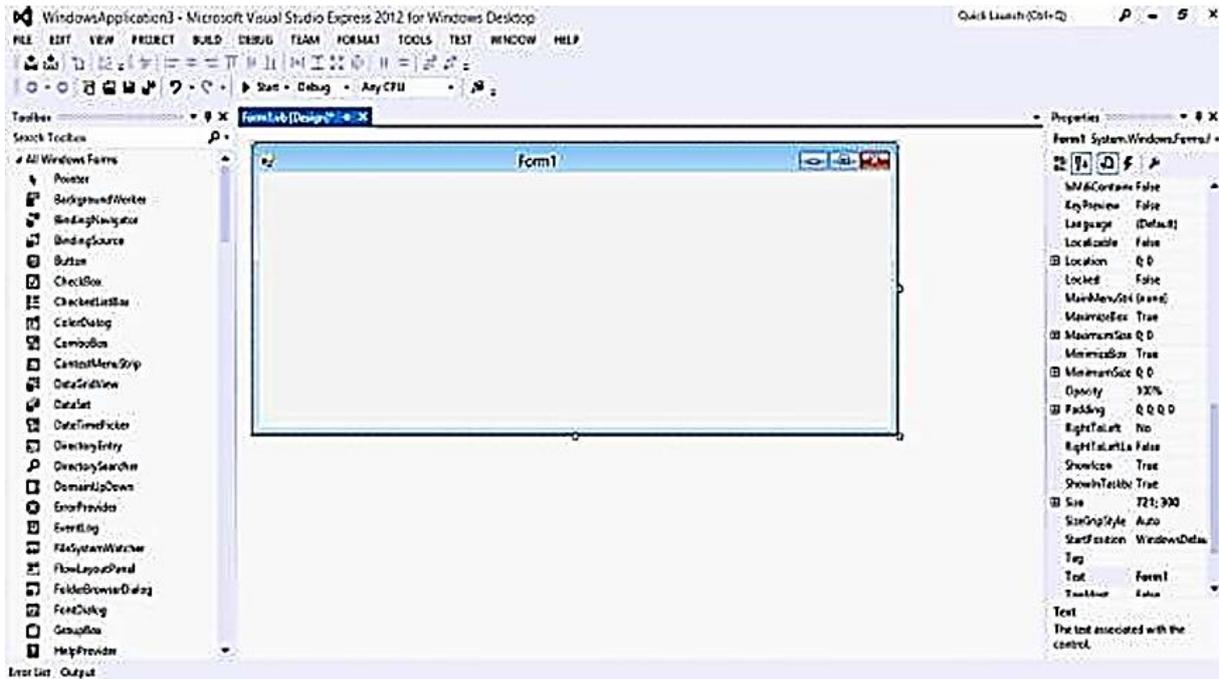


Figure IV.12. Interface du logiciel Visual Basic

La visualisation de la structure hiérarchique complète du problème permettra aussi de mieux comprendre le problème. Le programme de notre outil numérique est donné comme captures d'écrans.

```

Form1.vb [Design]
- Click
Public Class Form1
    Private Sub Form1_Load(sender As Object, e As EventArgs) Handles MyBase.Load
        End Sub
    Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button1.Click
        TextBox33.Text = Val(TextBox1.Text) * 0.1557 + Val(TextBox2.Text) * 0.1557
        End Sub
    Private Sub Button2_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button2.Click
        TextBox34.Text = Val(TextBox3.Text) * 0.2216 + Val(TextBox4.Text) * 0.2216
        End Sub
    Private Sub Button3_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button3.Click
        TextBox35.Text = Val(TextBox5.Text) * 0.0814 + Val(TextBox6.Text) * 0.0814
        End Sub
    Private Sub Button4_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button4.Click
        TextBox36.Text = Val(TextBox7.Text) * 0.2043 + Val(TextBox8.Text) * 0.2043 + Val(TextBox9.Text) * 0.2043
        End Sub
    Private Sub Button5_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button5.Click
        TextBox37.Text = Val(TextBox10.Text) * 0.3009 + Val(TextBox11.Text) * 0.3009 +
            Val(TextBox12.Text) * 0.3009 + Val(TextBox13.Text) * 0.3009 + Val(TextBox14.Text) * 0.3009
        End Sub
    Private Sub Button6_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button6.Click
        TextBox38.Text = Val(TextBox15.Text) * 0.0361 + Val(TextBox16.Text) * 0.0361
        End Sub
End Class
    
```

```

Form1.vb [Design]
Button1 Click
Private Sub Button7_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button7.Click
    TextBox39.Text = Val(TextBox17.Text) * 0.6667 + Val(TextBox18.Text) * 0.6667 + Val(TextBox19.Text) * 0.6667
End Sub
Private Sub Button8_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button8.Click
    TextBox40.Text = (Val(TextBox20.Text) * 0.3333 + Val(TextBox21.Text) * 0.3333 + Val(TextBox22.Text) * 0.3333)
End Sub
Private Sub Button9_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button9.Click
    TextBox41.Text = Val(TextBox23.Text) * 0.1 + Val(TextBox24.Text) * 0.1
End Sub
Private Sub Button10_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button10.Click
    TextBox42.Text = Val(TextBox25.Text) * 0.9 + Val(TextBox26.Text) * 0.9
End Sub
Private Sub Button11_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button11.Click
    TextBox43.Text = Val(TextBox27.Text) * 0.6667 + Val(TextBox28.Text) * 0.6667
End Sub
Private Sub Button12_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button12.Click
    TextBox44.Text = Val(TextBox29.Text) * 0.3333 + Val(TextBox30.Text) * 0.3333
End Sub
Private Sub Button13_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button13.Click
    TextBox45.Text = Val(TextBox31.Text) * 1 + Val(TextBox32.Text) * 1
End Sub
    
```

```

Form1.vb [Design]
Button1 Click
End Sub
Private Sub Button14_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button14.Click
    TextBox46.Text = (Val(TextBox1.Text) * 0.1557 + Val(TextBox2.Text) * 0.1557 + Val(TextBox3.Text) * 0.2216 + Val(TextBox4.Text) * 0.2216 + Val(TextBox5.Text) * 0.0814 + Val(TextBox6.Text) * 0.0814 + Val(TextBox7.Text) * 0.2043 + Val(TextBox8.Text) * 0.2043 + Val(TextBox9.Text) * 0.2043 + Val(TextBox10.Text) * 0.3009 + Val(TextBox11.Text) * 0.3009 + Val(TextBox12.Text) * 0.3009 + Val(TextBox13.Text) * 0.3009 + Val(TextBox14.Text) * 0.3009 + Val(TextBox15.Text) * 0.0361 + Val(TextBox16.Text) * 0.0361) * 0.1885
End Sub
Private Sub Button15_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button15.Click
    TextBox47.Text = (Val(TextBox17.Text) * 0.6667 + Val(TextBox18.Text) * 0.6667 + Val(TextBox19.Text) * 0.6667 + Val(TextBox20.Text) * 0.3333 + Val(TextBox21.Text) * 0.3333 + Val(TextBox22.Text) * 0.3333) * 0.1366
End Sub
Private Sub Button16_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button16.Click
    TextBox48.Text = (Val(TextBox23.Text) * 0.1 + Val(TextBox24.Text) * 0.1 + Val(TextBox25.Text) * 0.9 + Val(TextBox26.Text) * 0.9) * 0.3366
End Sub
Private Sub Button17_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button17.Click
    TextBox49.Text = (Val(TextBox27.Text) * 0.6667 + Val(TextBox28.Text) * 0.6667 + Val(TextBox29.Text) * 0.3333 + Val(TextBox30.Text) * 0.3333) * 0.0458
End Sub
Private Sub Button18_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button18.Click
    TextBox50.Text = (Val(TextBox31.Text) * 1 + Val(TextBox32.Text) * 1) * 0.2924
End Sub
    
```

```

Form1.vb [Design]
Button1 Click
End Sub
Private Sub Button19_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button19.Click
    TextBox51.Text = ((Val(TextBox1.Text) * 0.1557 + Val(TextBox2.Text) * 0.1557 + Val(TextBox3.Text) * 0.2216 + Val(TextBox4.Text) * 0.2216 + Val(TextBox5.Text) * 0.0814 + Val(TextBox6.Text) * 0.0814 + Val(TextBox7.Text) * 0.2043 + Val(TextBox8.Text) * 0.2043 + Val(TextBox9.Text) * 0.2043 + Val(TextBox10.Text) * 0.3009 + Val(TextBox11.Text) * 0.3009 + Val(TextBox12.Text) * 0.3009 + Val(TextBox13.Text) * 0.3009 + Val(TextBox14.Text) * 0.3009 + Val(TextBox15.Text) * 0.0361 + Val(TextBox16.Text) * 0.0361) * 0.1885) + (Val(TextBox17.Text) * 0.6667 + Val(TextBox18.Text) * 0.6667 + Val(TextBox19.Text) * 0.6667 + Val(TextBox20.Text) * 0.3333 + Val(TextBox21.Text) * 0.3333 + Val(TextBox22.Text) * 0.3333) * 0.1366 + (Val(TextBox23.Text) * 0.1 + Val(TextBox24.Text) * 0.1 + Val(TextBox25.Text) * 0.9 + Val(TextBox26.Text) * 0.9) * 0.3366 + (Val(TextBox27.Text) * 0.6667 + Val(TextBox28.Text) * 0.6667 + Val(TextBox29.Text) * 0.3333 + Val(TextBox30.Text) * 0.3333) * 0.0458 + (Val(TextBox31.Text) * 1 + Val(TextBox32.Text) * 1) * 0.2924
End Sub
Private Sub Button20_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button20.Click
    TextBox1.Text = ""
    TextBox2.Text = ""
    TextBox3.Text = ""
    TextBox4.Text = ""
    TextBox5.Text = ""
    TextBox6.Text = ""
    TextBox7.Text = ""
    TextBox8.Text = ""
    TextBox9.Text = ""
    
```

```

Form1.vb [Design]
Button1
Click

TextBox32.Text = ""
TextBox33.Text = ""
TextBox34.Text = ""
TextBox35.Text = ""
TextBox36.Text = ""
TextBox37.Text = ""
TextBox38.Text = ""
TextBox39.Text = ""
TextBox40.Text = ""
TextBox41.Text = ""
TextBox42.Text = ""
TextBox43.Text = ""
TextBox44.Text = ""
TextBox45.Text = ""
TextBox46.Text = ""
TextBox47.Text = ""
TextBox48.Text = ""
TextBox49.Text = ""
TextBox50.Text = ""
TextBox51.Text = ""

End Sub

Private Sub Button21_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button21.Click
End Sub
End Sub
    
```

Figure IV.12. Programme de l’outil informatique sur Visual Basic studio

IV.4.3.1 Cas d’étude n°01

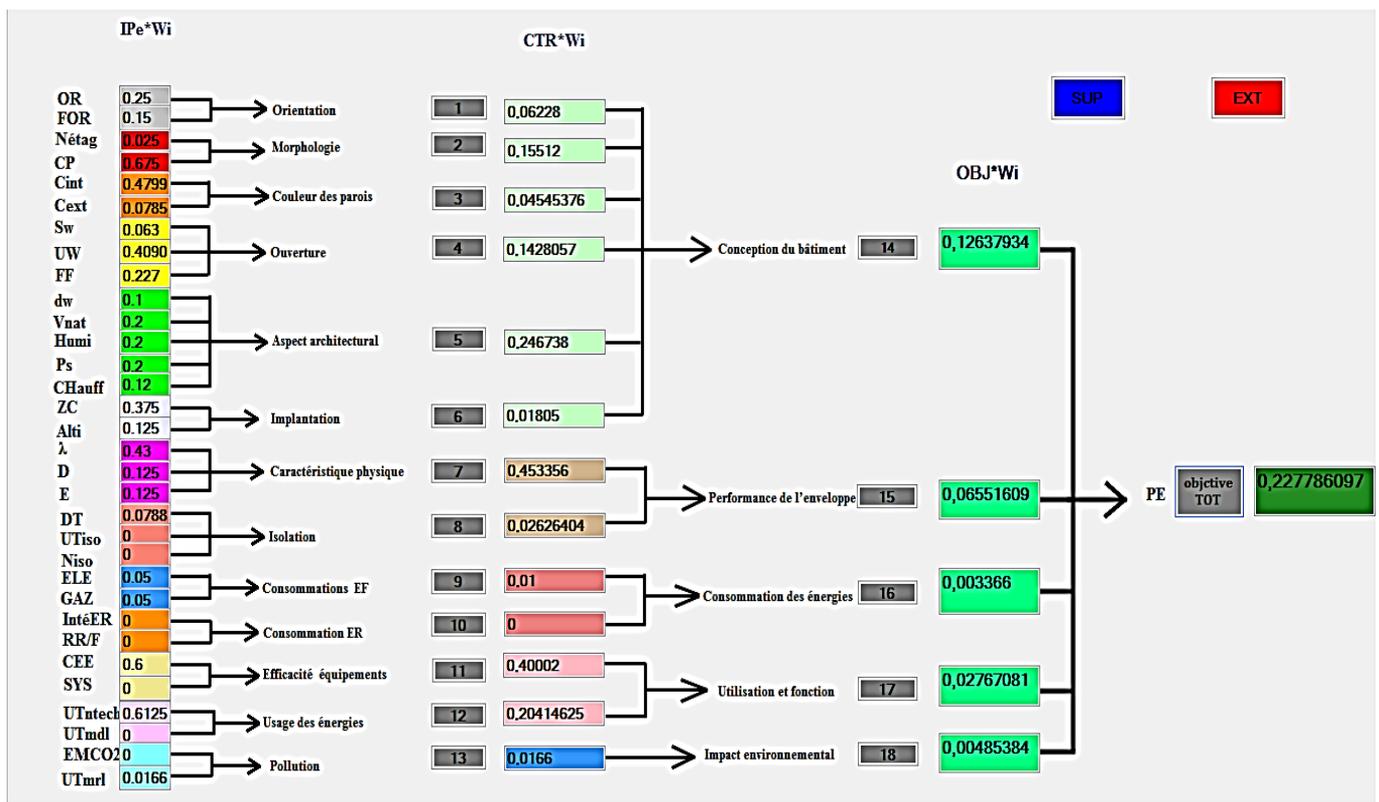


Figure IV.13. Processus d’agrégation des performances du cas d’étude n°01 sur Visual Basic studio

IV.4.3.2 Cas d'étude n°02

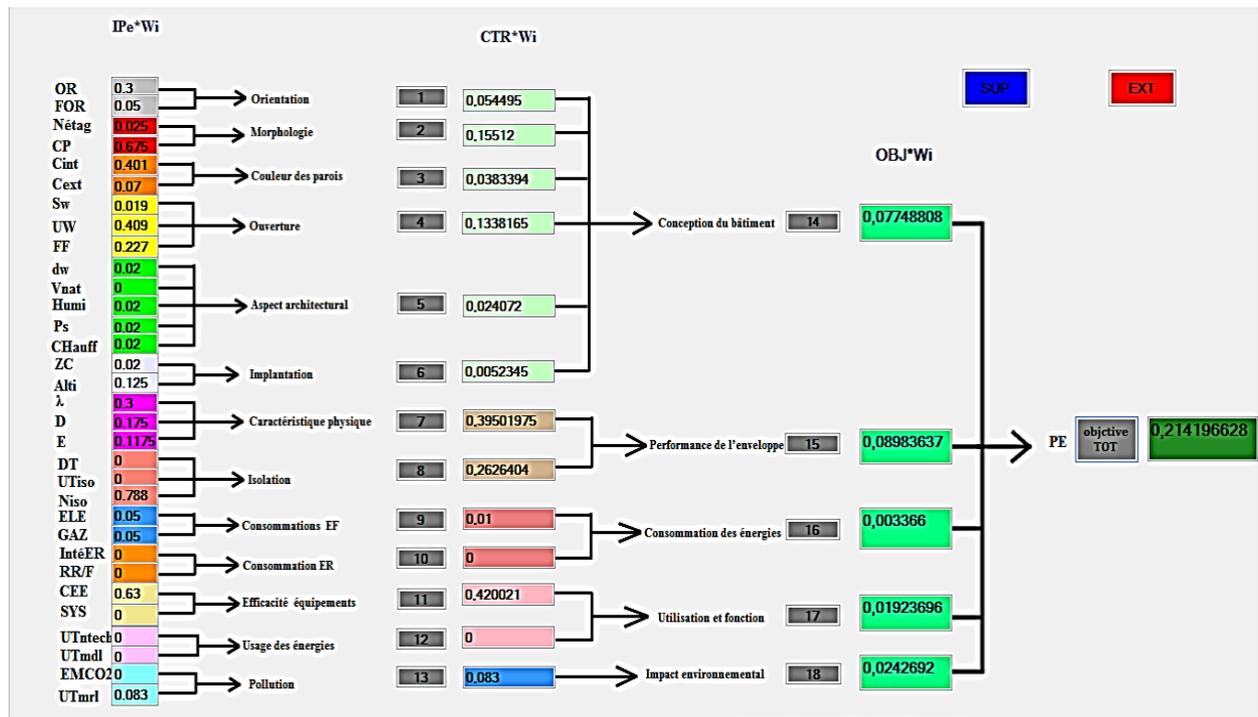


Figure IV.14. Processus d'agrégation des performances du cas d'étude n°02 sur Visual Basic studio

IV.5 Discussion des résultats

Cette étude vise à contribuer à l'élaboration d'une méthodologie d'évaluation de la performance énergétique des bâtiments résidentiels dans le contexte algérien. Cette méthodologie repose sur deux approches complémentaires : une approche descendante (Top-down) et une approche ascendante (Bottom-up).

En utilisant la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process), nous avons calculé les poids des indicateurs, ce qui constitue la première étape du processus ascendante visant à évaluer les performances des niveaux supérieurs de la méthodologie. Ce calcul est basé sur la construction de matrices de décisions.

Afin de démontrer l'application de la méthodologie développée, nous avons sélectionné deux cas d'études réels. Étant donné que le secteur résidentiel est le plus grand consommateur d'énergie, nous avons choisi deux immeubles collectifs situés dans la wilaya de Bouira (AADL 2021/2000 logements à Nassim et cité 120 logements Les Allemands).

Nous avons commencé notre application en calculant les indicateurs de performance (IP) et en leur attribuant une note de performance. Cette attribution s'est basée à la fois sur des échelles prédéfinies et sur les valeurs de calcul obtenues précédemment.

Les résultats obtenus ont été présentés de différentes manières, notamment à travers des tableaux, des courbes radars, des histogrammes et des organigrammes, afin d'assurer leur clarté et leur compréhension.

Nous avons opté pour la méthode de la somme pondérée (MSP) pour notre processus d'agrégation. En effet, parmi les techniques d'agrégation complètes, la MSP est la méthode la plus couramment utilisée. Selon (Janssen, 2001) "la somme pondérée est la méthode d'agrégation la plus utilisée dans les études de décision". Cette méthode est choisie pour sa clarté et sa simplicité. En effet, elle repose sur une approche relativement simple : la note globale est calculée en prenant la moyenne pondérée des scores standardisés (Moussaoui & Cherrared, 2023)

Par la suite, nous allons donner un exemple pour illustrer le processus de calcul de la méthode d'agrégation. Nous avons choisi le premier cas d'étude avec l'objectif de l'aspect architectural. Afin de faciliter la compréhension et la discussion des résultats, nous avons regroupé les valeurs de performances obtenues dans les figures présentées ci-dessous ;

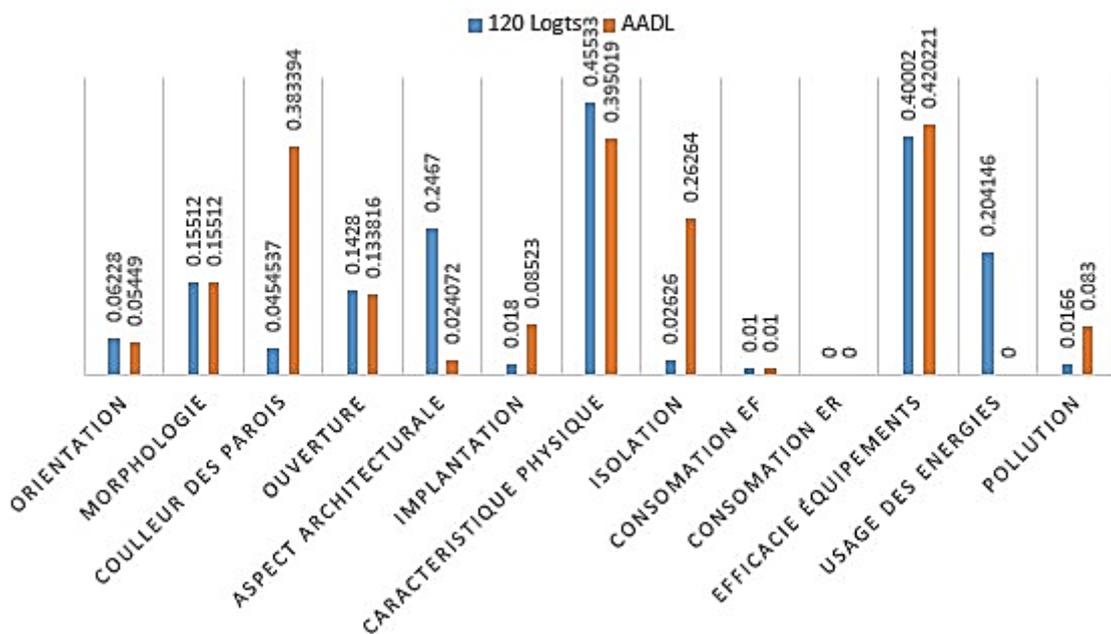


Figure IV.15. Performances obtenues par critères

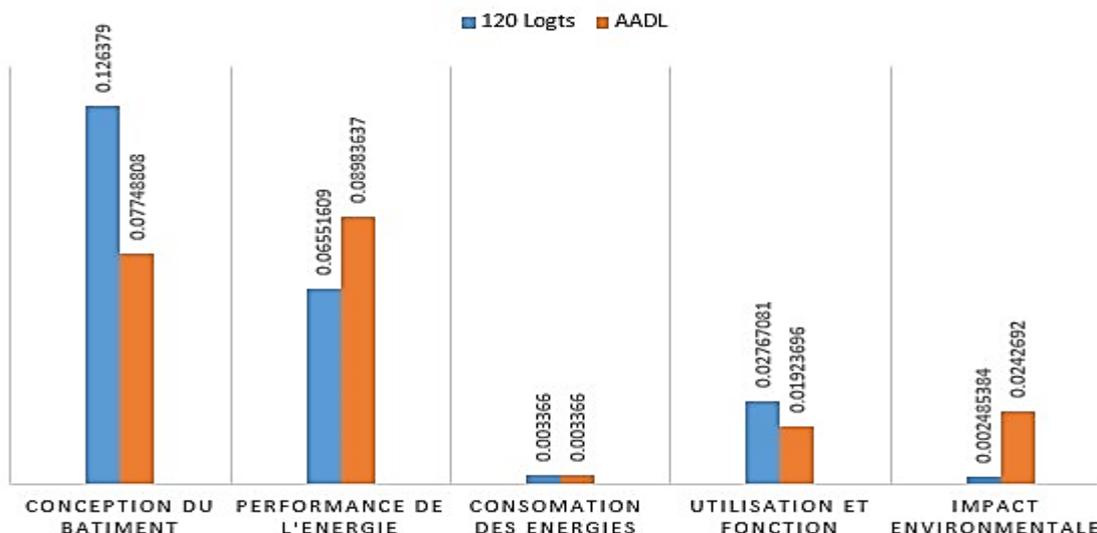


Figure IV.16. Performances obtenues par objectifs

D'après les graphes précédents, nous remarquons qu'il n'y a pas de grandes différences entre les valeurs des performances obtenues par agrégation par la méthode de MSP. Cette convergence de valeur est relative, essentiellement, aux modes de construction (les 2 habitats sont collectifs), à la quantité d'énergies consommée et éventuellement à la zone géographique (la même zone), etc.

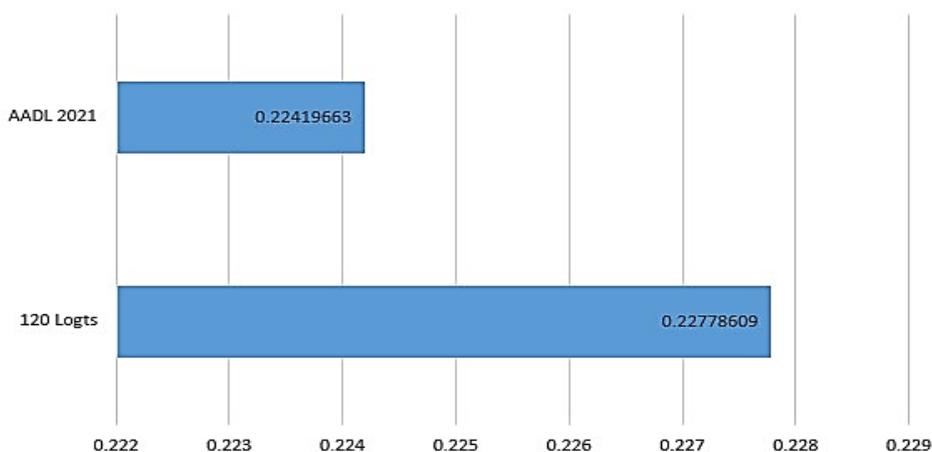


Figure IV.17. Performance énergétique des bâtiments étudiés

IV.6 Conclusion

Ce travail s'inscrit dans le cadre du développement d'une méthodologie globale axée sur l'approche de la performance, dans le but d'évaluer la performance énergétique des bâtiments résidentiels en Algérie. Cette méthodologie repose sur une approche structurée qui combine deux approches distinctes. Tout d'abord, l'approche descendante a permis d'identifier les différents paramètres de performance énergétique spécifiques aux bâtiments résidentiels, tels

que les objectifs, les sous-objectifs et les critères de durabilité. Ensuite, l'approche ascendante a été utilisée pour évaluer la performance énergétique globale.

Les résultats de cette étude confirment la faible efficacité énergétique des bâtiments résidentiels en Algérie, telle qu'observée dans la majorité des cas étudiés, où elle se situe généralement à un niveau faible à moyen. Cette constatation est cohérente avec le fait que ces bâtiments sont de grands consommateurs d'énergie, représentant plus de 34% de la consommation énergétique nationale. Les résultats obtenus fournissent des informations intéressantes et utiles pour les gestionnaires de bâtiments résidentiels en Algérie. Ils proposent un ensemble d'indicateurs importants pour des applications opérationnelles, tout en identifiant les critères à améliorer et les indicateurs responsables. Cela permet aux responsables de prendre des mesures pour comprendre les principales raisons des performances inférieures constatées et mettre en place des actions correctives



Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude vise à contribuer à l'élaboration d'une méthodologie globale pour évaluer la performance énergétique des bâtiments résidentiels en Algérie, en mettant l'accent sur l'approche basée sur la performance. La méthodologie adopte deux approches complémentaires : une approche descendante (Top-down) et une approche ascendante (Bottom-up).

L'approche descendante a été utilisée pour identifier les différents paramètres de performance énergétique spécifiques aux bâtiments résidentiels, tels que les objectifs, les sous-objectifs et les critères de durabilité. Elle a également permis de définir les méthodes de calcul et d'établir des échelles de performance adaptées au contexte algérien.

Quant à l'approche ascendante, elle a été employée pour évaluer la performance énergétique globale des bâtiments résidentiels. Pour ce faire, nous avons choisi la méthode de la somme pondérée pour le processus d'agrégation, car elle est largement utilisée dans les études de décision et offre une clarté et une simplicité appréciables. Cette approche consiste à calculer une note globale en effectuant une moyenne pondérée des scores standardisés des paramètres d'évaluation. De plus, nous avons utilisé la méthode AHP pour attribuer des poids aux différents paramètres d'évaluation.

Dans le but d'illustrer la méthodologie développée, nous avons présenté un exemple portant sur le premier cas étudié, en se concentrant sur l'aspect architectural. Ce cas concret permet de mettre en pratique la méthode d'agrégation.

L'amélioration de la performance énergétique des bâtiments résidentiels présente de nombreux avantages, mais il reste encore beaucoup à faire pour promouvoir et mettre en œuvre des pratiques efficaces dans ce domaine. Cela nécessite une sensibilisation accrue, des incitations financières, des réglementations plus strictes et une collaboration entre les parties prenantes concernées.

L'Algérie fait face à des défis importants en matière de consommation énergétique croissante, de dépendance aux combustibles fossiles et d'émissions de gaz à effet de serre. Par conséquent, l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments résidentiels revêt une importance cruciale pour réduire la consommation d'énergie, les coûts associés et les impacts environnementaux.

En conclusion, cette étude contribue à l'élaboration d'une méthodologie globale pour évaluer la performance énergétique des bâtiments résidentiels en Algérie, en combinant les approches descendante et ascendante. Les résultats obtenus mettent en évidence la nécessité d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments résidentiels en Algérie et fournissent des informations utiles pour les acteurs impliqués dans la gestion et la conception des bâtiments.



Références bibliographiques

Bibliographie

APRUE. (2021). *agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (2014) l'indicateurs retrived from <http:aprue.org.dz> .*

Business Insider. (s.d.). *New York City-based multinational financial and business news website founded in 2007.*

" HQE démarche et enjeux". (2015). Dans *Beton Solution""construction moderne"* (p. 123).

(Oztayas, 2. (2014). *Application dans la technologie de l'information.*

123dok. (s.d.). *In document UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA DE BEJAIA. Faculté des Sciences Economiques, Commerciales et des Sciences de Gestion Département des Sciences Economiques , pp. 75-81.*

A.BISWAS. (2009). *application of VICOR based taguchi method for multi-reponse optimization a case study in submerged arc welding (SAW) proceedings of the international conference on mechanical engineering 2009 (ICME2009), december 2009 dhaka, bangladesh .*

ADEME. (2022). *agence de la transition écologique <https://presse.ademe.fr/> .*

AIE. (2019, octobre 1). *Agence internationale de l'énergie, Les chiffres clés de l'édition 2019 des « Key World Energy Statistics » de l'AIE.*

AIE. (2020). *Agence internationale de l'énergie"key world Energy statistics".*

AIE. (Mai 2021). *Net Zero by 2050.*

AIE. (Novembre 2022). *World Energy Outlook.*

AIE. (Septembre 2021). *Agence internationale de l'énergie.*

AIE, A. i. (2022). *"key world Energy statistics".*

AitAhmed. (2017). *réaliser une action démonstrative prouvant la faisabilité de l'introduction de l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment tertiaire.*

Akincilar. (2014). *Application dans la gestion de tourisme .*

- Algerie presse service. (2022). *ressources énergétiques d'origine géothermale, a indiqué le commissariat aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique (cerefe) dans une publication. la place africaine de l'algerie dans la production d'énergie renouvelable* .
- Algerie-eco.com. (2022, février 02). (*Www.algerie-eco.com*).
- APRU. (2019). *agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (2014) l'indicateurs*.
- APRU. (s.d.). *Consommation énergétique finale de l'Algérie*. édition 2019.
- Aspinall, S. S. (2012). How Accurately Does BREEAM Measure Sustainability? Creative Education, 2012 World Congress on Engineering and Technology. 3,1-8.
- Assistancescolaire.com. (s.d.).
- ATTAQA. (2022). *l'énergie hydraulique* <https://attaqa.net/> .
- B, C., & Lappilonne, B. (1977). la prévision a long terme de la demande d'energie propositions méthodologiques. (p. 90). centre national de la recherche scientifique.
- B.TAIBI. (02-2010). La stratégie d'imitation : Une perspective par les compétences <https://www.cairn.info/revue-des-sciences-de-gestion-htm> . 93.
- Baouchi, B. (2014). Programme d'Efficacité Énergétique en Algérie . <https://particulier.hellio.com/blog/conseils/performance-energetique>.
- Barbara, P., Emmanuelle, & Wargon. (2020, novembre mardi 24). RE2020 . *conférence de presse afin d'annoncer les principales orientations de la Réglementation Environnementale 2020* .
- Beddiar, K., Chazel, P., & Ziour, R. (2022). Massification de la rénovation énergétique. Dans K. Beddiar, P. Chazel, & R. Ziour. france.
- Bellut, S. (2002). Les processus de la décision, démarches, méthodes et outils .
- Benbrahim, M. (2022). Intelligence Artificielle . Batena: Thèse de doctorat.
- Boubker, R. (2016-2017). *Memoir fin d'étude"Analyse multicritère d'aide à la décision Faculté des Sciences Exactes et de l'Informatique*.Mestaganem.
- BP. (2020). Statistical Review of World Energy.
- BP. (2021). *Statistical review of world energy*.
- BP. (2022). Dans *statistical review of world energy*. 71th edition.
- Brandon, P. &. (2010). Evaluating sustainable development in the built environment , <https://doi.org/10.1108/ijshe.2005.24906cae.002>. Wiley-Blackwell, 2,280.

- BRANS, & al. (1986). How to select and how to rank projects : The PROMETHEE method. European journal of operational research. *European journal of operational research*, 24(2);228-238.
- BREEAM. (2016). *BREEAM In-Use International, Technical Manual ; SD221-2.0:2015–Version: 2. www.breeam.com.*
- (2017). *BREEAM*. What is BREEAM? <http://www.breeam.com>.
- brfft, t. (222).
- Brunner, & Starkl. (2004). *Decision Aids Systems for Evaluating Sustainability*.
- CAPP. (2022). *Action communautaire en faveur de la Participation populaire*.
- CDE. (2023). *Conference on Electron Devices*.
- CED. (2021). *Conference on Electron Devices*.
- Chergui, B. (2017, janvier 26). *la situation énergétique en Algérie, Bian et perspective*.
- Climat échange/what-is-renewable-energy. (s.d.). *Nation Unis* .
- Connaissance des énergies. (Juin 2022). [*CONNAISSANCE DES ENERGIES*], <https://www.connaissancedesenergies.org/laconsommation-mondiale-denergie-pourrait-quasiment-augmenter-de-moitie-dici-2050220218>.
- Conseil Français de l'Énergie. (2012-2013). *World Energy council(conseil mondial de l'énergie)*<http://www.worldenergy.org/data/efficiency-indicator>.
- Daci, & Aliouane. (2022). *Memoire de soutenance, la performance énergétique dans un bâtiment a usage d'habitation*.
- Delphine, CHAREYRON, H. H., MOLINARO, B., & MULTON. (2020). « Concepts et chiffres de l'énergie ».
- (2017). *DGNB*. . DGNB System. <http://www.dgnb-system.de/en>.
- Dr. Benbrahim, Meriem;. (2022). *Intelligence artificielle*. Batna: Thèse de doctorat.
- DRIS. (2021, juin). *évolution de la consommation d'énergie finale de l'algérie dans le secteur résidentiel (2000- 2019)*. www.iris-france.org/observatoires/observatoire-securiteflux-energie .
- Enerdata. (2023). *Global Energy Trends, an exclusive analysis based on first-to-be-released 2022 consolidated statistics and 2023*.
- énergies, C. d. (Juin 2022). d'après BP Statistical review of World Energy.
- fr-statics.com. (s.d.). www.fr-statics.com.

- GABC. (2022). *Developed by the Global Alliance of Buildings and Construction (GlobalABC)*.
- (2020). *Global Alliance for Buildings and construction Rapport sur la situation mondiale des bâtiments et de la construction*.
- Golan. (2014). *Application pour la gestion des infrastructures*.
- Harbi, A. (2001). *Application of the AHP in Project Management. International Journal of Project Management*.
- Harker. (1989). Le processus de la méthode AHP s'énonce comme suit: (i) Comparaison par paire des éléments du problème étudié (ii) Estimation du vecteur de priorité des solutions.
- Ho, W. (2008, 01 4). Integrated analytic hierarchy process and its applications. *Integrated analytic hierarchy process and its applications - A literature review. European Journal of Operational Research*, [https://doi.org/10.1016/j.ejor.](https://doi.org/10.1016/j.ejor), pp. 186(1),211-228.
- <https://www.journaldunet.fr/>. (s.d.).
- <https://www.journaldunet.fr/> . (s.d.).
- <https://www.techno-science.net/> . (s.d.).
- Hwang, C. e. (1981). *Prise de décision par attributs multiples, dans des notes de cours en économie et systèmes mathématiques 186*. Berlin : Springer Verlag. *Structure and infrastructure engineering*.
- Indre, a. (2018). *Application dans développement énergétique durable* .
- Janssen, O. (2001). Fairness Perceptions as a Moderator in the Curvilinear Relationships between Job Demands, and Job Performance and Job Satisfaction. *Academy of Management Journal*. 44, 1039-1050.
- Jeffrey. (2017). *Application en science de l'environnement*.
- Larevuedelenergie.com. (2019). *Www.larevuedelenergie.com* .
- Lavergne, C., Micaelli, & Marc-Antoine. (2017). La gestion technique du bâtiment . Dans C. Lavergne, Micaelli, & Marc-Antoine, *La gestion technique du bâtiment, le protocole KNX pour une performance énergétique optimale* (p. 291). france .
- Lazzari. (2019). 2019 Dr. Carlo Lazzari. □is is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
- Lkeria. (2019). *Bilan des livraisons de logement en Algérie entre 1999 et 2018 selon les chiffres officiels*.

- Maes, P. (2009). Labels d'efficacité énergétique. Dans P. Maes, *Labels d'efficacité énergétique HQE,BBC-Effinergie, maison passive,RT2005-2012,Qualitel* (p. 150). france.
- Manfred, H., Thomas, S., Martin, Z., Julia, L., & Matthias, F. (2007). *Construction et Energie (architecture et developpement durable)*. Allemagne: 1er édition 2011 en france.
- Mardani, A. J. (2017). Multiple criteria decision-making techniques and their applications - A review of the literature from 2000 to 2014.<https://doi.org/10.1080/1331677X.2015.1075139>. In *Economic Research-Ekonomiska Istrazivanja.*, (vol.28,issue1,pp.516-571).
- Mareschal, B. &. (1988). Représentations géométriques pour MCDA. Le module GAIA. *Revue européenne de recherche opérationnelle.* 34(1).69-77.
- MARK, V., & PATRICK T, H. (2013). An Analysis of Multi-criteria decision making methods international. *journal of operations research* , vol.10,No.2,56-66.
- MEM. (2021). *ministère de l'énergie et des mines bilan énergétique année 2021* <https://www.energy.gov.dz> .
- Mena, S. b. (23 fevrier 2000). *Introduction aux méthodes multicritères d'aide à ladécision*.
- Minister de l'énergie . (2019).
- Ministère de l'Energie et des Mines, bilan énergétique de . (l'année 2021).
- MOUSSAOUI. (2018). *Contribution à l'évaluation de la durabilité des bâtiments d'habitation en Algérie. Thèse de doctorat. Université de Bejaia, Algérie.*
- Moussaoui, & Cherrared. (2023). Energy performance assessment of residential buildings using Fuzzy approach and AHP method: Case study in the Algerian context.
- Observ'ER. (2013). *La production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde Collection chiffres et statistiques Quinzième inventaire - Édition 2013. Paris, France.*
- Ouahabe, A. (2015). *modélisation des consommation d'énergie et des émissions de co2 à long terme appliquée au secteur résidentiel algérien , thèse pour obtenir le grade de docteur de l'universite françois-rabelais de tours ,specialite aménagement d.*
- planet de l'energie . (2016).
- (2022). *Planet-energies.com*.
- Pohekar, S. D. (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - A review, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2003.12.007>. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (vol.8,issus4,p.365-381).

- Poherkar, & Ramachandran. (2004). Application of Multi-Criteria Decision Making to Sustainable Energy Planning—A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Poveda, C. A. (2011a). A Review of Sustainability Assessment and Sustainability/Environmental Rating Systems and Credit Weighting Tools.,<https://doi.org/10.5539/jsd.v4n6p36>. *Journal of Sustainable Development*, 4(6),36-55.
- Poveda, C. A. (2011a). A Review of Sustainability Assessment and Sustainability/Environmental Rating Systems and Credit. *Journal of Sustainable Development*, . <https://doi.org/10.5539/jsd.v4n6p36>. *Weighting Tools*, 4(6), 36-55.
- RAHMOUNI, M. S. (2020, 01 29). Evaluation et Amélioration Energétiques de Bâtiments dans le cadre du Programme National.
- (s.d.). *rapport-gratuit*.
- Reed, & Al. (2006). *Évaluation de l'impact de la recherche : un cadre méthodologique*.
- Reseaux-chaleur.cerema.fr. (s.d.).
- ROY, B. (1993). ARTICLE aide multicritère à la décision : méthodes et cas série:production et techniques quantitatives appliquées à la gestin. <https://www.researchgate.net>.
- SAATY, T. L. (1990). *Fondamental of the Analytic Network Process*.
- Sahim. (2022). *Application dans l'évaluation des systeme d'énergie solaire*.
- Saliha. (2014). énergie fossiles, l'algérie 18ème réserve mondiale <https://www.algerie360.com> , économie algérie .
- Saoudi, S., & Ayeche, A. (2017-2018). *L'application de la methode SAW pour une optimisation des choix architecturaux durables,Application sur les équipements touristiques*. oum el bouaghi: 20.
- Singh, & al. (2008). Aerobic production of isoamyl acetate by overexpression of the yeast alcohol acetyl-transferases AFT1 and AFT2 in Escherichia coli and using low-cost fermentation ingredients.
- Slavica. (2019). *Application à l'industrie aéronautique*.
- Tan, T. (2021). *Application avec la modélisation de l'informatique des batiments*.
- Taylor, & Francis. (2014, octobre 27). Informa Ltd Enregistrée en Angleterre et au Pays de Galles Numéro d'enregistrement : 1072954 Siège social : Mortimer House,t, Londres W1T 3JH, Royaume-Uni. pp. 37-41.
- Thoa. (2019). *Application dans les problèmes de diagnostic médical*.

- Thomas, C., Cooper, & Rhodes. (1978). *La Méthode DEA*. Elsevier, 1-16.
- US GBC. (2014). *US GBC, U. S. G. B. C. LEED v4 for Building Operation and Maintenance*.
- US GBC. (2015a). *US GBC, U. S. G. B. C. LEED v 4 for Building design and construction*.
- US GBC. (2015b). *US GBC, U. S. G. B. C. LEED v4 for Interior Design and Construction*. , 95.
- (2017). *US GBC. LEED v4*. <https://new.usgbc.org/leed-v4>.
- US. GBC. (2019). *U. S. G. B. C. LEED v4 for Building Design and Construction*. [http://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED v4 BDC_10 01 14_current.pdf](http://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED%20v4%20BDC_10%2001%2014_current.pdf).
- US. GBC,. (2018). *US. GBC, U. S. G. B. CLEED v 4 for Building Operations and Maintenance*.
- Velasquezet, & Hester. (2013).
- Vu, B., Hernu, P., & Olin, N. (2006). *Construire ou rénover en respectant la Haute Qualité Environnementale*. Eyrolles en france .
- Waas, Hugé, J., Block, T., Wright, T., Benitez-Capistros, F., & Verbruggen, A. (2014). Sustainability assessment and indicators: tools in a decision-making strategy for sustainable development. pp. 5512-5553.
- Witt. (2022). *Application dans l'évaluation des systemes énergétique*.
- (s.d.). www.banquemondiale.org.
- www.energy.gov.dz. (s.d.).
- (s.d.). www.futura-sciences.com.