



**UNIVERSITÉ SALAH BOUBNIDER -CONSTANTINE 3 -
INSTITUT DE GESTION DES TECHNIQUES URBAINES
DÉPARTEMENT TECHNIQUES URBAINES ET ENVIRONNEMENT**

TITRE

**AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET RISQUE ENVIRONNEMENTAL
AU TERTIAIRE : CAS UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3**

THÈSE

**POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE DOCTORAT LMD
EN GESTION DES TECHNIQUES URBAINES.
OPTION : ECO-GESTION ET DEVELOPPEMENT DURABLE**

Par
Fatima Zohra FILALI

Année Universitaire
2023-2024



**UNIVERSITÉ SALAH BOUBNIDER -CONSTANTINE 3 -
INSTITUT DE GESTION DES TECHNIQUES URBAINES
DÉPARTEMENT TECHNIQUES URBAINES ET ENVIRONNEMENT**

N° de Série :

N° d'Ordre :

TITRE

AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET RISQUE ENVIRONNEMENTAL AU TERTIAIRE CAS : UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3

THÈSE

POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE DOCTORAT LMD
EN GESTION DES TECHNIQUES URBAINES.
OPTION : ECO-GESTION ET DEVELOPPEMENT DURABLE

Par

Fatima Zohra FILALI

Devant le Jury Composé de :

Djamel DEKOUMI	Président	Professeur	Université-Constantine 3
Fatima Zohra CHAFI	Directrice	MCA	Université-Constantine 3
Frédéric KUZNIK	Co-directeur	Professeur des universités	INSA LYON
Djamila ROUAG-SAFFIDINE	Examinatrice	Professeur	Université-Constantine 3
Amel Feriel BOUDJABI	Examinatrice	MCA	Université-Oum El Bouaghi
Rafik BOUDJADJA	Examineur	MCA	Université-Oum El Bouaghi

Année Universitaire
2023-2024

«سبحانك لا علم لنا الا ما علمتنا إنك انت العليم الحكيم»

سورة البقرة الآية 31

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je souhaite exprimer ma gratitude la plus sincère à ma directrice de recherche, Dr. Fatima Zohra CHAFI. Son expertise, son soutien constant et sa patience ont été des piliers tout au long de mon parcours académique. Sa disponibilité, ses compétences pédagogiques et scientifiques, ainsi que son honnêteté et sa sympathie ont grandement enrichi mon expérience. Je suis particulièrement reconnaissant pour sa relecture attentive de chaque chapitre, qui a affiné mes arguments et enrichi ma réflexion. Travailler à ses côtés a été une leçon de rigueur et d'engagement.

Je suis également très reconnaissant à mon co-directeur de thèse, Pr. Frédéric KUZNIK, qui a accepté d'encadrer ce travail de recherche. Je le remercie pour sa pertinence, sa disponibilité et la générosité de ses remarques. Son implication et son soutien ont été déterminants dans la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers les membres du jury pour leur intérêt marqué envers mon travail et pour avoir accepté d'en être les examinateurs. Leur disponibilité pour lire et évaluer cette thèse, ainsi que leurs remarques pertinentes, leurs conseils éclairés et leur contribution significative à l'enrichissement de cette recherche sont profondément appréciés.

Un remerciement spécial est adressé à Dr. Mustapha OUHIMD pour son soutien, ses conseils précieux, son éloquence et son aide indéfectible.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Dr. Zoheir Derghout pour les précieuses formations dispensées au sein du laboratoire de recherche Architecture, Environnement Urbain et Efficacité Énergétique.

Je souhaite également exprimer ma gratitude envers tous les enseignants qui m'ont soutenu dès mes premières années d'études. Leur aide a été essentielle pour atteindre mes objectifs académiques.

Enfin, je remercie tous les employés administratifs de l'Université Constantine 3 pour leur assistance, leur disponibilité et leur engagement dans la collecte des données nécessaires à ma recherche. Leur soutien a été indispensable à la réalisation de cette thèse.

DÉDICACES

*Avec tout mon respect, ma gratitude et ma reconnaissance, je dédie cet humble travail :
À Mon très cher grand-père le combattant Rabah Filali, « Allah Yarhamhou ». Il a été mon
premier soutien, le premier à croire en moi, et celui qui m'a toujours encouragé à
poursuivre le doctorat. J'aurais aimé qu'il soit présent le jour de ma soutenance, pour voir
ce que j'ai accompli, comme il l'avait toujours espéré. J'aurais voulu qu'il soit à mes côtés
pour partager ma joie et être fier de moi.*

*À mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi, m'offrant leur amour, leur
soutien inconditionnel et leurs encouragements. Vos sacrifices et votre confiance en moi
ont été une source constante de motivation. Je ne saurais jamais vraiment exprimer ce que
je ressens envers vous.*

*À mon cher époux Hamza, pour son soutien quotidien indéfectible, ses encouragements
constants et sa compréhension. Aucun mot ne pourrait exprimer pleinement ma gratitude,
mon amour et mon respect pour toi. Ton appui m'a permis de surmonter de nombreux
obstacles et d'avancer sereinement dans ce parcours.*

*À mes sœurs Ines et Haoua, ainsi qu'à mes chers frères Saber et Adem, qui ont toujours été
à mes côtés. Sans votre aide, ce travail n'aurait jamais pu aboutir. Je vous en suis très
reconnaissante. Aucune dédicace ne peut exprimer la profondeur de mes sentiments.*

*À mes très chers beaux-parents, qui m'ont offert leur amour, leur soutien inconditionnel et
leurs encouragements. Votre présence et vos paroles réconfortantes ont été d'un grand
secours.*

*À mes belles-sœurs, Votre soutien et votre gentillesse ont été une source de réconfort et de
motivation tout au long de cette aventure.*

*À mes très chères amies et sœurs de cœur, Louiza et Yasmine. Vous m'avez toujours
écoutée attentivement et aidée inlassablement. Je suis profondément reconnaissante pour
votre présence et votre fidélité. Cette œuvre vous est dédiée, en témoignage de ma
gratitude et de l'importance que vous avez dans ma vie.*

*À tous les membres de ma famille, ma grand-mère qui ne m'a jamais oubliée dans ses
prières, mes tantes, mes oncles et mes cousines.*

*À mes amies d'enfance, pour les souvenirs partagés et les moments inoubliables. À mes
collègues doctorantes, pour leurs encouragements, leurs rires, et leur compréhension tout
au long de cette aventure. Votre soutien et votre amitié ont été une source inestimable de
force et de motivation.*

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	XIII
LISTE DES TABLEAUX	XVI
LISTE DES ABREVIATIONS.....	XVIII
RÉSUMÉ	XIX
CHAPITRE INTRODUCTIF.....	1
1.1. Introduction générale	1
1.2. Problématique	5
1.3. Hypothèse	8
1.4. Objectifs de recherche	9
1.5. Méthodologie et Outils de travail	10
1.6. Structure de la thèse	14
CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL.....	17
2.1. L'audit énergétique	17
2.1.1. Définitions générales de l'audit énergétique	17
2.1.2. Définitions de l'audit énergétiques selon les normes internationales et nationales.....	19
2.1.3. Types d'audit énergétique	19
2.1.4. Les étapes de l'audit énergétique détaillé.....	21
2.1.5. Les avantages de l'audit énergétique.....	24
2.1.6. L'audit énergétique au niveau des campus universitaires dans le monde entier	24
2.1.7. Les normes sur l'audit énergétique du bâtiment.....	26
2.1.7.1. Les normes internationales.....	26
2.1.7.2. Les normes par région géographique	27
2.1.7.3. Les normes nationales	28
2.2. Introduction à la Modélisation et à la Simulation.....	30
2.2.1. Importance de la simulation énergétique.....	30
2.2.2. Aperçu sur certains logiciels et interfaces de simulation	31
2.2.2.1. TRNSYS.....	31
2.2.2.1.1. Historique de TRNSYS	31
2.2.2.1.2. Présentation et fonctionnalités clés de TRNSYS	31
2.2.2.1.3. Cas d'étude utilisant TRNSYS	32
2.2.2.2. CoDyBa.....	33
2.2.2.2.1. Historique de CodyBa	33

2.2.2.2.2.	Présentation et les fonctionnalités clé de CoDyBA.....	33
2.2.2.2.3.	Cas d'étude utilisant CoDyBa	34
2.2.2.3.	VisualDOE	35
2.2.2.3.1.	Historique et Développement de VisualDOE.....	35
2.2.2.3.2.	Présentation et fonctionnalités clés de VisualDOE.....	35
2.2.2.3.3.	Etude de cas utilisant VisualDOE	35
2.2.2.4.	HOT2000.....	37
2.2.2.4.1.	Historique de HOT2000	37
2.2.2.4.2.	Présentation et fonctionnalité clé de HOT2000.....	37
2.2.2.4.3.	Etude de cas utilisant HOT2000.....	38
2.2.2.5.	Energy plus.....	39
2.2.2.5.1.	Historique d'Energy Plus	39
2.2.2.5.2.	Présentation et fonctionnalités clés d'Energy Plus.....	39
2.2.2.5.3.	Exemples d'études utilisant Energy Plus	39
2.2.2.6.	E-Quest.....	40
2.2.2.6.1.	Historique de E-Quest	40
2.2.2.6.2.	Présentation et fonctionnalité clé de E-Quest.....	40
2.2.2.6.3.	Etude de cas utilisant E-Quest.....	41
2.2.2.7.	SIMEB.....	42
2.2.2.7.1.	Historique de SIMEB	42
2.2.2.7.2.	Présentation et fonctionnalités clé de SIMEB	42
2.2.2.7.3.	Cas d'étude utilisant SIMEB	42
2.2.2.8.	Design Builder.....	43
2.2.2.8.1.	Historique de Design Builder	43
2.2.2.8.2.	Présentation et fonctionnalités de Design Builder.....	44
2.2.2.8.3.	Exemple d'étude utilisant Design Builder.....	44
2.2.2.9.	ECO-BAT.....	46
2.2.2.9.1.	Historique de ECO-BAT	46
2.2.2.9.2.	Présentation et fonctionnalités clé de ECO-BAT	46
2.2.2.9.3.	Étude de cas utilisant ECO-BAT	46
2.3.	Consommation énergétique et risque environnemental.....	47
2.3.1.	Risque environnemental	47
2.3.2.	Les émissions de gaz à effet de serre.....	49

2.3.2.1.	La définition	49
2.3.2.2.	L'origine des émissions des gaz à effet de serre	49
2.3.3.	La consommation énergétique et l'efficacité énergétique	50
2.3.3.1.	A l'échelle internationale	50
2.3.3.2.	A l'échelle nationale.....	51
2.3.4.	Cas d'étude étranger sur La réduction de la consommation énergétique du bâtiment et émission de CO ₂	55
CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE		
3	58
3.1.	Présentation du cas d'étude.....	58
3.1.1.	Institut De Gestion Des Techniques Urbaines.....	59
3.1.2.	Faculté De Science Politique.....	61
3.1.3.	Faculté D'art Et Culture	62
3.1.4.	Faculté De Science De L'information Et De La Communication Et De L'audio-Visuel.....	64
3.1.5.	Faculté De Génie Des Procèdes.....	66
3.1.6.	Faculté De Médecine Et Le Rectorat.....	67
3.1.7.	Faculté D'architecture Et D'urbanisme	69
3.2.	La collecte des données	71
3.2.1.	Éclairage	72
3.2.2.	Climatisation.....	73
3.2.3.	Chauffage.....	75
3.2.4.	Ventilation	77
3.2.5.	Consommation énergétique	77
3.2.5.1.	Électricité	77
3.2.5.2.	Gaz	77
CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE		
4.1.	L'analyse de la consommation énergétique.....	79
4.1.1.	L'électricité.....	79
4.1.1.1.	PMD et PMA.....	79
4.1.1.2.	La consommation d'électricité	83
4.1.2.	Gaz.....	85
4.1.3.	Consommation énergétique de l'université Constantine 3	87
4.2.	L'analyse de l'inventaire	91

4.2.1.	L'éclairage	91
4.2.2.	La climatisation	95
4.3.	Comparaison de la Consommation Énergétique Basée sur les Factures et l'Inventaire	96
4.4.	Émission de CO ₂	99
4.5.	Benchmarks de la Consommation Énergétique de l'Université Constantine 3... 100	
4.6.	Cartographie Énergie-CO ₂ : Un Outil pour Visualiser la Consommation d'Énergie et son Impact Environnemental	106
4.6.1.	Cartographie Énergie-CO ₂ à l'échelle international	106
4.6.2.	Cartographie Énergie-CO ₂ à l'échelle national cas université Constantine 3.....	109
CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME		118
5.1.	Présentation du logiciel CoDyBa.....	119
5.2.	Utilisations pratiques du logiciel	127
5.2.1.	Présentation du cas d'étude	127
5.2.2.	Modélisation	128
5.2.2.1.	Hypothèses de modélisations	128
5.2.3.	Description du bâtiment	132
5.2.3.1.	L'enveloppe de bâtiment.....	132
5.2.3.2.	Scénarios thermiques CVC du bâtiment	136
5.2.3.2.1.	Chauffage	136
5.2.3.2.2.	Renouvellement d'air par infiltrations.....	137
5.2.3.2.3.	Climatisation.....	139
5.2.3.3.	Scénarios thermiques des charges internes du bâtiment	139
5.2.3.3.1.	Occupation.....	139
5.2.3.3.2.	Éclairage	140
5.2.3.3.3.	Équipements Informatiques et reprographie	141
5.2.3.4.	Les scenarios des activités.....	142
5.2.3.4.1.	Chauffage et climatisations	142
5.2.3.4.2.	Renouvellement d'air par infiltrations.....	143
5.2.3.4.3.	Profils des charges internes (éclairage, équipements et occupation) 144	
5.2.4.	Simulation et analyse.....	144
5.2.4.1.	Climat du site	144
5.2.4.2.	Consommations réelles d'énergie (gaz et électricité)	149

5.2.4.2.1. Consommation d'électricité (climatisation, éclairage et équipements).....	149
5.2.4.2.2. Consommation de gaz (chauffage).....	151
5.2.5 Résultats Et Analyse.....	153
5.2.6 Étiquette DPE ET GES du bâtiment.....	157
5.2.6.1 Étiquette DPE	157
5.2.6.2 Étiquette GES	157
5.2.7 Préconisations.....	158
5.2.7.1 Réglage de la consigne de chauffage et de la climatisation.....	158
5.2.7.2 Isolation du bâtiment	158
5.2.7.3 Le double vitrage	159
5.2.7.4 Double vitrage et l'isolant.....	160
5.2.7.5 Double vitrage et l'optimisation de la consigne de température	160
5.2.7.6 L'isolant et l'optimisation de la consigne de consigne de température ...	160
5.2.7.7 Double vitrage et l'isolant et l'optimisation de la consigne de température	160
5.2.8 Synthèse.....	160
CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE.....	169
6.1. Analyse du comportement des occupants et de leur impact sur la consommation énergétique à l'échelle internationale	169
6.2. Étude de l'impact du comportement des employés administratifs sur la consommation d'électricité à l'université Salah Bounider Constantine 3.....	172
6.2.1. Comportement des employés administratifs et leur impact sur la consommation d'électricité : une étude empirique	172
6.2.1.1. La fréquence horaire d'utilisation des appareils électrique par jour	172
6.2.1.2. Gestion des appareils électriques laissés en marche durant les heures de travail sans utilisation.	174
6.2.1.3. Arrêt des appareils électriques pendant la pause déjeuner.	177
6.2.1.4. Fonctionnements des appareils électriques durant les weekends.....	179
6.2.1.5. La fréquence horaire d'utilisation de la climatisation par jour.	180
6.2.1.6. Réglages de température de la climatisation.	181

6.2.1.7. Évaluation de la conscience des employés administratifs sur la consommation d'énergie.....	183
6.2.1.7.1. Actions du personnel administratif pour réduire la consommation d'énergie à l'université : éteindre les lumières en quittant le bureau.....	185
6.2.1.7.2. Actions du personnel administratif pour réduire la consommation d'énergie à l'université : éteindre les climatiseurs en quittant le bureau	187
6.2.1.7.3. Actions du personnel administratif pour réduire la consommation d'énergie à l'université : éteindre les appareils électriques inutilisé en quittant le bureau.....	189
6.2.1.7.4. Actions du personnel administratif pour réduire la consommation d'énergie à l'université : Réduction de la climatisation quand c'est possible.....	191
6.2.1.7.5. Actions du personnel administratif pour réduire la consommation d'énergie à l'université : Utilisation des escaliers plutôt que de l'ascenseur au niveau du rectorat.....	193
6.2.1.8. Degré de Connaissances des notions énergétiques	194
6.2.1.8.1. Connaissance de la notion transition énergétique	194
6.2.1.8.2. Connaissance de la notion maîtrise de l'énergie	196
6.2.1.8.3. Connaissance de la notion économie de l'énergie.....	197
6.2.1.9. Connaissance du programme national 2016-2030 sur l'efficacité énergétique.....	199
6.2.1.10. La Prédilection des Employés à Modifier Leurs Comportements....	200
6.2.1.10.1. Capacité à modifier les comportements de consommation énergétique sur le campus universitaire	200
6.2.1.10.2. Capacité à apprendre à consommer moins d'énergie.....	202
6.2.1.10.3. Capacité à appliquer les bonnes pratiques pour réduire la consommation d'énergie sur le campus universitaire.	203
CONCLUSIONS GÉNÉRALE	207
BIBLIOGRAPHIE	212
LISTE DES ANNEXES	224
Annexe A : Formulaire des questionnaires.	224
Annexe B : Cadres institutionnelles et juridique du l'audit énergétique	229
Annexe C : Des photos réelles des tubes fluorescents et du climatiseur.	231
Annexe D : Une photo de la facture d'électricité de la Faculté d'Art et Culture.	232
Annexe E : Inventaire énergétique.....	233
Annexe F : Dimensions du modèle.....	258
Annexe G : Coefficients d'échange convectif selon la DTR C3-2.....	273
Annexe H : Caractéristiques thermiques des tubes fluorescents	273

Annexe I : l'usage de L'éclairage.....	273
Annexe J: Article	278

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1.1 Consommation finale par secteur en Algérie.	6
1.2 Répartition de la consommation du secteur tertiaire par type d'énergie.	7
2.1 Une carte mentale des étapes de l'audit énergétique détaillée.	23
2.2 Une carte mentale des normes de l'audit énergétique détaillée.	30
2.3 La répartition de la consommation finale d'énergie et les émissions par secteur.	50
2.4 La structure la consommation finale par secteur 2019.	52
2.5 Projections des émissions du CO ₂ en Algérie.	54
3.1 Photo aérienne de l'université Salah Boubnider Constantine 3.	59
3.2 Photo aérienne de l'institut gestions des techniques urbaines.	60
3.3 Photo de l'institut gestions des techniques urbaines.	61
3.4 Photo aérienne de la faculté de science politique.	62
3.5 Photo de la faculté de science politique.	62
3.6 Photo aérienne de la faculté d'art et culture.	63
3.7 Photo de la faculté d'art et culture.	64
3.8 Photo aérienne de la faculté de Science de l'information et de la communication et de l'audio-visuel.	65
3.9 Photo de la faculté de Science de L'information et de La communication et de l'audio-visuel.	65
3.10 Photo aérienne de la faculté de Génie des Procédés.	66
3.11 Photo de la faculté de Génie des Procédés.	67
3.12 Photo aérienne de la faculté de Médecine + le Rectorat.	68
3.13 Photo de la faculté de Médecine.	68
3.14 Photo du Rectorat.	69
3.15 Photo aérienne de la faculté D'architecture Et D'urbanisme.	70
3.16 Photo de la faculté D'architecture Et D'urbanisme.	70
3.17 Le nombre d'étudiants, d'enseignants et d'employés administratifs pour chaque faculté ou institut.	71
3.18 Le nombre des luminaires pour chaque faculté et institut.	72
3.19 La puissance d'éclairage en kilowatts (kW) pour chaque faculté et institut.	73
3.20 Les nombre des climatiseurs pour chaque faculté et institut.	74
3.21 La puissance des climatiseurs en kilowatts (kW) pour chaque faculté et institut.	74
3.22 Local de la chaudière au niveau de la faculté des arts et la culture.	75
3.23 Le nombre des radiateurs pour chaque faculté et institut.	76
3.24 La puissance des radiateurs en kilowatts KW pour chaque faculté et institut.	76
4.1 Comparaison entre le PMD et le PMA pour chaque faculté/institut.	82
4.2 La consommation d'électricité en (kWh) Pour chaque faculté/institut 2018-2023.	84
4.3 La consommation du gaz en thermie (TH) pour chaque faculté/institut 2018-2023.	86
4.4 La comparaison entre la consommation moyenne annuelle du gaz en (MWh) et d'électricité (MWh) de l'université Salah Boubnider Constantine 3.	88
4.5 La consommation énergétique moyenne en TEP pour chaque faculté/institut par ordre décroissant.	90
4.6 La consommation d'électricité par l'éclairage (kWh.an) pour chaque faculté /institut par ordre décroissant selon l'inventaire établie par l'auteure.	92
4.7 Photo des luminaires au niveau des facultés et institut.	93
4.8 La consommation d'électricité par la climatisation (kWh.an) pour chaque faculté institut par ordre décroissant selon l'inventaire établie par l'auteure.	95

4.9 La comparaison entre la consommation d'électricité affichée sur les factures et la consommation d'électricité de l'éclairage et la climatisation selon l'inventaire établie par l'auteure.	97
4.10 la comparaison entre la consommation totale d'électricité affichée sur les factures et la consommation totale de l'éclairage et la climatisation de l'université Salah Boubnider Constantine 3.	98
4.11 L'émission de CO ₂ en (Tonne) pour chaque faculté/institut.	100
4.12 Comparaison de l'Intensité d'Utilisation de l'Énergie des facultés et institut.	104
4.13 Comparaison de l'Intensité d'Utilisation de l'Énergie des universités.	105
4.14 La carte de la consommation de l'électricité en kWh de l'université Constantine 3 années : 2018-2023.	110
4.15 La carte de la consommation du gaz en Th de l'université Constantine 3 années : 2018-2023.	111
4.16 La carte de la consommation moyenne annuelle énergétique en TEP de l'université Constantine 3.	114
4.17 La carte des émissions de CO ₂ de l'université Constantine 3.	115
5.1 L'interface du logiciel.	119
5.2 Écran du menu de la bibliothèque des matériaux.	120
5.3 Écran du menu du bâtiment.	121
5.4 Fenêtre de saisie les informations de la paroi.	122
5.5 Fenêtre de saisie les informations de fenêtre.	123
5.6 Écran du menu de site.	123
5.7 Fenêtre de saisie les informations de la charge interne des personnes.	124
5.8 Écran du menu des scénarios d'occupation.	125
5.9 L'interface dédiée au calcul.	126
5.10 Image aérienne de la faculté d'architecture et d'urbanisme.	128
5.11 Plan adapté du zonage CoDyBa du niveau RDC de la faculté d'architecture et d'urbanisme.	130
5.12 Répartition de puissance des occupants considérée dans CoDyBa.	140
5.13 Répartitions de puissance des tubes fluorescents considérée. dans CoDyBa.	141
5.14 Répartition de puissance des outils informatique considérée dans CoDyBa.	142
5.15 Flux solaire annuel horizontal direct (W/m ²) – Pas de temps horaire.	145
5.16 Flux solaire annuel horizontal diffus (W/m ²) - Pas de temps horaire.	145
5.17 Évolution annuelle de la température de l'air extérieur en °C.	146
5.18 Température de l'air extérieur en hiver en °C.	146
5.19 Température de l'air extérieur en printemps en °C.	147
5.20 Température de l'air extérieur en automne en °C.	147
5.21 Température de l'air extérieur (°C) en période chaude considérée.	148
5.22 Comparaison entre la moyenne de l'énergie de chauffage fournie et l'énergie de chauffage simulée par CoDyBa (MWh).	154
5.23 Comparaison entre l'énergie de chauffage simulée par CoDyBa et l'énergie de chauffage fournie pour les années considérées.	155
5.24 Comparaison entre l'énergie de la climatisation calculée selon l'inventaire et simulée par CoDyBa (MWh).	156
5.25 Étiquette de DPE et GES de la faculté d'architecture et d'urbanisme	158
5.26 Diverses préconisations accompagnées du pourcentage d'économie d'énergie de chauffage réalisable à travers leur mise en œuvre.	162
5.27 Diverses préconisations accompagnées du pourcentage de surconsommation de climatisation à travers leur mise en œuvre.	163

5.28 Économies d'électricité grâce aux préconisations M1 et M12 où l'amélioration de la consigne de climatisation est appliquée (26°C).....	163
5.29 Diverses préconisations accompagnées du pourcentage de réduction CO ₂ de chauffage réalisable à travers leur mise en œuvre.....	166
6.1 La fréquence horaire d'utilisation des appareils électrique par jour.....	173
6.2 La fréquence horaire des appareils électriques laissés en marche durant les heures de travail sans utilisation.....	175
6.3 Extinction des appareils lors de la pause déjeuner.....	177
6.4 Garder les appareils électriques en marche durant les jours de repos.....	179
6.5 La fréquence horaire d'utilisation de la climatisation par jour.....	180
6.6 Réglages de température de la climatisation dans diverses facultés et institut.....	182
6.7 Évaluation de la conscience des employés administratifs sur la consommation d'énergie.....	184
6.8 Actions personnelles pour réduire la consommation d'énergie à l'université : éteindre les lumières en quittant le bureau.....	186
6.9 Actions personnelles pour réduire la consommation d'énergie à l'université : éteindre les climatiseurs en quittant le bureau.....	188
6.10 Actions personnelles pour réduire la consommation d'énergie à l'université : éteindre les appareils électriques inutilisé en quittant le bureau.....	190
6.11 Actions personnelles pour réduire la consommation d'énergie à l'université : Réduction de la climatisation quand c'est possible.....	191
6.12 Actions personnelles pour réduire la consommation d'énergie à l'université : Utilisation des escaliers plutôt que de l'ascenseur au niveau du rectorat.....	193
6.13 Connaissance de la notion transition énergétique par les employés administratifs...	195
6.14 Connaissance de la notion maîtrise de l'énergie par les employés administratifs...	196
6.15 Connaissance de la notion économie de l'énergie par les employés administratifs..	198
6.16 Connaissance du programme national 2016-2030 sur l'efficacité énergétique.....	199
6.17 Capacité à modifier les comportements de consommation énergétique sur le campus universitaire.....	201
6.18 Capacité à apprendre à consommer moins d'énergie.....	202
6.19 Capacité à appliquer les bonnes pratiques pour réduire la consommation d'énergie sur le campus universitaire.....	203

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	page
1.1 : La répartition de nombre et pourcentage de questionnaire dans chaque faculté et institut	13
5.1: Surface totale, non chauffée et Surface utile de chaque niveau.....	131
5.2: Analyse comparative des écarts absolus et relatifs des superficies entre les plans architecturaux originaux et simplifiés.....	131
5.3:Récapitulatif des caractéristiques thermiques des matériaux et leur épaisseur.....	132
5.4 :Surfaces vitrées par rapport au surface totale des parois en m2 pour chaque niveau.....	134
5.5 : Superficie et pourcentage de chaque type de vitrage pour chaque niveau.....	134
5.6 : Superficie des vitrages avec le pourcentage des types SV et DV.....	135
5.7:Les caractéristiques des revêtements et leurs coefficients d'échange convectifs.....	136
5.8: Données techniques relatives aux chaudières.....	137
5.9: Taux d'infiltrations d'air (vol/h).....	138
5.10:Nombre et puissances unitaires électriques et thermiques des climatiseurs.....	139
5.11:Nombre des occupants et leurs pourcentages moyens de présence par niveau.....	140
5.12:Nombre de luminaires et leurs pourcentages d'utilisation simultanée estimés par niveau.....	141
5.13:Nombre et la puissance électrique /thermique de chaque outil informatique.....	142
5.14: Tableau récapitulatif des scénarios des activités avec la consigne des systèmes de chauffage et climatisations.....	143
5.15: Profils d'activité pour le renouvellement d'air.....	144
5.16: Profils d'activité pour les charges internes.....	144
5.17: Températures minimales, moyennes et maximales de l'air extérieur (en °C) selon les périodes considérées.....	148
5.18: Consommations d'électricité mensuelles et annuelle avec une moyenne annuelle calculée.....	149
5.19: Consommations annuelle d'électricité calculée à partir d'inventaires pour les postes d'éclairage, des équipements et de climatisation.....	150
5.20:Comparaison des consommations annuelles d'électricité réelles et théoriques.....	151
5.21 : Consommations thermiques (gaz) mensuelles et annuelle avec une moyenne annuelle calculée.....	151
5.22: Consommation annuelle réelle et effectives de gaz avec les informations sur la performance des chaudières.....	152
5.23: Consommation de gaz dédiée au chauffage de 2018 à 2022, incluant à la fois la moyenne de l'énergie de chauffage réelle et celle estimée par CoDyBa.....	153
5.24:Caractéristiques de l'isolant utilisé avec les épaisseurs évaluées dans l'audit.....	159
5.25: Caractéristiques des fenêtres double vitrage.....	159
5.26: Différentes préconisations et les résultats correspondants (en kWh).....	161

5.27:Différentes préconisations et les résultats correspondants (en tonnes de CO ₂).....	165
--	-----

LISTE DES ABREVIATIONS

GES : Gaz à Effet de Serre
PMA : la Puissance Maximale Atteinte
PMD : la Puissance Mise à Disposition
IUE : Intensité d'Utilisation de l'Énergie
TIC : Technologies de l'Information et de la Communication
APRUE : Agence pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie
EIA : *Energy Information Administration*
HVAC: *Heating, Ventilation, and Air Conditioning*
CEREFÉ : Commissariat aux Énergies Renouvelables et à l'Efficacité Énergétique
PNEREE : Programme National d'Efficacité Énergétique
AE : Audit Énergétique
ISO : Organisation Internationale de Normalisation
IEC : Commission Électrotechnique Internationale
CVC : Chauffage, Ventilation et Climatisation
SIG : Système d'Information Géographique
NRE : Énergie Non Renouvelable
CoDyBa : Code de Simulation Dynamique du Bâtiment
TEP : Tonnes Équivalent Pétrole
PNME : Programme National de Maîtrise de l'Énergie
FNME : Fonds National pour la Maîtrise de l'Énergie
CIME : Comité Intersectoriel de la Maîtrise de l'Énergie
CLO : Rayonnement en Courte Longueurs d'Onde
GLO : Rayonnement de Grandes Longueurs d'Onde
SONELGAZ : Société Nationale de l'Électricité et du Gaz
BTU: British Thermal Unit
kWh: Kilowatt heure

RÉSUMÉ

Il est certain que la croissance démographique entraîne une hausse des besoins énergétiques, augmentant ainsi les émissions de CO₂ et contribuant au changement climatique. L'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments est donc une mesure clé pour réduire cette consommation et les émissions associées.

L'audit énergétique est une étape essentielle dans l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments ; Ce processus systémique permet d'analyser la consommation d'énergie d'un bâtiment, d'identifier les principales sources de gaspillage et de repérer les opportunités d'économie.

Cette thèse de recherche met en lumière l'importance de l'audit énergétique dans le secteur tertiaire, précisément à l'université Salah Boubnider Constantine 3. L'objectif principal est de réaliser un audit énergétique détaillé pour améliorer l'efficacité énergétique de l'université, réduire l'impact environnemental de sa consommation énergétique et répondre aux exigences de la politique nationale algérienne sur l'efficacité énergétique et la maîtrise de l'énergie.

Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé une méthodologie analytique en analysant les factures de gaz et d'électricité, ainsi que l'inventaire énergétique. Ensuite, l'étude s'est penchée sur la simulation numérique en utilisant le logiciel CoDyBa pour la simulation énergétique de la faculté d'architecture et d'urbanisme comme exemple d'étude. Nous avons également mené une étude empirique pour évaluer les comportements des employés administratifs en matière de consommation énergétique.

Les résultats révèlent que l'université Salah Boubnider Constantine 3 doit mettre en place un audit énergétique en conformité avec le Décret exécutif n°05-495, compte tenu d'une consommation énergétique totale de 1550,93 TEP.. Nous avons relevé que la climatisation et l'éclairage sont les parts d'énergie les plus notables. Nos analyses ont révélé un surdimensionnement de l'éclairage. Les simulations ont permis de proposer des recommandations efficaces et peu coûteuses, telles que la modification des consignes de chauffage et de climatisation ; il serait plus judicieux de mettre le climatiseur à 26°C. Ceci pourrait réduire la consommation énergétique de 46 % sans coût initial. De plus, l'étude empirique a révélé que la majorité des employés administratifs ne sont pas conscients de leur consommation énergétique.

Des recommandations pour l'amélioration de l'efficacité énergétique ont été dérivées de cette recherche, visant à optimiser la gestion énergétique de l'université et à réduire son empreinte carbone.

Mots clés : Audit énergétique, Consommations Energétique, Efficacité Energétique, Emissions de CO₂, Risque Environnemental, Université Salah Boubnider Constantine 3.

ABSTRACT

It is well established that population growth leads to an increase in energy demand, thereby raising CO₂ emissions and contributing to climate change. Enhancing the energy efficiency of buildings is therefore a crucial measure to curb this consumption and its associated emissions.

Energy auditing is an essential step in improving building energy efficiency; this systematic process allows for the analysis of a building's energy consumption, identification of major sources of waste, and pinpointing of savings opportunities.

This research thesis emphasizes the importance of energy auditing in the tertiary sector, specifically at Salah Boubnider University Constantine 3. The main objective is to conduct a detailed energy audit to enhance the university's energy efficiency, reduce the environmental impact of its energy consumption, and comply with Algeria's national policy on energy efficiency and energy management.

To achieve this goal, we employed an analytical methodology, analyzing gas and electricity bills as well as the energy inventory. The study then focused on numerical simulation using CoDyBa software to model the energy consumption of the Faculty of Architecture and Urbanism as a case study. Additionally, we conducted an empirical study to evaluate the energy consumption behaviors of administrative employees.

The results indicate that Salah Boubnider University Constantine 3 requires an energy audit in accordance with Executive Decree No. 05-495, with a total consumption of 1550.93 TEP. Air conditioning and lighting were found to constitute the most significant portions of energy use, with lighting showing signs of oversizing. Simulations enabled us to propose effective, low-cost recommendations, such as adjusting heating and cooling settings, with an air conditioner set to 26°C being more optimal. This could reduce energy consumption by 46% without any initial cost. Furthermore, the empirical study revealed that the majority of administrative employees are unaware of their energy consumption.

Recommendations for enhancing energy efficiency were derived from this research, aiming to optimize the university's energy management and reduce its carbon footprint.

Keywords: Energy Audit, Environmental Risk, Energy Consumption, CO₂ Emissions, Energy Efficiency, Salah Boubnider Constantine 3 University.

ملخص

من المؤكد أن النمو السكاني يؤدي إلى زيادة الاحتياجات الطاقية، مما يزيد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ويساهم في التغير المناخي. لذلك، يعد تحسين كفاءة الطاقة في المباني إجراءً رئيسياً لتقليل هذا الاستهلاك والانبعاثات المرتبطة به.

يعد التدقيق الطاقوي خطوة أساسية في تعزيز كفاءة الطاقة للمباني. تسمح هذه العملية المنهجية بتحليل استهلاك الطاقة في المبنى، وتحديد المصادر الرئيسية للهدر، واكتشاف فرص التوفير.

تسلط هذه الأطروحة البحثية الضوء على أهمية تدقيق الطاقوي في القطاع الثالث، وتحديدًا في جامعة صالح بوبنيدر قسنطينة 3. الهدف الرئيسي هو إجراء تدقيق طاقوي مفصل لتحسين كفاءة استخدام الطاقة بالجامعة، وتقليل الأثر البيئي لاستهلاكها الطاقوي، وتلبية متطلبات السياسة الوطنية الجزائرية بشأن كفاءة الطاقة وإدارتها.

لتحقيق هذا الهدف، استخدمنا منهجية تحليلية من خلال تحليل فواتير الغاز والكهرباء، وكذلك جرد الطاقة. ثم تركزت لمحاكاة الطاقة كمثال دراسة لكلية الهندسة المعمارية و التخطيط على المحاكاة العددية باستخدام برنامج CoDyBa كما أجرينا دراسة تجريبية لتقييم سلوكيات استهلاك الطاقة لدى الموظفين الإداريين .

أظهرت النتائج أن جامعة صالح بوبنيدر قسنطينة 3 تحتاج إلى إجراء تدقيق طاقوي وفقاً للمرسوم التنفيذي رقم 05-495 مع إجمالي استهلاك يبلغ 1550.93 طن مكافئ نפט. من بين نقاط استهلاك الطاقة المحددة، تبرز في المكيفات والإضاءة بشكل خاص. كشفت تحليلاتنا عن فرط في حجم الإضاءة. سمحت لنا المحاكاة بتقديم توصيات فعالة ومنخفضة التكلفة، مثل تغيير إعدادات التدفئة والتبريد. سيكون من الأفضل ضبط مكيف الهواء على 26 يمكن أن يقلل ذلك من استهلاك الطاقة بنسبة 46% دون تكلفة أولية. علاوة على ذلك، كشفت الدراسة التجريبية أن غالبية الموظفين الإداريين غير مدركين لاستهلاكهم الطاقوي .

تم استخلاص توصيات لتحسين كفاءة الطاقة من هذا البحث، بهدف تحسين إدارة الطاقة بالجامعة وتقليل بصمتها الكربونية.

الكلمات المفتاحية: تدقيق الطاقوي، المخاطر البيئية، استهلاك الطاقة، انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، كفاءة الطاقة، جامعة صالح بوبنيدر قسنطينة 3.

CHAPITRE INTRODUCTIF

1.1.Introduction générale

La consommation énergétique des bâtiments augmente de manière continue en raison de la croissance démographique et de l'urbanisation. Cette hausse de la demande énergétique entraîne une augmentation des émissions de CO₂ dans l'atmosphère, contribuant ainsi au changement climatique.

Depuis plus de cinquante ans, la consommation énergétique mondiale a augmenté presque chaque année, à un rythme moyen de 1 % à 2 % par an. Cette augmentation est largement due à la croissance démographique et à l'augmentation des revenus dans les pays en développement.(Ritchie et al., 2020)

Le changement climatique est l'un des défis les plus critiques pour l'humanité. Il menace la sécurité alimentaire, l'approvisionnement en eau douce et la santé humaine. Les effets du changement climatique, tels que l'élévation du niveau de la mer, les sécheresses, les inondations et les phénomènes météorologiques extrêmes, seront plus graves si des mesures ne sont pas prises pour réduire drastiquement les émissions de gaz à effet de serre. Bien que le lien entre l'action humaine et le réchauffement de la planète soit un consensus scientifique quasi unanime, les liens entre la croissance démographique et le changement climatique méritent une exploration approfondie.(Darío Gómez et al., 2006)

En 2023, la population mondiale a dépassé les 8 milliards d'êtres humains. Avec 1 milliard de personnes supplémentaires projetées d'ici 2040 et encore 1 milliard de plus d'ici 2060, les tendances démographiques jouent un rôle important dans la compréhension et la confrontation de la crise climatique mondiale. La croissance démographique, ainsi que la consommation croissante, tendent à augmenter les émissions de gaz à effet de serre. Elle aggrave également les impacts du changement climatique en exerçant une pression sur les ressources et en exposant davantage de personnes aux risques climatiques.

Le changement climatique est étroitement lié à la croissance démographique. Chaque personne supplémentaire augmente les émissions de carbone et le nombre de victimes du changement climatique. Par exemple, les États-Unis représentent un peu plus de 4 % de la population mondiale mais comptent pour 17 % de la consommation énergétique mondiale. Les émissions de carbone par personne aux États-Unis sont parmi les plus élevées au monde. Les habitants des États-Unis, de l'Australie et du Canada ont des empreintes carbone près

CHAPITRE INTRODUCTIF

de 200 fois plus grandes que celles des personnes vivant dans certains des pays les plus pauvres d'Afrique subsaharienne, tels que le Tchad, le Niger et la République centrafricaine. (Population Connection, 2024)

Selon le rapport de l'Energy Information Administration (EIA), la consommation mondiale d'énergie devrait augmenter de 34 %, passant de 638 quadrillions d'unités thermiques britanniques (quads) en 2022 à 855 quads en 2050 dans le scénario de référence, avec des variations entre 739 quads et 999 quads selon d'autres scénarios.

Les émissions de CO₂ liées à l'énergie augmenteraient de 15 %, passant de 35,7 milliards de tonnes métriques en 2022 à 41,0 milliards de tonnes métriques en 2050 dans le scénario de référence, avec des variations possibles entre 35,1 et 47,9 milliards de tonnes métriques. La population mondiale passerait de 7,9 milliards en 2022 à 9,6 milliards en 2050, avec un taux de croissance annuel moyen de 0,7 %. Les régions connaissant les plus fortes augmentations de population d'ici 2050 sont l'Afrique (1 milliard), la région Asie-Pacifique (306 millions) et l'Inde (249 millions). À l'inverse, la Chine, le Japon, la Russie et la Corée du Sud verront leur population diminuer.

En Inde, pays actuellement le plus peuplé, la consommation énergétique dans les bâtiments devrait tripler d'ici 2050 par rapport à 2022, principalement en raison de la croissance rapide de la population et de l'augmentation des revenus. La consommation d'électricité pour les bâtiments résidentiels augmente plus rapidement que pour les autres secteurs, en raison de la demande accrue pour la climatisation, les appareils électriques et autres dispositifs. (Energy Information Administration (EIA), 2023)

En particulier, le secteur de la construction joue un rôle crucial dans cette augmentation de la consommation énergétique. Selon le rapport Global Status for Buildings and Construction 2024, le secteur de la construction est le plus gros consommateur d'énergie au monde. En 2022, il représentait 30 % de la demande finale d'énergie, principalement pour des besoins opérationnels comme le chauffage et la climatisation. En incluant l'énergie nécessaire à la production des matériaux de construction, ce chiffre s'élève à 34 %.

Les émissions de CO₂ provenant des opérations et de la construction des bâtiments ont atteint des nouveaux sommets en 2022, représentant 37 % des émissions mondiales totales de CO₂, atteignant presque 10 gigatonnes (Gt) de CO₂. Cela reflète une croissance des émissions indirectes liées à l'utilisation de l'électricité à 6,8 GtCO₂, tandis que les émissions

CHAPITRE INTRODUCTIF

directes des bâtiments ont légèrement diminué à 3 GtCO₂. (Global Alliance for Buildings and Construction, 2024)

La demande énergétique augmente à mesure que les populations s'enrichissent et croissent. Si cette demande accrue n'est pas compensée par des améliorations de l'efficacité énergétique, la consommation mondiale d'énergie continuera de croître. L'enjeu aujourd'hui est de maintenir et d'améliorer le confort des citoyens tout en réduisant les déperditions et les consommations énergétiques liées au chauffage et à la climatisation, tout en respectant la réglementation en vigueur.

Il existe de nombreuses stratégies pour réduire la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre. Parmi elles, on trouve l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments à travers diverses modifications de l'enveloppe du bâtiment, comme l'utilisation d'isolants thermiques pour les murs et l'installation de double ou triple vitrage. L'utilisation de systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (HVAC) performants sur le plan énergétique, ainsi que l'adoption d'équipements économes en énergie, sont également cruciales. L'introduction des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans les bâtiments peut également contribuer à l'optimisation de la consommation énergétique.

Un aspect fondamental de ces efforts est le comportement des occupants. Une écoresponsabilité de leur part est indispensable pour que toutes ces mesures soient réellement efficaces. En adoptant des habitudes de consommation d'énergie plus responsables, les occupants peuvent significativement contribuer à la réduction de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂.

L'audit énergétique des bâtiments est une étape cruciale pour améliorer l'efficacité énergétique. Il s'agit d'un état des lieux et d'un diagnostic de la consommation énergétique du bâtiment. Avant d'entreprendre une rénovation énergétique ou d'améliorer l'efficacité énergétique, il est essentiel de réaliser un audit énergétique.

Cet audit permet d'identifier les opportunités d'économie d'énergie, de déterminer les zones de déperdition énergétique, et de proposer des solutions concrètes pour réduire la consommation énergétique. En fournissant une évaluation détaillée de la performance énergétique d'un bâtiment, l'audit énergétique permet de mettre en place des stratégies ciblées pour optimiser l'utilisation de l'énergie, ce qui peut entraîner des économies

CHAPITRE INTRODUCTIF

substantielles sur les coûts énergétiques et une réduction significative des émissions de gaz à effet de serre.

La population de l'Algérie a connu une croissance constante au cours des dernières décennies. En 2024, elle était estimée à environ 46,3 millions d'habitants, avec un taux de croissance annuel d'environ 1,47 % par rapport à l'année précédente (EIA U.S Energy Information Administration, 2024). Cette augmentation démographique exerce une pression croissante sur les ressources énergétiques du pays, car une population plus nombreuse nécessite plus d'énergie pour le chauffage, la climatisation, l'éclairage, et d'autres besoins quotidiens.

En tant que grand producteur et exportateur d'hydrocarbures, l'Algérie dépend fortement des énergies fossiles pour ses besoins énergétiques. En 2022, la consommation énergétique totale a augmenté de 3 % pour atteindre environ 66 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep). Les émissions de CO₂ provenant de l'utilisation de l'énergie ont augmenté de 2 % pour atteindre 155 Mt en 2022, après une augmentation de 9 % en 2021 et une contraction de 6 % en 2020. L'Algérie est le troisième plus grand émetteur de CO₂ en Afrique. (EnerData, 2022)

Pour atténuer le changement climatique et minimiser la consommation énergétique, l'Algérie a pris diverses mesures au fil des années. Celles-ci incluent des initiatives législatives et réglementaires, ainsi que le développement de programmes nationaux d'énergies renouvelables et d'efficacité énergétique. La loi sur la maîtrise de l'énergie (Ministère De L'énergie Et Des Mines, 1999) fournit un cadre de référence pour le développement et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie. Un dispositif national institutionnel a été mis en place pour la maîtrise de l'énergie, comprenant :

- Le Programme National de Maîtrise de l'Énergie (PNME)
- Le Fonds National pour la Maîtrise de l'Énergie (FNME)
- Le Comité Intersectoriel de la Maîtrise de l'Énergie (CIME)
- L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (APRUE).

Les mesures fortes que le gouvernement envisage de mettre en œuvre en matière d'efficacité énergétique, visent essentiellement une réduction drastique du gaspillage. Il a

été préconisé d'encourager cette tendance, dont la mise en œuvre au niveau des différents secteurs d'activité (Le Commissariat aux Énergies Renouvelables et à l'Efficacité Énergétique (CEREFÉ), 2020). Parmi les mesures adoptées en Algérie pour la maîtrise de l'énergie et efficacité énergétique est l'audit énergétique.

Malgré la disponibilité de textes réglementaires et législatifs en matière d'efficacité énergétique, y compris l'audit énergétique, leur application reste faible. Selon les résultats obtenus par (Malik Bensafta, 2020), il existe une contradiction entre les différents programmes nationaux de maîtrise de l'énergie et le faible niveau d'application de l'efficacité énergétique dans le pays. Cela révèle un gaspillage énergétique important et un usage irrationnel de l'énergie domestique en Algérie. Par conséquent, la consommation d'énergie continue d'augmenter.

Le présent travail propose de réaliser un audit énergétique détaillé au sein de l'université Constantine 3, dans le but d'analyser la consommation énergétique de l'université ainsi que son impact environnemental. Il vise également à identifier les opportunités d'économie d'énergie. À noter que l'audit énergétique n'a jamais fait l'objet d'étude dans le secteur tertiaire en Algérie.

1.2.Problématique

Le secteur tertiaire, qui comprend tous les bâtiments commerciaux et publics (écoles, restaurants, hôtels, hôpitaux, musées, université etc.), représente une part importante de la consommation énergétique. Aux États-Unis, la consommation d'énergie dans le secteur tertiaire est passée de 11 % à 18 % depuis les années 1950. (Pérez-Lombard et al., 2008)

En Algérie le bâtiment est le plus grand consommateur d'énergie, il représente entre 30 et 40% des consommations finales mondiales. (APRUE, 2017) . Selon le Bilan Énergétique National de la consommation finale Édition 2023, l'énergie consommée a atteint 53,3 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep) en 2022, contre 50,2 Mtep en 2021, soit une augmentation de 5,9 %. Cette hausse est principalement attribuable à l'augmentation de la consommation de presque tous les types de produits énergétiques, notamment le gaz naturel et l'électricité. Le secteur "Résidentiel et Tertiaire" absorbe la plus grande part avec 47 %, suivi par les transports à 29 %, l'industrie à 24 % et l'agriculture à 1 % (voir la Figure 1.1). (Ministère de l'énergie et des mines, 2023)

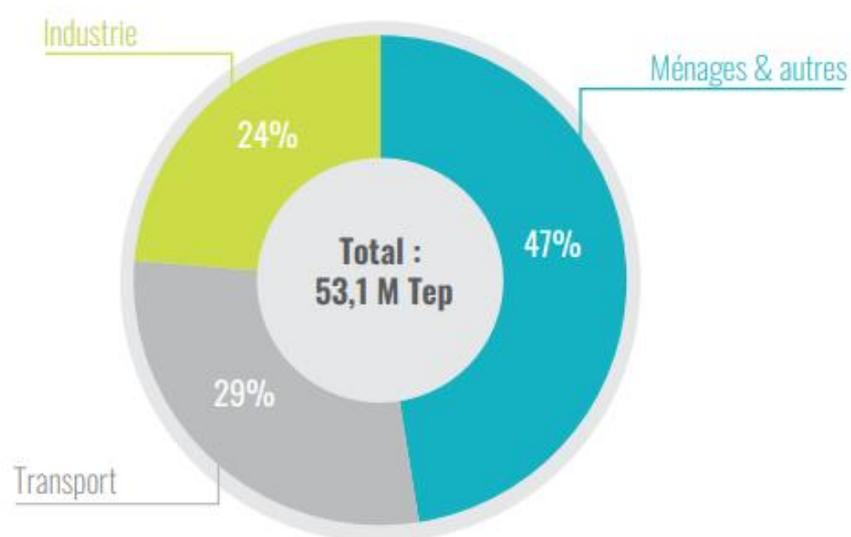


Figure 1.1 Consommation finale par secteur en Algérie.

Source : Bilan Énergétique National de la consommation finale 2023.

L'étude de la répartition de la consommation du tertiaire par type d'énergie montre la prédominance de l'électricité et du gaz naturel (APRUE, 2017) (voir la Figure 1.2). L'électricité est principalement utilisée pour l'éclairage et la climatisation, représentant 90 % de la consommation électrique, tandis que 60 % du gaz naturel est destiné au chauffage. Selon le même rapport La consommation énergétique du secteur tertiaire a atteint 4 millions de Tep en 2017, avec une augmentation annuelle de 6,6 % entre 2007 et 2017, indiquant une situation alarmante.

Répartition de la consommation du secteur tertiaire par type d'énergie

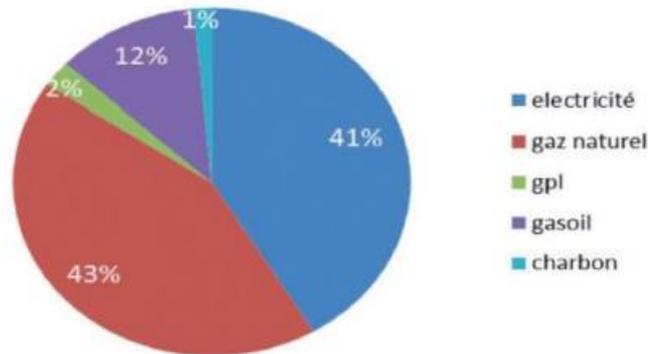


Figure 1.2 Répartition de la consommation du secteur tertiaire par type d'énergie.

Source : APRUE 2017.

D'après Le Commissariat aux Énergies Renouvelables et à l'Efficacité Énergétique (CEREFÉ) l'évaluation presque à mi-parcours (2010-2019) de l'impact du programme national de l'efficacité énergétique sur la réduction de la facture énergétique nationale, montre que la consommation finale d'énergie continue de suivre une tendance haussière avec une moyenne annuelle de 5% et que l'évolution de la consommation finale d'énergie sur la même période (2010-2019) a enregistré une forte hausse de 59%. (Le Commissariat aux Énergies Renouvelables et à l'Efficacité Énergétique (CEREFÉ), 2020)

Pour améliorer l'efficacité énergétique, l'audit énergétique est essentiel. Il permet une évaluation détaillée de l'utilisation de l'énergie dans un bâtiment, identifiant les principaux postes énergivores et proposant des pistes d'amélioration. L'audit énergétique offre une analyse quantitative et qualitative des performances énergétiques, facilitant l'identification des gisements d'économies d'énergie.

Cette recherche se concentre sur la réalisation d'un audit énergétique détaillé au sein de l'université Salah Boubnider Constantine 3, le plus grand pôle universitaire en Afrique (Chahinez Djahnine, 2023; Rofia ABADA, 2021), comprenant six facultés et un institut. L'objectif est d'identifier les pistes d'amélioration pour réduire la consommation énergétique et les émissions de CO₂. À partir de ces constats, les questions suivantes sont posées :

- **L'université Salah Bounider Constantine 3 dépasse-t-elle le seuil de consommation de 500 TEP précisé par le Décret exécutif n°05-495, obligeant les établissements grands consommateurs d'énergie à réaliser un audit énergétique ?**
- **Quel sont les facultés ou institut de l'Université qui sont les plus gros consommateurs d'énergie et les plus gros émetteurs de CO₂ ?**
- **Quelles sont les opportunités d'amélioration de l'efficacité énergétique à l'université Salah Bounider Constantine 3 ?**

1.3.Hypothèse

Pour répondre à ces questions, trois hypothèses sont émises pour appuyer cette problématique :

- Il est probable que l'université Salah Bounider Constantine 3 dépasse le seuil de consommation de 500 TEP stipulé par le Décret exécutif n°05-495, nécessitant ainsi la réalisation d'un audit énergétique.
- La faculté de médecine et le rectorat semblent être les principaux consommateurs d'énergie et émetteurs de CO₂, en raison de leur grande taille et du nombre élevé d'étudiants et de personnel administratif
- Si l'université Salah Bounider Constantine 3 mettait en œuvre plusieurs mesures d'efficacité énergétique, elle pourrait réduire de manière significative sa consommation d'énergie. Par exemple, le renforcement de l'isolation thermique des murs extérieurs permettrait de diminuer les pertes de chaleur de 51 % à 60 %, tandis que l'installation de double vitrage pourrait réduire les besoins énergétiques des fenêtres de 20 %. De plus, en abaissant la consigne de chauffage à 19 °C, une réduction de la consommation énergétique de l'ordre de 20 % serait envisageable, et l'ajustement des températures de climatisation à une consigne de 26 °C pourrait entraîner une réduction allant jusqu'à 46 %. Une optimisation de l'éclairage, notamment par une réduction et une réorganisation des lampes, contribuerait également à une diminution notable de la consommation électrique globale.

1.4.Objectifs de recherche

Le présent thème de recherche met en lumière l'importance de l'audit énergétique dans le secteur tertiaire, en particulier à l'université Salah Boubnider Constantine 3. L'objectif principal est de réaliser un audit énergétique détaillé pour améliorer l'efficacité énergétique de l'université et réduire l'impact environnemental de sa consommation énergétique et répondre aux exigences de la politique nationale algérienne sur l'efficacité énergétique et la maîtrise de l'énergie. Les objectifs spécifiques sont les suivants :

1. Détecter les points de consommation énergétique au sein de l'université : L'audit énergétique est la première étape de l'optimisation de l'efficacité énergétique. Un bon audit révélera les zones clés où l'énergie est utilisée, notamment le système de chauffage, ventilations, climatisation, l'éclairage, les outils d'informatiques et les équipements des laboratoires. Une fois les données étudiées, il sera donc assez facile de repérer les zones ainsi que les appareils qui sont de gros consommateurs d'énergie.
2. Identifier les opportunités d'économies d'énergie : Une fois les points de consommation détectés, il est essentiel d'identifier les opportunités d'économies d'énergie. Cela peut inclure l'optimisation de l'utilisation des équipements existants, l'amélioration de l'efficacité des systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC), l'utilisation de LED pour l'éclairage, et l'amélioration énergétique de l'enveloppe du bâtiment. En outre, la mise en œuvre de mesures de gestion de l'énergie, telles que des programmes de sensibilisation et de formation pour les étudiants et le personnel, peut également contribuer à la réduction de la consommation énergétique.
3. Réduire la facture énergétique : Réduire la facture énergétique passe par l'implémentation des mesures identifiées pour économiser l'énergie.
4. Proposer des solutions d'amélioration énergétique : Pour améliorer l'efficacité énergétique, plusieurs solutions peuvent être envisagées. Au niveau de l'enveloppe du bâtiment, des mesures telles que l'isolation thermique des murs et l'installation de double vitrage sont essentielles. La régulation automatisée et contrôlée du chauffage, de la ventilation et de la climatisation permettrait une utilisation plus optimale de l'énergie. De plus, la mise à jour des installations d'éclairage avec des lampes LED et l'optimisation du nombre de luminaires grâce à un design plus efficace contribueraient à une consommation énergétique plus efficace. Enfin, l'intégration

de sources d'énergie alternatives, comme l'énergie solaire, pourrait réduire la dépendance aux combustibles fossiles.

5. Contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) : En améliorant l'efficacité énergétique de l'université, moins d'énergie sera utilisée au total et, par conséquent, moins d'émissions de GES.

1.5. Méthodologie et Outils de travail

Dans le but de vérifier nos hypothèses de recherche et d'atteindre les objectifs de notre étude, nous avons utilisé une combinaison des techniques appartenant à la fois aux méthodes quantitatives, qualitatives et numériques. La méthodologie détaillée ci-dessous décrit les étapes de collecte et d'analyse des données nécessaires.

1.5.1. Volet théorique :

Ce premier volet est consacré aux connaissances théoriques relatives aux mots-clés de notre recherche : audit énergétique, risque environnemental, modélisation et simulation numérique, consommations énergétiques et émissions de CO₂. Afin d'acquérir une compréhension approfondie de ces termes clés, nous nous sommes basés sur des recherches scientifiques antérieures et avons exploité divers documents, tels que des articles, des livres, des rapports établis par des organismes internationaux, nationaux, textes règlementaires, des thèses, dans le but d'établir un état de l'art solide. Pour gérer efficacement ces références, nous avons utilisé l'outil de gestion bibliographique Mendeley. Ce logiciel permet de recueillir, stocker, organiser et citer les références bibliographiques, et il est compatible avec Microsoft Office. Grâce à Mendeley, nous avons pu ajouter des citations dans le corps du texte en utilisant le format APA et générer automatiquement la bibliographie de notre travail. De plus, Mendeley facilite la collaboration entre les chercheurs en permettant le partage de bibliographies et de documents annotés. Cet outil a également simplifié la recherche de nouvelles sources en recommandant des articles pertinents en fonction de notre bibliothèque existante.

1.5.2. Volet analytique : collecte et analyse des données

Dans ce volet, nous avons collecté des données sur la consommation d'électricité et de gaz des facultés et instituts à partir des bureaux de finance de chaque entité, couvrant la

période depuis l'ouverture du pôle universitaire jusqu'à 2023. En raison de l'absence de données techniques détaillées (telles que la marque, le nombre, la puissance et les heures d'utilisation) concernant les systèmes de climatisation, de chauffage, d'éclairage et les chaudières, nous avons dû établir un inventaire de ces équipements pour chaque faculté et institut.

Les données obtenues à partir des factures de gaz et d'électricité de chaque faculté et institut ont été analysées. Pour approfondir cette analyse, nous avons effectué des visites chez Sonelgaz (Société Nationale de l'Électricité et du Gaz) et réalisé des entretiens avec leurs employés afin de comprendre le calcul des factures énergétiques, les tarifs appliqués et les différents paramètres de la facture de la consommation d'électricité et de gaz.

Pour cette analyse, nous avons utilisé le logiciel Excel, qui nous a permis de collecter et d'analyser les données de manière efficace grâce à ses fonctionnalités de tableaux croisés dynamiques, offrant une lecture approfondie des résultats. En complément, nous avons utilisé un autre outil numérique, le Système d'Information Géographique (SIG), ArcGIS 10.8, pour visualiser la consommation énergétique et les émissions de CO₂ de chaque faculté et institut, ce qui nous a aidés à identifier les zones de consommation élevée et à élaborer des stratégies d'amélioration.

1.5.3. Volet numérique : la simulation énergétique

Dans ce volet, nous avons montré l'importance de l'utilisation de l'outil de simulation énergétique comme étape essentielle de l'audit énergétique. Pour notre recherche, nous avons utilisé Cody Ba, un outil de simulation thermique des bâtiments, à la fois facile à utiliser et gratuit. Nous avons appliqué cette simulation à la faculté d'architecture et d'urbanisme, puis généralisé les résultats obtenus aux autres facultés et instituts, car ils partagent les mêmes caractéristiques climatiques, fonctionnelles et de construction.

Ce volet est crucial pour l'évaluation de la consommation énergétique des bâtiments et la proposition des différentes recommandations pour améliorer l'efficacité énergétique. Il permet de déterminer quelles préconisations sont les plus efficaces. En utilisant des outils de simulation énergétique comme Cody Ba, nous avons proposé des solutions concrètes telles que l'amélioration de l'isolation, l'installation de double vitrage la mise à jour des systèmes de chauffage et de climatisation, et l'optimisation de l'éclairage. Cela nous aide non

seulement à réduire la consommation d'énergie, mais aussi à déterminer les solutions les plus économiques pour l'université Salah Bounider Constantine 3.

1.5.4. Volet d'enquête par le questionnaire : consommation d'électricité à l'université Salah Bounider Constantine 3.

Dans le but de déterminer des valeurs quantitatives concernant les indicateurs pour évaluer l'impact du comportement des employés administratifs sur la consommation d'électricité à l'université Salah Bounider Constantine 3, nous avons mené une enquête par questionnaire et par interview. Nous avons conçu un questionnaire destiné aux employés administratifs de l'université, qui comprend six facultés et un institut. Cette enquête a été menée du 10 au 16 octobre 2023. Les questionnaires ont été distribués dans chaque administration de faculté et de l'institut.

Nous avons également mené des entretiens avec les employés administratifs de toutes les facultés et institut, ainsi qu'avec l'ingénieur en charge des chaudières de l'université.

Pour la méthodologie d'échantillonnage, nous avons consulté plusieurs sources en statistiques pour choisir la méthode appropriée. Nous avons opté pour l'échantillonnage aléatoire stratifié, une méthode probabiliste permettant d'obtenir des résultats représentatifs et généralisables à l'ensemble des employés administratifs.

Pour obtenir des résultats représentatifs et généralisables, nous avons sélectionné un échantillon qui reflète la diversité de notre population cible. L'université Constantine 3 est composée de huit administrations, dont une administration centrale (le rectorat), six facultés et un institut, chacune ayant ses propres caractéristiques. Nous avons choisi l'échantillonnage aléatoire stratifié pour garantir une représentation équitable des différentes strates de la population étudiée.

Voici quelques raisons pour lesquelles l'échantillonnage aléatoire stratifié peut être utilisé dans une recherche :

1. **Représentativité des Sous-Groupes** : Cette méthode garantit que chaque strate est représentée de manière proportionnelle dans l'échantillon final lorsque la population totale peut être divisée en sous-groupes homogènes (strates) ayant des caractéristiques spécifiques. Cela donne lieu à des résultats plus étendus qui peuvent être appliqués à l'ensemble de la population.

CHAPITRE INTRODUCTIF

2. **Réduction de la Variabilité** : La variabilité au sein de chaque stratification est réduite, rendant l'analyse des résultats plus précise.
3. **Comparaisons entre Groupes Spécifiques** : Elle permet d'assurer une représentation suffisante de chaque groupe pour effectuer des comparaisons spécifiques.
4. **Amélioration de la Validité Externe** : Cette méthode renforce la validité externe de l'étude, permettant de généraliser les résultats à l'ensemble de la population.

Nous avons pris un pourcentage de 30 % du nombre total des employés administratifs (488), soit 146 questionnaires.

Tableau 1.1 : La répartition de nombre et pourcentage de questionnaire dans chaque faculté et institut.

Faculté /institut	Nombre total d'employés administratifs	Pourcentage du nombre total d'employés	Nombre de questionnaires par rapport à 148	Pourcentage de questionnaires par rapport à 30%
Architecture et urbanisme	38	7,8	11	7,5
Institut gestion des techniques urbaines	27	5,53	8	5,47
Science politique	27	5,53	8	5,47
Médecine et rectorat	292	59,83	88	60,27
Science de l'information et communication	29	5,94	9	6,16
Arts et culture	24	4,91	7	4,79

CHAPITRE INTRODUCTIF

Génie de procédés	51	10,45	15	10,27
Total	488	100	146	100

Source : auteure, 2024.

Notre questionnaire est structure en 5 parties fondamentales (voir l'Annexe A) :

- Informations générales : Cette première partie est composée de 3 questions. Elle vise à collecter des données de base sur les répondants, telles que leur âge, leur sexe, et leur faculté ou institut.
- Pratiques de consommation énergétique : La deuxième partie comprend 6 questions. Elle s'intéresse aux habitudes des répondants en matière de consommation d'énergie. Les questions portent sur la fréquence et la manière dont ils utilisent les appareils électriques et les systèmes de climatisation, ainsi que sur leur utilisation de l'éclairage.
- Comportements liés à la consommation énergétique : Représentée par 5 questions, cette partie explore les comportements des employés en lien avec leur consommation énergétique. Elle examine leur conscience écologique, les mesures qu'ils prennent pour réduire leurs consommations, et leur engagement personnel envers des pratiques énergétiques durables.
- Connaissances énergétiques : Composée de 4 questions, cette section évalue le niveau de connaissance des employés sur les concepts énergétiques. Les questions portent sur leur compréhension des concepts comme la transition énergétique, maîtrise de l'énergie, économie d'énergie, programme national 2016-2030 sur l'efficacité énergétique.
- Prédilection des employés à modifier leurs comportements : Constituée de 3 questions, la cinquième partie mesure la volonté des employés de changer leurs habitudes pour adopter des comportements plus économes en énergie. Elle explore leur ouverture aux nouvelles pratiques, ainsi que leur motivation à participer à des initiatives de réduction de la consommation énergétique.

1.6. Structure de la thèse

CHAPITRE INTRODUCTIF

La thèse est structurée en six chapitres : un chapitre introductif et cinq chapitres suivants.

Chapitre introductif : Ce chapitre donne une introduction générale sur le champ de l'étude et présente la problématique, les hypothèses, les objectifs de la recherche, la méthodologie retenue et la structure de la thèse.

Chapitre II : Ce chapitre met l'accent sur la notion d'audit énergétique. Il présente ses définitions générales, ses définitions selon les normes internationales et nationales, ses types, ses étapes et ses avantages. Nous abordons également l'audit énergétique au niveau des campus universitaires à travers le monde, les normes relatives à l'audit énergétique des bâtiments (internationales, régionales et nationales). Nous introduisons différents outils de simulation et de modélisation, détaillant leur historique et leurs fonctionnalités avec des exemples d'études. De plus, nous discutons de la consommation énergétique et du risque environnemental, des émissions de gaz à effet de serre et de leur origine. Nous explorons la consommation énergétique et l'efficacité énergétique à l'échelle internationale et nationale, incluant des études de cas sur la réduction de la consommation énergétique des bâtiments et les émissions de CO₂, et parlons en détail des simulations numériques et des logiciels utilisés.

Chapitre III : Ce chapitre présente les cas d'étude, incluant les détails de chaque faculté et institut tels que la superficie, les normes des amphithéâtres et des salles, les infrastructures, ainsi que le nombre et la puissance des systèmes d'éclairage, de climatisation et de chauffage.

Chapitre IV : Ce chapitre est consacré à l'analyse de la consommation énergétique des facultés et instituts, suivie de l'analyse de l'inventaire des équipements pour chaque entité. Nous avons ensuite effectué un benchmark entre les facultés et instituts, ainsi qu'une comparaison avec d'autres universités. Enfin, nous avons créé une cartographie de la consommation énergétique et des émissions de CO₂ à l'aide de l'outil SIG, permettant de visualiser ces données sous forme de cartes basées sur les informations collectées.

Chapitre V : Dans ce chapitre, nous avons introduit les différentes données sur les bâtiments, comparé la consommation énergétique obtenue par simulation avec celle des factures, puis évalué les différentes préconisations en termes de réduction de la consommation énergétique et des émissions de CO₂.

CHAPITRE INTRODUCTIF

Chapitre VI : Ce chapitre présente d'abord une analyse du comportement des occupants et de leur impact sur la consommation énergétique à l'échelle internationale. Ensuite, il discute les résultats de l'enquête empirique obtenus à l'aide d'Excel. Cela nous permet d'évaluer l'impact des comportements des employés administratifs sur la consommation énergétique.

Pour finir, une conclusion générale clôturera ce travail en offrant une synthèse des principaux résultats, en validant les hypothèses initiales, en soulignant les limites de l'étude et en proposant des perspectives pour les recherches

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

Introduction

Dans ce chapitre, nous débutons par définir le cadre conceptuel de l'audit énergétique, en précisant sa définition, les différentes étapes et types d'audit, ainsi que les normes nationales et internationales y afférentes. Cette démarche vise à clarifier et à approfondir la compréhension de l'audit énergétique en tant qu'outil clé dans le domaine de l'efficacité énergétique et de la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Ensuite, nous explorons les logiciels de simulation énergétique des bâtiments, soulignant leur rôle crucial dans l'efficacité des audits énergétiques. Cette section met en lumière l'importance de ces outils dans l'évaluation et l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments.

Enfin, nous abordons d'une manière générale la question du risque environnemental, en examinant les sources de ce risque, les principaux émetteurs de gaz à effet de serre et leur impact sur le climat. Nous discutons également l'engagement de l'Algérie envers la réduction de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ à travers le Programme National d'Efficacité Énergétique (PNEREE) ainsi de la consommation énergétique dans le secteur du bâtiment, tant au niveau national qu'international, et des stratégies adoptées pour réduire cette consommation et lutter contre le réchauffement climatique.

2.1. L'audit énergétique

2.1.1. Définitions générales de l'audit énergétique

L'audit énergétique, une étape cruciale dans l'amélioration des performances énergétiques d'un bâtiment, se définit comme un état des lieux détaillé. Il permet non seulement de détecter les problèmes de fonctionnement mais aussi d'optimiser l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments existants. À travers ce processus, des opportunités pour la conservation de l'énergie et l'adoption de nouvelles technologies plus efficaces sont identifiées. Il est important de noter que, selon (Günkaya et al., 2021), un audit en lui-même ne génère pas directement d'économies d'énergie. Il sert plutôt à cibler les améliorations possibles et à évaluer le potentiel pour des solutions plus efficaces.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

Considéré comme une enquête systémique, l'audit énergétique examine les flux d'énergie au sein d'une organisation dans le but de les conserver. L'objectif est de réduire la consommation énergétique sans impacter les résultats. En proposant des alternatives et des méthodes correctives, il vise à maximiser les économies d'énergie. Comme le soulignent (Mythili Gnanamangai et al., 2022), sa finalité principale est de fournir des biens ou services au coût le plus bas, tout en minimisant l'impact environnemental.

Dans le secteur immobilier commercial et industriel, l'audit énergétique joue un rôle crucial. (Mahdi, 2018) le décrit comme une démarche d'analyse et d'évaluation visant à réduire la consommation d'énergie dans un bâtiment, sans nuire au confort de ses occupants ou à l'efficacité de ses équipements. Ce processus permet également de réduire les coûts énergétiques et l'impact des émissions de carbone.

Selon, (parash Goyal et al., 2013) l'audit énergétique implique la vérification, le suivi et l'analyse de l'utilisation de l'énergie. Il comprend la soumission des rapports techniques avec des recommandations pour améliorer l'efficacité énergétique, une analyse des coûts et bénéfices, ainsi qu'un plan d'action pour réduire la consommation d'énergie. Cette définition souligne l'importance de l'audit comme un outil de gestion énergétique au sein des entreprises.

D'après (Ya'u Muhammad et al., 2018) l'audit énergétique est décrit comme un processus permettant d'identifier toutes les utilisations finales de l'énergie dans un bâtiment, d'estimer la quantité d'énergie utilisée pour chaque application et d'évaluer cette consommation par rapport aux valeurs prévues ou conçues. Cette approche souligne l'importance de la précision dans l'audit pour une gestion énergétique efficace.

Selon (Alajmi, 2012) l'audit énergétique est périodique et joue un rôle crucial dans la détection des problèmes de fonctionnement, l'amélioration du confort des occupants et l'optimisation de l'utilisation de l'énergie. Ce processus réévalue régulièrement les changements dans l'utilisation du bâtiment et l'état de l'équipement existant, tout en considérant l'application de nouvelles technologies écoénergétiques.

L'analyse de (Al Rashdi et al., 2022) présente l'audit énergétique comme une activité occasionnelle, qui évalue les variations énergétiques dans un site de construction spécifique.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

Cette perspective met en avant l'importance de comprendre la consommation énergétique dans son contexte, y compris les facteurs environnementaux et opérationnels.

Enfin, (Baniyounes et al., 2019) définissent l'audit énergétique de bâtiment comme une inspection cyclique d'un système énergétique. Cette définition met l'accent sur la nécessité d'utiliser les sources d'énergie les plus appropriées de manière efficace.

2.1.2. Définitions de l'audit énergétiques selon les normes internationales et nationales

Selon la norme ISO 50002 :2014 l'audit énergétique est défini comme un processus méthodologique pour comprendre la consommation d'énergie d'une organisation ou d'un site. Ce processus vise à identifier et quantifier les usages d'énergie et les opportunités d'amélioration de l'efficacité énergétique dans le but de réduire la consommation d'énergie, les coûts associés et l'impact environnemental.(ISO 50002 :2014 Audits Énergétiques Exigences et Recommandations de Mise En Œuvre, 2014)

Selon les normes EN 16247- l'audit énergétique est caractérisé par une évaluation et une analyse systématique de la consommation et de l'utilisation de l'énergie au sein d'un site, d'un bâtiment, d'un système ou d'une organisation, dans le but de détecter les mouvements d'énergie et les possibilités d'optimiser l'efficacité énergétique, et de documenter ces observations. (AFNOR, 2022)

Conformément au décret exécutif algérien 05/495 relatif à l'audit énergétique, un audit énergétique (AE) consiste en l'analyse et la vérification des performances énergétiques des installations et équipements d'un établissement, avec pour objectif l'amélioration de leur efficacité énergétique.(Ministère De L'énergie Et Des Mines, 2005)

En résumé, l'audit énergétique est un diagnostic détaillé de la consommation de l'énergie du bâtiment dans le but d'identifier ses défauts énergétiques et les opportunités de réduction de la consommation énergétique. Cela permet de suggérer des améliorations ou des méthodes efficaces visant à améliorer la performance énergétique et à diminuer les effets sur l'environnement, tout en garantissant le confort pour ses occupants.

2.1.3. Types d'audit énergétique

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

Existe trois niveaux d'audit énergétique de plus simple au plus complexe définis selon ASHRAE (Société américaine des ingénieurs en chauffage, réfrigération et climatisation). Chaque niveau d'audit reposera sur le précédent. Les différents niveaux d'ASHRAE sont présentés ci- après. (ASHRAE, 2018)

Niveau 1 - Audit Énergétique simple : Cela comprend une analyse préliminaire de l'utilisation de l'énergie et un benchmarking (Comparaison de performance énergétique). Il vise à identifier rapidement les économies potentielles sans entrer dans les détails techniques.

Niveau 2 - Audit Énergétique standard : Ce niveau offre une analyse plus approfondie, y compris des estimations de coûts, des économies potentielles et des périodes de retour sur investissement pour les mesures d'efficacité énergétique identifiées.

Niveau 3 - Audit Énergétique détaillé : Ce niveau le plus détaillé inclut une analyse technique poussée, souvent avec une modélisation de l'énergie du bâtiment, pour une compréhension complète des opportunités d'économie d'énergie.

D'autre part les types de l'audit énergétique sont définis selon (Al Thumann et al., 2010)comme suite

Niveau I - L'Audit énergétique rapide

Aussi connu sous le nom d'audit de Repérage, cette approche implique une analyse sommaire des factures d'énergie et une brève enquête sur le bâtiment pour produire une estimation approximative de l'efficacité avec laquelle l'énergie est utilisée dans le bâtiment. Ce niveau d'effort permettra de détecter au moins une partie des opportunités les plus évidentes et pourra suggérer d'autres options méritant une étude plus approfondie, mais ne devrait jamais être considéré comme complet. Bien que cette option soit la plus facile, elle produit également les résultats les plus grossiers.

Niveau II - L'Audit énergétique Standard

En investissant plus d'efforts dans l'enquête sur le bâtiment et l'analyse énergétique, et en ajoutant des tests de performance du système, cette méthode fournit une répartition de l'utilisation de l'énergie dans le bâtiment ainsi qu'une gamme plus large d'options d'économies, y compris des investissements en capital simples. Elle tient compte du "facteur humain" et de son effet sur l'incertitude des économies, et explore également les procédures

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

de maintenance et évalue les impacts que les mesures d'économies peuvent avoir sur elles. De nombreux établissements trouveront que ce niveau d'analyse est suffisant.

Niveau III –L'Audit énergétique détaillé

Cet audit, le plus complet, prend beaucoup de temps. L'audit énergétique détaillé suppose l'emploi d'instruments de mesure de la consommation d'énergie pour l'ensemble du bâtiment et/ou de quelques systèmes en particulier (par exemple, l'éclairage, les équipements de bureautique, les ventilateurs, le rafraîchissement, etc.). De plus, des programmes de simulation sont parfois utilisés pour évaluer les solutions. L'auditeur développera une simulation informatique des systèmes du bâtiment qui prendra en compte les données climatiques et d'autres variables et prédira l'utilisation de l'énergie tout au long de l'année. L'objectif de l'auditeur est de construire une base de comparaison cohérente avec la consommation énergétique réelle de l'installation. Après avoir établi cette base, l'auditeur apportera ensuite des modifications pour améliorer l'efficacité de divers systèmes et mesurer les effets par rapport à la base de référence. Cette méthode tient également compte des interactions entre les systèmes pour aider à prévenir la surestimation des économies.

2.1.4. Les étapes de l'audit énergétique détaillé

La procédure pour réaliser un audit énergétique approfondi se divise en quatre phases principales, telles que décrites dans le Guide technique d'audit énergétique. Ces étapes sont résumées ci-après (voir la figure 2.1 une carte mentale qui résume les étapes de l'audit énergétique) : (Krarti & Marchio, 2016) :

Étape 1 : Analyse des Données sur les Infrastructures et Installations

Le but de cette phase est d'examiner les caractéristiques des systèmes énergétiques et les modèles de consommation énergétique du bâtiment. On peut collecter les détails du bâtiment à partir des plans architecturaux/mécaniques/électriques ou via des entretiens avec les gestionnaires du bâtiment. Les modèles de consommation énergétique sont dérivés de l'analyse des factures d'énergie sur plusieurs années. Cette analyse des variations historiques dans les factures d'énergie aide à comprendre l'impact des saisons et du climat sur la consommation énergétique. Les étapes clés et les résultats attendus de cette phase sont :

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

- Rassembler au moins trois ans de données énergétiques pour établir un profil énergétique historique.
- Identifier les types d'intrants utilisés (électricité, gaz naturel, mazout, etc.) pour déterminer le carburant dominant dans la consommation d'énergie.
- Analyser les modèles de consommation pour chaque type de carburant afin d'identifier les périodes de forte consommation.
- Calculer la répartition des coûts énergétiques (demande de puissance et consommation) pour voir si l'infrastructure est pénalisée par la demande de puissance et si un carburant moins coûteux pourrait être substitué.
- Examiner l'impact climatique sur la consommation de carburant, ce qui nécessite des données météorologiques des années concernées.
- Mener une analyse de la consommation d'énergie électrique en fonction du type et de la taille du bâtiment, définir des ratios de consommation d'énergie par unité de surface pour les comparer aux ratios standards.

Étape 2 : Enquête sur Site

Les découvertes de cette phase aideront à décider si des audits énergétiques plus approfondis sont économiquement viables. Les étapes sont :

- Identifier les besoins et priorités du client.
- Examiner les procédures opérationnelles et de maintenance actuelles.
- Évaluer les conditions opérationnelles des principaux usages d'énergie (éclairage, système de chauffage, ventilation et climatisation, moteurs, etc.).
- Estimer, basé sur l'usage, les horaires nécessaires pour l'équipement et l'éclairage.

Étape 3 : Modélisation de Référence de la Consommation d'Énergie des Bâtiments

Cette phase vise à créer un modèle de référence simulant la consommation d'énergie et les conditions d'utilisation actuelles du bâtiment. Ce modèle est utilisé comme base pour évaluer les économies d'énergie potentielles des améliorations proposées. Les tâches principales comprennent :

- Collecter et réviser les plans architecturaux, électriques, des fluides, des installations techniques et de régulation.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

- Inspecter, tester et évaluer l'efficacité et la performance des équipements.
- Acquérir tous les plannings d'utilisation et les conditions opérationnelles des équipements (y compris l'éclairage et le système de climatisation).
- Créer un modèle de référence de la consommation d'énergie du bâtiment.
- Calibrer le modèle de référence avec les données énergétiques et/ou les mesures obtenues.

Étape 4 : Évaluation des Mesures d'Économie d'Énergie

Cette phase implique l'établissement d'une liste de mesures d'économie d'énergie rentables. Les étapes recommandées sont :

- Préparer un inventaire complet des mesures de réduction de la consommation d'énergie (basé sur les informations de l'enquête sur site).
- Évaluer les économies potentielles des différentes mesures pertinentes en utilisant le modèle de référence de l'étape 3.
- Estimer les coûts d'investissement pour les solutions proposées.
- Calculer la rentabilité de chaque mesure d'amélioration de l'efficacité énergétique en utilisant une méthode économique (analyse simple du délai de récupération de l'investissement ou analyse du coût global actualisé).

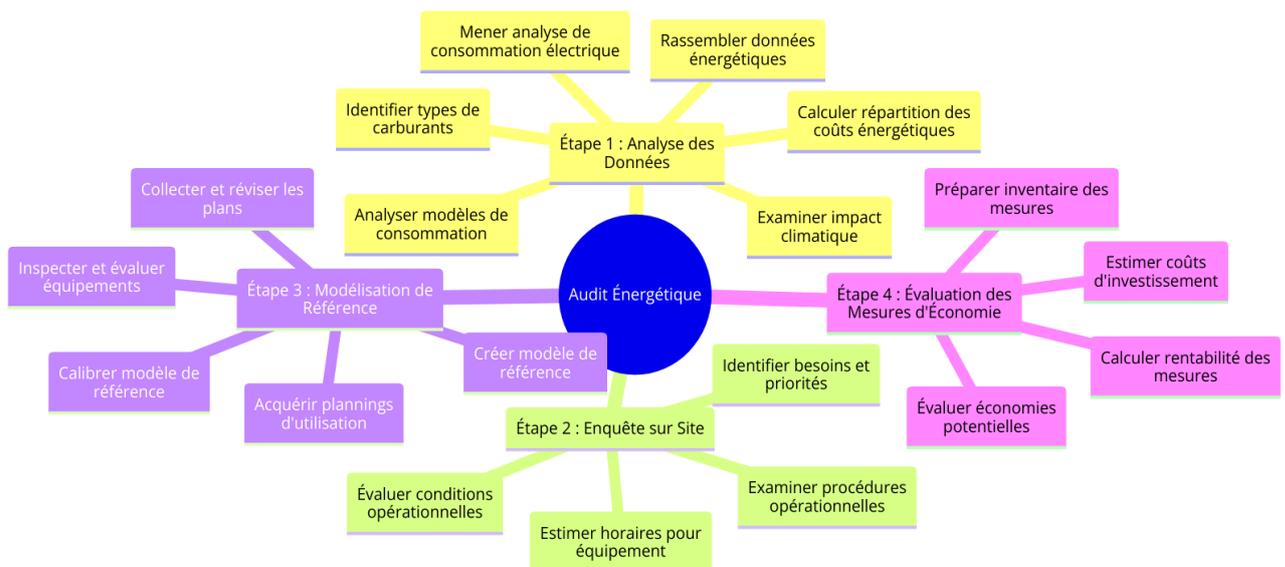


Figure 2.1 Une carte mentale des étapes de l'audit énergétique détaillée.

Source : Krarti & Marchio, 2016 + schématisé par l'auteur.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

2.1.5. Les avantages de l'audit énergétique

L'audit énergétique, crucial pour la gestion énergétique, est mis en lumière par (Kabaka, 2019) comme un moyen d'identifier les principaux secteurs de consommation d'énergie et d'élaborer des stratégies d'amélioration. Il permet de chiffrer les économies d'énergie potentielles et d'évaluer la viabilité des solutions envisagées.

Selon (Pertuiset, 2015), l'audit révèle des méthodes efficaces pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, en permettant une analyse approfondie des activités consommatrices d'énergie et la création de plans d'action pour renforcer l'efficacité énergétique.

Dans le cadre des établissements éducatifs, (Neil Stephen Lopez & Jeremias Gonzaga, 2017) soulignent l'audit énergétique comme un outil pour identifier les principaux contributeurs à la consommation d'énergie et proposer des améliorations telles que l'usage de l'éclairage LED et l'exploitation de la lumière naturelle, entraînant des réductions significatives de la consommation d'énergie et de l'empreinte carbone.

D'après (Mungwena & Rashama, 2013) l'audit énergétique est mis en avant comme un moyen d'économiser les ressources énergétiques, d'introduire des techniques de conservation de l'énergie, d'éliminer les équipements obsolètes et de réaliser des économies en termes de consommation énergétique, tout en réduisant la charge sur les systèmes de distribution.

En conclusion, l'audit énergétique est un élément essentiel pour une gestion énergétique efficace et durable, aligné sur les objectifs environnementaux et réglementaires.

2.1.6. L'audit énergétique au niveau des campus universitaires dans le monde entier

L'importance cruciale des audits énergétiques dans le secteur tertiaire est désormais reconnue à l'échelle mondiale. Ces outils sont devenus indispensables dans la quête d'une plus grande efficacité énergétique dans les milieux résidentiels, industriels, et surtout tertiaires, englobant notamment les institutions éducatives. Au cours des dernières années, une multitude de recherches a été entreprise sur des campus universitaires à travers le monde pour évaluer et optimiser leur consommation énergétique, contribuant ainsi à la réduction de leur empreinte carbone.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

En France, la mise en œuvre d'audits énergétiques complets a permis de cibler simultanément le confort thermique et l'efficacité énergétique dans les établissements d'enseignement supérieur, notamment ceux érigés avant l'introduction des normes thermiques actuelles, comme le soulignent (Allab et al., 2017). Cette approche a facilité l'identification de solutions pour améliorer la performance énergétique des bâtiments concernés.

En Croatie, l'objectif de l'audit énergétique réalisé au sein de l'université de Zagreb, documenté par (Ostojić et al., 2016), était double : augmenter la performance énergétique des bâtiments et obtenir leur certification énergétique. Les résultats ont révélé que les bâtiments évalués ne répondaient pas aux exigences des normes énergétiques en vigueur, mettant en évidence la nécessité d'adopter des mesures correctives pour améliorer leur efficacité.

Au Mexique, l'université nationale autonome (UNAM) a fait l'objet d'un audit énergétique visant à estimer la consommation énergétique et les émissions de CO₂, avec pour finalité l'implémentation de technologies favorisant l'efficacité énergétique, y compris l'installation de systèmes chauffes-eaux solaires, selon les travaux de (Escobedo et al., 2014).

Au Portugal, un projet ambitieux a été lancé pour qu'un bâtiment du campus universitaire de Coimbra atteigne une performance énergétique proche de zéro énergie, en réduisant drastiquement la demande énergétique tout en maximisant la production à partir de sources renouvelables, comme le détaillent.(Fonseca et al., 2018)

L'expérience italienne, décrite par(Lodi et al., 2017), met en exergue un audit énergétique approfondi réalisé sur les anciens bâtiments du campus universitaire de Modène et de Reggio d'Émilie, dans le cadre d'un plan visant à réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2020. Les interventions recommandées visent principalement à réduire la consommation énergétique et les émissions de CO₂.

En Ukraine, un audit énergétique ciblé a été effectué avec l'objectif principal de réaliser des économies d'énergie et d'instaurer une gestion énergétique optimisée dans l'un des bâtiments universitaires. Cette démarche visait non seulement à réduire la consommation d'énergie mais également à établir une certification énergétique, témoignant de l'engagement de l'institution dans les pratiques de développement durable. L'initiative reflète l'importance

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

accordée à l'identification et à l'implémentation de stratégies efficaces pour améliorer la performance énergétique dans le secteur éducatif. (Scherbak, 2021)

En Malaisie, deux exemples notables d'audits énergétiques illustrent l'engagement du pays en faveur de l'efficacité énergétique dans le secteur éducatif. Le premier concerne la Faculté de Technologie de l'Ingénierie (FTK) de l'Université Malaysia Pahang, où un audit a été réalisé pour identifier des opportunités d'économies d'énergie. L'objectif était double : améliorer le confort thermique et réduire la consommation énergétique. Des pistes d'amélioration ont été recommandées pour atteindre ces objectifs, soulignant l'approche pragmatique adoptée pour optimiser l'usage énergétique.(Zailan et al., 2018)

Le second exemple en Malaisie concerne une étude préliminaire d'audit énergétique menée dans deux immeubles de bureaux principaux situés sur deux campus universitaires publics distincts. Cette étude visait à améliorer l'efficacité énergétique globale, avec des mesures d'amélioration proposées spécifiquement pour l'éclairage, la climatisation, et l'enveloppe du bâtiment. Ces recommandations visent à atteindre un niveau d'efficacité énergétique supérieur, en harmonie avec les objectifs de développement durable du pays. (Tahir et al., 2021)

2.1.7. Les normes sur l'audit énergétique du bâtiment

2.1.7.1. Les normes internationales

Les normes internationales, essentielles à l'harmonisation des pratiques et des critères d'audit énergétique à travers le monde, sont élaborées par des institutions reconnues telles que l'ISO (Organisation Internationale de Normalisation) et l'IEC (Commission Électrotechnique Internationale). Ces normes jouent un rôle crucial en définissant les méthodologies, les exigences et les procédures pour l'évaluation de la performance énergétique des organisations. Parmi les normes clés dans le domaine d'audit énergétique (voir la figure 2.2 une carte mentale qui résume les différentes normes internationales) :

- ISO 50002 :2014 Audits énergétiques : Exigences et recommandations de mise en œuvre

La norme ISO 50002 :2014 établit les critères nécessaires à la mise en œuvre d'audits énergétiques, axés sur l'évaluation de la performance énergétique. Cette norme est conçue pour être applicable universellement, couvrant une variété d'établissements, d'organisations,

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

ainsi que toutes catégories d'énergie et leurs usages. Elle détaille à la fois les principes fondamentaux pour conduire ces audits, les exigences relatives aux procédures habituelles durant les audits, et les résultats attendus de ces évaluations..(ISO 50002:2014 Audits Énergétiques Exigences et Recommandations de Mise En Œuvre, 2014)

- ISO/DIS 50002-1 : Audits énergétiques - et recommandations de mise en œuvre
Partie 1 :

L'objectif de cette norme est de définir l'ensemble minimum d'exigences pour la réalisation d'audits énergétiques pour les bâtiments, les équipements, les processus, les systèmes, les transports et autres applications nécessaires pour identifier les opportunités d'amélioration de la performance énergétique. Un audit énergétique comprend une analyse de la performance énergétique d'une organisation, d'un équipement, d'un ou plusieurs systèmes et/ou processus. (ISO, 2019a)

- ISO/DIS 50002-2 : Audits énergétiques - Exigences et orientation de mise en œuvre
- Partie 2 : Bâtiments

ISO/DIS 50002-2, s'applique à la réalisation d'audits énergétiques de bâtiments. Cette norme fournit des orientations sur l'application de la norme ISO 50002-1 à un bâtiment ou un ensemble de bâtiments. Il doit être utilisé en complément de la norme ISO 50002-1, « Audits énergétiques - Partie 1 : Exigences générales avec orientation pour l'utilisation », dont il est un complément.(ISO, 2019b)

2.1.7.2. Les normes par région géographique

Ces normes sont spécifiques à des régions géographiques, telles que l'Union européenne, et sont élaborées pour répondre aux besoins spécifiques de ces régions. Par exemple, les normes EN sont adoptées par les pays membres de l'Union européenne. Parmi ces normes, les normes françaises, certaines sont indiquées ci-dessous (voir la figure 2.2 une carte mentale qui résume les différentes normes par région géographique) :

- NF EN 16247-1 : Audits énergétiques — Partie 1 : Exigences générales

La norme NF EN 16247-1, actualisée en 2022, établit un cadre méthodologique universel pour la réalisation des audits énergétiques, applicable à tous types d'organisations. Elle définit les étapes clés du processus, incluant la prise de contact initiale, la collecte et

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

l'analyse des données, les visites sur site, ainsi que l'élaboration et la présentation d'un rapport détaillé et compréhensible. Cette norme joue un rôle central dans l'harmonisation des pratiques et veille à maintenir une qualité uniforme des audits. Elle met également en avant l'importance des compétences des auditeurs et des critères de qualité, tout en servant de fondement aux autres parties de la série NF EN 16247.(AFNOR, 2022)

- NF EN 16247-2 : Audits énergétiques Partie 2 – Bâtiments

La norme NF EN 16247-2, mise à jour en 2022, est spécifiquement consacrée aux audits énergétiques des bâtiments ou groupes de bâtiments, à l'exclusion des habitations privées individuelles. Elle définit les étapes méthodologiques nécessaires à la réalisation d'un audit énergétique, notamment la réunion de lancement, les visites sur site, l'analyse des données collectées, et l'identification des opportunités d'amélioration de la performance énergétique..(AFNOR, 2022)

- NF EN 16247-5 : Audits énergétiques Partie 5 – Compétences des auditeurs énergétiques

La norme NF EN 16247-5 ,actualisée en 2022, est dédiée aux audits énergétiques des processus industriels. Elle précise les méthodologies adaptées pour examiner les flux énergétiques au sein des chaînes de production et identifier les opportunités d'optimisation et de réduction des consommations d'énergie..(AFNOR, 2022)

2.1.7.3. Les normes nationales

En Algérie, les normes sont principalement adoptées à partir de normes internationales ou régionales, sous la supervision de l'Institut Algérien de Normalisation (IANOR), l'entité chargée de la normalisation dans le pays. En matière d'audit énergétique, les normes en vigueur sont issues de ces standards internationaux, ajustés pour répondre aux besoins spécifiques du contexte national, les normes existantes en Algérie sont présentées ci-dessous (voir la figure 2.2 une carte mentale qui résume les différentes normes nationales).

- Le décret exécutif n° 05-495 de l'audit énergétique

Le décret exécutif numéro 05-495, daté du 26 décembre 2005, définit les conditions pour mener à bien l'audit énergétique sur le territoire algérien. Ce texte réglementaire vise principalement les entités à forte consommation d'énergie issues des secteurs industriels, de

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

transport, et des services, en spécifiant les critères de consommation imposant la réalisation d'un audit ainsi que la fréquence à laquelle ces audits doivent être effectués.

La législation impose que tous les établissements opérant dans le domaine industriel, de transport, et du tertiaire sont tenus de se soumettre à un audit énergétique si leur consommation annuelle d'énergie atteint ou dépasse les limites fixées par la réglementation en vigueur en vigueur. En particulier, les acteurs du secteur tertiaire, avec une consommation annuelle d'énergie équivalente ou supérieure à 500 tonnes d'équivalent pétrole (tep), sont obligés de procéder à cet audit énergétique.(Ministère De L'énergie Et Des Mines, 2005)

L'Institut Algérien de Normalisation (IANOR) ne conçoit pas directement les normes, cette tâche étant dévolue aux Comités Techniques de Normalisation (CTN), qui regroupent des experts des différents secteurs concernés. Actuellement, l'IANOR se concentre sur l'adoption et l'adaptation de normes internationales, principalement celles édictées par l'ISO, ainsi que des normes européennes (EN), avec une préférence notable pour les normes françaises, en vue de leur application dans le contexte algérien.(Catalogue Des Normes Algériennes, 2023)

- NA 20141 2024 - Audits énergétiques - Exigences générales : Cette norme établit les exigences générales pour la conduite d'audits énergétiques. Elle définit probablement les principes fondamentaux, la méthodologie, et le cadre général que les audits énergétiques doivent suivre, quel que soit le secteur ou le type de bâtiment concerné. (Source norme EN 16247-1 :2012)
- NA 20153 2024 - Audits énergétiques — Partie 2 : Bâtiments : Spécifiquement axée sur les bâtiments, cette partie de la norme détaille les exigences et les recommandations pour réaliser des audits énergétiques dans les structures résidentielles, commerciales, ou industrielles. Elle vise à identifier les opportunités d'amélioration de l'efficacité énergétique spécifiques au contexte des bâtiments. (Source norme EN 16247-2 2014)
- NA 20156 2016 - Audits énergétiques - Partie 5 : Compétence des auditeurs énergétiques : Cette norme se concentre sur les qualifications, les compétences, et les exigences de formation pour les auditeurs énergétiques. Son objectif est d'assurer

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

que les individus réalisant les audits énergétiques possèdent les connaissances et les compétences nécessaires pour effectuer leur travail de manière efficace et professionnelle. (Source norme EN 16247-5 :2015)

- NA 20182 2018 - Audits énergétiques - Exigences et recommandations de mise en œuvre : Cette norme fournit des lignes directrices supplémentaires sur la mise en œuvre pratique des audits énergétiques, complétant les exigences générales par des recommandations détaillées pour la planification, la conduite, et le suivi des audits. Elle peut inclure des aspects tels que la collecte de données, l'analyse énergétique, et la présentation des résultats. (Source norme ISO 50002 (2014))

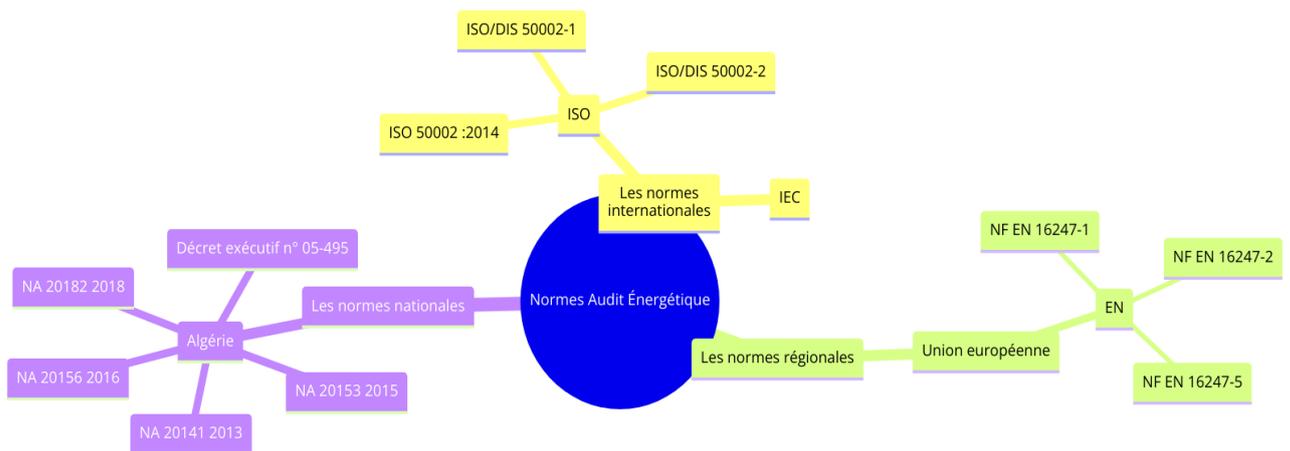


Figure 2.2 Une carte mentale des normes de l’audit énergétique détaillée.

Source : Norme ISO 50002 2014+ IANOR 2023 + normes européennes 2014 +schématisé par l’auteure.

2.2. Introduction à la Modélisation et à la Simulation

2.2.1. Importance de la simulation énergétique

Depuis plusieurs décennies, la communauté scientifique, y compris chercheurs, ingénieurs et développeurs de logiciels, s'est fortement investie dans la création d'applications de simulation énergétique. Ces outils visent à renforcer l'efficacité dans l'approche des défis énergétiques et environnementaux. L'utilisation de simulations pour les bâtiments est devenue une pratique courante, notamment dans la modélisation des

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

performances énergétiques, la conception et l'analyse des charges de chauffage et de refroidissement, la gestion énergétique des bâtiments et des systèmes, ainsi que le respect des normes de construction (Hong et al., 2000). Ces efforts ont été particulièrement marqués aux États-Unis depuis les années 1960, se concentrant sur les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC). Ils comprennent la formation du groupe de travail ASHRAE sur les exigences énergétiques, l'organisation de symposiums internationaux sur l'ingénierie environnementale assistée par ordinateur dans la construction, et d'importantes contributions de divers experts du secteur (Kusuda, 1999).

Des travaux plus récents mettent en lumière le rôle crucial de la simulation énergétique dans la résolution de problèmes variés. Par exemple, l'étude de (Suliman, 2023) a mis en évidence l'utilisation de la simulation de la performance des bâtiments pour l'optimisation énergétique. De même, (Harmathy, 2019) a examiné l'emploi de simulations pour évaluer la performance énergétique des systèmes VAV (volume d'air variable) en accord avec les standards ASHRAE 90. Enfin, (Jia & Srinivasan, 2020) ont abordé l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments en utilisant une simulation hybride d'Energy Plus™ couplée à un modèle de comportement des occupants, offrant une perspective innovante sur l'efficacité énergétique des bâtiments

2.2.2. Aperçu sur certains logiciels et interfaces de simulation

2.2.2.1. TRNSYS

2.2.2.1.1. Historique de TRNSYS

TRNSYS a été développé par le Laboratoire de l'Énergie Solaire de l'Université du Wisconsin au début des années 1970. Le programme a été publié pour la première fois en 1975 et a connu de nombreuses révisions depuis. (Thornton et al., 1995)

2.2.2.1.2. Présentation et fonctionnalités clés de TRNSYS

"TRNSYS Simulation Studio" se positionne comme un logiciel de modélisation avant-gardiste, dédié à la simulation des systèmes et des structures de bâtiments. Sa principale force réside dans sa capacité élevée de personnalisation, offrant aux utilisateurs la liberté de créer ou d'ajuster des modèles selon leurs exigences spécifiques. Cette flexibilité est particulièrement utile pour modéliser les aspects variés d'un bâtiment, englobant non

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

seulement son emplacement géographique et les matériaux de construction, mais aussi son design architectural et les systèmes internes tels que le chauffage et la climatisation .Le logiciel excelle dans l'exécution de simulations thermiques dynamiques, fournissant des analyses détaillées de divers paramètres, tels que la consommation d'énergie, le confort thermique, l'hygrométrie, entre autres . Ces simulations s'avèrent indispensables dès la phase initiale de conception, permettant une évaluation et une validation rigoureuses des choix architecturaux et des équipements techniques. Dans le contexte actuel, où l'importance est accordée aux énergies renouvelables, aux démarches de Haute Qualité Environnementale (HQE), au développement durable et au confort des occupants, "TRNSYS Simulation Studio" s'est imposé comme un outil crucial pour les bureaux d'études.(Duffy et al., 2009)

2.2.2.1.3. Cas d'étude utilisant TRNSYS

TRNSYS, un outil de simulation de pointe, est largement reconnu pour sa capacité à modéliser et analyser divers systèmes énergétiques. Ce logiciel a été particulièrement efficace dans la conception de systèmes de refroidissement novateurs utilisant l'adsorption de l'humidité, qui permettent à la fois de déshumidifier et de refroidir. Ces systèmes ont fait l'objet d'évaluations approfondies en conditions dynamiques, prenant en compte les variations météorologiques (Jani et al., 2020). (Ma et al., 2023) ont utilisé TRNSYS pour explorer les performances d'un système de chauffe-eau solaire innovant intégrant des pompes à chaleur, une avancée majeure dans ce domaine.

L'efficacité des matériaux à changement de phase (MCP) dans la construction a également été étudiée avec TRNSYS. Cette recherche a permis d'évaluer l'impact de ces matériaux dans différents contextes de construction, en considérant les variables climatiques et les spécificités des bâtiments(Ibáñez et al., 2005) . De plus, TRNSYS a prouvé son efficacité en modélisant les besoins en chauffage d'une serre solaire chinoise, en simulant la consommation d'énergie dans diverses conditions météorologiques et avec différents systèmes de chauffage. (Ahamed et al., 2020)

Dans le domaine du chauffe-eau solaire, TRNSYS a joué un rôle crucial en améliorant des aspects tels que les capteurs solaires, les réservoirs de stockage et les systèmes de contrôle. Sa capacité à réaliser des modélisations précises et des validations a

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

considérablement amélioré les conceptions pratiques et contribué aux progrès en ingénierie thermique solaire. (Shrivastava et al., 2017)

Dans le secteur de l'énergie renouvelable, TRNSYS a facilité l'intégration d'un système de refroidissement et de chauffage solaire dans un habitat résidentiel, démontrant son utilité dans l'évaluation des performances sous différentes conditions climatiques (Sami et al., 2020). Il a également joué un rôle clé dans le développement d'un système hybride novateur pour la production conjointe d'eau douce et d'énergie, illustrant sa capacité à simuler efficacement des systèmes complexes et intégrés. (Ghorbani et al., 2020)

En conclusion, TRNSYS s'est imposé comme un outil de simulation incontournable dans le domaine des systèmes énergétiques, démontrant une polyvalence et une efficacité remarquables dans une variété d'applications.

2.2.2.2. CoDyBa

2.2.2.2.1. Historique de CodyBa

Le logiciel CoDyBa, qui signifie Code de Simulation Dynamique du Bâtiment, a été créé grâce à l'initiative de J.-J. ROUX, un chercheur associé à l'Université INSA Lyon en 1984. Jean NOEL, avec son équipe de chercheurs au laboratoire CETHIL, a développé la version multizone de CoDyBa et ses fonctionnalités ultérieures. (Duta et al., 1994)

2.2.2.2.2. Présentation et les fonctionnalités clé de CoDyBA

CoDyBa est un outil robuste, fiable et évolutif, utilisable même par des non-experts, de pointe conçue pour simuler le comportement thermique et énergétique des bâtiments. Il modélise le bâtiment en utilisant des éléments comme les volumes d'air, les murs, les fenêtres et les systèmes de contrôle, connectés ensemble pour former une représentation complète. L'outil se focalise sur l'analyse du bilan énergétique et l'impact de différents facteurs tels que l'orientation, les caractéristiques des fenêtres et les systèmes de régulation. Destiné aux professionnels des bureaux d'études, ainsi qu'aux établissements d'enseignement et de recherche, Codyba calcule les flux énergétiques en tenant compte de divers paramètres environnementaux et de construction. Il offre des fonctionnalités avancées comme la gestion multi-zones, l'évaluation du confort thermique, et l'intégration des technologies de pointe telles que les protections solaires et les matériaux à faible émissivité pour les vitrages. Les

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

utilisateurs peuvent ainsi étudier l'effet des diverses configurations sur la consommation énergétique et les performances thermiques d'un bâtiment. (Jean-Jacques ROUX & Jean NOËL, 2007) (Noël et al., 2005) (Duta et al., 1994)

2.2.2.2.3. Cas d'étude utilisant CoDyBa

CoDyBa, largement reconnu dans les études thermiques de bâtiments, a été utilisé dans une recherche menée par (Brun et al., 2009) pour évaluer les flux de chaleur dans un bâtiment à mur creux de deux étages, visant à améliorer son efficacité énergétique. Les résultats de CoDyBa, comparés à d'autres logiciels de référence tels que Energy Plus, TrnSys, Pleiades + Comfie, et PHPP, ont démontré une haute précision, se conformant en grande partie aux données issues de ces programmes, avec quelques exceptions notables. En particulier, lorsqu'il s'agit d'évaluer diverses spécifications de bâtiment selon les critères de BESTEST, CoDyBa a montré une correspondance étroite avec les résultats d'autres logiciels renommés dans presque toutes les 50 comparaisons qualitatives, se concentrant principalement sur la consommation de chauffage et la surchauffe. Ces études mettent en lumière des différences significatives entre les logiciels en termes des besoins en chauffage et de nombre d'heures de surchauffe, soulignant l'importance de la sélection des paramètres physiques dans les simulations énergétiques des bâtiments. Par ailleurs, une étude menée par (Charfadine et al., 2016) a employé CoDyBa pour évaluer le confort thermique de deux types de murs d'une habitation à N'Djamena, au Tchad. Les configurations étudiées incluaient une cellule en adobe de terre avec une toiture en aluminium, et une autre en blocs de construction, toutes deux présentant des caractéristiques géométriques similaires. L'objectif était de déterminer les indices de confort PMV (Predicted Mean Vote) et PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). Les résultats ont fourni des informations précieuses sur le confort thermique dans ces habitats, analysant des éléments comme la température intérieure, la température ressentie, et l'humidité relative sur une période de 24 heures. Dans un autre contexte, (Denes et al., 2010) CoDyBa a été utilisé pour examiner l'impact du changement climatique sur les températures intérieures maximales et la consommation des systèmes de refroidissement. Cette étude a porté sur les interactions entre les bâtiments et leur environnement urbain, en se concentrant sur les villes françaises de Nantes et La Rochelle. Les auteurs ont utilisé des données climatiques projetées pour prédire l'évolution des températures intérieures et la consommation d'énergie jusqu'en 2100, révélant une augmentation continue de la

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

consommation énergétique et des pics de température intérieure. L'étude a également mis en lumière l'efficacité de la ventilation nocturne intensive, révélant une baisse significative des températures diurnes et nocturnes et une réduction de la consommation d'énergie.

CoDyBa se distingue comme un outil essentiel dans l'analyse thermique des bâtiments, prouvant son efficacité dans diverses études pour améliorer l'efficacité énergétique et le confort thermique. Son utilisation étendue souligne son importance dans la conception durable et l'adaptation aux changements climatiques.

2.2.2.3. VisualDOE

2.2.2.3.1. Historique et Développement de VisualDOE

VisualDOE a été conçu par une équipe comprenant des architectes, des ingénieurs et des programmeurs informatiques. Il a vu le jour en 1994 et a depuis connu des évolutions significatives. Il a été développé pour le département de l'Énergie des États-Unis par le groupe de recherche en simulation du Lawrence Berkeley National Laboratory, avec le processus de développement ayant eu lieu à San Francisco, en Californie, aux États-Unis. (Zhu et al., 2013) (U.S. Department of Energy, 2019)

2.2.2.3.2. Présentation et fonctionnalités clés de VisualDOE

VisualDOE est une interface pour DOE, un programme de simulation énergétique globale des bâtiments. Il peut être utilisé pour évaluer les impacts énergétiques et de demande des différentes alternatives de conception. Il couvre les principaux composants du bâtiment tels que l'enveloppe du bâtiment, l'éclairage, l'éclairage naturel, le chauffage de l'eau de service, le CVC (chauffage, ventilation et climatisation) et la centrale thermique. Il met l'accent sur la facilité d'utilisation et la flexibilité pour les utilisateurs ayant différents niveaux de compétences en simulation et d'expérience. De plus, VisualDOE peut être utilisé pour créer des modèles énergétiques pour les conceptions de bâtiments et calculer les coûts énergétiques, en faisant ainsi un outil précieux pour la conception de bâtiments écologiques et peut contribuer à l'obtention de la certification LEED. (Hong & Eley, 2003) (Hong et al., 2013)

2.2.2.3.3. Etude de cas utilisant VisualDOE

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

VisualDOE, un outil de simulation énergétique, a été largement utilisé dans diverses études pour évaluer et améliorer la performance énergétique des bâtiments. Cette utilisation s'inscrit principalement dans le cadre de l'optimisation de la consommation énergétique des bâtiments, en se basant sur des audits énergétiques. Ces audits se révèlent essentiels pour identifier des opportunités d'économies d'énergie et élaborer des stratégies efficaces de réduction de la consommation.

Dans le cadre de cette revue, plusieurs études pertinentes sont mises en exergue. Par exemple, l'étude menée par (Anzi & Al-Shammeri, 2010) a démontré l'efficacité de VisualDOE dans l'évaluation de la performance énergétique d'une mosquée située au Koweït. Les résultats de cette étude ont révélé la possibilité de réaliser des économies d'énergie annuelles jusqu'à 72% en améliorant la conception de l'enveloppe du bâtiment et en adoptant des stratégies opérationnelles appropriées.

Une autre étude importante, celle de (Iqbal & Al-Homoud, 2007), ont appliqué VisualDOE dans un immeuble de bureaux de cinq étages à Dammam, en Arabie Saoudite, classifiant les mesures d'économie d'énergie en trois catégories : sans coût, à faible coût et à investissement majeur. Leurs résultats ont souligné l'importance de l'outil dans l'analyse précise de la consommation énergétique du bâtiment.

De plus, l'étude de (Mohammed & Budaiwi, 2013) s'est concentrée sur l'analyse de la consommation énergétique et les possibilités d'économie dans les bâtiments publics, notamment une cafétéria étudiante à l'Université King Fahd de Pétrole et Minéraux en Arabie Saoudite. Ils ont utilisé VisualDOE pour développer un modèle de performance énergétique, évaluant diverses mesures liées à l'enveloppe du bâtiment et au système CVC, aboutissant à une économie d'énergie de 27,4 %.

En outre, (Pedrini et al., 2002) ont adopté une méthode élaborée sur sept ans pour analyser les performances énergétiques des bâtiments au Brésil, combinant des analyses de plans de construction, des visites sur site, et des mesures thermiques, avec l'utilisation de Visual DOE. Cette approche s'est avérée bénéfique pour améliorer l'efficacité énergétique, particulièrement dans les climats chauds. (Tavares & Martins, 2007) ont étudié la conception d'un bâtiment public durable au Portugal en utilisant des analyses de sensibilité basées sur un design architectural préliminaire via VisualDOE. Leur objectif était de développer une

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

méthodologie de conception énergétiquement efficace, en se concentrant sur différents aspects du bâtiment tels que l'enveloppe, les systèmes CVC et l'éclairage.

Enfin, (Carvalho et al., 2010) ont exploré, à l'aide de VisualDOE, les facteurs de conception pouvant contribuer à une réduction significative de la consommation d'énergie électrique dans les bâtiments commerciaux, en mettant un accent particulier sur les systèmes de climatisation.

Dans l'ensemble, ces études illustrent l'efficacité et la polyvalence de DOE dans l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments dans divers contextes et climats.

2.2.2.4. HOT2000

2.2.2.4.1. Historique de HOT2000

En 1995, Ressources naturelles Canada a lancé un programme d'analyse énergétique dédié au secteur résidentiel. Ce programme a donné naissance au logiciel de simulation HOT2000, une évolution du programme HOT-CAN développé par le Conseil national de recherches du Canada (CNRC). À l'origine, HOT-CAN se basait sur un modèle de calcul du bilan thermique sur une base mensuelle. Cependant, HOT2000 a adopté une approche de bin mensuelle, une modification stimulée par plusieurs facteurs tels que l'évolution de la vitesse et du coût des unités centrales de traitement (CPU) ainsi que les besoins en matière de stockage des données climatiques. (Haltrecht et al., 1999) (Haltrecht & Fraser, 1997) (Zmeureanu, 1997)

2.2.2.4.2. Présentation et fonctionnalité clé de HOT2000

HOT2000 est un logiciel de simulation énergétique principalement destiné à la modélisation de maisons individuelles, jumelées et en rangée. Il permet d'estimer la consommation énergétique annuelle, d'évaluer l'impact des modifications de conception, et de vérifier la conformité aux normes canadiennes comme le programme R-2000 HOME et EnerGuide. Le logiciel prend en compte divers aspects de la construction, tels que la transmission de chaleur, l'insolation, l'ombrage, l'infiltration et l'humidité. Il utilise une approche quasi-stationnaire pour la modélisation des systèmes HVAC, facilitant la simulation et l'intégration de nouvelles technologies. HOT2000 évalue les charges de chauffage et de refroidissement, la consommation énergétique et les coûts, et génère des

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

rapports détaillés sur la performance énergétique, y compris les émissions de gaz à effet de serre. Utilisé internationalement, ce logiciel est un outil clé pour la conception de bâtiments écoénergétiques et s'adapte continuellement aux évolutions technologiques. (Zmeureanu, 1997)(Parekh et al., 2018)(Haltrecht & Fraser, 1997)(Haltrecht et al., 1999)

2.2.2.4.3. Etude de cas utilisant HOT2000

Le logiciel HOT2000, largement déployé au Canada, a été le sujet de plusieurs études notables. Par exemple, (Brideau and Brideau 2020) l'ont utilisé pour estimer les charges de chauffage, de refroidissement, d'eau chaude domestique, et électriques d'une maison canadienne, en s'appuyant sur les données mensuelles fournies par HOT2000 et des données climatiques horaires. Néanmoins, la nature mensuelle du logiciel limite sa capacité à simuler précisément certaines Mesures de Conservation de l'Énergie (ECM) nécessitant des simulations horaires, d'où la nécessité d'une méthodologie améliorée pour augmenter la précision des estimations.

Dans une autre étude menée par (Zmeureanu, 1997), HOT2000 a été utilisé pour développer un nouveau système de notation énergétique pour les maisons existantes à Montréal. Ce système combine des données des factures de services publics, des mesures sur site et des simulations avec HOT2000 pour calculer la consommation énergétique de logements en termes de chauffage. L'objectif était d'évaluer la performance énergétique des maisons, y compris la résistance thermique de l'enveloppe extérieure et le taux d'infiltration d'air, pour mieux comprendre la consommation énergétique des maisons existantes et identifier les améliorations potentielles. Ce système vise aussi à normaliser la performance énergétique annuelle pour faciliter les comparaisons et informer les propriétaires sur la performance de leur maison.

Également (Mohazabieh et al., 2015) ont utilisé HOT2000 pour comparer la consommation énergétique de deux maisons écoénergétiques en Ontario, la "Energy Star" House (EH) et la "Green" House (GH). Bien que GH disposait de caractéristiques écologiques supplémentaires comme des panneaux solaires photovoltaïques et une meilleure isolation, il a été constaté que EH consommait moins d'énergie. Une enquête sur le comportement des occupants a révélé son influence significative sur la consommation d'énergie, malgré l'efficacité des équipements et des enveloppes de bâtiment.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

Enfin, HOT2000 a été utilisé dans une étude de (Rana et al., 2022) pour examiner l'impact des confinements dus à la pandémie de COVID-19 sur les habitudes de vie et la consommation énergétique. L'étude portait sur un bâtiment résidentiel de deux étages dans la vallée de l'Okanagan, en Colombie-Britannique, utilisant des simulations énergétiques à l'état stable pour évaluer la résilience des mesures d'efficacité énergétique sous confinement. L'analyse des données énergétiques sur trois ans a montré que les bâtiments suivant les horaires d'occupation pré-COVID-19 présentaient un potentiel d'économie d'énergie plus important que ceux avec une occupation post-COVID-19.

En somme, HOT2000 s'est imposé comme un outil essentiel dans l'évaluation de l'efficacité énergétique des bâtiments au Canada. Sa capacité à informer sur les comportements énergétiques et à inspirer des améliorations méthodologiques confirme son rôle clé dans la poursuite d'un avenir plus durable et écoénergétique.

2.2.2.5. Energy plus

2.2.2.5.1. Historique d'Energy Plus

Parmi les logiciels les plus utilisés Energy plus est un logiciel de simulation de l'efficacité énergétique des bâtiments créé par le Département de l'Énergie des États-Unis en 1999 (Crawley et al., 2001).

2.2.2.5.2. Présentation et fonctionnalités clés d'Energy Plus

Son objectif est de fusionner les fonctionnalités de BLAST et de DOE-2, tout en introduisant des nouvelles fonctionnalités. Energy Plus est un logiciel gratuit, open-source et compatible avec plusieurs plateformes. Il adopte une approche de simulation intégrée, permettant de calculer à la fois les charges thermiques et la réponse des systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC) dans le même intervalle de temps, offrant ainsi des prédictions de température plus précises. De plus, il existe plusieurs interfaces graphiques complètes pour Energy Plus. Le Département de l'Énergie des États-Unis privilégie l'utilisation d'Energy Plus dans le cadre de ses travaux, en s'appuyant sur le kit de développement logiciel Open Studio et la gamme d'applications associées. (Drury B. Crawley et al., 2000) (Crawley et al., 2001) (Energy plus, 2024)

2.2.2.5.3. Exemples d'études utilisant Energy Plus

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

Energy Plus, un logiciel de simulation énergétique sophistiqué, a été au cœur de plusieurs études visant à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. Parmi celles-ci, (Marc et al., 2010) ont exploré l'utilisation d'Energy Plus pour l'intégration d'un système de rafraîchissement solaire dans les bâtiments, visant à réduire la consommation d'énergie et à améliorer le confort thermique durant la période estivale. Une autre étude menée par (Fumo et al., 2010) a mis en évidence l'efficacité d'Energy Plus dans l'utilisation des factures d'électricité pour estimer la consommation horaire énergétique des bâtiments. De plus, (Dahanayake & Chow, 2017) ont démontré comment Energy Plus peut évaluer les économies d'énergie réalisables grâce à l'implémentation de système de verdure verticale, en analysant les avantages potentiels des murs végétaux. Dans le domaine du contrôle des systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC), (Cetin et al., 2019) ont validé un nouveau modèle de régulateur marche/arrêt en utilisant Energy Plus, afin de réduire la consommation d'énergie des bâtiments résidentiels et des petits commerces tout en assurant le confort des occupants. Enfin, une étude de (Qin & Yang, 2016) a utilisé les modèles thermiques d'Energy Plus pour évaluer les effets de l'humidité sur les calculs de consommation énergétique des bâtiments. Ensemble, ces études illustrent la polyvalence et l'efficacité d'Energy Plus en tant qu'outil de simulation pour une variété d'applications dans le domaine de l'efficacité énergétique des bâtiments.

2.2.2.6. E-Quest

2.2.2.6.1. Historique de E-Quest

E-Quest a été développé par le Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) en collaboration avec le U.S. Department of Energy (DOE). Il est le résultat de l'évolution du logiciel DOE-2, E-Quest, qui est essentiellement une interface graphique pour DOE-2, a été introduit pour rendre la simulation énergétique plus accessible et conviviale. La version initiale de E-Quest a été lancée au début des années 2000. (Attia & De Herde, 2011)

2.2.2.6.2. Présentation et fonctionnalité clé de E-Quest

E-Quest est un logiciel de simulation énergétique conçu pour optimiser la conception et l'analyse des bâtiments. Il offre une modélisation détaillée, capable de représenter fidèlement la géométrie, les systèmes mécaniques et l'éclairage. Ce logiciel permet une évaluation précise de la consommation énergétique, englobant le chauffage, la ventilation,

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

la climatisation et l'éclairage, tout en proposant des stratégies d'optimisation pour améliorer l'efficacité énergétique. E-Quest intègre également des données climatiques pour évaluer leur impact sur les performances énergétiques et génère des rapports détaillés sur les performances, les coûts et les économies potentielles. Sa convivialité est renforcée par une interface graphique intuitive, facilitant ainsi la modélisation et l'analyse. (Kebangsaan Malaysia, 2013)

2.2.2.6.3. Etude de cas utilisant E-Quest

E-Quest, un logiciel de simulation énergétique, a été employé dans diverses études pour modéliser les performances énergétiques des bâtiments, contribuant ainsi à l'optimisation de leur efficacité énergétique. Par exemple, (Mohammad & Professor, 2023) ont utilisé E-Quest pour améliorer la gestion de l'énergie dans les bâtiments résidentiels, se concentrant notamment sur les systèmes HVAC. Leur étude a simulé la ventilation thermique et la consommation d'énergie dans un immeuble de trois étages, en tenant compte des facteurs tels que le climat, les sources de chaleur internes et les matériaux de construction. Les auteurs ont proposé des modifications architecturales et matérielles pour optimiser l'efficacité énergétique, notamment en période estivale, via l'utilisation de systèmes HVAC ajustés. Dans un autre contexte, E-Quest a été utilisé pour examiner les éléments de conception passive d'un bâtiment de bureaux commerciaux à Kolkata, en Inde (Kebangsaan Malaysia, 2013). Cette étude a évalué l'impact de l'orientation du bâtiment, de la disposition des fenêtres, du ratio mur-fenêtre, et de l'usage de pare-soleils sur la consommation énergétique, mettant en évidence les économies potentielles grâce à une conception orientée vers le nord, un placement stratégique des fenêtres et l'emploi efficace de dispositifs d'ombrage. En outre, (Taileb & Sherzad, 2023) ont utilisé E-Quest dans une approche d'audit énergétique pour deux bâtiments résidentiels à Toronto, analysant les données de consommation d'énergie sur trois ans. Ils ont simulé les économies d'énergie possibles en améliorant l'efficacité des fenêtres, révélant que des vitrages améliorés peuvent réduire significativement la consommation de gaz. Enfin, dans l'étude de (Uddin et al., 2019), E-Quest a été utilisé pour évaluer l'efficacité énergétique des matériaux de l'enveloppe d'un bâtiment éducatif à Hong Kong. L'étude a démontré que l'optimisation de ces matériaux pouvait entraîner des économies d'énergie significatives en climat subtropical,

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

soulignant l'importance du choix des matériaux pour l'enveloppe du bâtiment afin d'améliorer la performance énergétique globale.

En conclusion, l'utilisation de E-Quest s'est avérée cruciale pour l'amélioration de l'efficacité énergétique dans divers types de bâtiments, démontrant l'importance de la simulation et de la conception optimisée dans la gestion énergétique.

2.2.2.7. SIMEB

2.2.2.7.1. Historique de SIMEB

Le logiciel SIMEB a été initialement développé en 2001 par Jocelyn Millette, Simon Sansregret et Ahmed Daoud de l'Institut de recherche d'Hydro-Québec, à Shawinigan, au Canada. (Millette et al., 2011)

2.2.2.7.2. Présentation et fonctionnalités clé de SIMEB

SIMEB, mise au point par Hydro-Québec, est une interface utilisateur intuitive et gratuite, compatible avec les systèmes DOE2.1E, DOE2.2 et EnergyPlus. Elle est conçue pour répondre à une multitude de besoins, incluant l'évaluation d'économies d'énergie, le diagnostic pour la (re)commissioning, et la planification de nouveaux bâtiments, tout en respectant les standards énergétiques. Sa facilité d'utilisation, sa flexibilité et sa capacité à s'adapter à divers logiciels la rendent idéale pour la certification de programmes. Ses fonctionnalités clés comprennent une modélisation simplifiée de la géométrie des bâtiments, une gestion multi-bâtiments, des modèles de bâtiments typiques, un accès à des données météorologiques, et une interopérabilité avec d'autres logiciels. Avec ses trois options de moteurs de calcul, SIMEB est un outil précieux pour les professionnels du bâtiment, tels que les concepteurs, ingénieurs et techniciens, facilitant le développement des concepts énergétiques intégrés pour des constructions neuves ou des rénovations énergétiques. Elle offre aussi des modules avancés pour le calibrage de simulations, la création rapide des bâtiments et l'analyse de profils horaires. La fonctionnalité archétypale simplifie la création de modèles de bâtiments en exigeant peu de données initiales, ce qui est essentiel pour une analyse énergétique efficace. (Millette et al., 2011) (Farzaneh et al., 2015)

2.2.2.7.3. Cas d'étude utilisant SIMEB

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

SIMEB s'est révélé être un outil polyvalent dans diverses études canadiennes. Une utilisation notable a été la simulation d'un bâtiment de bureau existant depuis les années 1960 au Canada pour une rénovation énergétique. Cette étude visait à minimiser la consommation énergétique opérationnelle et à évaluer la production d'énergie nécessaire pour un bilan énergétique net zéro. Les améliorations apportées ont abouti à une réduction de 45% de la consommation énergétique totale à Vancouver, offrant un retour sur investissement de 7,7 ans pour l'enveloppe du bâtiment et de 11,6 ans avec l'intégration du solaire photovoltaïque. (Charles et al., 2019)

En outre, SIMEB a été utilisé à Kuujuaq, la plus grande ville de Nunavik dans le Québec subarctique, pour évaluer l'efficacité des pompes à chaleur géothermiques comme alternative aux fours au diesel pour le chauffage résidentiel. L'étude a inclus une cartographie du potentiel géothermique à l'aide des données SIG et la simulation des besoins en chauffage d'un bâtiment résidentiel typique. Les résultats suggèrent que l'option des pompes à chaleur avec électricité solaire photovoltaïque est la plus économique sur 50 ans. (Gunawan et al., 2020)

Enfin, SIMEB a été employé pour examiner l'efficacité de différentes stratégies de réponse à la demande dans un petit bâtiment commercial au Québec. Cette étude s'est concentrée sur l'utilisation de simulations pour développer et affiner ces stratégies, aboutissant à une réduction significative de la demande de puissance pendant les périodes de pointe, tout en assurant un confort adéquat pour les occupants. (Lavigne et al., 2014)

En conclusion, les diverses applications de SIMEB au Canada démontrent son efficacité remarquable dans l'amélioration de l'efficacité énergétique et la promotion des pratiques durables. Ces études ouvrent la voie à des nouvelles opportunités d'utilisation de SIMEB dans des contextes variés, soulignant son rôle important dans l'atteinte des objectifs environnementaux actuels et futurs.

2.2.2.8. Design Builder

2.2.2.8.1. Historique de Design Builder

DesignBuilder a été développé par DesignBuilder Software Ltd, une entreprise fondée en 2001 par Andy Tindale, un ingénieur spécialisé dans le domaine de la conception

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

énergétique des bâtiments. La première version de DesignBuilder a été lancée en 2006. (ZHANG et al., 2022)(Software Ltd, 2024)

2.2.2.8.2. Présentation et fonctionnalités de Design Builder

DesignBuilder se positionne comme une interface avancée pour EnergyPlus, permettant aux professionnels de modéliser avec précision divers aspects de l'environnement bâti. Ce logiciel couvre une large gamme de paramètres, allant des conditions thermiques aux aspects acoustiques, en passant par l'éclairage et les influences éoliennes. Sa capacité à simuler efficacement la ventilation naturelle, l'ombrage, ainsi que les systèmes complexes de chauffage, ventilation, climatisation (CVC) et l'éclairage artificiel, le rend particulièrement pertinent dans le domaine du bâtiment. L'un des atouts majeurs de Design Builder réside dans sa fonctionnalité de modélisation 3D, qui simplifie tant la création que la visualisation des modèles de bâtiments. Cette facilité d'utilisation est complétée par sa capacité à intégrer la dynamique des fluides computationnelle (CFD), permettant une analyse approfondie des flux d'air et des variations de température dans les environnements construits. Conçu pour s'aligner parfaitement avec le programme de simulation dynamique Energy Plus, Design Builder évalue de manière approfondie la consommation énergétique des bâtiments, se révélant ainsi un outil inestimable pour les professionnels du secteur. Ce logiciel intègre également les données météorologiques globales les plus récentes de l'ASHRAE, enrichies par des observations détaillées sur de nombreux sites (4429 ensembles de données). Il offre la possibilité d'utiliser gratuitement les fichiers météorologiques horaires d'Energy Plus, une fonctionnalité qui renforce sa précision et son applicabilité. En outre, Design Builder est capable de générer des rapports exhaustifs sur les performances des bâtiments, incluant des détails tels que la consommation d'énergie (exprimée en termes de consommation de carburant ou d'énergie), les conditions de température intérieure, les données météorologiques, le transfert de chaleur à travers divers composants du bâtiment, les charges de chauffage et de refroidissement, ainsi que les émissions de CO₂. Globalement, Design Builder se distingue comme un outil extrêmement puissant et flexible, essentiel pour simuler avec précision l'environnement construit et optimiser à la fois la conception et la performance énergétique des bâtiments. (Liu, 2023) (Pawar & Kanade, 2018) (Wasilowski & Reinhart, 2009) (Zhang, 2014)

2.2.2.8.3. Exemple d'étude utilisant Design Builder

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

Design Builder s'est avéré être un outil incontournable dans de nombreuses recherches. Il a notamment joué un rôle clé dans des études d'audit énergétique de bâtiments, telles que la quantification des économies d'énergie lors de l'application de recommandations spécifiques. Par exemple, le logiciel a été employé pour simuler la consommation annuelle d'énergie des infrastructures de l'International Maritime College Oman (IMCO), identifiant ainsi des pistes d'économie d'énergie et de réduction des coûts opérationnels (Al Rashdi et al., 2022). De même, une analyse d'audit énergétique d'un bâtiment éducatif au Koweït a utilisé Design Builder pour calculer les économies d'énergie et réaliser une analyse coût-efficacité (Alajmi, 2012).

Dans une autre perspective, une étude a mis en avant Design Builder pour sa capacité à modéliser avec précision les normes de confort intérieur et explorer des systèmes avancés de gestion de l'énergie, contribuant ainsi à une meilleure durabilité environnementale (Baniyounes et al., 2019). Un audit énergétique au sein de l'INPS à Savone, Italie, a également mis l'accent sur l'utilisation de Design Builder pour la calibration et la validation de modèles énergétiques dynamiques, améliorant la précision des prévisions de consommation énergétique (Bergero & Chiari, 2021). Par ailleurs, le logiciel a été utilisé pour optimiser l'efficacité énergétique d'un bâtiment de bibliothèque, à travers la modélisation et la calibration précise du bâtiment. (Al-Saadi et al., 2017)

Enfin, plusieurs études ont adopté une méthode comparative pour évaluer la fiabilité de Design Builder en comparant les résultats de simulation aux mesures expérimentales. Des études en Iran ont validé Design Builder comme un outil essentiel pour la simulation de la performance thermique et le gain de chaleur dans des bâtiments, offrant ainsi une ressource précieuse pour les architectes et les concepteurs dans la planification énergétique (Eisabegloo et al., 2016) (Tayari & Nikpour, 2023) (Moussa & Moawad, 2020) ont également utilisé cette méthode pour étudier un kiosque de librairie au Caire, proposant des améliorations pour Design Builder en matière de simulation de climats chauds et arides. Ces études soulignent l'importance de reconnaître que les logiciels de simulation fournissent des estimations et non des mesures exactes, ce qui est crucial pour une planification énergétique précise et le confort thermique dans les bâtiments.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

En conclusion, Design Builder s'est établi comme un outil indispensable dans le domaine de la recherche énergétique, jouant un rôle crucial dans les études d'audit énergétique des bâtiments et la quantification des économies d'énergie

2.2.2.9. ECO-BAT

2.2.2.9.1. Historique de ECO-BAT

Eco-Bat a été développé par le Laboratoire d'Énergétique Solaire et de Physique du Bâtiment (LESBAT) de l'Université des Sciences Appliquées de Suisse Occidentale (HES-SO/HEIG-VD) en 2008. (Citherlet & Hildbrand, 2015a) (Favre & Citherlet, 2007)

2.2.2.9.2. Présentation et fonctionnalités clé de ECO-BAT

Eco-Bat, un logiciel gratuit, a été conçu pour analyser les impacts environnementaux des bâtiments en intégrant les effets liés aux matériaux de construction et la consommation énergétique sur l'ensemble du cycle de vie. Apprécié tant dans les milieux académiques que professionnels à travers divers pays européens, Eco-Bat se distingue par sa disponibilité en trois langues, facilitant son usage à l'international. En plus d'évaluer les bâtiments, ce logiciel s'applique également à l'analyse environnementale des systèmes de production d'énergie sur leur durée de vie totale. Employant une méthode d'évaluation de cycle de vie (LCA) conforme aux normes ISO 14040, Eco-Bat extrait ses données de la base des données environnementale Ecoinvent. Il se concentre sur quatre indicateurs environnementaux principaux : l'énergie non renouvelable (NRE), le potentiel de réchauffement global (GWP), le potentiel d'acidification (AP) et le potentiel d'ozone photochimique (POCP). (Favre & Citherlet, 2008)(Citherlet & Hildbrand, 2015)

2.2.2.9.3. Étude de cas utilisant ECO-BAT

Eco-Bat est fréquemment employé pour évaluer l'impact environnemental des bâtiments et des systèmes de production d'énergie tout au long de leur cycle de vie. Dans une étude menée en Afrique, Eco-Bat a permis d'analyser l'impact écologique de trois types de réfrigérateurs - adsorbants, photovoltaïque et à combustion. L'étude, axée sur les matériaux et le cycle de vie, a révélé que le réfrigérateur adsorbant avait l'impact matériel le plus significatif, suivi du photovoltaïque et enfin du modèle à combustion (Citherlet & Hildbrand, 2015) . Dans d'autres travaux de (Favre & Citherlet, 2007) et (Favre & Citherlet, 2008) , Eco-Bat a servi à examiner l'impact environnemental de différentes façades de bâtiments et

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

à évaluer un bâtiment dans son ensemble, mettant l'accent sur l'utilisation de matériaux écoresponsables et la réduction de la consommation énergétique. Enfin, dans l'étude de (Puchala, 2019), Eco-Bat, en tandem avec le logiciel IDA ICE, a été utilisé pour la rénovation d'un bâtiment commercial datant de 1960, en se concentrant sur l'amélioration de son enveloppe et de son système de ventilation. Cette étude a conclu que les mises à jour de la ventilation et l'introduction de refroidissement gratuit étaient les solutions les plus rentables et respectueuses de l'environnement, offrant des bénéfices à la fois économiques et écologiques.

Eco-Bat s'est révélé être un outil incontournable dans l'évaluation environnementale des bâtiments et systèmes énergétiques, offrant des perspectives cruciales pour la durabilité et l'efficacité énergétique respectueuse à l'environnement.

2.3. Consommation énergétique et risque environnemental

2.3.1. Risque environnemental

La conceptualisation du risque environnemental constitue un enjeu majeur dans le domaine de la recherche, reflétant la diversité et la complexité des phénomènes issus de l'interaction entre les activités humaines et l'environnement. Cette complexité est exacerbée par l'ambiguïté existant entre les risques naturels et environnementaux, amenant à une définition plus large qui englobe les deux notions (Veyret, 2004). L'utilisation interchangeable des termes "risques environnementaux" et "risques écologiques" illustre les multiples dimensions de ce risque, incluant les impacts sur la santé humaine, l'économie, et les systèmes écologiques dégradés par l'homme ou par des processus naturels (Cantlon & Koenig, 1999).

D'après (Anne V. T. Whyte & Ian Burton, 1980) Le risque environnemental englobe la probabilité et les conséquences d'incidents néfastes transmis par l'air, l'eau, le sol ou les chaînes alimentaires, soulignant l'origine diverse de ces risques, qui peut être anthropique ou naturelle. Ces risques se caractérisent par leur impact sur des individus non consentants, nécessitant ainsi une gestion proactive et une réglementation par des autorités supérieures, dans le but de minimiser leurs effets immédiats et à long terme sur la santé et l'environnement.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

Les risques naturels, bien qu'étant une catégorie spécifique au sein des risques environnementaux, soulèvent des interrogations sur leur caractère véritablement "naturel" en raison de l'influence significative des activités humaines sur leur occurrence et leur intensité. Cette interaction complexe entre les actions humaines et les phénomènes naturels met en évidence la nécessité de reconsidérer la notion de risque naturel à travers un prisme sociétal. (Herbert et al., 2009)

Selon (Navarro & Guillou, 2014), le risque environnemental se définit par l'interaction entre une menace potentielle et la vulnérabilité des systèmes exposés, mettant en lumière l'importance d'évaluer tant l'élément de danger que la susceptibilité des communautés à ces dangers. Cette perspective est particulièrement pertinente dans le contexte du changement climatique, qui accentue les vulnérabilités et amplifie la fréquence et l'intensité des événements naturels extrêmes, augmentant par là même les risques pour les sociétés.

Selon (Anne V. T. Whyte & Ian Burton, 1980 ; Herbert et al., 2009 ; Morel et al., 2010) Les risques environnementaux englobent une vaste gamme de menaces potentielles affectant l'environnement naturel et humain. Ces risques peuvent survenir de diverses sources et avoir des conséquences multiples, notamment :

1. **Pollution** : Pollution de l'air, de l'eau, des sols, et des sous-sols, y compris la contamination des eaux souterraines, qui peut résulter de rejets industriels, agricoles, ou domestiques.
2. **Risques Industriels et Technologiques** : Événements liés à l'exploitation industrielle ou technologique pouvant entraîner des accidents majeurs, comme des explosions, des fuites chimiques, ou des accidents nucléaires.
3. **Changement Climatique** : Les effets à long terme du changement climatique, y compris les conditions météorologiques extrêmes, l'élévation du niveau de la mer, et les perturbations des écosystèmes.
4. **Destruction des Habitats et Perte de Biodiversité** : La déforestation, l'urbanisation, l'agriculture intensive, et d'autres activités humaines qui mènent à la perte d'habitats naturels et à la diminution de la biodiversité.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

5. **Risques Naturels Exacerbés par l'Activité Humaine** : Catastrophes naturelles telles que les inondations, les incendies de forêt, les ouragans, et les séismes, dont la fréquence ou l'intensité peut être augmentée par les effets des activités humaines sur l'environnement.
6. **Exposition aux Substances Chimiques et Toxiques** : Exposition à des substances chimiques dangereuses dans l'environnement, résultant de l'industrie, de l'agriculture, ou de la pollution urbaine, pouvant avoir des impacts négatifs sur la santé humaine et les écosystèmes.

2.3.2. Les émissions de gaz à effet de serre

2.3.2.1. La définition

Les gaz à effet de serre (GES) sont des composants de l'atmosphère terrestre capables d'absorber et de réémettre le rayonnement infrarouge, ce qui leur confère la capacité de retenir la chaleur dans l'atmosphère, accentuant de ce fait des risques environnementaux tels que le réchauffement et les changements climatiques. Les GES principaux comprennent le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O), et divers gaz fluorés comme les hydrofluorocarbures (HFC), les perfluorocarbures (PFC), l'hexafluorure de soufre (SF₆), et le trifluorure d'azote (NF₃), tous étant issus de processus industriels. (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat., 2023)

2.3.2.2. L'origine des émissions des gaz à effet de serre

La principale origine des émissions de gaz à effet de serre (GES) repose sur la génération et l'usage d'énergie, notamment à travers la combustion de combustibles fossiles, qui émet du CO₂. Cette activité est complétée par d'autres sources non énergétiques telles que les secteurs industriels hors énergie, l'agriculture, et les pratiques d'aménagement du territoire incluant le déboisement et la combustion de biomasse. Ces pratiques anthropiques jouent un rôle crucial dans l'augmentation des niveaux de GES dans l'atmosphère, favorisant ainsi le changement climatique. En particulier, le secteur de l'énergie est reconnu comme le contributeur majeur au forçage radiatif, avec une contribution significative des émissions de CO₂ dues à la combustion de combustibles fossiles dans diverses applications industrielles, commerciales, résidentielles et de transport. (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat. et al., 1992). Les recherches menées par (Siddik et al., 2021) en 2021

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

ont mis en évidence l'impact considérable de la production et consommation d'énergie sur les émissions globales de CO₂, devenues une préoccupation majeure en matière de changement climatique, avec une augmentation des émissions dues aux combustibles fossiles de 57,5 % depuis 1990.

2.3.3. La consommation énergétique et l'efficacité énergétique

2.3.3.1. A l'échelle internationale

Le rapport sur l'état global des bâtiments et de la construction entre 2019 et 2022 dépeint une évolution notable de la consommation énergétique et des émissions de CO₂ dans ce secteur. En 2019, bien que la consommation d'énergie des bâtiments soit restée stable par rapport à l'année précédente, les émissions de CO₂ ont grimpé à près de 10 gigatonnes, constituant environ 28 % des émissions mondiales liées à l'énergie. Ce chiffre monte à 38 % en incluant les émissions liées à la construction, reflétant une légère baisse par rapport à l'année précédente, attribuable à une augmentation des émissions dans d'autres secteurs tels que le transport. Pour faire face à ces enjeux, (voir la figure 2.3) le rapport de 2019 recommande de réduire la demande énergétique des bâtiments, de décarboner le secteur énergétique, et d'adopter des approches matérielles pour diminuer les émissions de carbone tout au long du cycle de vie des bâtiments, soulignant l'importance de l'efficacité énergétique, la décarbonation, et les innovations en matière de matériaux. (International Energy Agency. & Global Alliance for Buildings and Construction., 2019)

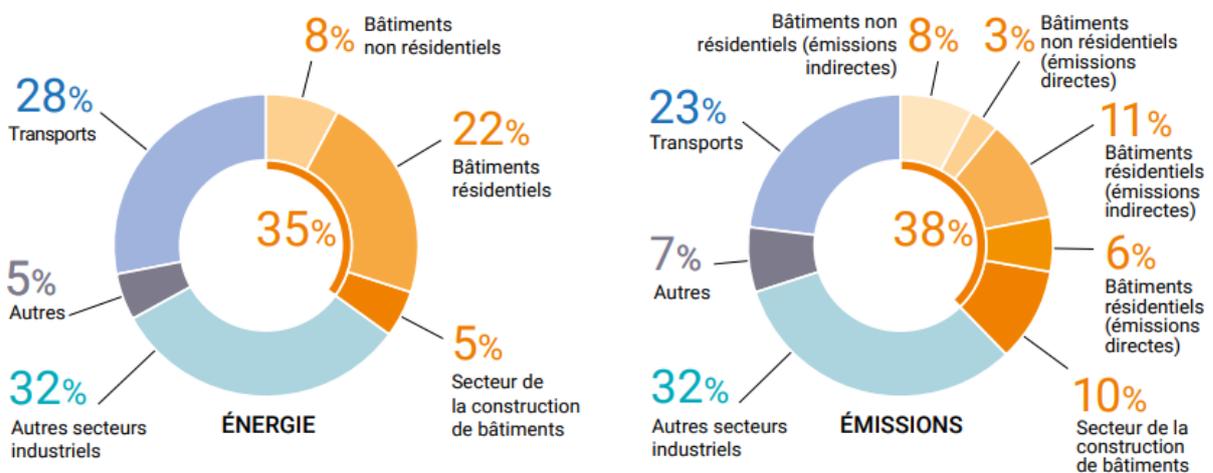


Figure 2.3 La répartition de la consommation finale d'énergie et les émissions par secteur.

Source: Global Status Report for Buildings and Construction 2019.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

En 2022, le Global Status Report for Buildings and Construction indique une hausse significative de la consommation énergétique et des émissions de CO₂, avec une demande énergétique ayant augmenté de 4 % pour atteindre 135 exajoules et des émissions opérationnelles de CO₂ établissant un nouveau record à environ 10 gigatonnes. Cette augmentation reflète la reprise économique postpandémique et une consommation accrue de combustibles fossiles, soulignant l'urgence d'une transition radicale vers des bâtiments plus durables et à faible émission de carbone. Malgré les engagements réaffirmés lors de la COP26 pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris, le secteur montre des signes de stagnation dans les changements structurels nécessaires à une véritable décarbonation.

Les efforts pour adresser ces défis incluent des initiatives globales et régionales visant à améliorer l'efficacité énergétique, encourager l'utilisation des énergies renouvelables, et promouvoir des pratiques de construction durables, en particulier en Afrique où le potentiel de développement durable dans la construction est immense, compte tenu de la croissance rapide du parc immobilier. Les défis liés à la dépendance aux matériaux de construction importés et l'accès limité à des sources d'énergie propres appellent à une focalisation sur l'utilisation de ressources locales et l'intégration des principes de l'économie circulaire pour réduire les émissions et favoriser un secteur de la construction respectueux de l'environnement. (International Energy Agency. & Global Alliance for Buildings and Construction., 2022)

Ces rapports mettent en lumière les défis continus auxquels le secteur de la construction et des bâtiments fait face en matière de consommation énergétique et d'émissions de CO₂, tout en soulignant les stratégies et initiatives essentielles pour naviguer vers un avenir plus durable et en accord avec les objectifs climatiques mondiaux.

2.3.3.2. A l'échelle nationale

Le rapport énergétique de l'Algérie en 2019, selon le Ministère de l'Énergie, indique une augmentation de 3,0% de la consommation nationale d'énergie, atteignant 66,9 millions de tonnes équivalent pétrole (TEP), en hausse par rapport aux 64,964 millions de TEP de 2018. Cette croissance est attribuée à une augmentation de 4,6% de la consommation finale énergétique, avec des augmentations notables dans le secteur résidentiel (5,0% à 23,5 millions de TEP), dans les transports (0,8% à 15,4 millions de TEP), et dans l'industrie (9,3%

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

à 11,4 millions de TEP), y compris dans l'industrie manufacturière, le bâtiment et les travaux publics (BTP), ainsi que les matériaux de construction. La répartition de la consommation finale révèle que le secteur résidentiel et autres domine à 46,7%, suivi par les transports à 30,6%, et l'industrie incluant le BTP à 22,7%. Comme le démontre la figure 2.4 ci-joint. (Ministère de l'Énergie, 2019)

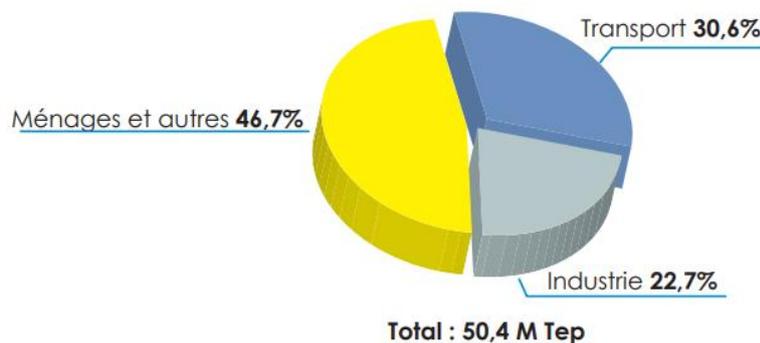


Figure 2.4 La structure la consommation finale par secteur 2019.

Source : Le Commissariat aux Énergies Renouvelables et à l'Efficacité Énergétique, le bilan énergétique 2019.

Pour l'année 2020 le Commissariat aux Énergies Renouvelables et à l'Efficacité Énergétique, rapporte que la consommation énergétique totale a atteint 410 millions TEP, avec le secteur résidentiel et tertiaire dominant à 43% de cette consommation. Ce rapport note une augmentation significative de la consommation dans ces secteurs, mettant en évidence une croissance de près de 89,5%, ce qui double presque la consommation à 11,1 millions TEP. Cette tendance à la hausse est soutenue par une préférence pour le gaz naturel (7%), les produits pétroliers (4%), et le GPL (2%), avec le secteur résidentiel et tertiaire représentant 43% de la consommation totale. Une partie de cette augmentation est attribuée à l'usage intensif des climatiseurs, surtout pendant les vagues de chaleur, ce qui augmente considérablement la demande en électricité. (Le Commissariat aux Énergies Renouvelables et à l'Efficacité Énergétique (CEREFÉ), 2020)

En réponse aux risques environnementaux et aux émissions de gaz à effet de serre (GES), l'Algérie a mis en œuvre des mesures législatives, réglementaires, et programmatiques visant à optimiser la consommation d'énergie et encourager des économies

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

significatives (voir l'annexe B). Cela inclut le développement des programmes axés sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique, ainsi que la création d'un cadre institutionnel national comprenant le Programme National de Maîtrise de l'Énergie (PNME), le Fonds National pour la Maîtrise de l'Énergie (FNME), le Comité Intersectoriel de la Maîtrise de l'Énergie (CIME), et l'Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Énergie (APRUE). Des initiatives législatives et réglementaires renforcent ces mesures, avec des actions telles que la réglementation thermique pour les nouveaux bâtiments, les audits énergétiques pour les grands consommateurs, la classification d'efficacité énergétique, et l'étiquetage des appareils domestiques.

Le Programme National d'Efficacité Énergétique (PNME), révisé en 2015, cible une diminution de 9% dans la consommation énergétique et les émissions de CO₂ de l'Algérie, visant des économies supérieures à 30 millions de tonnes équivalent pétrole (TEP) à l'horizon 2030. Axé sur les secteurs cruciaux tels que le bâtiment, les transports et l'industrie, le programme encourage l'adoption des mesures telles que la conversion des centrales électriques à gaz en cycle combiné, la généralisation des audits énergétiques et l'intégration des technologies avancées pour réduire le gaspillage. L'objectif est de promouvoir une gestion énergétique plus responsable, en maximisant l'efficacité et en préservant les ressources naturelles (voir la Figure 2.5). (Le Commissariat aux Énergies Renouvelables et à l'Efficacité (CEREFEE), 2020)

Dans le secteur du bâtiment, le PNME stimule l'utilisation des pratiques et technologies innovantes pour l'isolation thermique et encourage la diffusion d'équipements à haute performance énergétique, tels que les chauffe-eaux solaires et les lampes à faible consommation, visant à améliorer le confort des logements tout en réduisant la consommation d'énergie. La création d'une industrie locale dédiée à ces technologies est également envisagée comme un levier majeur pour l'efficacité énergétique, avec des objectifs précis : plus de 7 millions de TEP économisés grâce à l'isolation thermique, environ 2 millions de TEP grâce aux chauffe-eau solaires, près de 20 millions de TEP grâce aux lampes à basse consommation et une économie d'un million de TEP dans l'éclairage public. (Ministère De L'énergie Et Des Mines, 2015)

Pour les transports, le programme favorise l'utilisation de carburants moins polluants tels que le GPLc et le GNC, contribuant ainsi à une meilleure offre de carburants et à la

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

réduction de la consommation de gasoil, avec un impact positif sur la santé publique et l'environnement. L'objectif est d'atteindre une économie de plus de 16 millions de TEP d'ici 2030. (Ministère De L'énergie Et Des Mines,2015)

Dans le secteur industriel, l'accent est mis sur la modération de la consommation énergétique grâce à la généralisation des audits énergétiques et à l'optimisation des procédés industriels. Ces mesures devraient permettre de réaliser des économies substantielles d'énergie, avec un soutien gouvernemental pour le financement des initiatives visant à réduire la surconsommation. L'industrie est donc appelée à économiser plus de 30 millions de TEP, en favorisant une approche plus économe et efficace de l'utilisation de l'énergie. (Ministère De L'énergie Et Des Mines,2015)

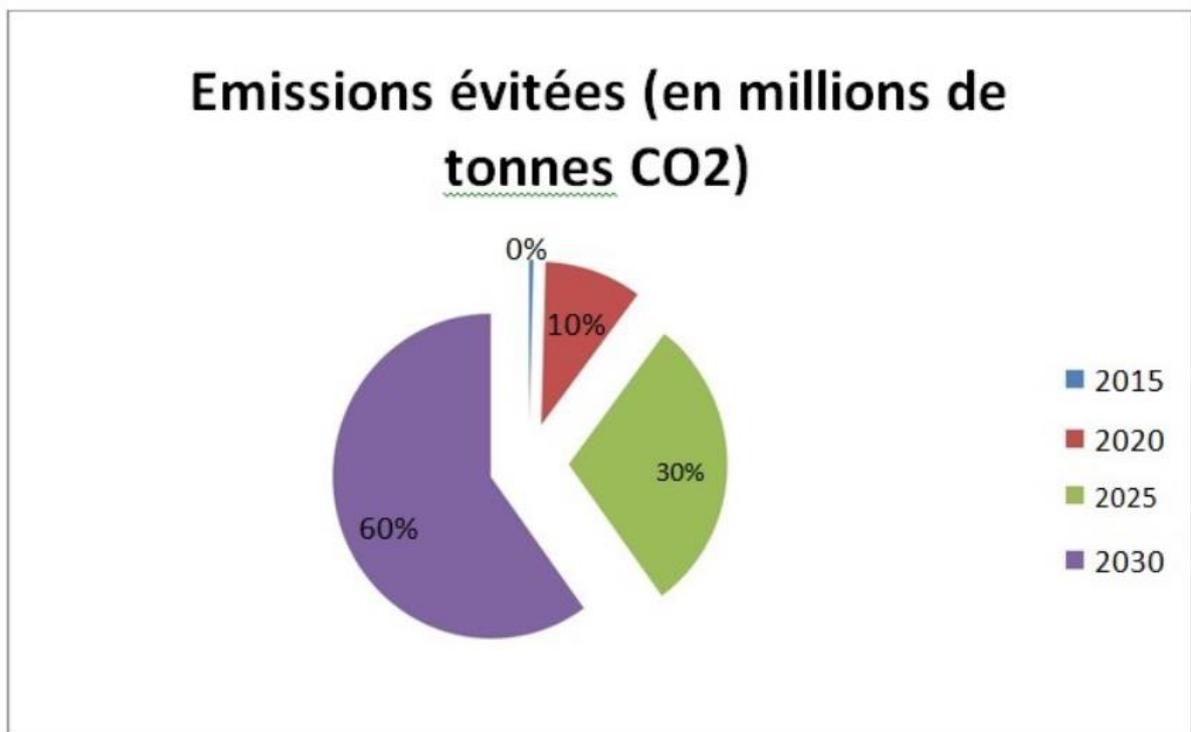


Figure 2.5 Projections des émissions du CO₂ en Algérie.
Source : Ministère De L'énergie Et Des Mines 2015.

En somme, l'Algérie s'engage à travers son programme national d'efficacité énergétique à réduire progressivement la demande d'énergie, envisageant des économies d'énergie cumulées d'environ 93 millions de TEP, dont 63 millions de TEP d'ici 2030. Cette stratégie multidimensionnelle implique des améliorations dans le bâtiment, les transports, et

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

l'industrie pour assurer une croissance économique durable tout en préservant l'environnement et améliorant la qualité de vie des citoyens.

2.3.4. Cas d'étude étranger sur La réduction de la consommation énergétique du bâtiment et émission de CO₂

Pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments et atténuer leur impact sur le changement climatique, l'adoption de mesures d'économie d'énergie est essentielle. Ces stratégies, qui visent à réduire la consommation d'énergie et les émissions de CO₂, se divisent en plusieurs catégories. (Allouhi et al., 2015) ont souligné l'importance de ces mesures dans les secteurs résidentiel et commercial, mettant en avant leur contribution significative à la réduction de la consommation énergétique globale et des émissions de gaz à effet de serre. Ils ont classé ces mesures en trois principales catégories : réglementaires, qui comprennent des normes obligatoires pour assurer une performance énergétique minimale des bâtiments ; des instruments souples, tels que les certifications volontaires encourageant des niveaux d'efficacité supérieurs aux minimums requis ; et des incitations économiques, visant à motiver les améliorations via des avantages financiers tels que des subventions ou des prêts avantageux.

D'autre part, (Itani et al., 2013) ont exploré des tactiques de conservation d'énergie à faible coût pour les bâtiments de bureaux dans un climat méditerranéen, identifiant des ajustements tels que la modulation des paramètres de confort thermique et l'optimisation de l'éclairage, qui pourraient réduire la consommation d'électricité de plus de 16% sans altérer le confort ou la qualité de l'air. (Graiz & Al Azhari, 2019) ont quant à eux examiné comment l'utilisation de différents types de verres et l'orientation des bâtiments affectent la consommation énergétique, notant une possible réduction des coûts énergétiques de 45% à 53% grâce à l'optimisation de ces facteurs.

Dans le contexte spécifique des mosquées, (Budaiwi & Abdou, 2013) ont proposé des stratégies pour minimiser la consommation énergétique et les émissions de CO₂, telles que l'ajustement des opérations du système HVAC et l'application de zonages thermiques opérationnels, visant à optimiser le confort thermique et l'efficacité énergétique pendant les périodes d'occupation intermittentes.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

En outre, des études sur la mise en œuvre des bâtiments à consommation énergétique quasi nulle (nZEB) dans des climats variés, comme celle de (Carutasiu et al., 2015). sur une maison basse énergie en Roumanie, démontrent le potentiel de réduction significative de la consommation grâce à l'utilisation des technologies avancées et des sources d'énergie renouvelables. Enfin, des audits énergétiques, comme ceux menés par (King Saud Univ & Vo, 2009) ont mis en évidence des opportunités d'amélioration de l'efficacité énergétique dans un immeuble de bureaux à Riyad, en Arabie Saoudite, suggérant des améliorations telles que l'amélioration de l'isolation, la modernisation du système de climatisation, et l'optimisation de l'éclairage. Ces ajustements ont le potentiel de diminuer considérablement la consommation énergétique, avec un retour sur investissement estimé à 29 mois, mettant en avant la viabilité économique de ces interventions. Parallèlement, (Darshan et al., 2022) ont démontré l'efficacité des audits énergétiques pour déceler des moyens d'affiner l'efficacité énergétique dans les projets résidentiels en développement, en favorisant l'usage d'appareils à basse consommation et l'intégration d'énergies renouvelables comme le solaire. Cette approche contribue à une réduction notable de la consommation d'énergie et des dépenses associées, tout en minimisant l'impact environnemental du projet.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART EN MATIÈRE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET DE RISQUE ENVIRONNEMENTAL

Conclusion

Ce second chapitre établit les fondements théoriques nécessaires à la compréhension des défis liés à notre sujet de recherche, visant à éclaircir et approfondir la connaissance autour de l'audit énergétique. En s'appuyant sur ces bases théoriques, nous avons pu choisir le type d'audit, optant pour l'audit énergétique détaillé. Ce type d'audit permet une analyse exhaustive de la consommation énergétique, prenant en compte les spécificités de chaque bâtiment et proposant des solutions personnalisées. Il inclut une évaluation minutieuse des équipements, des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation, ainsi que des comportements des occupants. Nous avons suivi les étapes mentionnées dans le cadre théorique, telles que la collecte des données énergétiques, l'analyse de la consommation, et la proposition de mesures correctives. Ces étapes sont cruciales pour garantir l'exactitude des résultats et l'efficacité des recommandations. Pour cela, nous avons utilisé le décret exécutif 05/495 approuvé par l'APRUE comme référence pour cet audit. Ce décret fournit un cadre réglementaire et méthodologique rigoureux, assurant que l'audit est conforme aux normes nationales.

Le chapitre met également en avant l'importance des outils de simulation pour évaluer la performance énergétique des bâtiments, soulignant leur rôle essentiel dans la réalisation d'audits énergétiques fiables. La simulation numérique est une étape très importante dans l'audit énergétique détaillé. En se basant sur ces bases théoriques, nous avons choisi CoDyBa comme outil de simulation à utiliser dans notre recherche. CoDyBa se distingue par sa capacité à modéliser avec précision les systèmes énergétiques des bâtiments, permettant une analyse détaillée et fiable des performances énergétiques, et aidant ainsi à formuler des recommandations concrètes pour améliorer l'efficacité énergétique.

Ce chapitre explore la question du risque environnemental sous divers aspects. Il met en lumière que l'augmentation de la consommation énergétique conduit à une hausse des émissions de CO₂, soulignant ainsi l'importance de l'audit énergétique. Cet audit est une étape cruciale pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire la consommation d'énergie, et par conséquent, les émissions de CO₂. Le chapitre aborde également l'engagement de l'Algérie dans la réduction de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ à travers le Programme National d'Efficacité Énergétique (PNME). Ce programme démontre la pertinence de notre recherche à l'échelle nationale.

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons introduire notre étude de cas, à savoir l'Université Salah Boubnider Constantine 3. Notre analyse se focalise sur six facultés et un institut, ainsi que le rectorat. Ces entités comprennent les facultés de science politique, de l'art et culture, de science de l'information et communication et de l'audio-visuel, de génie des procédés, de la médecine, d'architecture et d'urbanisme, en plus de l'Institut de gestion des techniques urbaines et du rectorat. Nous aborderons dans un premier temps la structure et les caractéristiques physiques de l'université, en détaillant les installations des sept facultés et de l'institut, pour mettre en lumière l'environnement dans lequel se déploient les différents usages énergétiques. Ensuite, nous nous concentrerons sur la méthodologie utilisée pour la collecte des données énergétiques, essentielle à l'analyse de la consommation. Cette démarche inclut l'examen des factures de gaz et d'électricité et la réalisation d'un inventaire énergétique spécifique, pour quantifier et qualifier l'utilisation de l'énergie au sein des différents bâtiments.

3.1. Présentation du cas d'étude

L'Université Salah Boubnider - Constantine 3, qui a officiellement ouvert ses portes en septembre 2013, représente un des plus importants pôles universitaires d'Afrique avec une étendue de 170 hectares répartie en 30 sections. Située dans le prolongement UV 05 de la nouvelle ville Ali Mendjeli, elle se trouve à une distance de 13 km du centre de la wilaya de Constantine, en Algérie. L'établissement abrite six facultés ainsi qu'un institut, avec des programmes d'études qui occupent en moyenne huit heures par jour (La figure 3.1 illustre une photo aérienne de l'université Salah Boubnider Constantine 3).

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3



Figure 3.1 Photo aérienne de l'université Salah Boubnider Constantine 3.

Source : Google Earth + auteure, février 2024.

3.1.1. Institut De Gestion Des Techniques Urbaines

Depuis sa création en 2013 sur le campus universitaire, l'Institut de Gestion des Techniques Urbaines s'étend sur une superficie de 27657,58 m². Il est pourvu d'une infrastructure complète adaptée aux besoins éducatifs et de recherche, comprenant 8 amphithéâtres et 37 salles pour les travaux dirigés. L'institut bénéficie aussi de 34 ateliers, parmi lesquels 8 sont spécialisés, une salle dédiée aux doctorants, ainsi qu'un laboratoire de recherche et un autre pédagogique. Les ressources pour l'étude et la lecture sont fournies par deux salles de lecture, une bibliothèque, et quatre salles informatiques. L'institut dispose de

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3

deux bureaux pour les clubs étudiants, deux ateliers de maintenance, et un bureau pour les agents. L'offre académique est enrichie par une salle d'internet, deux salles de cours supplémentaires, et 30 installations sanitaires. Les activités extérieures au cursus traditionnel peuvent se dérouler dans l'une des trois salles de conférence de l'institut, conçues pour accueillir des événements de différentes tailles, y compris des visioconférences. Pour le personnel, l'institut alloue 72 bureaux pour les enseignants et 47 bureaux administratifs, en plus d'une salle de réunion et d'une cafétéria destinée aux pauses et aux interactions informelles. (Les figures 3.2 et 3.3 illustrent la photo aérienne de l'institut et une photo de sa façade, prise par l'auteure).



Figure 3.2 Photo aérienne de l'institut gestions des techniques urbaines.
Source : Google Earth, février 2024.

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3



Figure 3.3 Photo de l'institut gestions des techniques urbaines.
Source : auteure, février 2024.

3.1.2. Faculté De Science Politique

Depuis l'inauguration du siège de l'université à Constantine 3, cette infrastructure s'étend sur une superficie de 29992,01 m². Elle est équipée de 8 amphithéâtres, 71 salles de travaux dirigés (TD) et 41 salles de cours. De plus, elle comprend une salle dédiée aux doctorants, une salle informatique, une salle d'internet, une bibliothèque, une banque de prêt, un bureau de poste d'Algérie Télécom, une salle de sport, un espace d'archives, deux bureaux réservés aux clubs étudiants, 52 bureaux administratifs, une salle de réunion, 74 bureaux pour les enseignants, une salle de conférence et 40 installations sanitaires (Les figures 3.4 et 3.5 présente une photo aérienne de la faculté et une photo de sa façade, prise par l'auteure).

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3



Figure 3.4 Photo aérienne de la faculté de science politique.
Source : Google earth, février 2024.



Figure 3.5 Photo de la faculté de science politique.
Source : auteure, février 2024.

3.1.3. Faculté D'art Et Culture

Depuis son ouverture en 2014, la faculté d'art et culture s'étend sur une superficie de 28742,20 m². Elle est équipée de 8 amphithéâtres, 66 salles de travaux dirigés (TD), une salle de théâtre, une salle de conférence, une salle de concert, une galerie d'expositions, une

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3

salle de concert expérimentale, des ateliers de sculpture et de peinture, une salle de musique, 40 laboratoires, deux salles informatiques, une salle d'internet pour les enseignants, une banque de prêt, une salle réservée aux doctorants, une salle d'informatique pour les doctorants, une salle d'inscriptions, un club étudiant, une salle d'honneur, trois salles de maintenance, deux espaces d'archives, six dépôts, une salle d'internet pour les étudiants, une salle de lecture pour les étudiants, une salle de lecture pour les enseignants, une salle de soutenance, une salle de lecture, deux salles de délibération, deux magasins, 66 bureaux administratifs, une salle de réunion, 68 bureaux d'enseignants et 45 installations sanitaires (les figures 3.6 et 3.7 illustre une photo aériennes de la faculté et une photo de sa façade, prise par l'auteure).



Figure 3.6 Photo aérienne de la faculté d'art et culture.
Source : Google earth, février 2024.

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3



Figure 3.7 Photo de la faculté d'art et culture.
Source : auteure, février 2024.

3.1.4. Faculté De Science De L'information Et De La Communication Et De L'audio-Visuel

La faculté de Science de l'Information et de la Communication et de l'Audiovisuel s'étend sur une superficie de 30125 m². Elle est équipée de 8 amphithéâtres, 34 salles de travaux dirigés, 66 salles de cours, une salle de conférence, une salle d'honneur, une salle de réceptions, 6 bureaux de studio, deux studios radio, deux salles de préparation, un studio caméra, un espace internet, une salle des inscriptions, un studio, 58 bureaux administratifs, deux bureaux d'agents, deux magasins, deux foyers pour les étudiants, une bibliothèque, trois salles de lecture, 4 bureaux de bibliothèque, une salle réservée aux doctorants, 80 bureaux pour les enseignants, deux salles de réunion, deux dépôts et 58 installations sanitaires (les figures 3.8 et 3.9 illustrent une photo aérienne de la faculté et une photo de sa façade, prise par l'auteure) .

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3



Figure 3.8 Photo aérienne de la faculté de Science de l'information et de la communication et de l'audio-visuel.
Source : Google earth, février 2024.



Figure 3.9 Photo de la faculté de Science de L'information et de La communication et de l'audio-visuel
Source : auteure, février 2024.

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3

3.1.5. Faculté De Génie Des Procèdes

La faculté de Génie des Procédés, inaugurée en 2013 avec l'ouverture du siège du pôle universitaire, occupe une superficie de 27850,60 m². Cette faculté est équipée de 8 amphithéâtres, une salle de conférence, 40 laboratoires pédagogiques, un laboratoire pilote, 16 laboratoires de recherche, deux ateliers de stockage, un atelier de maintenance, 62 salles de travaux dirigés (Td), 62 bureaux administratifs, 76 bureaux d'enseignants, 4 bureaux d'ingénieurs, 2 salles combinant internet et informatique, 2 espaces multimédias et informatiques, 2 bibliothèques et deux salles de lecture. La faculté dispose également de 56 installations sanitaires (La figure 3.10 présente une vue aérienne de la faculté de Génie des Procédés, tandis que la figure 3.11 illustre sa façade, prise par l'auteure).



Figure 3.10 Photo aérienne de la faculté de Génie des Procédés.
Source : Google earth, février 2024.

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3



Figure 3.11 Photo de la faculté de Génie des Procédés.
Source : auteure, février 2024.

3.1.6. Faculté De Médecine Et Le Rectorat

La faculté de médecine et le rectorat ont été inaugurés avec l'ouverture du pôle universitaire et occupent une superficie totale de 45833,57 m². La faculté de médecine comprend 8 amphithéâtres, 37 salles de cours, 44 laboratoires pédagogiques, une bibliothèque, une salle de conférence, 70 bureaux pour les enseignants, 76 bureaux administratifs et 56 installations sanitaires. En revanche, le rectorat est équipé de 108 bureaux administratifs, 6 magasins et 14 installations sanitaires (Les figures 3.12 illustrent une photo aérienne de la faculté de médecine et du rectorat, tandis que les figures 3.13 et 3.14 présentent une photo de la façade de la faculté de médecine et du rectorat, prise par l'auteure).

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3

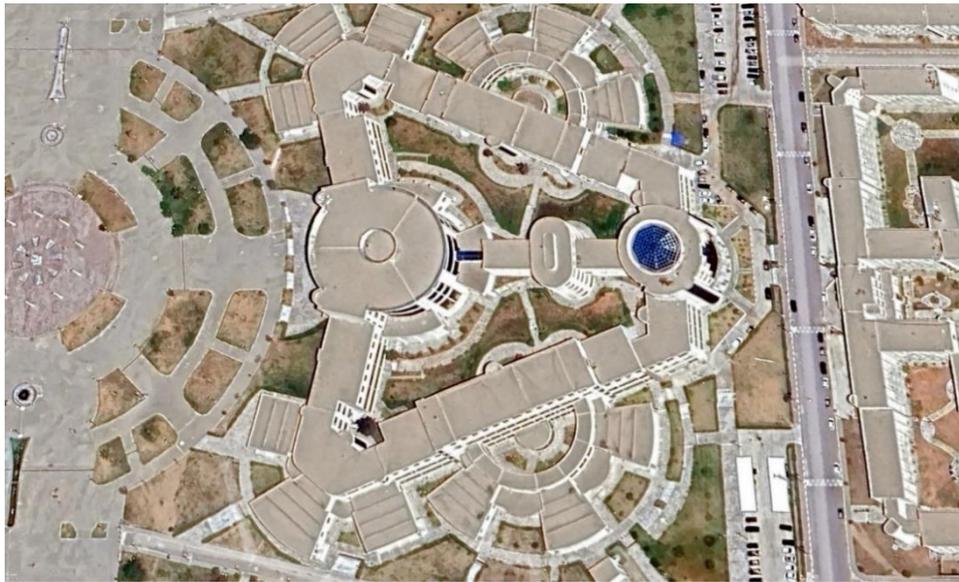


Figure 3.12 Photo aérienne de la faculté de Médecine + le Rectorat.
Source : Google earth, février 2024.



Figure 3.13 Photo de la faculté de Médecine.
Source : auteure, février 2024.

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3



Figure 3.14 Photo du Rectorat.
Source : auteure, février 2024.

3.1.7. Faculté D'architecture Et D'urbanisme

La faculté d'architecture et d'urbanisme a été ouverte en même temps que l'université, et elle s'étend sur une superficie de 27617,78 m². Ses installations comprennent 8 amphithéâtres, une salle de conférence, une salle d'honneur, un espace combinant internet et informatique, un foyer pour les étudiants, une salle de travail, une salle dédiée aux maquettes, une salle des soutenances, une salle de service de traitement scientifique, deux salles d'internet, 72 salles de travaux dirigés, 84 ateliers, 78 bureaux pour les enseignants, 4 salles informatiques, 71 bureaux administratifs, deux salles de réunion, une salle réservée aux enseignants, une salle de tirage, deux magasins, 8 laboratoires de recherche, deux salles de projection, une bibliothèque centrale, une banque de prêt, une salle de thèse, et 46 installations sanitaires (Les figures 3.15 et 3.16 présentent respectivement une vue aérienne de la faculté d'architecture et d'urbanisme, ainsi qu'une photo de sa façade prise par l'auteure).

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3



Figure 3.15 Photo aérienne de la faculté D'architecture Et D'urbanisme.
Source : Google earth, février 2024.



Figure 3.16 Photo de la faculté D'architecture Et D'urbanisme.
Source : auteure, février 2024.

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3

Voici la figure 3.17 indiquant le nombre d'étudiants, d'enseignants et d'employés administratifs pour chaque faculté ou institut :

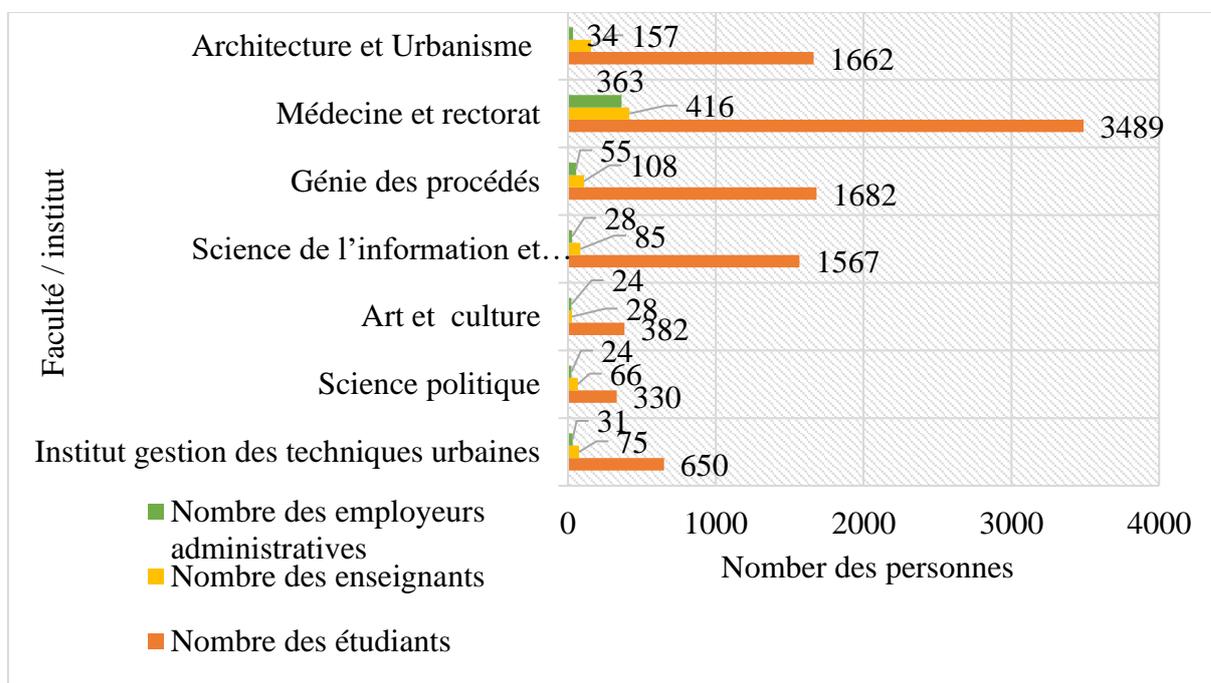


Figure 3.17 Le nombre d'étudiants, d'enseignants et d'employés administratifs pour chaque faculté ou institut.

Source : service des statistiques de l'université Salah Boubnider Constantine 3
(2023/2024).

3.2. La collecte des données

La collecte des données sur la consommation énergétique des facultés et de l'institut, ainsi que sur celle des différents systèmes d'éclairage, de chauffage et de climatisation, s'est effectuée en utilisant les factures de gaz et d'électricité de chaque établissement entre 2018 et 2023. Cependant, en raison du manque de données spécifiques sur l'éclairage, le chauffage et la climatisation, il a été nécessaire de compter le nombre de chaque équipement et de développer un inventaire énergétique détaillé pour chaque faculté et institut (voir l'Annexe E). Le but principal de cette collecte des données visait à approfondir notre compréhension de la consommation d'énergie des systèmes en place au sein de chaque faculté et institut, et à identifier les facteurs influençant cette consommation. Pour ce faire, l'initiative a débuté par l'examen détaillé des factures de gaz et d'électricité, suivi par un inventaire énergétique complet au sein de chaque faculté et institut.

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3

3.2.1. Éclairage

Toutes les facultés et instituts utilisent le même type d'éclairage, à savoir des tubes fluorescents de différentes puissances de 36 W et 18 W, (voir l'Annexe C) ainsi que des spots de différentes tailles, variant de 3 W 3,5 W, 5W et 7,5 W. Depuis l'année 2022, certaines facultés ont commencé à remplacer les tubes fluorescents endommagés par des LED. Ces facultés comprennent la Faculté de Génie des Procédés, la Faculté de Science Politique, ainsi que la Faculté de Science de l'Information et de la Communication et de l'Audiovisuel. (Les figures 3.18 et 3.19 pour plus de détaille sur le nombre et la puissance d'éclairage en kilowatts (kW) pour chaque faculté et institut).

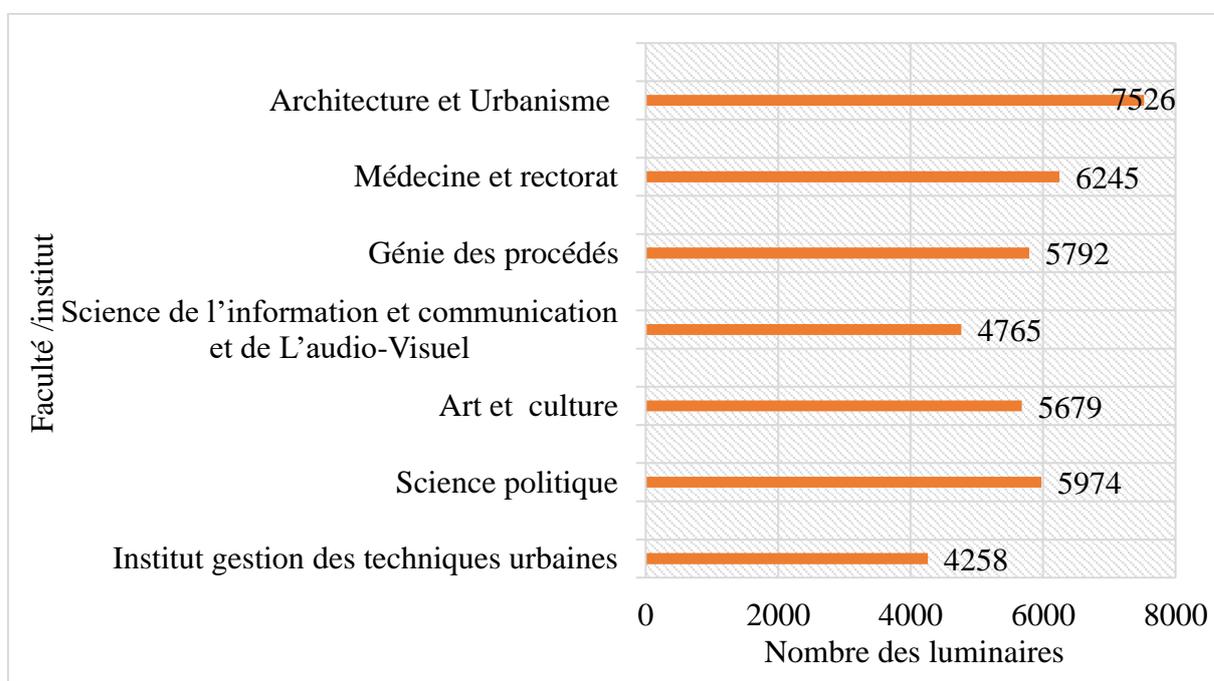


Figure 3.18 Le nombre des luminaires pour chaque faculté et institut.

Source : auteure ,2022.

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3

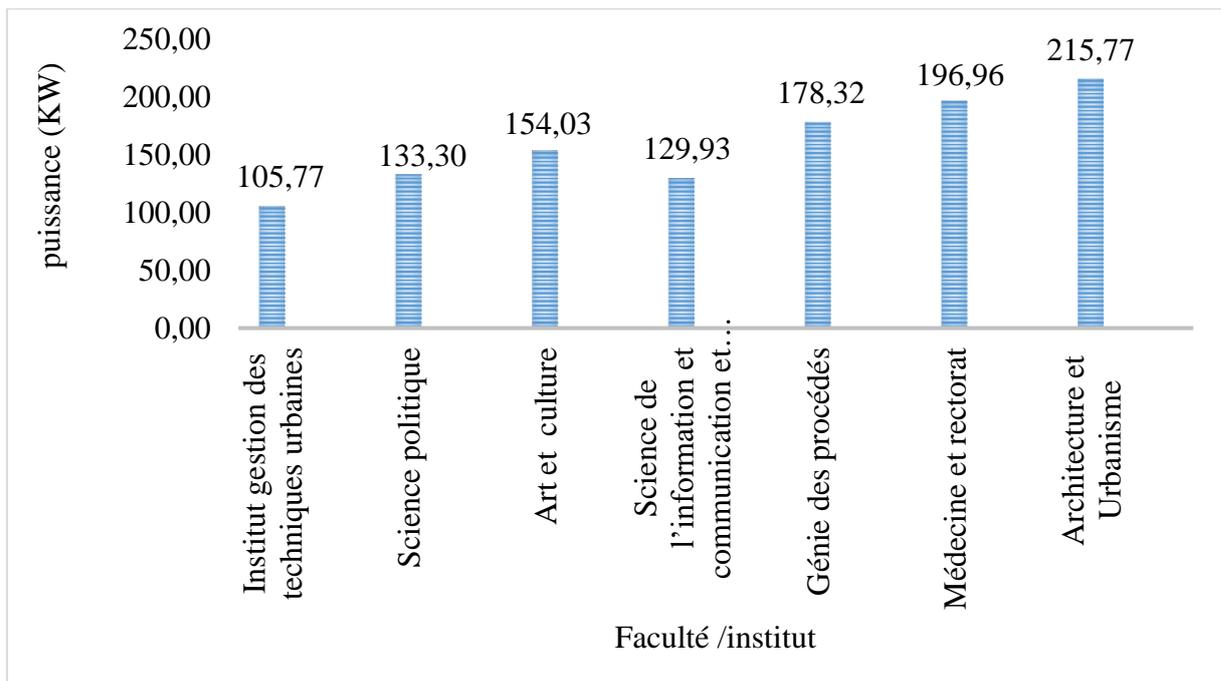


Figure 3.19 La puissance d'éclairage en kilowatts (kW) pour chaque faculté et institut.

Source : auteure ,2022

3.2.2. Climatisation

Toutes les facultés et institut sont équipés d'un nombre significatif des climatiseurs, installés dans les bureaux administratifs, les salles de conférences, les bibliothèques et les laboratoires de recherche. Ces climatiseurs sont tous du même type mural, mais présentent différentes puissances, allant de 9000 BTU à 48000 BTU. (Les figure 3.20 et 3.21 illustre le nombre et la puissance des climatiseurs en kilowatts (kW) pour chaque faculté et institut) (Voir l'Annexe C).

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3

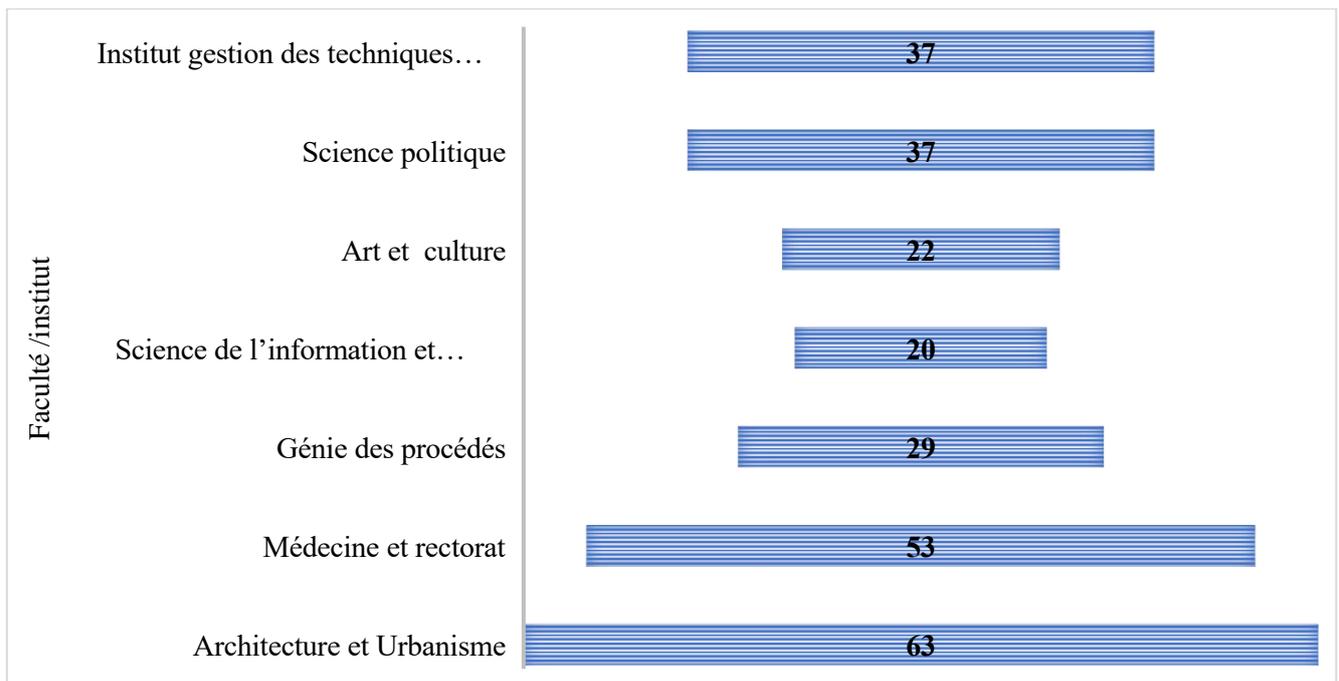


Figure 3.20 Les nombre des climatiseurs pour chaque faculté et institut.
Source : auteure ,2022.

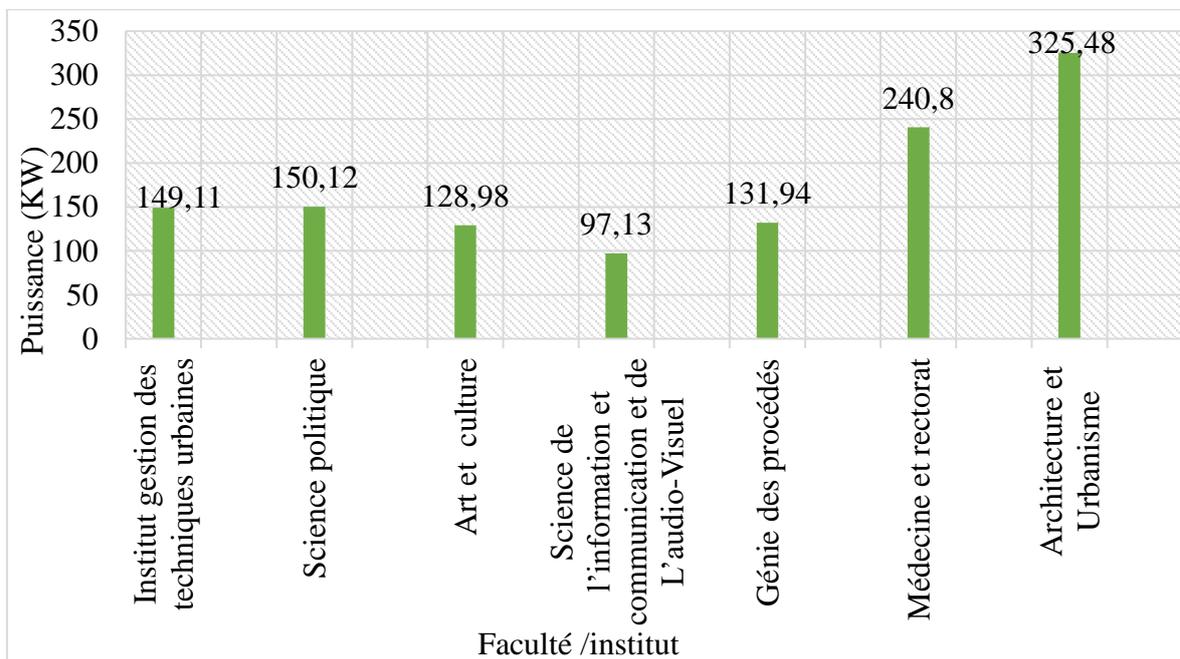


Figure 3.21 La puissance des climatiseurs en kilowatts (kW) pour chaque faculté et institut
Source : auteure ,2022.

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3

3.2.3. Chauffage

Toutes les facultés et institut sont équipés d'un local pour la chaudière à gaz central, comprenant trois chaudières d'une puissance comprise entre 600 000 et 650 000 kcal/h. Cependant, la faculté de médecine et la faculté d'art et culture disposent exceptionnellement de six chaudières de même puissance. En opération, cependant, la faculté de médecine et la faculté d'art et culture utilisent quatre chaudières, Le nombre de chaudières utilisées est directement influencé par les conditions météorologiques. En période de grand froid hivernal, l'intégralité des chaudières est mise en fonctionnement. En revanche, lorsque les températures extérieures sont plus clémentes, seulement deux à quatre chaudières sont employées.

Un exemple de chambre de chaudière, située à la faculté d'art et culture, est illustré dans la figure 3.22. De plus, toutes les facultés et institut sont équipés par des radiateurs en fonte, chaque élément ayant une puissance maximale de 110 W. les figures 3.23 et 3.24 présente le nombre de radiateurs par faculté et institut, ainsi que leur puissance en kilowatts (kW).



Figure 3.22 local de la chaudière au niveau de la faculté des arts et la culture.

Source : auteure, 2022.

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3

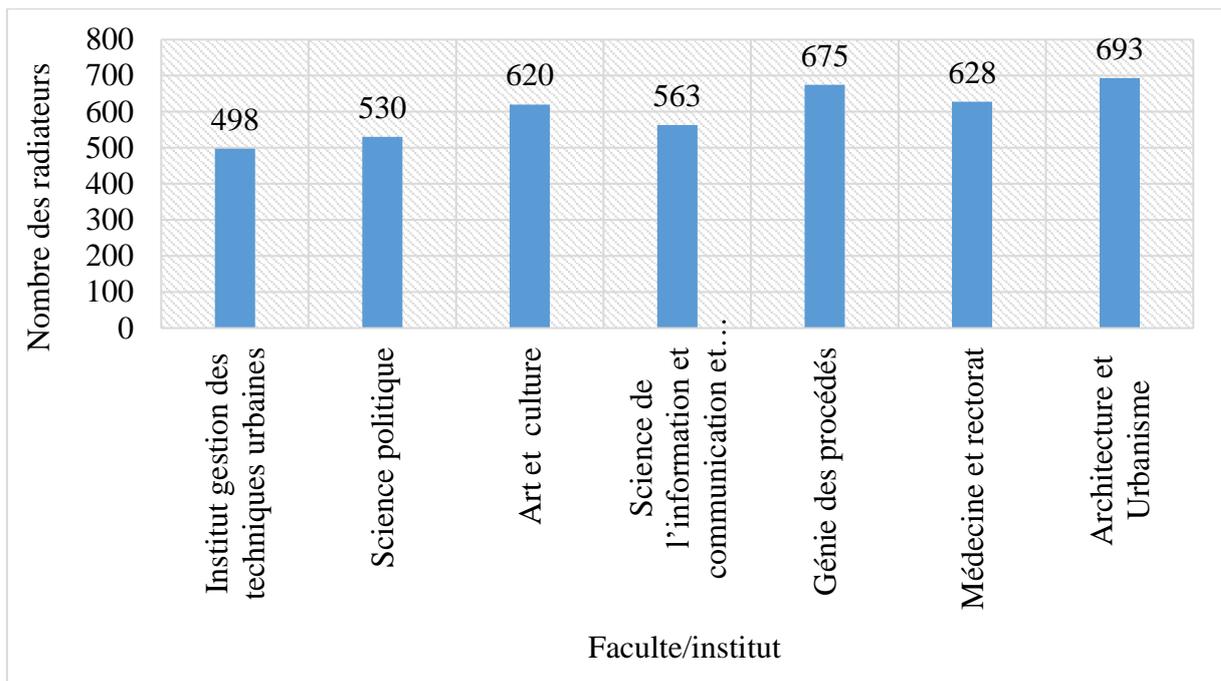


Figure 3.23 Le nombre des radiateurs pour chaque faculté et institut.
Source : auteure,2022.

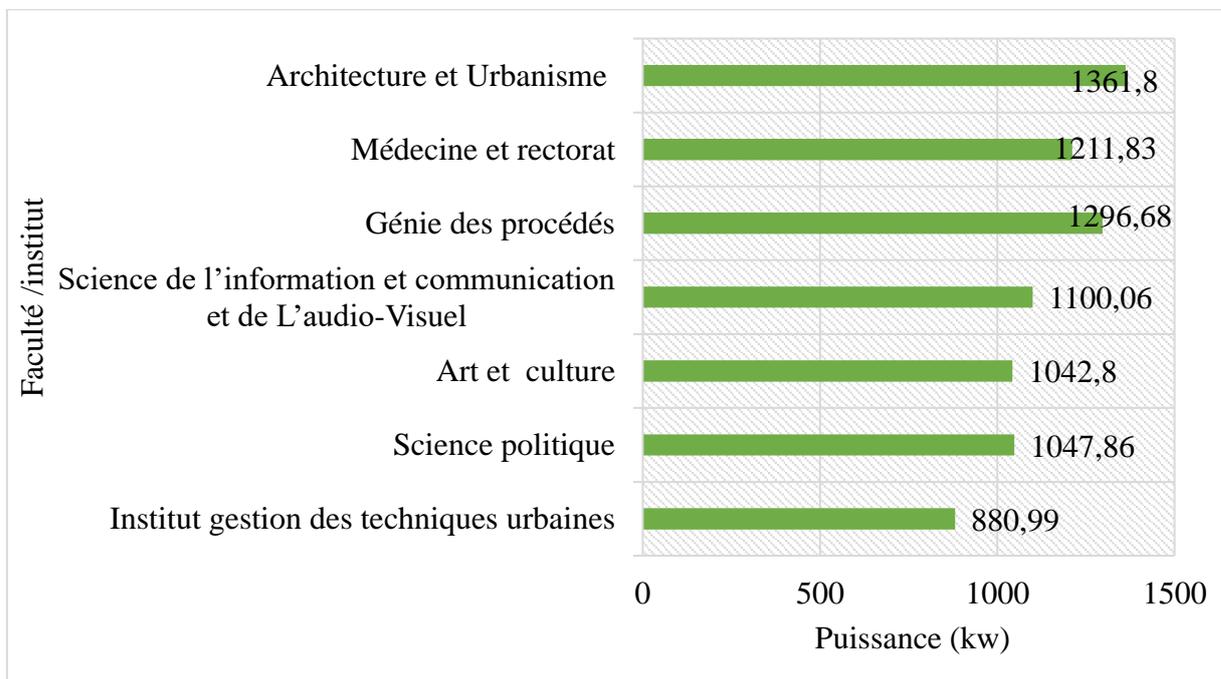


Figure 3.24 La puissance des radiateurs en kilowatts kW pour chaque faculté et institut.
Source : auteure, 2022.

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3

3.2.4. Ventilation

La ventilation à l'université Constantine 3 repose uniquement sur un système naturel, sans aucune ventilation mécanique contrôlée (VMC)

3.2.5. Consommation énergétique

L'énergie utilisée par les différentes facultés et institut est mesurée grâce aux factures de gaz et d'électricité propres à chacun. Tandis que chaque faculté dispose de son propre système de transformation électrique et de chauffage, à l'exception de la faculté de médecine et du rectorat qui partagent la même installation.

3.2.5.1. Électricité

Les données relatives à la consommation électrique sont recueillies via les factures d'électricité de chaque faculté et institut, couvrant la période de 2018 à 2023. Ces données sont fournies par le département financier de chaque entité. (Voir l'Annexe D).

3.2.5.2. Gaz

De manière similaire, les informations concernant la consommation de gaz sont collectées à partir des factures de gaz de toutes les facultés et institut pour la même période, fournies également par leur département financier respectif.

CHAPITRE III : COLLECTE DES DONNÉES DE L'UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3

Conclusion

Notre étude exhaustive de l'Université Salah Bounider Constantine 3, ouverte depuis 2013, a permis une exploration approfondie des infrastructures et des équipements. En décrivant l'architecture et les fonctionnalités des bâtiments, nous avons mis en évidence la complexité et la diversité des espaces destinés à l'enseignement, à la recherche et à l'estudiantine.

L'inventaire énergétique réalisé a permis d'identifier les principaux postes de consommation énergétique, mettant en évidence l'utilisation intensive d'éclairage, de climatisation, de chauffage, et les spécificités de la ventilation au sein de l'université. Cette analyse détaillée des consommations par facture de gaz et d'électricité, combinée à l'examen des équipements, offre une base solide pour comprendre les défis énergétiques auxquels l'université est confrontée.

Les efforts pour remplacer les équipements énergivores par des alternatives plus écologiques, comme le remplacement progressif des tubes fluorescents par des LED, témoignent d'une prise de conscience et d'un engagement vers une gestion plus durable des ressources énergétiques. Toutefois, cette étude révèle également l'ampleur du travail restant à accomplir pour atteindre une efficacité énergétique optimale et réduire l'empreinte carbone de l'institution.

Dans cette optique, l'Université Salah Bounider Constantine 3 représente un cas d'étude exemplaire pour les établissements éducatifs cherchant à améliorer leur gestion énergétique. Les données collectées et les analyses effectuées constituent une ressource précieuse pour élaborer des stratégies d'optimisation énergétique, non seulement pour l'université en question mais aussi pour d'autres institutions similaires. À travers cette étude, nous espérons inspirer et encourager des initiatives visant à promouvoir une gestion énergétique plus responsable et durable dans le secteur de l'enseignement supérieur.

À travers ce chapitre, nous cherchons à établir une compréhension solide du cadre dans lequel notre audit énergétique va se dérouler. En fournissant une vue d'ensemble de l'université et en détaillant les aspects techniques et organisationnels pertinents à notre étude, nous posons les bases nécessaires pour une analyse énergétique approfondie et une réflexion stratégique sur les voies d'optimisation énergétique et de réductions des émissions de CO₂ à l'Université Salah Bounider Constantine 3.

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

Introduction

Dans ce chapitre, nous analyserons les données recueillies lors de notre sortie sur le terrain en établissant un inventaire énergétique exhaustif pour toutes les facultés et l'institut. Nous passerons en revue les factures de gaz et d'électricité de chaque entité afin d'identifier les plus gros consommateurs d'énergie, ainsi que les postes les plus énergivores, tels que l'éclairage et les climatiseurs. Pour la consommation de gaz, nous déterminerons quelles facultés et quels instituts sont les plus gourmands en énergie.

Nous calculerons également les émissions de CO₂ de chaque faculté et institut pour identifier ceux qui contribuent le plus aux émissions de gaz à effet de serre. Cette analyse nous permettra de cibler les efforts de réduction des émissions et d'améliorer l'efficacité énergétique. Nous avons également effectué un benchmark entre les facultés et les instituts de l'université Salah Boubnider Constantine 3, ainsi qu'une comparaison avec d'autres universités situées dans la même zone climatique.

En outre, nous démontrerons l'importance de la cartographie comme outil de visualisation essentiel. La cartographie nous permettra de valoriser notre travail en offrant une représentation visuelle claire et précise des données énergétiques et des émissions de CO₂, facilitant ainsi la compréhension et la prise de décisions pour améliorer la gestion énergétique des établissements.

Ce chapitre mettra en évidence non seulement les aspects techniques de l'analyse des données énergétiques, mais aussi l'importance des outils de visualisation pour une meilleure gestion et optimisation des ressources énergétiques dans les facultés et l'institut.

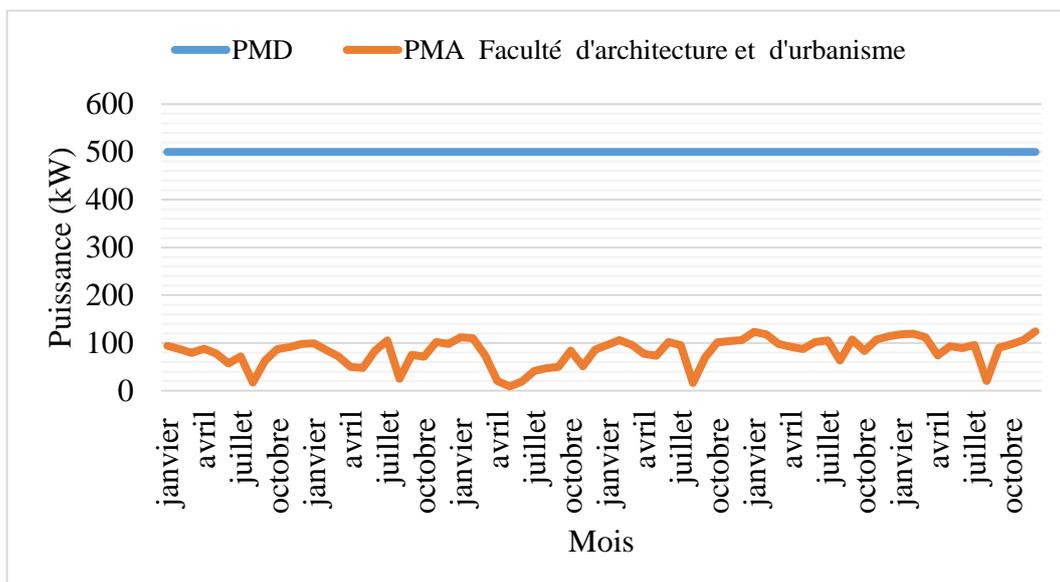
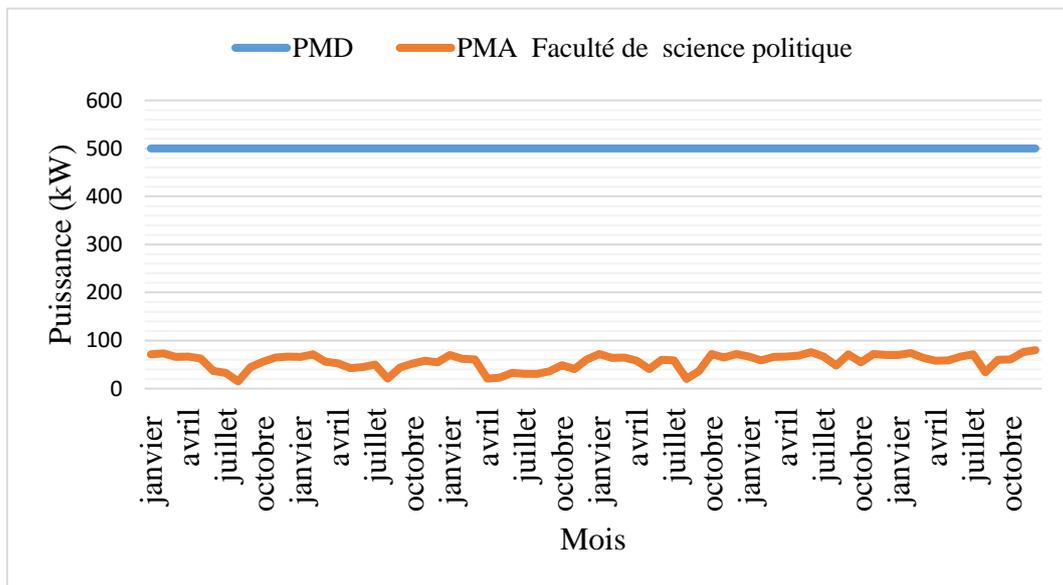
4.1. L'analyse de la consommation énergétique

4.1.1. L'électricité

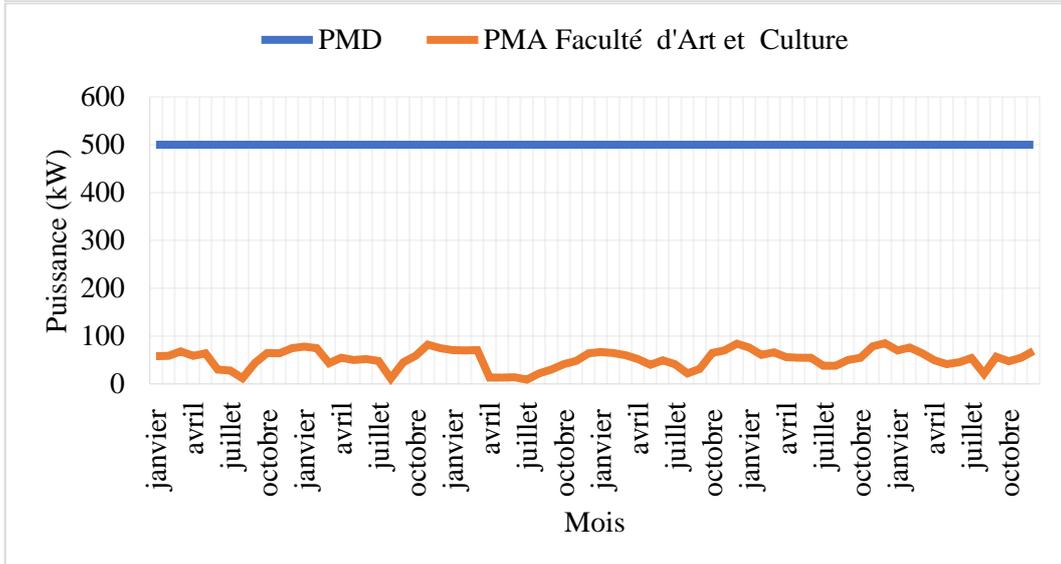
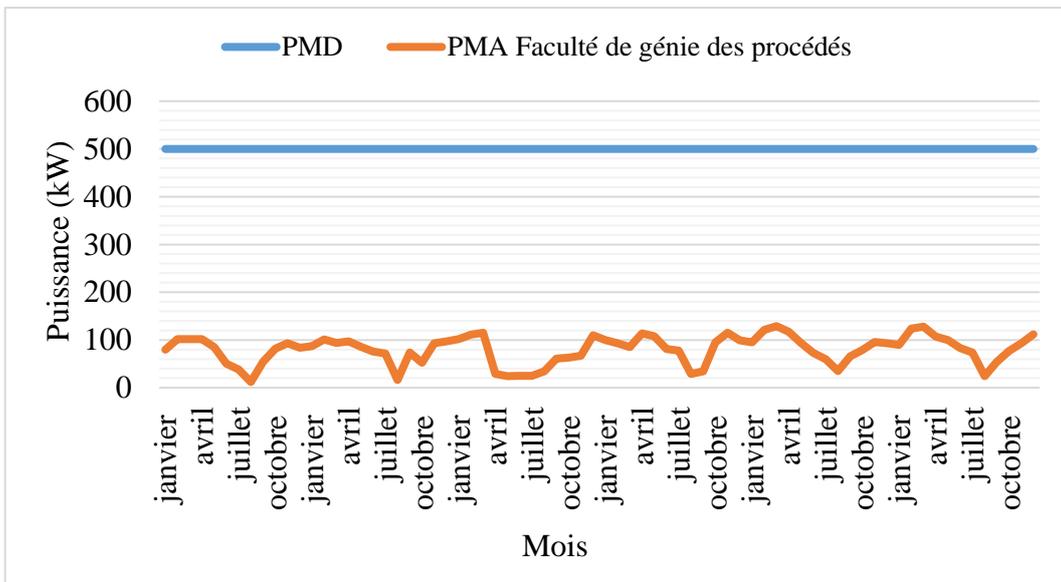
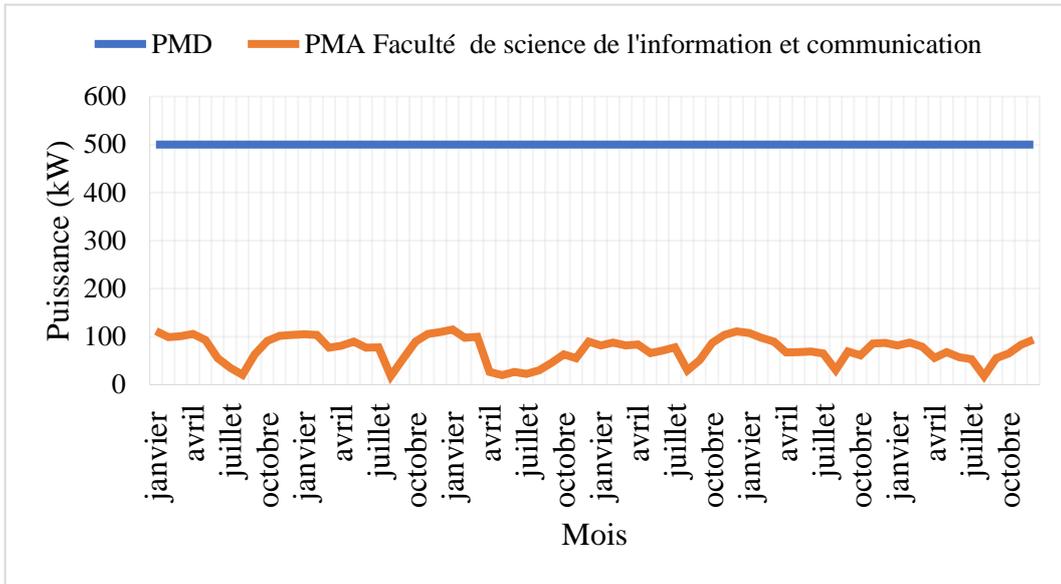
4.1.1.1. PMD et PMA

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

En Algérie, pour tarifier la facture de consommation de l'électricité, on prend en compte deux éléments : la Puissance Mise à Disposition (PMD) et la Puissance Maximale Atteinte (PMA). La PMD est une consommation réservée par la société de distribution de gaz et électricité au client selon ses besoins. Elle est choisie par le client, généralement avec le conseil des agents commerciaux, parmi les puissances normalisées et est contractée pour une durée de cinq ans. La PMA, quant à elle, représente la consommation maximale atteinte par le client pendant un mois. La figure 4.1 présente la comparaison entre le PMD et le PMA pour chaque faculté et institut.



CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE



CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

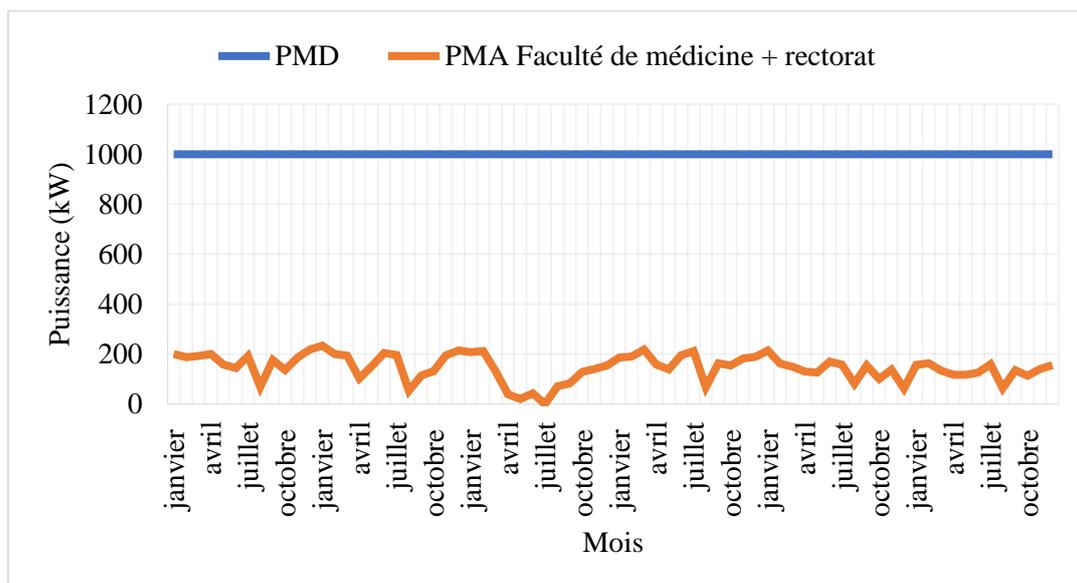
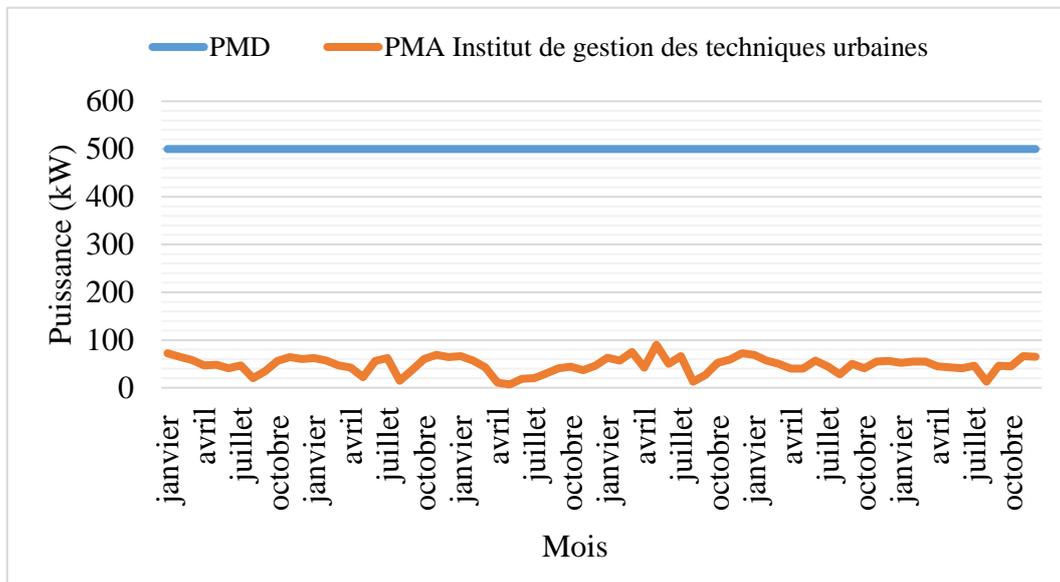


Figure 4.1 Comparaison entre le PMD et le PMA pour chaque faculté/institut.
Source : auteure ,2024.

Selon la comparaison entre la Puissance Mise à Disposition (PMD) et la Puissance Maximale Atteinte (PMA) des factures d'électricité de 2018 à 2023, il apparaît que toutes les facultés et institut ont une PMD de 500 kW, à l'exception de la faculté de médecine et du rectorat, qui ont une PMD de 1000 kW. Cette différence peut s'expliquer par un besoin en électricité plus élevé, en raison de leur plus grande superficie et du nombre important d'étudiants pour la faculté de médecine, ainsi que du nombre important d'employés

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

administratifs pour le rectorat. Cependant, aucune faculté ou institut n'atteint la moitié de la PMD demandée. Par exemple, la faculté d'architecture et d'urbanisme atteint un maximum de 124 kW, l'institut de gestion des techniques urbaines 90 kW, la faculté d'art et culture 85 KW, la faculté de science de l'information et de la communication 115 kW, la faculté de science politique 80 kW, la faculté de génie des procédés 128 kW, et la faculté de médecine ainsi que le rectorat 234 kW.

Ces observations révèlent un important gaspillage financier, dû à des études préalables insuffisantes qui ont conduit à une mauvaise estimation du PMA nécessaire pour chaque faculté ou institut en fonction de leurs besoins réels. Une évaluation plus précise de la consommation énergétique pourrait non seulement réduire les coûts, mais aussi favoriser une utilisation plus efficace des ressources énergétiques.

4.1.1.2. La consommation d'électricité

Nous avons analysé la consommation d'électricité de chaque faculté et institut entre 2018 et 2023 à partir des factures. La figure 4.2 ci-dessous illustre cette consommation pour chaque faculté et institut sur cette période.

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

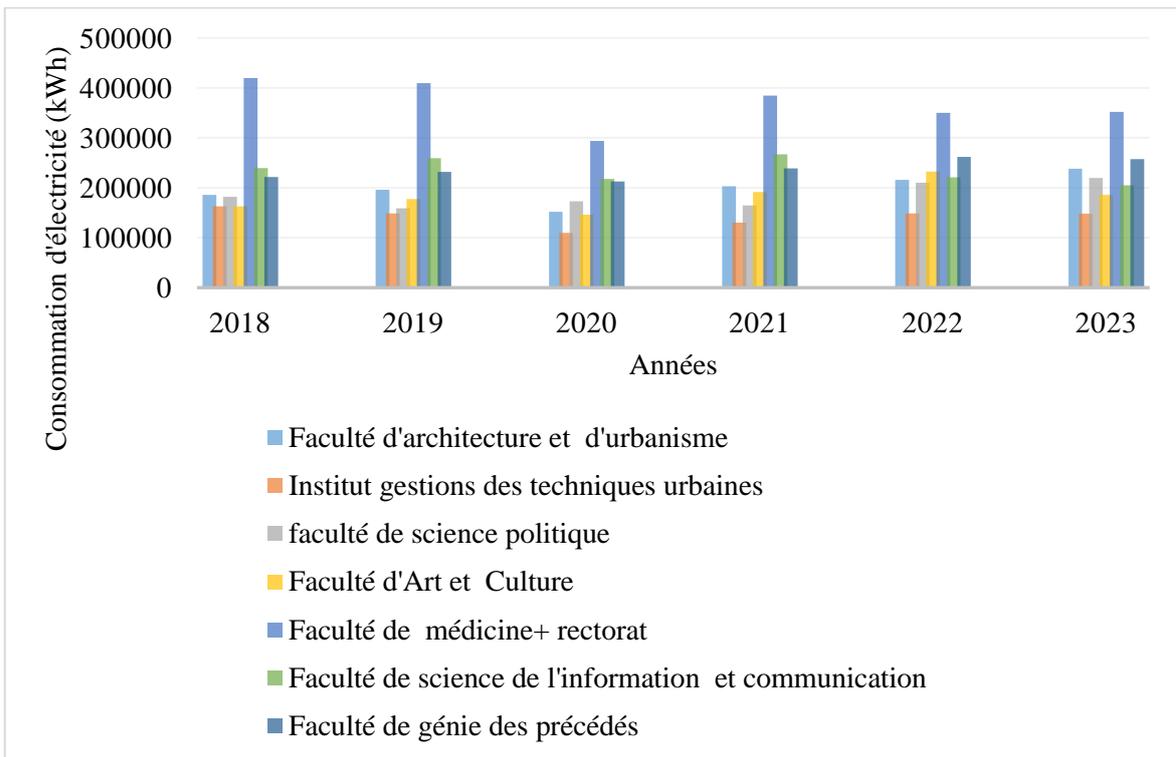


Figure 4.2 La consommation d'électricité en (kWh) Pour chaque faculté/institut 2018-2023.
Source : auteure ,2024.

La figure 4.2 présente la consommation d'électricité en kWh pour chaque faculté et institut durant six ans (2018-2023). On constate que, durant ces six années, la faculté la plus consommatrice d'électricité est celle de médecine et le rectorat, par rapport aux autres facultés. Cela s'explique par le fait que la faculté de médecine et le rectorat disposent d'une plus grande superficie (45 833,57 m²) et d'un nombre d'étudiants plus important (3489). De plus, le rectorat dispose d'une tour constituée de plusieurs bureaux administratifs avec un nombre important d'employés (363) qui travaillent pendant huit heures par jour.

L'année où la faculté de médecine et le rectorat ont consommé le plus est 2018. Ensuite, la consommation a diminué jusqu'en 2023, où l'on constate qu'elle est restée constante de 2022 à 2023. Cette diminution peut être expliquée par la réduction du nombre d'étudiants en médecine par rapport aux autres années, ainsi que par une prise de conscience accrue des employés. Nous constatons que la faculté des sciences de l'information et de la communication a vu sa consommation diminuer entre 2022 et 2023 grâce au remplacement des tubes fluorescents par des LED. Par contre, la consommation de la faculté de science politique et de génie des procédés a augmenté durant ces années, malgré leurs déclarations

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

concernant le remplacement des tubes fluorescents par des LED. Cette augmentation peut être due à l'achat d'autres climatiseurs ou équipements, surtout au niveau de la faculté de génie des procédés où ils utilisent souvent des outils et équipements de laboratoire énergivores, ou à des comportements non conscients en matière de consommation énergétique.

La faculté d'architecture et d'urbanisme a également vu sa consommation augmenter, probablement en raison de l'augmentation des achats d'équipements et de l'utilisation intensive de ces outils, surtout les climatiseurs, ainsi qu'à des comportements des occupants non conscients. La faculté des arts et de la culture a vu sa consommation augmenter de 2018 à 2022, puis diminuer en 2023, cette dernière diminution pouvant s'expliquer par le comportement des occupants ou la diminution du nombre d'étudiants.

Enfin, on constate que la consommation d'électricité la plus faible provient de l'institut de gestion des techniques urbaines, ceci étant dû au nombre très restreint d'étudiants (650). Cet institut ne dispose d'aucun laboratoire de recherche en fonction, on constate que sa consommation quasiment identique durant ces années.

Pendant la pandémie de COVID-19, malgré le confinement et la fermeture de l'université, la consommation d'électricité n'a pas fortement diminué. Certes, il y a eu une diminution de la consommation par rapport aux autres années, mais celle-ci n'a pas été significative.

4.1.2. Gaz

Nous avons analysé la consommation de gaz de chaque faculté et institut entre 2018 et 2023 à partir des factures. La figure 4.3 ci-dessous illustre cette consommation pour chaque faculté et institut sur cette période.

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

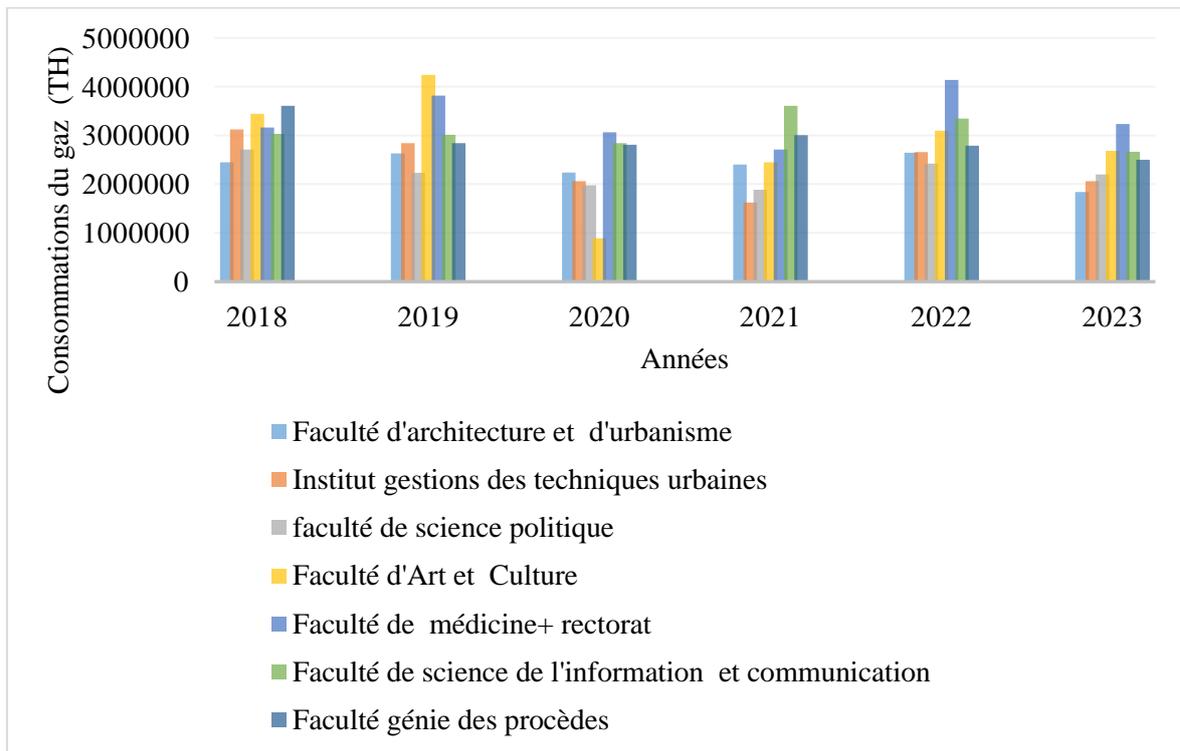


Figure 4.3 La consommation du gaz en thermie (TH) pour chaque faculté/institut 2018-2023

Source : auteure ,2024.

La figure 4.3 présente la consommation de gaz en thermie (TH) pour chaque faculté et institut de 2018 à 2023. On constate que durant ces six années, les consommations de gaz varient significativement. En 2018, la faculté la plus consommatrice de gaz est celle de génie des procédés, tandis que la faculté d'architecture et d'urbanisme est la moins consommatrice. En 2019, la faculté d'art et de culture se distingue par le pourcentage de consommation le plus élevé, étant donné qu'elle dispose de six chaudières. La faculté de science politique est la moins consommatrice de gaz cette année-là. En 2020, pendant la pandémie de COVID-19, malgré le confinement et la fermeture de l'université, la consommation de gaz n'a pas diminué, sauf dans deux facultés (art et culture et l'institut de gestion des techniques urbaines) qui ont connu une diminution importante à cause d'une panne au niveau des chaudières. On peut en déduire qu'il y a eu un gaspillage dû à l'absence de contrôle durant la période de COVID-19. En 2021, la faculté la plus consommatrice de gaz est celle de science de l'information et de la communication, tandis que la faculté de science politique est la moins consommatrice. En 2022, la faculté de médecine et le rectorat, ainsi que la faculté de communication, sont les plus consommatrices de gaz, étant donné que la faculté

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

de médecine et le rectorat dispose de six chaudières. La faculté de science politique est la moins consommatrice cette année-là.

En 2023, la faculté de médecine et le rectorat, ainsi que la faculté de communication, continuent d'être les plus consommatrices de gaz pour les mêmes raisons. La faculté d'architecture et d'urbanisme est, cette fois-ci, la moins consommatrice.

Ces variations de consommation peuvent s'expliquer par les consignes de température utilisées durant toute la période de chauffage, ainsi que par les périodes d'extinction et d'allumage, qui diffèrent d'une faculté à l'autre. Le nombre de chaudières en service joue également un rôle, avec deux ou trois chaudières utilisées pour la plupart des facultés, à l'exception de la faculté de médecine et du rectorat, ainsi que de la faculté d'art et culture, qui en utilisent quatre à six. De plus, la superficie des bâtiments joue un rôle très important dans la consommation de gaz, car les plus grandes surfaces nécessitent plus d'énergie pour être chauffées.

4.1.3. Consommation énergétique de l'université Constantine 3

Nous avons effectué une comparaison entre la consommation d'électricité et la consommation de gaz de l'université Salah Boubnider Constantine 3, exprimée en kWh. Pour convertir la consommation de gaz de thermie en kWh, nous avons utilisé la formule suivante

$$1\text{TH} = 1/0.86 \text{ kWh}$$

La figure 4.4 présente la comparaison entre la consommation moyenne annuelle de gaz et d'électricité (en MWh) de l'université Salah Boubnider Constantine 3 sur la période de 2018 à 2023.

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

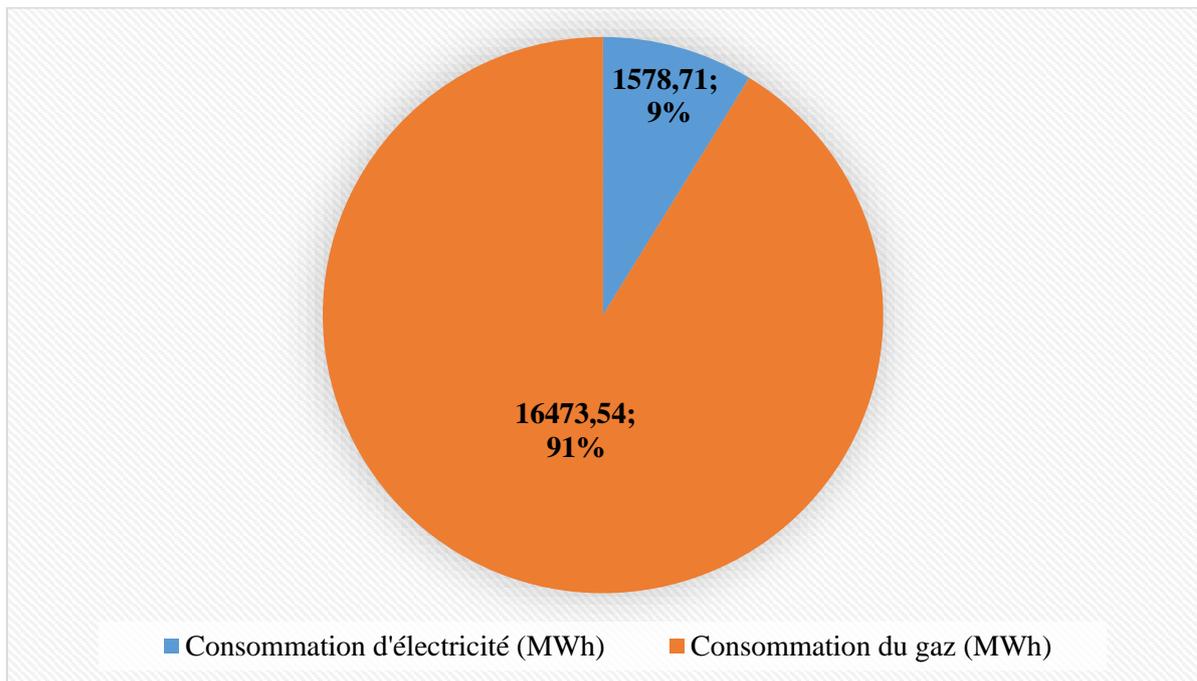


Figure 4.4 La comparaison entre la consommation moyenne annuelle du gaz en (MWh) et d'électricité (MWh) de l'université Salah Boubnider Constantine 3.

Source : auteure ,2024.

Selon la comparaison entre la consommation moyenne annuelle de gaz (en MWh) et d'électricité (en MWh), l'université Salah Boubnider Constantine 3 consomme beaucoup plus de gaz que d'électricité. En effet, la consommation de gaz représente 91 % de la consommation totale d'énergie, tandis que l'électricité ne représente que 9 %. Cette répartition peut s'expliquer par les besoins de chauffage importants, surtout en hiver, et par l'utilisation continue de chaudières pour chauffer les bâtiments 24h/24 pendant la période de chauffe. De plus, les laboratoires et les installations spécifiques nécessitant une utilisation continue de gaz contribuent à cette forte consommation. En revanche, l'électricité, bien qu'utilisée pour l'éclairage, les équipements informatiques et les appareils électriques divers, constitue une part nettement moindre de la consommation énergétique totale. Ces chiffres mettent en lumière l'importance de mettre en place des stratégies d'économie d'énergie ciblées sur la consommation de gaz afin de réduire les coûts et l'empreinte environnementale de l'université.

La figure suivante 4.5 illustre la consommation énergétique moyenne de l'université Constantine 3 en tonne équivalent pétrole (Tep).

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

Afin de convertir la consommation énergétique de kWh en tonnes équivalent pétrole (TEP), nous avons utilisé les formules suivantes :

Conversion de l'électricité

$$1\text{kWh} = 86 \times 10^{-6} \text{ TEP}$$

Conversion du gaz

$$1\text{kWh} = \frac{1}{11628} \text{ TEP}$$

D'après le décret exécutif n° 05-495 de l'audit énergétique en Algérie, la consommation totale d'énergie en TEP est calculée comme suite, tous les paramètres de l'équation (1) sont affichés au niveau de la facture du gaz et électricité

$$CT = KE_{CE} + C_{GN} \cdot (PCS)_{GN} + C_{GPL} \cdot (PCS)_{GPL} + C_{PP} \cdot (PCS)_{PP} + C_C \cdot (PCS)_C \dots\dots\dots$$

(1)

Etant entendu que :

CT : consommation totale d'Energie en TEP ;

KE : coefficient d'équivalence Electricité ;

CE : consommation d'électricité en kWh ;

CGN : consommation de gaz naturel en Nm³ ;

GN : gaz naturel ;

CGPL : consommation de gaz de pétrole liquéfié en tonnes ;

GPL : gaz de pétrole liquéfié ;

CPP : consommation de produits pétroliers en tonnes ;

CC : consommation de charbon en tonnes ;

C : charbon ;

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

PCS : pouvoir calorifique supérieur.

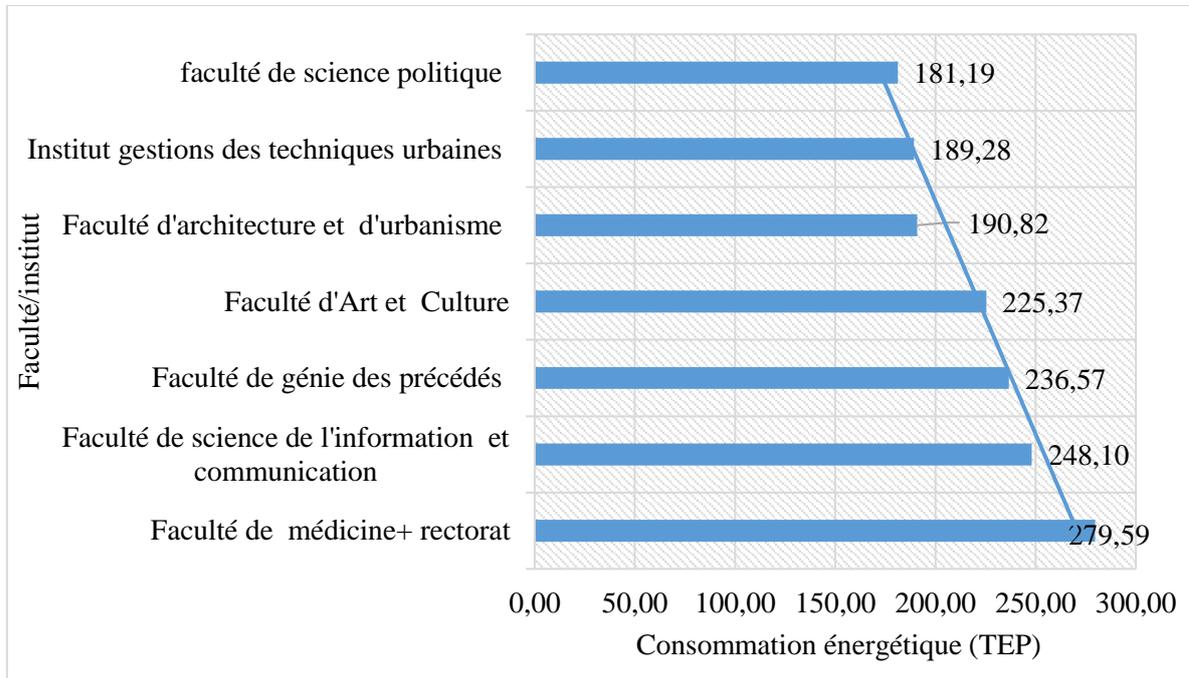


Figure 4.5 La consommation énergétique moyenne en TEP pour chaque faculté/institut par ordre décroissant.

Source : auteure ,2024.

Ce graphique illustre la consommation énergétique en tonnes équivalent pétrole de différentes facultés et institut. On constate que la faculté de médecine et le rectorat enregistrent la consommation énergétique la plus élevée avec 279,59 TEP, suivis par la faculté de science de l'information et de la communication avec 248,10 TEP, et la faculté de génie des procédés avec 236,57 TEP. La faculté d'art et culture consomme 225,37 TEP, tandis que la faculté d'architecture et d'urbanisme et l'institut de gestion des techniques urbaines ont des valeurs similaires de 190,82 TEP et 189,28 TEP respectivement. La faculté des sciences politiques affiche la consommation la plus faible avec 181,19 TEP.

Afin de répondre aux exigences du décret exécutif n° 05-495 de l'audit énergétique en Algérie (Ministère De L'énergie Et Des Mines, 2005), il est nécessaire d'évaluer la consommation énergétique de l'université. En faisant la somme de la consommation énergétique de toutes les facultés et institut, nous trouvons un total de 1550,93 TEP, ce qui dépasse largement le seuil de 500 TEP imposé par le décret. Cela oblige donc l'université Salah Boubnider Constantine 3 à établir un audit énergétique. Cet audit permettra de mieux

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

comprendre les sources de consommation et d'identifier des opportunités pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire les coûts, tout en contribuant à une gestion plus durable des ressources énergétiques.

4.2. L'analyse de l'inventaire

Nous avons calculé la consommation énergétique des appareils d'éclairage et de climatisation dans chaque faculté et institut en utilisant l'inventaire établi par l'auteure. L'évaluation de la consommation d'énergie est réalisée en utilisant la formule (2), en multipliant la puissance de l'appareil en watts par le temps d'utilisation quotidien en heures, puis par le nombre de jours d'utilisation annuels. Le résultat obtenu en Wh est divisé par 1000 pour obtenir la consommation en kWh.

$$E = N \times P \times n_h \times n_j \times n_m \dots \dots \dots (2)$$

Etant entendu que :

N=nombre de lampe/climatiseur

P= la puissance

n_h = nombre d'heure

n_j =nombre de jours

n_m= nombre de mois

4.2.1. L'éclairage

La figure 4.6 Présente la consommation d'électricité par l'éclairage pour chaque faculté/institut

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

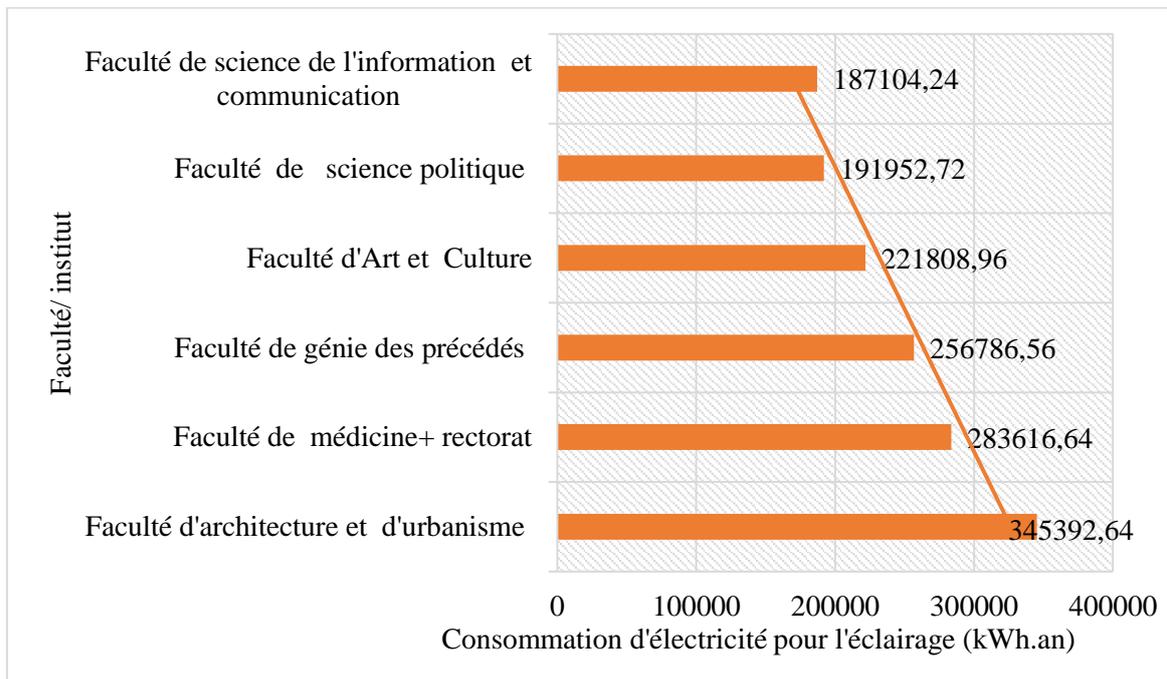


Figure 4.6 La consommation d'électricité par l'éclairage (kWh.an) pour chaque faculté /institut par ordre décroissant selon l'inventaire établie par l'auteure.

Source : auteure ,2024.

Selon l'inventaire, la faculté d'architecture et d'urbanisme consomme le plus d'électricité pour l'éclairage, surpassant toutes les autres facultés. Cependant, les factures d'électricité montrent que la faculté de médecine et rectorat a la consommation la plus élevée. Une analyse sur le terrain a révélé que de nombreux luminaires dans les amphithéâtres, couloirs et autres espaces ne sont pas allumés, ce qui entraîne une consommation apparente plus faible sur les factures. La figure 4.7 ci-dessous illustre des luminaires installés mais non utilisés dans plusieurs facultés.

Ces observations indiquent que de nombreux luminaires ne sont pas allumés, ce qui peut être dû à un manque de besoin réel ou à une gestion inefficace de l'énergie. Nous en déduisons qu'il y a un surdimensionnement et une surestimation des besoins en éclairage dans la plupart des facultés. Une réévaluation et une gestion plus efficace des systèmes d'éclairage pourraient permettre des économies substantielles.

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE



Figure 4.7 Photo des luminaires au niveau des facultés et institut.
Source : auteure ,2024.

Afin de prouver et valider notre déduction, nous avons calculé l'éclairement d'une salle TD de la faculté d'architecture et d'urbanisme en utilisant l'équation 3, conformément à la norme EN 12464-1:2011 "Lighting of Work Places" L'éclairement, exprimé en lux (lx), correspond à la quantité de lumière reçue par une surface, où un lux équivaut à un lumen par mètre carré. Cette mesure prend en compte la surface sur laquelle la lumière est diffusée et est essentielle pour évaluer l'intensité lumineuse perçue par l'œil humain dans un espace donné. Il s'agit de l'indicateur statique le plus utilisé dans les investigations d'éclairage dans les bâtiments. Plusieurs recherches ont démontré que l'éclairement a une influence directe sur la performance visuelle des occupants, autrement dit le confort visuel.(Roger Cadiergues, 2012 ; Zumtobel Lighting GmbH, 2017)

$$\text{Lux} = \frac{\text{lumens}}{\text{Surface (m}^2\text{)}} \dots\dots\dots(3)$$

L'éclairage des lieux de travail est un élément crucial pour garantir un environnement sûr et productif pour les employés. Un éclairage adéquat améliore la visibilité, réduit la fatigue oculaire et contribue à une expérience de travail positive(Henderson et al., 2011). Voici quelques aspects clés à considérer pour l'éclairage des lieux de travail :

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

1. **Niveau d'éclairage** : Adapté aux tâches effectuées, avec environ 500 lux pour le travail de bureau général et des niveaux plus élevés pour les tâches détaillées.
2. **Uniformité** : Un éclairage uniforme est crucial pour éviter ombres et éblouissements, améliorant ainsi le confort visuel.
3. **Contrôle de l'éblouissement** : Minimiser l'éblouissement direct et réfléchi pour réduire l'inconfort visuel.
4. **Température de couleur** : Influencer l'ambiance du lieu de travail, avec une lumière blanche froide pour les zones nécessitant une acuité visuelle élevée et une lumière blanche chaude pour les espaces de détente.
5. **Efficacité énergétique** : Utiliser des solutions d'éclairage à haut rendement énergétique, comme les LED, pour réduire la consommation d'énergie.
6. **Lumière naturelle** : Maximiser l'utilisation de la lumière naturelle pour réduire la consommation d'énergie et améliorer le bien-être des employés.

En résumé, un bon éclairage des lieux de travail implique de considérer les niveaux d'éclairage appropriés, l'uniformité, le contrôle de l'éblouissement, la température de couleur, l'efficacité énergétique et l'intégration de la lumière naturelle. Prioriser de bonnes conditions d'éclairage peut créer un environnement de travail confortable et productif.

Selon plusieurs normes européennes et internationales telles que l'EN 12464-1:2011 "Lumière et éclairage – Éclairage des lieux de travail – Partie 1 : Lieux de travail intérieurs" et l'ISO 8995-1:2002 (CIE S 008/E:2001), les recommandations pour les niveaux d'éclairage sont les suivantes : bureaux : 300-500 lux, salles de classe : 300-500 lux, laboratoires : 500-750 lux, couloirs : 100-200 lux, escaliers : 150 lux. En Algérie, selon le DTR C3-4 (règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments) développé par le CNERIB (1998), la valeur recommandée pour les salles de classe est de 250 lux, et pour les salles de lecture, laboratoires, et magasins, elle est de 500 lux.(CNERIB, 1998)

Nous avons pris comme exemple une salle TD de la faculté d'architecture et d'urbanisme, qui a une superficie de 30,16 m² équipée de 8 tubes fluorescents de 36 W chacun, produisant un flux lumineux de 2500 lumens par tube. En appliquant l'équation 3, cette salle TD a un niveau d'éclairage d'environ 636,15 lux.

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

Ce niveau d'éclairage est bien au-dessus des recommandations pour les salles de cours, où des niveaux d'éclairage de 250 à 500 lux sont souvent suggérés pour des activités comme les travaux dirigés. Ainsi, cela confirme notre analyse qu'il y a un surdimensionnement au niveau de l'éclairage.

4.2.2. La climatisation

La figure suivante 4.8 présente la consommation de l'électricité par la climatisation (KWh.an) pour chaque faculté selon l'inventaire énergétique.

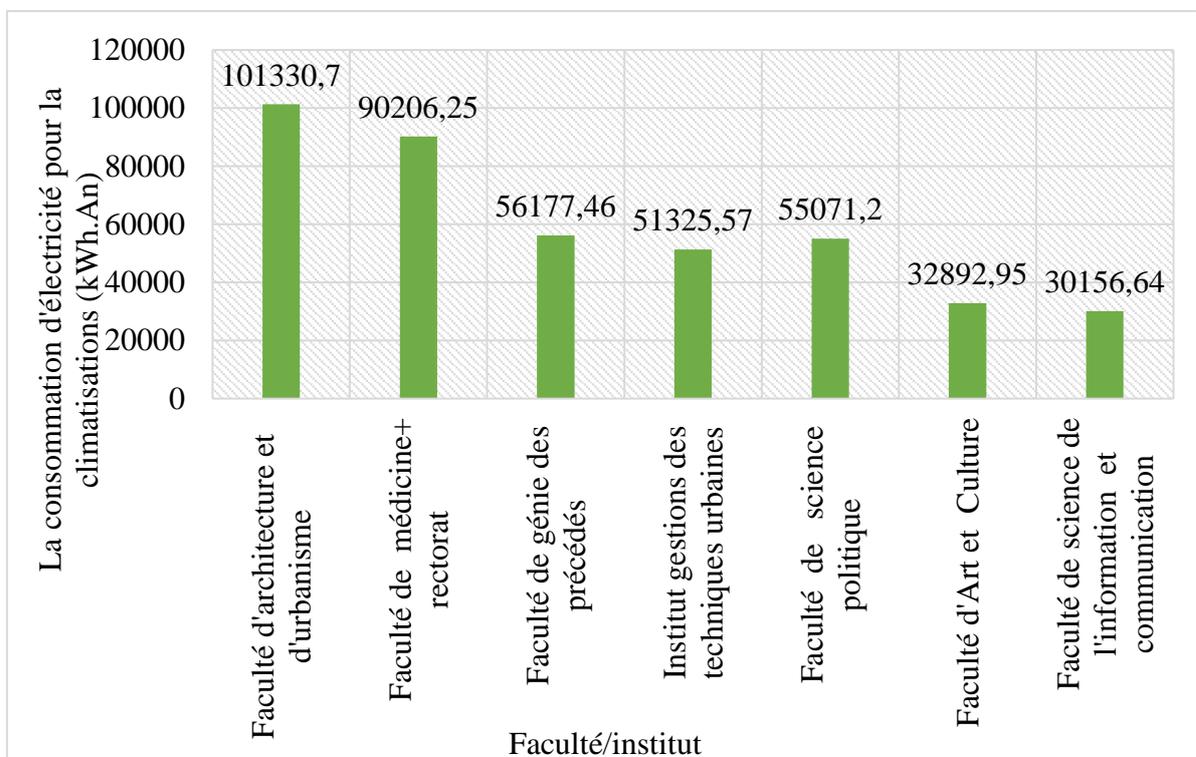


Figure 4.8 La consommation d'électricité par la climatisation (kWh.an) pour chaque faculté institut par ordre décroissant selon l'inventaire établie par l'auteur.

Source : auteure ,2024.

Nous constatons que la faculté d'architecture et d'urbanisme est la plus grande consommatrice d'électricité pour les climatiseurs parmi toutes les facultés. Ces résultats sont attendus, car cette faculté possède le plus grand nombre de climatiseurs à l'Université Constantine 3, avec un total de 63 unités. À l'inverse, la faculté des sciences de l'information et de la communication est la moins consommatrice, avec seulement 20 climatiseurs.

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

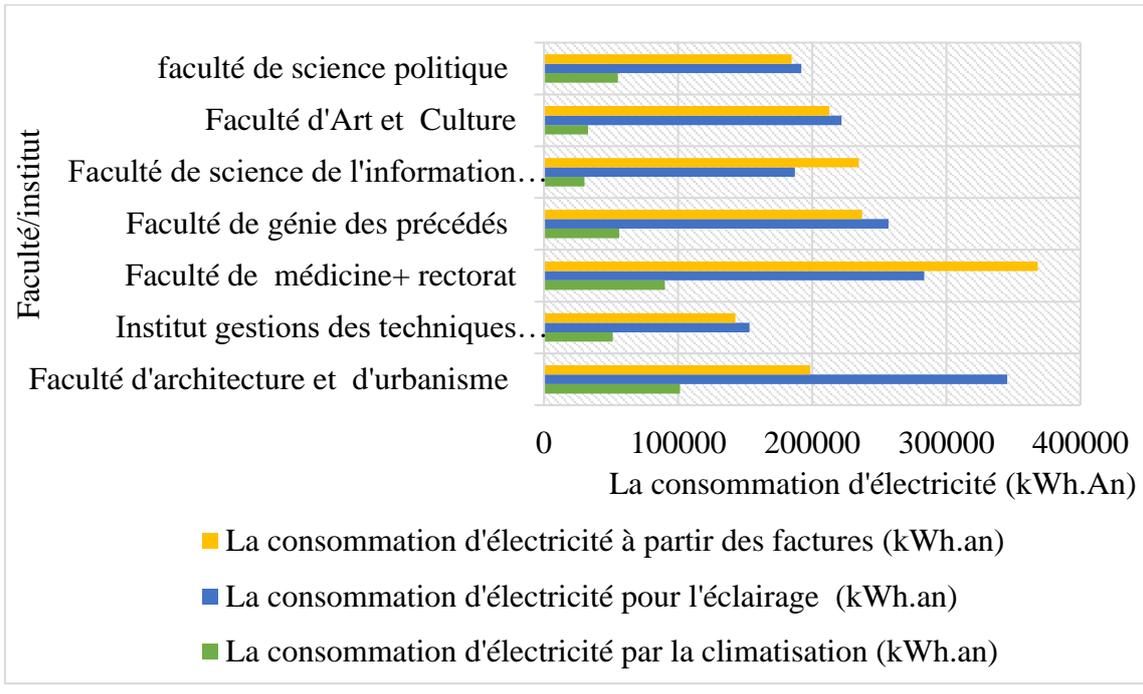
Cette grande quantité de climatiseurs indique un besoin intensif de refroidissement en été pour assurer un environnement confortable au personnel administratif. Lors d'entretiens avec ce personnel, il a été révélé que certains bureaux ne disposent pas de climatiseurs, et leurs occupants souhaitent en avoir pour améliorer leur confort thermique en été. Cette situation souligne un inconfort thermique et suggère une anomalie au niveau de l'enveloppe du bâtiment.

Le nombre des climatiseurs dans chaque faculté et institut dépend du budget alloué à l'achat des équipements. Ainsi, le fait qu'une faculté ait un nombre minimal de climatiseurs ne signifie pas nécessairement qu'elle bénéficie d'un confort thermique adéquat, mais peut plutôt indiquer des contraintes budgétaires. Cela explique pourquoi certaines facultés ou institut utilisent moins de climatiseurs, malgré un besoin potentiel.

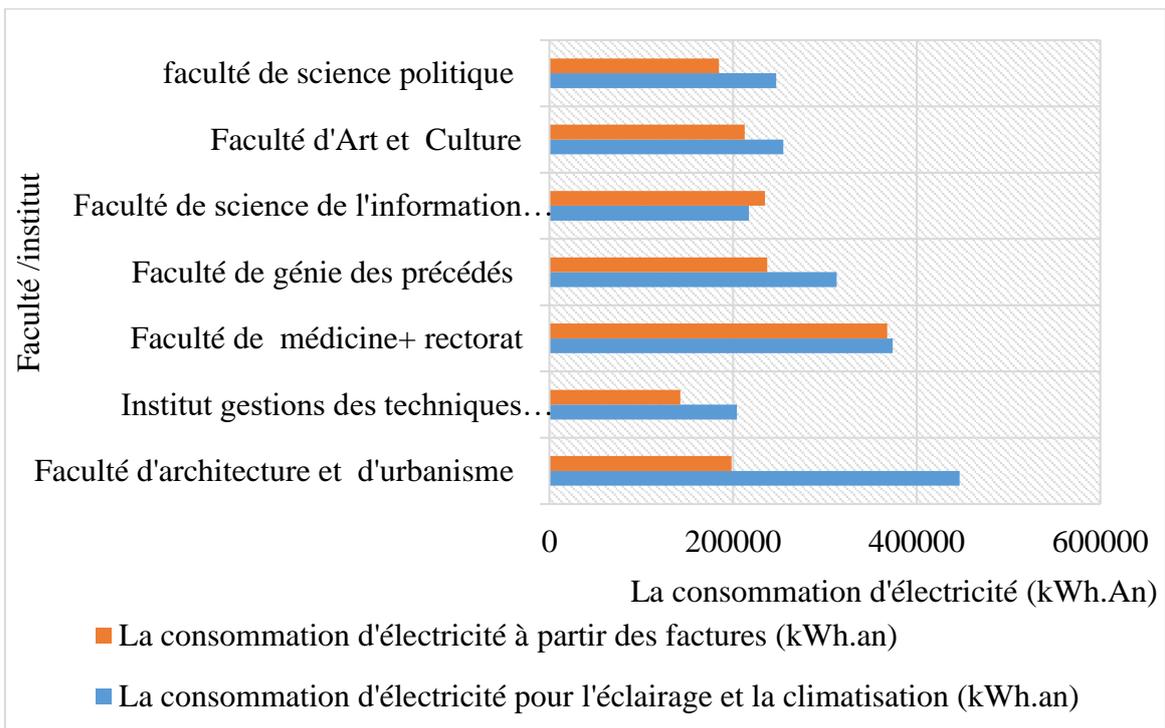
4.3. Comparaison de la Consommation Énergétique Basée sur les Factures et l'Inventaire

Nous avons effectué une comparaison entre la consommation énergétique issue des factures de gaz et électricité et la consommation calculée par l'auteure basée sur l'inventaire, La figure suivante 4.9 (A et B) présente une comparaison entre la consommation d'électricité pour chaque faculté et la consommation d'électricité pour l'éclairage et la climatisation selon l'inventaire établie par l'auteure, ainsi la figure 4.10 présente la comparaison entre la consommation totale d'électricité affichée sur les factures et la consommation totale de l'éclairage et la climatisation de l'université Constantine 3 .

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE



(A)



(B)

Figure 4.9 La comparaison entre la consommation d'électricité affiché sur les factures et la consommation d'électricité de l'éclairage et la climatisation selon l'inventaire établie par l'auteur.

Source : auteure ,2024.

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

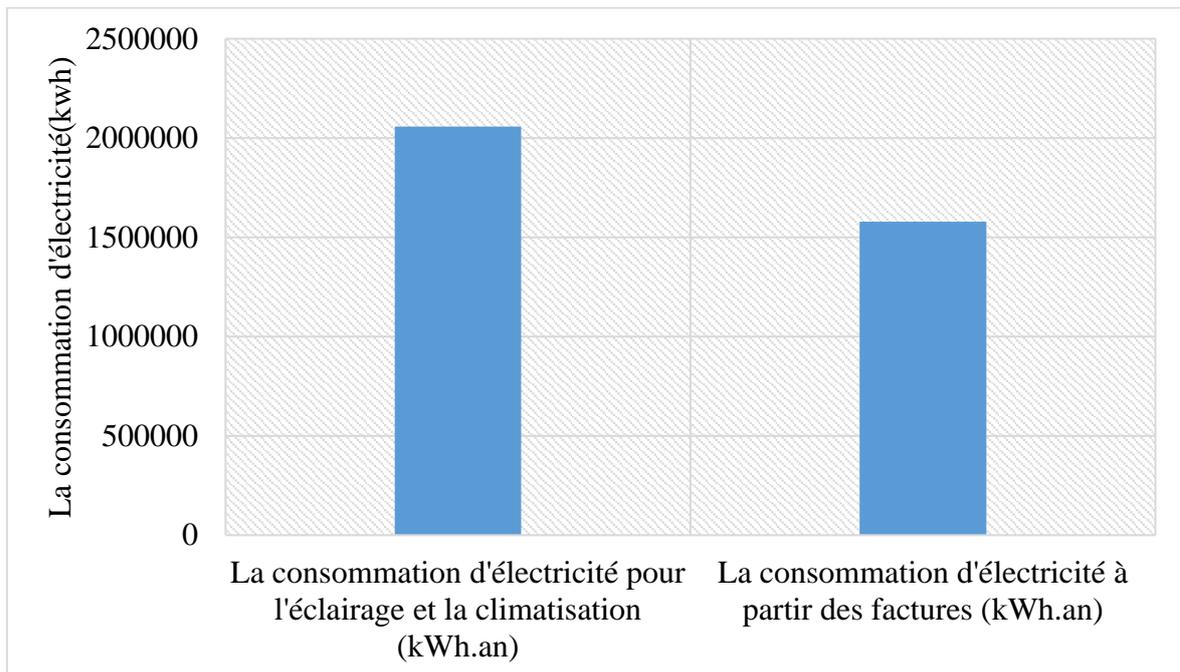


Figure 4.10 la comparaison entre la consommation totale d'électricité affichée sur les factures et la consommation totale de l'éclairage et la climatisation de l'université Salah Boubnider Constantine 3.
Source : auteure, 2024.

D'après l'analyse des figures 4.9 et 4.10, nous constatons plusieurs différences notables entre la consommation énergétique estimée à partir de l'inventaire et celle affichée sur les factures d'électricité.

La figure 4.9A montre que la consommation des climatiseurs selon l'inventaire est inférieure à celle indiquée sur les factures d'électricité. En revanche, pour l'éclairage, la consommation estimée à partir de l'inventaire est supérieure à celle des factures dans la plupart des facultés et instituts. Cependant, il existe des exceptions, notamment la faculté de médecine, le rectorat, et la faculté des sciences de l'information et de la communication, où la consommation d'éclairage de l'inventaire est inférieure à celle des factures.

La figure 4.9 B révèle que, pour presque toutes les facultés, la consommation totale d'électricité selon l'inventaire est supérieure à celle affichée sur les factures d'électricité. Cette observation confirme nos déductions précédentes (voir les figures 4.6 et 4.7), ce qui a été déduit au niveau de la consommation totale à l'université Salah Boubnider Constantine 3 (voir la figure 4.10).

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

4.4. Émission de CO₂

Nous avons calculé la quantité de CO₂ émise par l'université en utilisant la formule (4). En multipliant la quantité d'énergie consommée par le facteur d'émission de CO₂, nous pouvons déterminer la quantité de CO₂ émise. En Algérie, le facteur d'émission de CO₂ est défini comme étant de 56,1 TE-CO₂/TJ (People's Democratic Republic of Algeria Ministry of Energy And Mines, 2005). Pour nos calculs, nous avons utilisé le coefficient de 2,35 tonnes de CO₂/TEP.

$$Q_{\text{émise}} = 2,35 \times Q_c \dots\dots\dots(4)$$

Étant donné que :

Q_{émise} : la quantité de CO₂ émise par l'université en tonne

2,35 : le facteur d'émission en tonne CO₂ / TEP

Q_c : la quantité d'énergie consommé par l'université en TEP

En utilisant cette formule nous avons pu calculer la quantité de CO₂ émise pour chaque faculté et institut. La figure suivante illustre 4.11 l'émission de CO₂ en (Tonne) pour chaque faculté/institut.

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

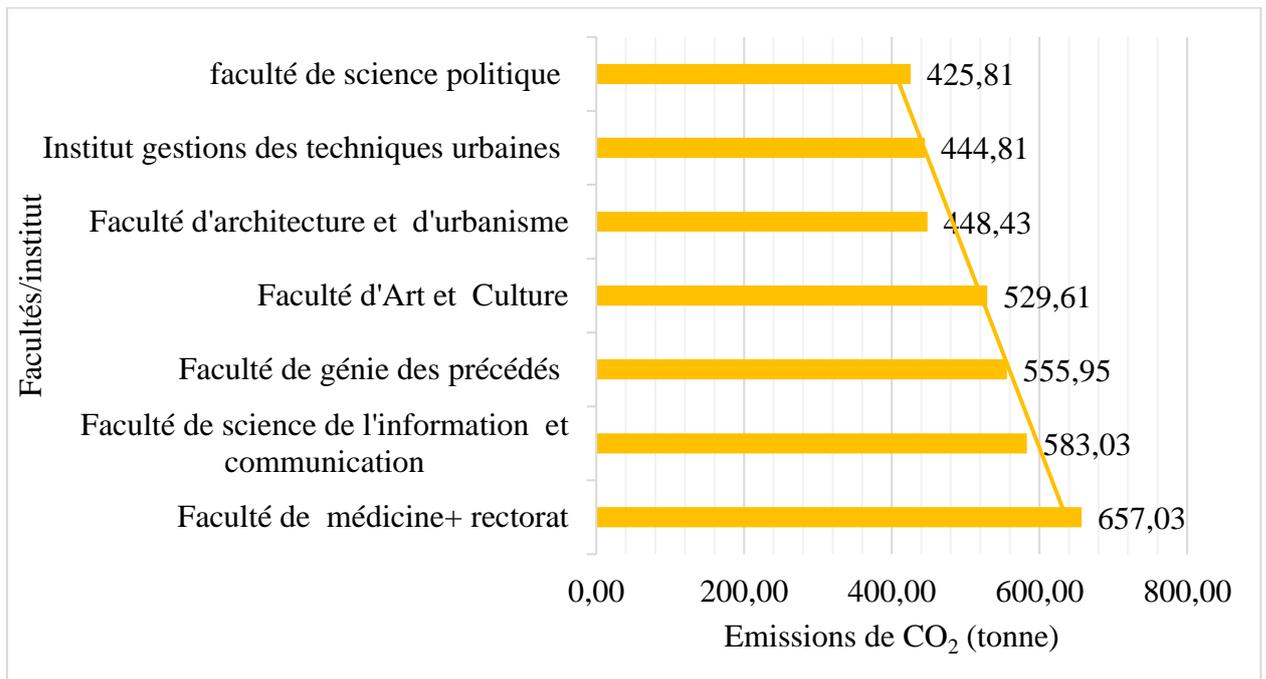


Figure 4.11 L'émission de CO₂ en (Tonne) pour chaque faculté/institut.

Source : auteure ,2024.

D'après l'analyse de cette figure, nous constatons que la faculté la plus émettrice de CO₂ est la faculté de médecine et le rectorat, avec des émissions de 657,03 tonnes. À l'inverse, la faculté la moins émettrice est la faculté de science politique, avec 425,81 tonnes de CO₂.

L'analyse de la figure 4.11 confirme que la faculté de médecine et le rectorat émettent le plus de CO₂ en raison de leur consommation énergétique élevée, tandis que la faculté de science politique émet moins de CO₂ en raison de sa consommation énergétique réduite. Par conséquent, il est clair que plus une faculté consomme d'énergie, plus elle émet de CO₂.

4.5. Benchmarks de la Consommation Énergétique de l'Université Constantine 3

Les benchmarks énergétiques sont une méthode largement utilisée pour comparer la performance énergétique d'un bâtiment à celle des bâtiments similaires en termes de consommation annuelle d'énergie par unité de surface (Chung et al., 2006). Par exemple, en comparant la consommation d'énergie d'un immeuble de bureaux à celle d'autres immeubles de bureaux, il est possible de tirer des conclusions sur sa performance. En général, les benchmarks utilisent des catégories de référence, comme « Bonne Pratique » Représente une

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

valeur indicative de haute performance, souvent associée à un bâtiment moderne et bien conçu, avec des standards élevés d'efficacité énergétique., et « Pratique Typique » Représente une valeur moyenne de consommation pour des bâtiments plus courants., pour fournir une valeur moyenne de consommation ainsi qu'une valeur indicative de haute performance, généralement représentative d'un bâtiment moderne spécialement conçu. (Pérez-Lombard et al., 2009)

La technique de benchmarking énergétique permet de comparer la consommation d'énergie des bâtiments en utilisant l'Intensité d'Utilisation de l'Énergie (IUE) ou Intensité Énergétique (IE). Cet indice, généralement exprimé en kBtu/ft²/an ou kWh/m²/an, est calculé en divisant l'énergie totale consommée par un bâtiment en une année par la surface brute totale de plancher. Le principal avantage de l'IUE est qu'elle permet de comparer la performance d'un bâtiment à celle de bâtiments similaires à travers le pays. L'IUE peut varier considérablement en fonction du type de bâtiment, ce qui nécessite parfois des calculs spécifiques pour des bâtiments sans données comparables. (Chihib et al., 2020)

Le processus de benchmarking énergétique se déroule en trois étapes principales : d'abord, identifier une ligne de base appropriée, ce qui consiste à établir un point de référence ou une norme contre laquelle la performance énergétique d'un bâtiment sera comparée ; ensuite, calculer la performance énergétique du bâtiment en mesurant sa consommation d'énergie et en la comparant à la ligne de base établie ; enfin, comparer la performance énergétique avec les niveaux de référence pour évaluer l'efficacité énergétique et identifier les possibilités d'amélioration. (Quevedo et al., 2024)

La consommation énergétique dans un bâtiment tertiaire peut être évaluée à l'aide de différents benchmarks, permettant de comparer la performance énergétique avec des bâtiments similaires. Cependant, il existe certains inconvénients liés à l'utilisation de ces benchmarks. (Laporte & Cansino, 2024) (Khoshbakht et al., 2018) (Shukri et al., 2022)

1. **Variabilité des Facteurs de Consommation** : Les benchmarks peuvent ne pas tenir compte des différences spécifiques entre les établissements, telles que la diversité des types des bâtiments et les usages des espaces, limitant ainsi leur applicabilité générale. Chaque bâtiment possède des caractéristiques uniques, telles que la

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

conception, l'orientation, les équipements installés, et les conditions d'utilisation, qui influencent fortement la consommation énergétique.

2. **Complexité de la Collecte de Données** : La collecte des données précises et complètes pour établir des benchmarks peut être complexe et nécessiter des ressources considérables. Les données doivent être normalisées pour être comparables, ajoutant une couche de complexité supplémentaire. Souvent, les benchmarks reposent sur des données agrégées provenant de nombreux bâtiments, ce qui peut conduire à des estimations approximatives et à une représentation inexacte de la consommation énergétique d'un bâtiment spécifique.
3. **Impact des Valeurs Extrêmes** : Les benchmarks basés sur des moyennes peuvent être influencés par des valeurs extrêmes, ce qui peut ne pas refléter fidèlement les performances énergétiques typiques des bâtiments. Utiliser des techniques de normalisation comme l'analyse de frontière stochastique (SFA) peut aider, mais cela complique encore l'analyse.
4. **Évolutions Technologiques Non Prises en Compte** : Avec les avancées technologiques et les améliorations de l'efficacité énergétique, les benchmarks peuvent devenir obsolètes. Un bâtiment performant il y a quelques années peut ne plus répondre aux normes actuelles d'efficacité énergétique, même s'il est toujours dans les limites des benchmarks existants.
5. **Absence d'Ajustements pour les Facteurs Externes** : Les benchmarks ne tiennent généralement pas compte des facteurs externes, comme les variations de température, de luminosité, et les conditions climatiques, qui peuvent avoir un impact significatif sur la consommation énergétique d'un bâtiment.

Avantages des Benchmarks

1. **Évaluation et Comparabilité** : Les benchmarks permettent d'évaluer et de comparer les profils énergétiques des différents bâtiments, améliorant ainsi la responsabilité et la comparabilité entre les institutions.

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

2. **Optimisation de l'Efficacité Énergétique** : Les benchmarks aident à identifier les possibilités d'amélioration de l'efficacité énergétique, en recommandant des standards reconnus comme le CIBSE TM46.
3. **Identification des Économies Potentielles** : L'utilisation de benchmarks permet d'estimer les économies potentielles d'énergie, soutenant ainsi les projets d'économie d'énergie durables.
4. **Promotion de l'Efficacité Énergétique** : Les benchmarks fournissent une référence pour évaluer les performances énergétiques, aidant à identifier les opportunités d'amélioration et à encourager des pratiques énergétiques plus efficaces.
5. **Évaluation et Amélioration des Performances** : Les benchmarks permettent de comparer les performances énergétiques actuelles avec celles des années précédentes ou avec des bâtiments de référence ayant des fonctions similaires, aidant à identifier les opportunités d'amélioration et à mettre en œuvre des stratégies pour optimiser l'efficacité énergétique.

En conclusion, bien que les benchmarks offrent des avantages significatifs pour améliorer l'efficacité énergétique et comparer les performances entre institutions, ils présentent également des défis liés à la collecte des données, à la variabilité des facteurs de consommation et à la complexité de l'analyse. Pour obtenir une évaluation précise de la consommation énergétique d'un bâtiment, il est crucial d'utiliser les benchmarks avec prudence et de les compléter par des analyses plus détaillées et des mesures spécifiques.

Nous avons effectué un benchmarking au niveau des facultés et instituts de l'Université Constantine 3 en utilisant la méthode présentée précédemment, où nous avons divisé la consommation énergétique annuelle en kWh par la superficie des bâtiments. La figure 4.12 illustre cette analyse, permettant d'évaluer la performance énergétique des bâtiments universitaires. En général, un IUE faible indique une bonne performance énergétique. Nous avons constaté que la valeur annuelle de cette intensité variait entre 70,20 et 98,79 kWh/m².an L'IUE annuelle moyenne totale (2018 à 2023) de tous les bâtiments est de 670,33 kWh/m².an.

Cependant, la majorité des facultés ou institut ont une valeur supérieure à 70 kWh/m².an La valeur d'intensité la plus élevée, 98,79 kWh/m².an, a été enregistrée par la faculté de génie

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

des procédés. Cette faculté présente une valeur d'intensité plus élevée en raison de la présence d'un laboratoire pilote, des laboratoires de recherche et des laboratoires pédagogiques, qui utilisent quotidiennement des équipements énergivores pour leurs travaux, analyses et TP. En revanche, la faculté ayant l'intensité la plus faible est celle des sciences politiques, en raison de sa superficie réduite et du nombre limité d'étudiants, ainsi que de l'absence d'équipements spécifiques nécessitant une forte consommation énergétique, contrairement à la faculté de génie des procédés.

En comparant les résultats obtenus de l'intensité d'utilisation de l'énergie (IUE) avec la consommation énergétique de chaque bâtiment, nous constatons que la faculté de médecine et le rectorat sont les plus gros consommateurs d'énergie. Cependant, en termes de performance énergétique, la consommation affichée dans les factures est cohérente avec leur superficie, ce qui les rend presque les plus performants par rapport aux autres facultés. En revanche, bien que la faculté de génie des procédés consomme moins d'énergie en termes absolus, sa performance énergétique est inférieure à celle des autres facultés.

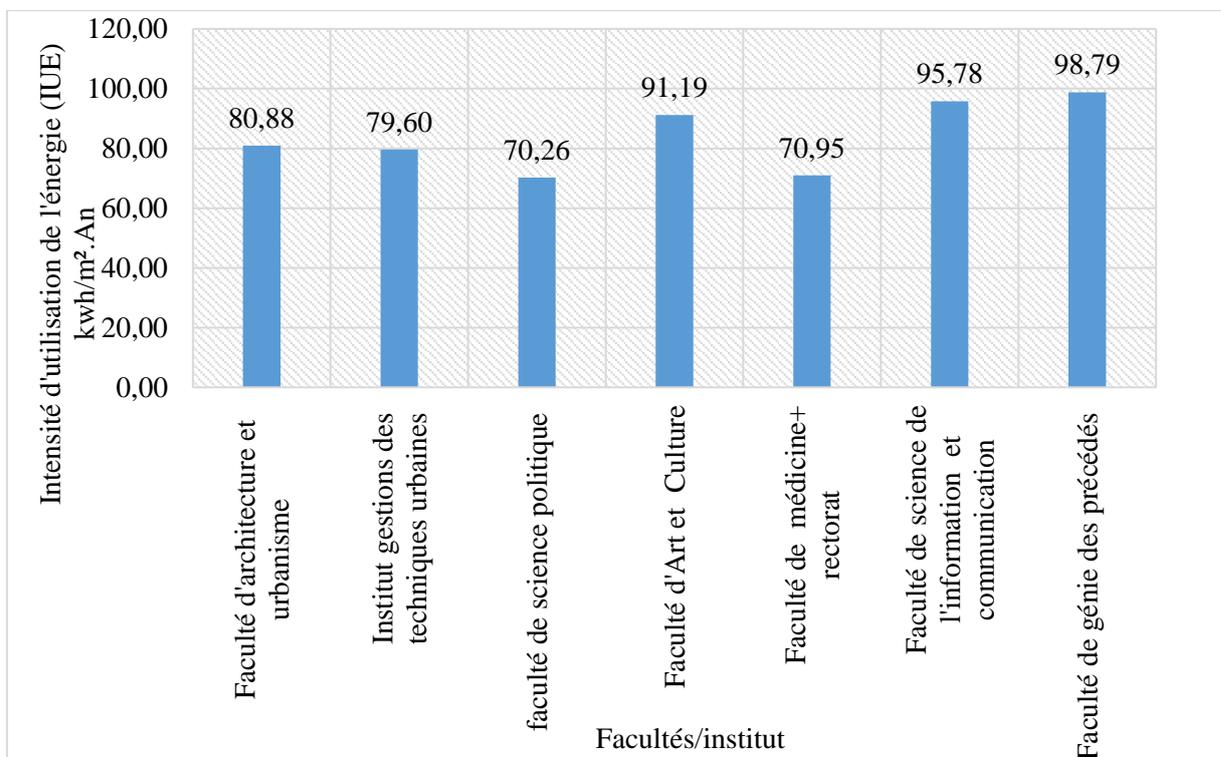


Figure 4.12 Comparaison de l'Intensité d'Utilisation de l'Énergie des facultés et institut.

Source : auteure ,2024.

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

Nous avons essayé de comparer la performance énergétique de notre université, Constantine 3, avec celle d'autres universités afin de déterminer dans quelle fourchette elle se situe et si sa consommation est comparable à celle des autres établissements. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur des études telles que celles de (Litardo et al., 2021) (Y.T. Ma1, 2015), qui ont comparé l'intensité d'utilisation de l'énergie de différentes universités.

Nous avons choisi de comparer notre université avec des établissements situés dans la même zone climatique, conformément à la classification d'ASHRAE Standard 169-2020 (Ashrae, 2021) . Notre université se trouve dans la zone climatique 3A avec une Intensité d'Utilisation de l'Énergie (IUE) de 70,20 à 98,79 kWh /m².an. Nous avons donc utilisé le classement des universités par zone climatique et intensité d'utilisation énergétique réalisé par (Quevedo et al., 2024) .

Par exemple, le campus de l'Université de Wollongong en Australie a une IUE variant de 16 à 430 kWh/m².an, tandis que l'Université Keio au Japon enregistre une IUE entre 465 et 582 kWh/m².an, et le campus de Southwark de la London South Bank Université à Londres varie entre 54,75 et 146 kWh/m². Jour. Équivalent respectivement à 19983,75 kWh/m².an et 53290 kWh/m².an. (Voir la figure 4.13).

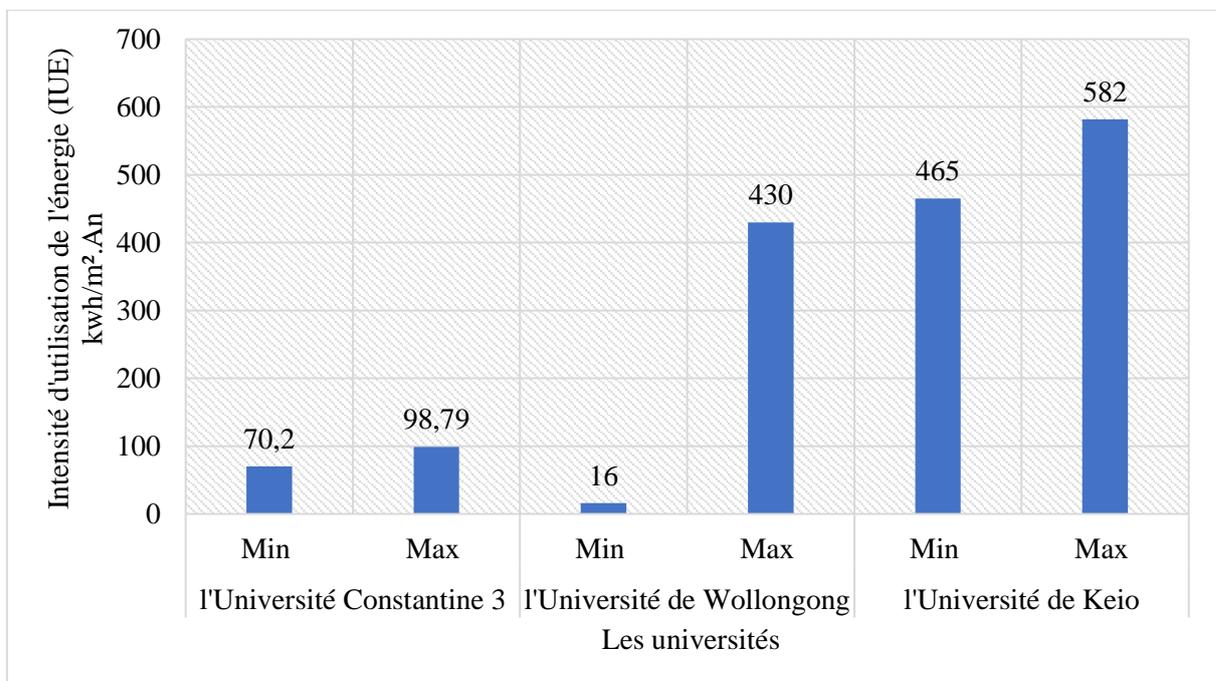


Figure 4.13 Comparaison de l'Intensité d'Utilisation de l'Énergie des universités.

Source : auteur ,2024.

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

En analysant la figure 4.13, nous constatons qu'il est difficile de conclure qu'une université est plus performante qu'une autre en comparant notre université à d'autres établissements situés dans la même zone climatique. En effet, les données montrent un écart significatif dans l'intensité d'utilisation de l'énergie entre les différentes universités. Cette variabilité s'explique par le climat local, la diversité des types de facultés, des fonctions des bâtiments, des structures architecturales, de l'occupation et des habitudes des occupants, tous ces facteurs ayant un impact notable sur la consommation énergétique.

4.6. Cartographie Énergie-CO₂ : Un Outil pour Visualiser la Consommation d'Énergie et son Impact Environnemental

4.6.1. Cartographie Énergie-CO₂ à l'échelle internationale

Pour réduire la consommation d'énergie, des nombreuses politiques internationales ont été mises en œuvre à travers le monde. Cependant, pour une gestion efficace et le développement de politiques réussies, la cartographie de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ est un outil précieux (Politecnico et al., 2016). Cela permet de visualiser et d'identifier les zones ayant les plus hauts niveaux de consommation d'énergie et d'émissions de CO₂. Une telle cartographie facilite l'identification des secteurs clés où les mesures d'efficacité énergétique et de réduction des émissions peuvent avoir l'impact le plus significatif (Lorenzo-Sáez et al., 2020). En fournissant une vue d'ensemble, elle aide les municipalités et les urbanistes à prendre des décisions éclairées et à mettre en œuvre des politiques appropriées (Mattinen et al., 2014). De plus, elle permet de suivre les progrès dans la réduction de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂. (Mccusker, 2013)

La cartographie de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ joue également un rôle essentiel dans la sensibilisation du public aux enjeux environnementaux. En visualisant les données sur une carte, elle facilite la compréhension des informations et encourage l'adoption des comportements plus durables. En résumé, la cartographie de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ est un outil important pour la planification énergétique, la sensibilisation du public et la promotion des pratiques durables. Elle fournit une présentation claire et accessible des données, contribuant à une meilleure gestion et à des politiques énergétiques réussies. (Vaisi et al., 2014).

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

En effet, des nombreuses études ont été menées dans le monde entier pour souligner l'importance d'utiliser la cartographie afin de concevoir des stratégies efficaces visant à améliorer l'efficacité énergétique, réduire la consommation, améliorer la performance énergétique et atténuer les émissions de CO₂.

Au Canada,(Salimzadeh et al., 2016) des techniques de cartographie ont été utilisées pour évaluer la consommation d'énergie urbaine, prenant le campus SGW de l'Université Concordia comme étude de cas. Ce campus comprend une variété de bâtiments en termes d'âge et de sophistication technologique. Des systèmes d'information géographique (SIG) ont été employés pour créer une carte de la performance énergétique des bâtiments, en les comparant avec des bâtiments similaires pour évaluer l'efficacité énergétique. Cette cartographie est basée sur la consommation énergétique des bâtiments. Cependant, des difficultés ont été rencontrées pour obtenir ces données, ils ont donc eu recours à des outils de simulation énergétique, notamment eQuest, GBS et EnergyPlus, pour estimer la consommation d'énergie.

En Irlande(Vaisi et al., 2014), une étude a été menée sur un campus universitaire de référence pour illustrer l'importance de la cartographie pour l'efficacité d'une politique énergétique dans le cadre d'un projet européen. Tous les bâtiments publics en Europe doivent afficher un "Certificat de Performance Énergétique (CEP)". Cette étude vise à développer un modèle énergétique utilisant un SIG pour évaluer et diffuser les résultats de l'analyse de la consommation d'énergie au sein des bâtiments du campus universitaire. L'objectif de cette carte est d'assurer la conformité avec les exigences du CEP. De plus, cette évaluation est utilisée pour confirmer la conformité avec les normes énergétiques conformément aux normes de la CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers) en générant une autre carte énergétique colorée alignée avec les critères de la CIBSE.

En Finlande(Mattinen et al., 2014), les résultats obtenus ont démontré l'importance de la cartographie en tant qu'outil de décision efficace et ciblé pour les décideurs politiques. En utilisant la cartographie comme outil de visualisation et d'analyse de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ dans un secteur résidentiel grâce à un SIG, deux exemples ont été pris pour montrer comment les impacts des changements de comportement et des avancées technologiques dans le secteur immobilier peuvent être évalués et visualisés. Cela illustre comment cette approche facilite l'analyse et l'évaluation de la consommation

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

d'énergie et des émissions de CO₂, permettant ainsi de trouver des solutions ciblées et efficaces pour améliorer la performance énergétique et réduire les émissions de CO₂.

En Australie(Wiedmann et al., 2016), le concept de carte carbone a été appliqué à la grande région métropolitaine de Melbourne dans le but d'illustrer les origines et les destinations locales, régionales, nationales et mondiales des flux d'émissions de gaz à effet de serre incorporées. Cela démontre l'importance de la cartographie en tant qu'outil pour concevoir des politiques efficaces et mettre en œuvre des stratégies d'atténuation réussies.

En Espagne(Lorenzo-Sáez et al., 2020), une cartographie de la consommation d'énergie primaire et des émissions de gaz à effet de serre a été établie dans les bâtiments d'une ville en fonction des certificats de performance énergétique en utilisant un SIG. L'objectif est de classier les différents bâtiments résidentiels en termes d'efficacité énergétique et d'émissions de CO₂ et de les comparer avec la moyenne nationale en Espagne. De plus, cela permet d'identifier directement les quartiers de la ville présentant le plus grand potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique et de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Nous constatons que dans la plupart des cartographies établies dans les études internationales, l'unité utilisée est le kWh.an/m². Cette unité permet de comparer efficacement la performance énergétique de différents bâtiments, indépendamment de leur taille, en standardisant les données. Cela facilite la comparaison entre bâtiments de tailles et de types différents. En utilisant cette métrique, il est possible de créer des benchmarks pour évaluer la performance énergétique des bâtiments par rapport aux standards ou à des bâtiments similaires.

Des nombreuses réglementations et codes du bâtiment exigent la surveillance et la déclaration de la consommation énergétique en kWh/m².an, ce qui garantit que les bâtiments respectent les normes de performance énergétique établies. Par ailleurs, des certifications telles que LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ou BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) utilisent cette métrique pour évaluer et certifier les bâtiments en fonction de leur performance énergétique et de leur impact environnemental.

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

4.6.2. Cartographie Énergie-CO₂ à l'échelle national cas université Constantine 3

Les données concernant la consommation de gaz et d'électricité ont été collectées à partir des factures de gaz et électricité de chaque faculté sur la période 2018-2023. Sur la base de ces factures, nous avons mené une analyse approfondie de la consommation de l'électricité et du gaz, ainsi la consommation d'énergie en Tep, ainsi que des émissions de CO₂, comme indiqué dans la section précédente.

En utilisant les données collectées sur la consommation de gaz et d'électricité, ainsi que des images satellites de l'Université de Constantine 3 obtenues via les cartes de base en ligne d'ArcGIS, nous avons créé une carte codée par couleur pour établir une corrélation entre les données énergétiques et les caractéristiques géospatiales à l'aide du Système d'Information Géographique (SIG) , ArcGIS 10.8 . Cette approche visait à mener une analyse complète de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ au sein des différentes facultés et institut de l'université, afin de faciliter la comparaison de ces données et d'identifier les facultés ayant la plus forte consommation d'énergie et les émissions de CO₂ les plus élevées. Les figures suivantes illustrent les cartes de consommation d'électricité et de gaz de l'Université de Constantine 3 pour la période 2018-2023, ainsi que la consommation énergétique en TEP et les émissions de CO₂.

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

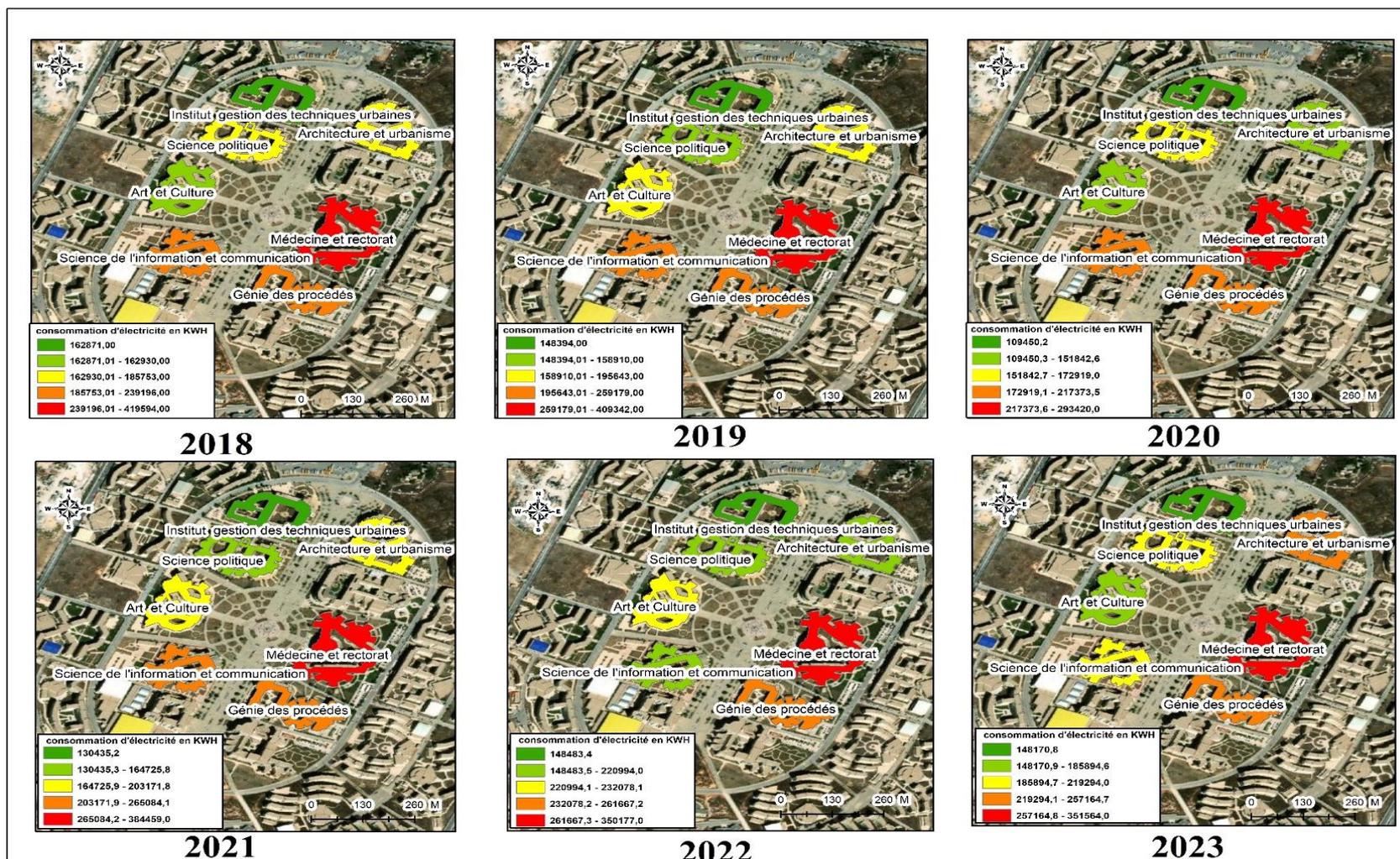


Figure 4.14 La carte de la consommation de l'électricité en kWh de l'université Constantine 3 années : 2018-2023.

Source : auteure, 2024

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

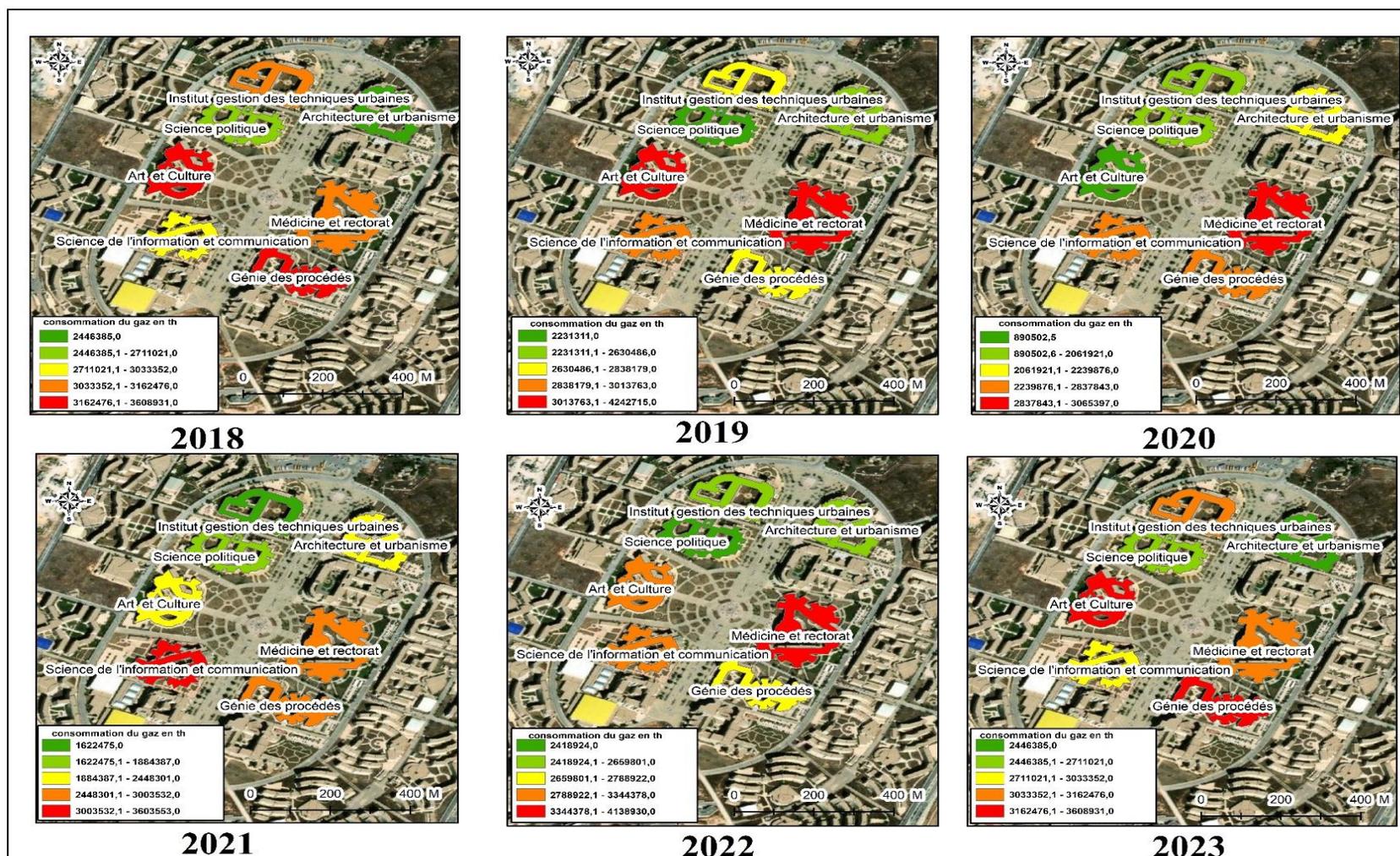


Figure 4.15 La carte de la consommation du gaz en Th de l'université Constantine 3 années : 2018-2023.

Source : auteure,2024.

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

Nous analysons la figure 4.14 et constatons que la faculté de médecine et le rectorat sont les plus grands consommateurs d'électricité sur les six dernières années. La faculté de génie des procédés occupe la deuxième place avec une consommation également élevée. En revanche, d'autres facultés, comme la faculté des sciences de l'information et des communications, ont vu leur consommation diminuer au fil des années. D'un autre côté, des facultés comme la faculté des arts et de la culture, ainsi que la faculté d'architecture et d'urbanisme, ont enregistré une augmentation de leur consommation d'électricité. Enfin, certaines institutions, telles que l'institut de gestion des techniques urbaines, ont maintenu une consommation constante au cours de cette période.

La cartographie de la consommation d'électricité joue un rôle crucial dans la gestion énergétique au niveau de l'université. Elle permet de visualiser et de comprendre les variations de la consommation électrique au sein du campus sur plusieurs années. La cartographie met en évidence les bâtiments ou facultés qui consomment le plus d'électricité, comme la faculté de médecine et le rectorat, information essentielle pour cibler les efforts de réduction de la consommation énergétique. En analysant les cartes annuelles, on peut observer les tendances de consommation d'électricité au fil du temps. Par exemple, la faculté de science de l'information et des communications a vu sa consommation diminuer, tandis que la faculté d'art et de culture a enregistré une augmentation.

En résumé, la cartographie de la consommation d'électricité est un outil indispensable pour une gestion énergétique efficace. Elle permet non seulement de visualiser les données de consommation, mais aussi de prendre des décisions informées pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire les coûts.

En analysant la figure 4.15 de la consommation de gaz en Th de l'Université Constantine 3 pour les années 2018-2023, nous observons une répartition inégale de la consommation de gaz entre les différentes facultés. En 2018, la faculté de génie de procédés et la faculté d'art et de culture étaient les plus gros consommateurs de gaz. Leur consommation a diminué puis augmenté, devenant les plus grands consommateurs à certains moments.

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

La faculté de médecine et le rectorat avaient une consommation inférieure à ces deux facultés pendant un certain temps, avant de voir leur consommation augmenter et devenir la plus élevée à certaines périodes, pour finalement diminuer en 2023. L'institut de gestion des techniques urbaines a vu sa consommation diminuer, devenant la moins consommatrice en 2021, puis augmenter de nouveau en 2023.

La faculté des sciences de l'information et des communications a enregistré une augmentation de sa consommation, atteignant son maximum en 2021, avant de diminuer entre 2022 et 2023. Par ailleurs, la faculté d'architecture et d'urbanisme, initialement la plus consommatrice en 2018, a vu sa consommation diminuer progressivement, devenant la moins consommatrice en 2023.

En somme, la cartographie de la consommation de gaz de l'université Constantine 3 fournit une vue d'ensemble précieuse qui aide à comprendre et à gérer l'utilisation de ressources énergétiques de manière plus efficace. Elle met en lumière les variations annuelles et les bâtiments les plus énergivores, facilitant ainsi la mise en place de stratégies ciblées pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire les coûts.

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

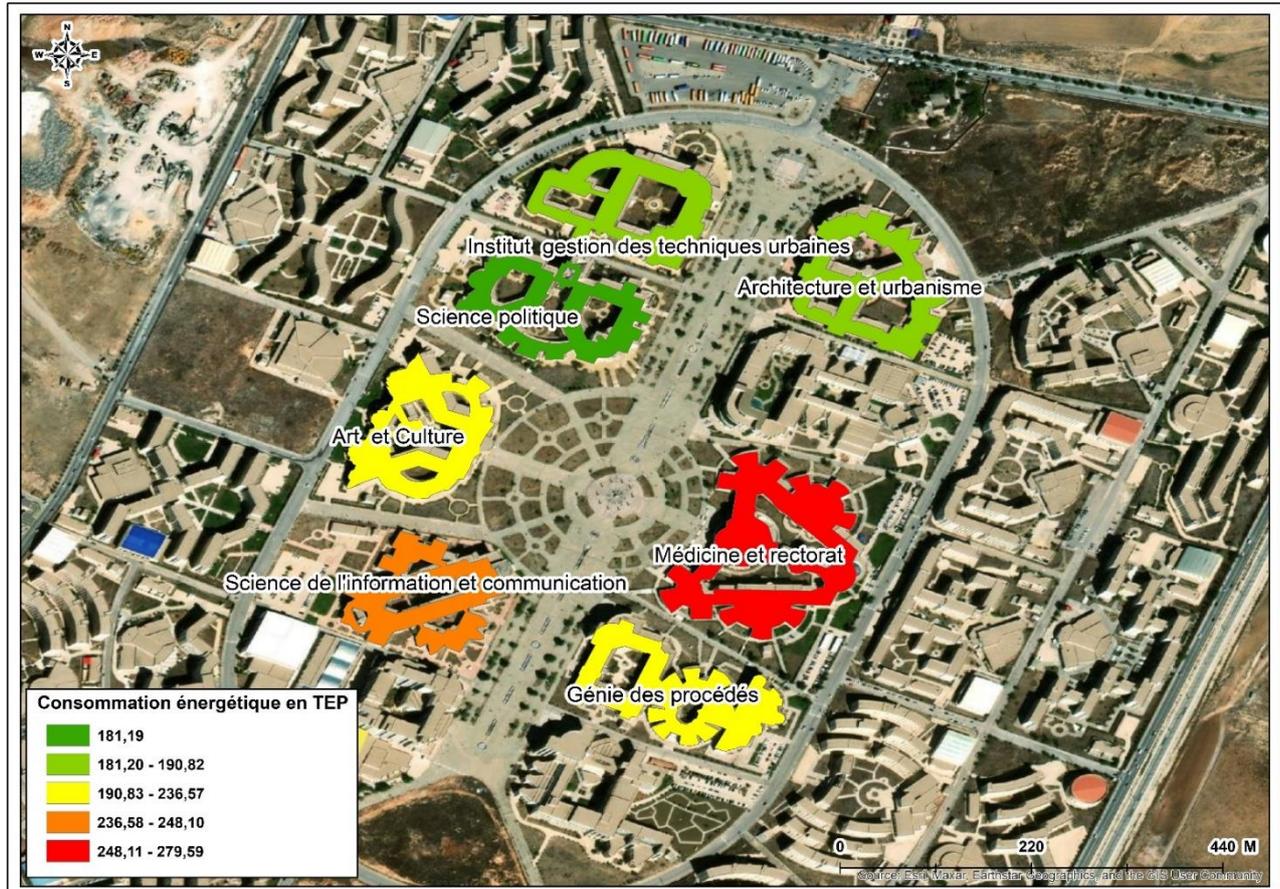


Figure 4.16 La carte de la consommation moyenne annuelle énergétique en TEP de l'université Constantine 3.

Source : auteure, 2024.

Suite à l'analyse des deux cartes, nous constatons que la Faculté de Médecine, suivie du Rectorat, est le plus grand consommateur d'énergie, tandis que la Faculté de Science Politique est le plus faible consommateur d'énergie (Figure 4.16). Cette disparité peut s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment la grande superficie de la Faculté de Médecine, le nombre élevé d'étudiants et de personnel au Rectorat, ainsi que l'utilisation intensive des outils informatiques dans ces entités par rapport aux autres facultés.

Concernant les émissions de dioxyde de carbone (CO₂), les Facultés de Médecine et le Rectorat sont les plus gros émetteurs, tandis que la Faculté de Science Politiques a des émissions de CO₂ les plus faibles (Figure 4.17). Cette corrélation s'explique principalement par le fait que des niveaux de consommation d'énergie plus élevés entraînent généralement des émissions de CO₂ proportionnellement plus élevées.

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

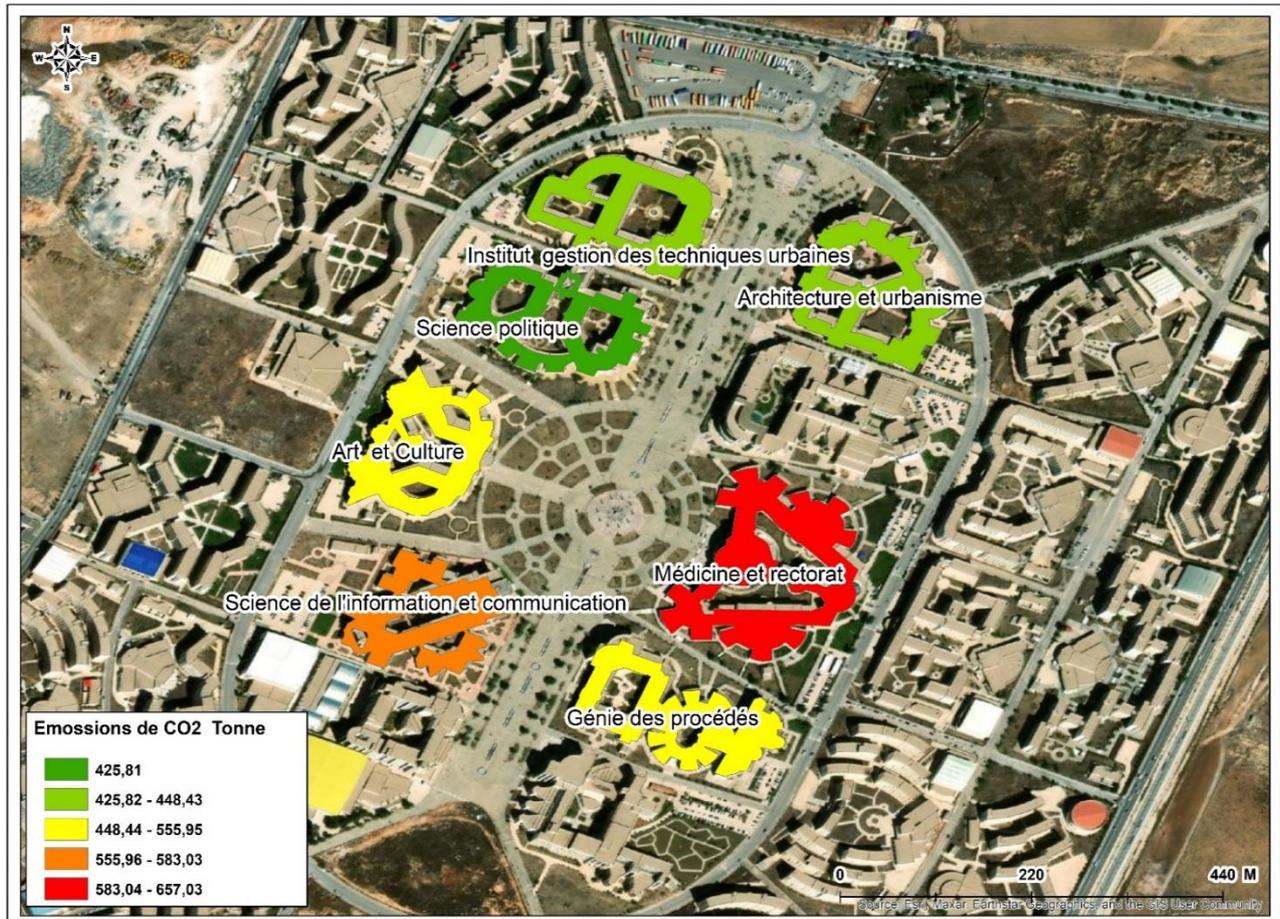


Figure 4.17 La carte des émissions de CO₂ de l'université Constantine 3.

Source : auteure ,2024.

L'utilisation de cartes dans le domaine de l'efficacité énergétique est une pratique mondiale permettant de comparer la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ entre différents bâtiments, et de les classer selon leurs niveaux individuels de performance énergétique, en les comparant aux normes de référence.

En Algérie, il n'existe pas de réglementations en vigueur concernant les normes de consommation d'énergie des bâtiments ou l'étiquetage de la performance énergétique des bâtiments, comme nous l'avons mentionné précédemment en calculant l'intensité de l'utilisation de l'énergie pour chaque faculté. Cependant, nous n'avons pas de classification de la performance énergétique des bâtiments, en particulier pour les bâtiments tertiaires. C'est pourquoi nous avons développé des cartes utilisant la consommation d'énergie en tep (tonnes équivalent pétrole) conformément au Décret Exécutif 05-495 concernant les audits énergétiques

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

Conclusion

Ce chapitre présente une analyse de l'efficacité énergétique au sein de l'université Salah Bounider Constantine 3. Cette université, l'un des plus grands pôles universitaires en Afrique, comprend six facultés et un institut, et se caractérise par une consommation énergétique élevée : 16,47 GWh de gaz, principalement pour le chauffage, et 1,59 GWh d'électricité, utilisée pour l'éclairage, la climatisation, les outils informatiques et autres équipements de recherche. La consommation totale de l'université atteint 1550,93 TEP, dépassant ainsi les 500 TEP qui imposent, selon la réglementation algérienne, la réalisation d'un audit énergétique. En conséquence, l'université émet une quantité significative de CO₂, soit 3644,67 tonnes.

L'analyse des factures a révélé que toutes les facultés et l'institut ne dépassent pas la moitié de la Puissance Maximale Demandée (PMD) requise, en raison d'études préliminaires mal réalisées, menant à un choix inadéquat de la Puissance Maximale Autorisée (PMA) par rapport aux besoins réels de chaque faculté ou institut. L'inventaire établi par l'auteur a montré que l'université UC3 souffre de surdimensionnement et de surestimation des besoins en éclairage. Cette conclusion a été validée par le calcul de l'éclairage d'une salle TD au sein de la faculté d'architecture et d'urbanisme, où il a été constaté que l'éclairage obtenu dépasse les quantités recommandées selon les normes.

Un benchmark des facultés et instituts a été établi, révélant que la faculté de génie des procédés possède un indicateur de performance énergétique élevé, malgré des factures de gaz et d'électricité indiquant qu'elle n'est pas la plus grande consommatrice d'énergie.

En utilisant un Système d'Information Géographique (SIG), quatre cartes ont été générées : une pour la consommation d'électricité, une pour la consommation de gaz, une pour la consommation d'énergie globale (TEP) et une pour les émissions de CO₂. Ces cartes montrent que la faculté de médecine et le rectorat sont les plus gros consommateurs d'énergie et émetteurs de CO₂, tandis que la faculté de science politique affiche la plus faible consommation d'énergie et les moindres émissions de CO₂.

En Algérie, l'absence d'application des normes et de la réglementation pour la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ pour les bâtiments constitue un défi pour la mise en œuvre efficace des politiques énergétiques et climatiques. Pour une meilleure

CHAPITRE IV : ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET DES ÉMISSIONS DE CO₂ : ÉTUDE COMPARATIVE

gestion et la réussite des politiques en matière d'efficacité énergétique et de réduction des émissions de CO₂, la normalisation de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ des bâtiments tertiaires est essentielle afin d'établir un label de performance énergétique.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

Introduction

Ce chapitre se focalise sur l'importance cruciale de la simulation énergétique en tant qu'étape essentielle de l'audit énergétique. Nous débuterons par une présentation du logiciel CoDyBa, que nous avons utilisé, puis nous illustrerons son application dans notre étude de cas, en exposant enfin les résultats obtenus.

Les logiciels de simulation jouent un rôle précieux dans le cadre des études d'audit énergétique. Ces outils comparent la consommation énergétique prévue à celle observée et examinent l'impact de différents scénarios d'amélioration avant leur mise en œuvre. En simulant diverses stratégies d'économie d'énergie, les auditeurs peuvent déterminer les mesures les plus rentables et efficaces. Ils peuvent également prévoir la consommation énergétique post-rénovation de l'enveloppe du bâtiment et estimer les économies potentielles. Ces simulations valident les hypothèses de planification des projets d'amélioration et offrent une évaluation détaillée, heure par heure, en tenant compte des conditions météorologiques et des scénarios d'occupation. De plus, ils permettent de calculer le chauffage ou la climatisation nécessaires pour atteindre une température désirée et d'adapter le dimensionnement des systèmes CVC aux besoins spécifiques du bâtiment.

Après de nombreuses recherches et consultations d'articles, d'ouvrages et de thèses, nous avons identifié plusieurs logiciels de simulation énergétique, tels que Energyplus, TRNSYS (Transient System Simulation Tool), VisualDOE 4.0, DeST, HOT2000, SIMEB, DesignBuilder, Eco-Bat, et plus récemment, CoDyBa. Nous avons opté pour l'utilisation de CoDyBa en raison de ses avantages pratiques et accessibles. Contrairement à d'autres logiciels plus complexes, qui requièrent une expertise avancée en transfert de chaleur et en mécanique des fluides, CoDyBa se distingue par sa simplicité d'utilisation et sa gratuité. De plus, il est l'un des logiciels disponibles que j'ai pu trouver, ce qui a facilité sa sélection pour cette étude. Ces caractéristiques en font un choix approprié pour notre recherche, car il permet d'atteindre nos objectifs de manière efficace, sans nécessiter de compétences techniques approfondies. Sa capacité à simuler les performances énergétiques des bâtiments dans des conditions variées en fait également un outil particulièrement adapté à notre contexte d'audit énergétique.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

5.1. Présentation du logiciel CoDyBa

CoDyBa est un outil efficace pour anticiper le comportement thermique d'un bâtiment. Il permet de réaliser un bilan énergétique complet et d'étudier l'impact de divers facteurs, tels que le choix des vitrages, les matériaux de construction, l'orientation, les scénarios d'occupation, les caractéristiques des systèmes de chauffage et de climatisation, l'éclairage, le nombre de personnes, ainsi que les données climatologiques. La Figure 5.1 illustre l'interface générale du logiciel. (Jean-Jacques ROUX & Jean NOËL, 2007)

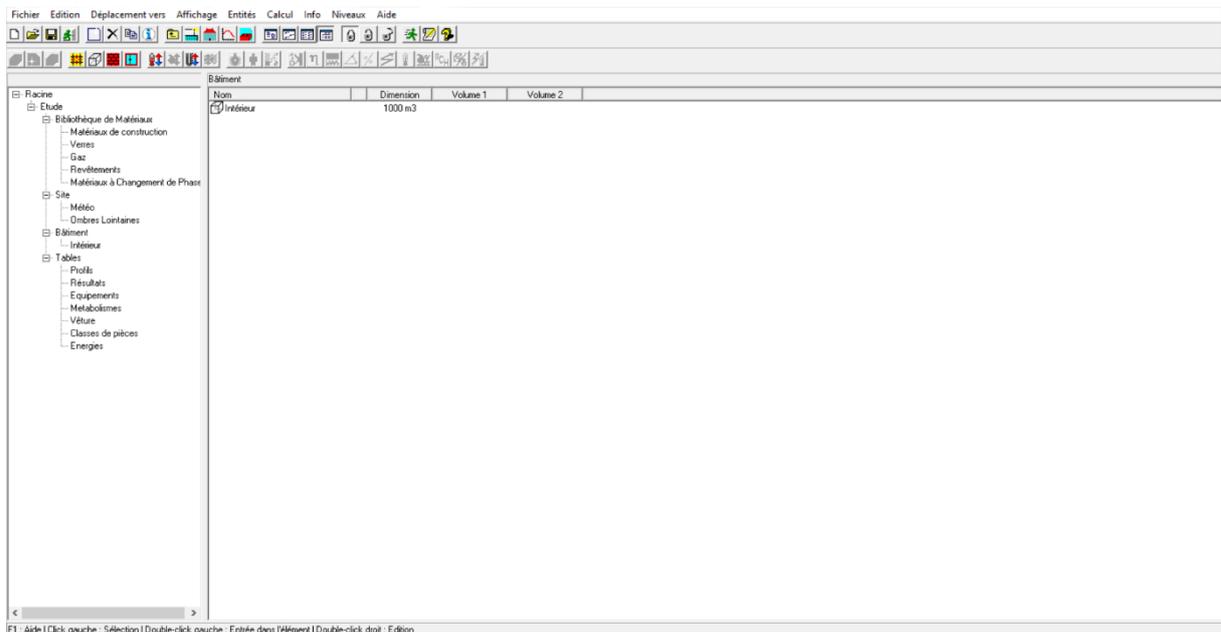


Figure 5.1 L'interface du logiciel.
Source : auteure ,24 octobre 2023.

Dans le logiciel CoDyBa, une liste exhaustive des matériaux de construction les plus couramment utilisés est disponible, accompagnée de leurs propriétés thermiques. Il est également possible d'ajouter des matériaux absents de cette liste. (Voir la figure 5.2)

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

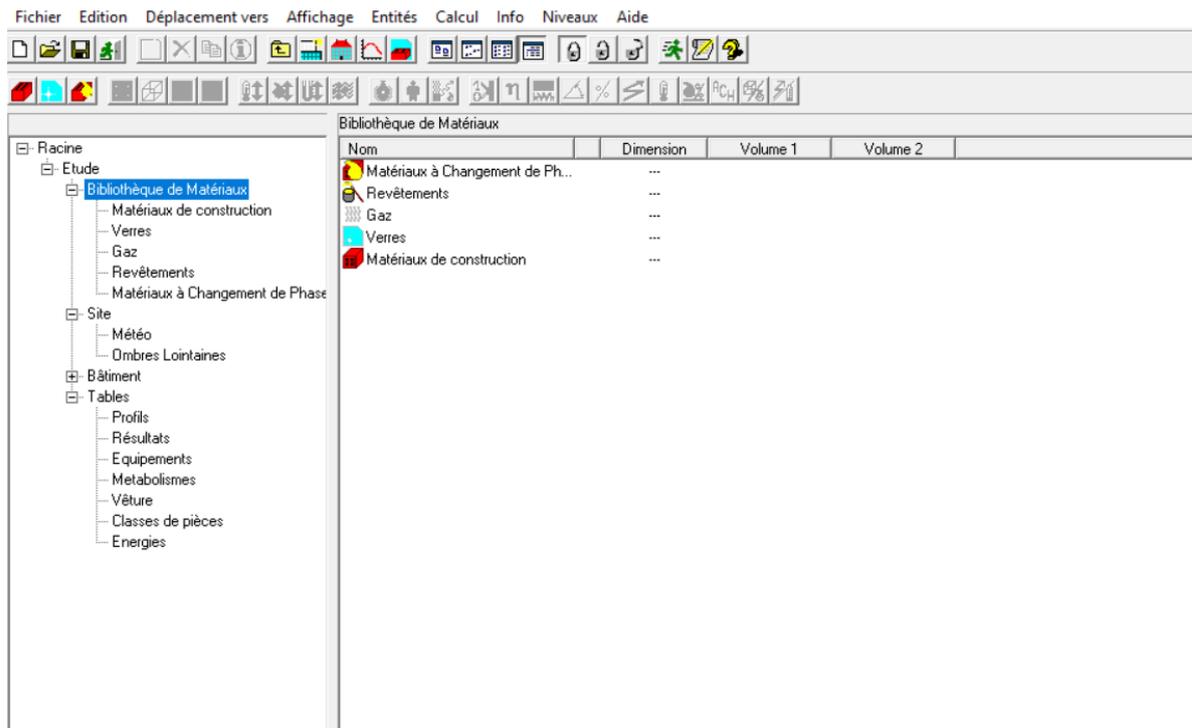


Figure 5.2 Écran du menu de la bibliothèque des matériaux.

Source : auteure ,24 octobre 2023.

Les données fondamentales utilisées par le logiciel englobent divers aspects de la structure du bâtiment, notamment :

- Les caractéristiques de la structure, telles que la composition des parois, y compris les types de matériaux de construction, leurs propriétés thermiques, l'épaisseur des parois et leurs dimensions et leurs orientations. (Voir la figure 5.3,5.4)
- Les informations sur les fenêtres, notamment le type de verre utilisé, son épaisseur et ses propriétés thermiques et ses orientations. (Voir la figure 5.5)
- Les charges internes, telles que le rayonnement en courte longueurs d'onde provenant du soleil (CLO), le rayonnement de grandes longueurs d'onde émis par des sources terrestres (GLO), ainsi que la convection, sont prises en compte. Ces charges sont générées par les occupants du bâtiment et les systèmes de climatisation, de chauffage, de ventilation et d'éclairage (voir la figure 5.7).

De plus, les paramètres clés du logiciel incluent :

- Les données climatiques spécifiques à la zone, qui sont importées à partir d'un fichier météo (voir la figure 5.6).

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

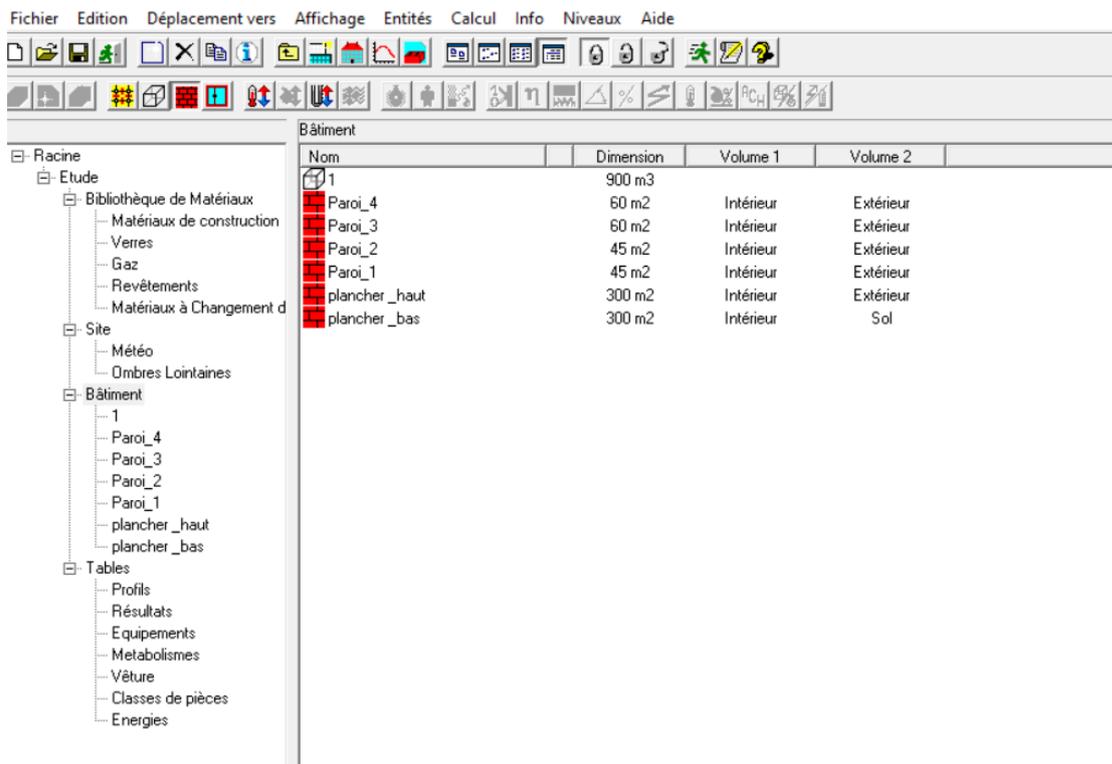


Figure 5.3 Écran du menu du bâtiment.

Source : auteure ,24 octobre 2023.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

Paroi - Paroi_4

Fenêtre Edition (Couches) Lier (Volumes) Aide

Identification Nom: Paroi_4 Nb items ident.: 1		Etat En Service: <input type="radio"/> Hors Service: <input checked="" type="radio"/> Sortie résultats: <input checked="" type="radio"/> Pas de sortie: <input type="radio"/>		Valeurs initiales Température d'Air: 10 °C	
Dimensions Surface: 60 m ² Largeur: 20 m Hauteur: 3 m Position en X: 0 m Position en Y: 0 m Position en Z: 0 m		Orientation Azimut: -90 deg. Inclinaison: 90 deg. Plafond: <input type="radio"/> Plancher: <input type="radio"/> Mur: <input checked="" type="radio"/> Autre: <input type="radio"/>		Divers Hauteur cavité: 2.3 m Résistance: 0 °C.m ² /W	
		Relié à <input checked="" type="radio"/> Extérieur avec rayonnement solaire <input type="radio"/> Extérieur sans rayonnement solaire <input type="radio"/> Extérieur sans aucun flux (flux nul) <input type="radio"/> Volume miroir <input type="radio"/> Sol <input type="radio"/> Autre			

	Nom	Matériau	Epai. (m)	Conductivité (W/m.°C)	Capacité (J/kg.°C)	Masse vol. (kg/m3)	Absor. (-)	Trans. (-)
0	Intérieur							
1	Revêtement	Vertical Intérieur	-	-	-	-	-	-
2	Matériau	Béton	0.15	2	1000	2450	-	-
3	Revêtement	Vertical Extérieur	-	-	-	-	-	-
4	Extérieur							

F1 : Aide

Figure 5.4 Fenêtre de saisie les informations de la paroi.
Source : auteure ,24 octobre 2023.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

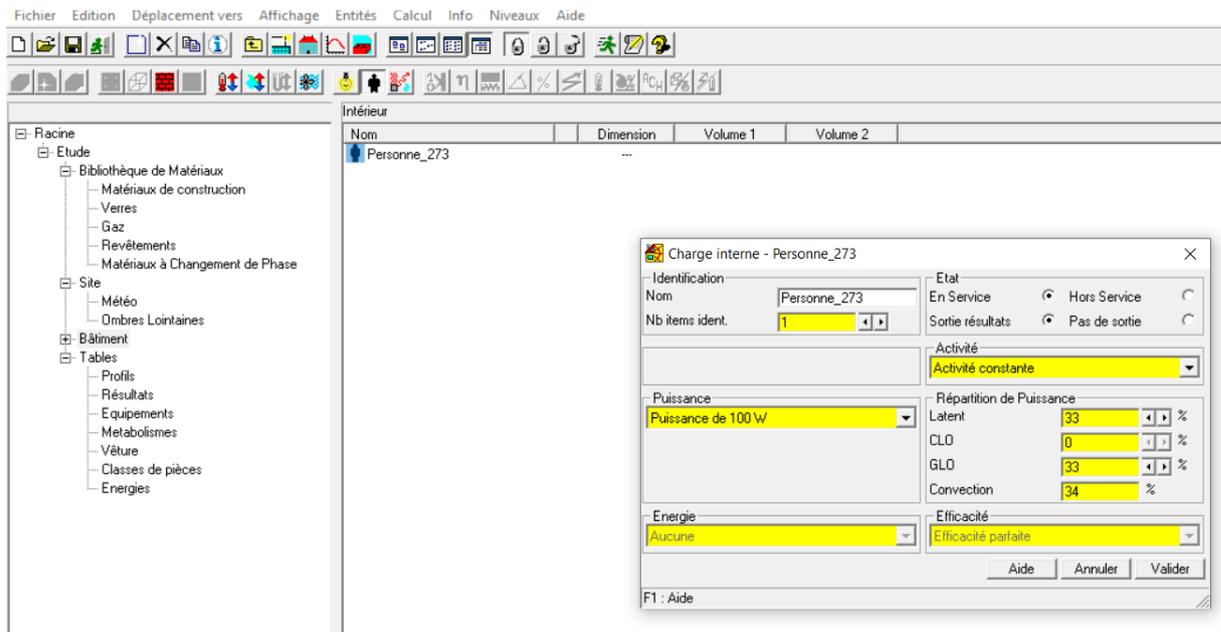


Figure 5.7 Fenêtre de saisie les informations de la charge interne des personnes.

Source : auteur ,24 octobre 2023.

- La collecte des données comprend l'enregistrement des caractéristiques des systèmes de chauffage, ventilation, et climatisation (CVC), de même que des systèmes d'éclairage. Cela inclut les scénarios d'activités associés et leurs puissances respectives, comme illustré dans la Figure 5.8.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

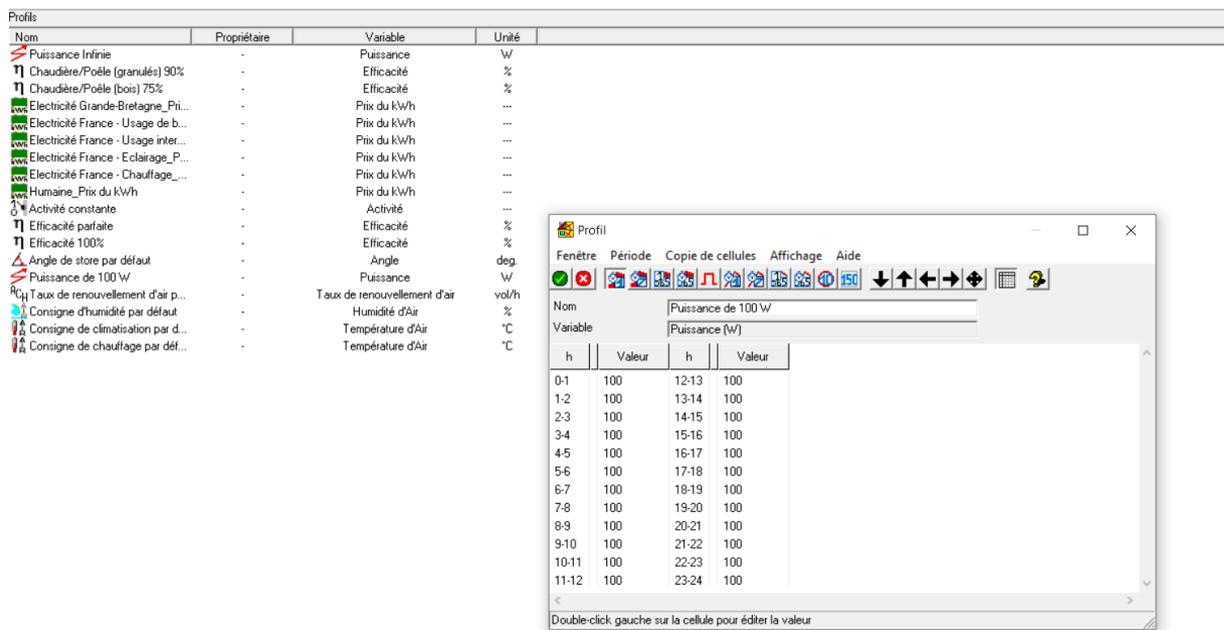


Figure 5.8 Écran du menu des scenarios d'occupation.

Source : auteure ,24 octobre 2023.

Une fois que l'ensemble des données requises relatives au bâtiment a été saisie, on peut procéder au lancement du processus de simulation. La Figure 5.9 illustre l'interface dédiée au calcul, offrant la possibilité d'entrer des informations temporelles, telles que le moment de début, de fin et la durée de la simulation.

Avant le commencement de la simulation, on pourra choisir les variables que l'on souhaite voir dans la section des résultats, telles que la température radiante, la résultante, l'humidité, les variables spécifiques des fenêtres, les températures des surfaces des parois ou des fenêtres, et les flux solaires reçus par les parois ou les fenêtres.

Les résultats produits par le logiciel sont initialement présentés sous forme de données textuelles dans la section des résultats. Cependant, il est également envisageable de les visualiser sous forme de courbes et de graphiques, accessibles dans la section dédiée aux courbes, en utilisant une méthode d'interaction en glissant les valeurs numériques. Par ailleurs, une autre option consiste à afficher ces graphiques en exportant les données vers un logiciel tel qu'Excel.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

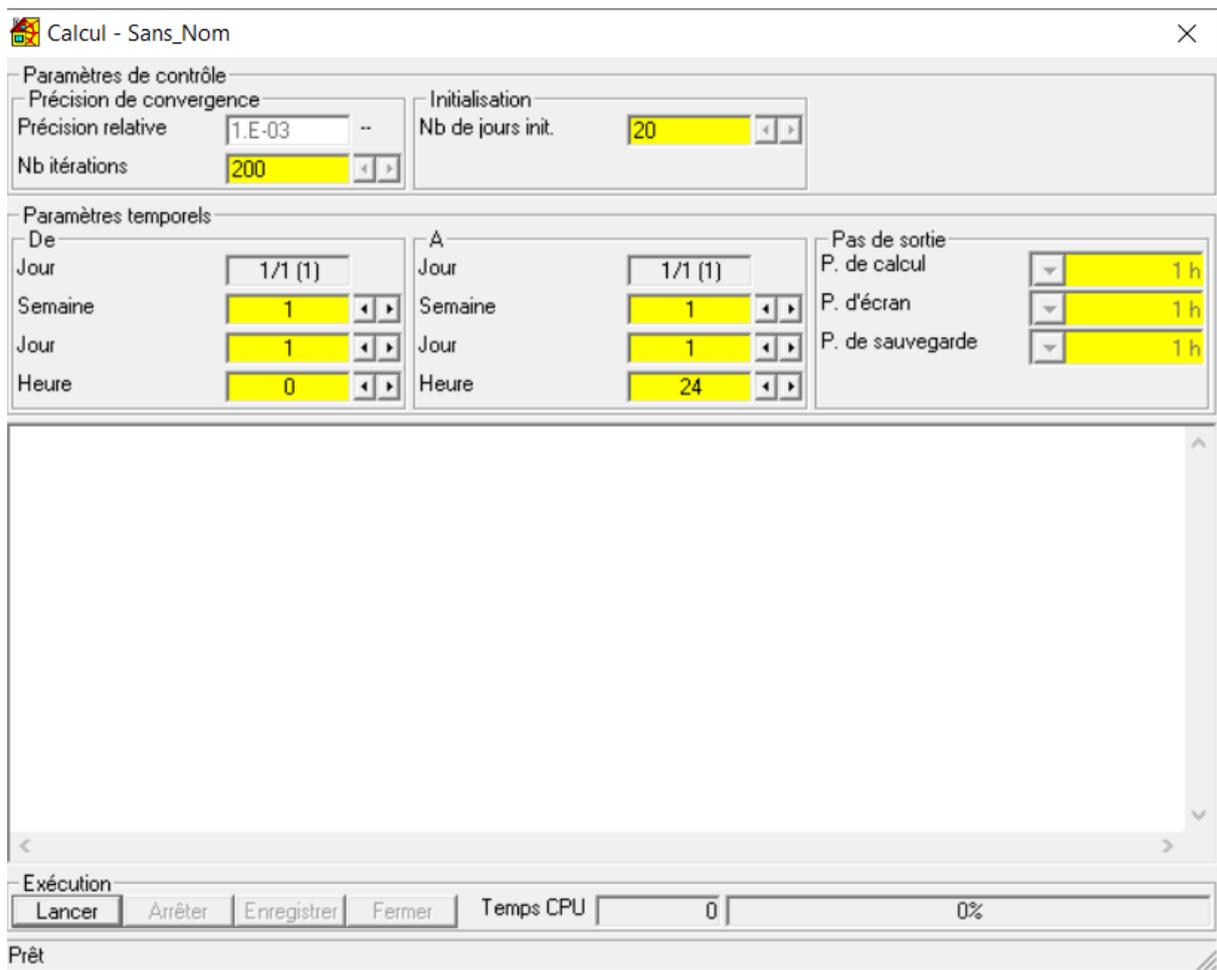


Figure 5.9 L'interface dédiée au calcul.

Source : auteure ,24 octobre 2023.

Le logiciel génère des données temporelles sur les températures de l'air, les flux d'énergie apportés et restitués, ainsi que l'accumulation d'énergie sensible et latente. De plus, CoDyBa permet d'évaluer le confort thermique et de déterminer la quantité de chauffage ou de refroidissement nécessaire pour maintenir une température consignée. Il calcule également les températures intérieures en cas d'insuffisance du chauffage ou de la climatisation et prend en compte la gestion de l'humidité. Utilisé pour évaluer les performances énergétiques de bâtiments de toutes tailles, CoDyBa détermine les besoins en puissance et calcule la consommation annuelle d'énergie d'un bâtiment, permettant également d'évaluer diverses recommandations pour améliorer l'efficacité énergétique. Dans la section suivante de notre étude de cas, nous mettrons en lumière la partie des résultats où nous détaillerons les diverses données obtenues à l'aide de ce logiciel.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

5.2. Utilisations pratiques du logiciel

5.2.1. Présentation du cas d'étude

La Faculté d'Architecture et d'Urbanisme, située au cœur de l'Université Constantine 3 et entourée par d'autres établissements académiques, le bâtiment est situé à Ali Mendjeli, Constantine, a été sélectionnée comme sujet d'étude. Occupant une superficie de 27 617,78 m² répartie sur cinq niveaux, la faculté abrite une diversité de zones fonctionnelles, dont des amphithéâtres, une salle de conférence, une zone dédiée aux maquettes, une salle pour les soutenances, des salles d'internet, une salle informatique, des bureaux administratifs, des salles pour les travaux dirigés, des bureaux pour les enseignants, des ateliers, des laboratoires de recherche, des salles de projection, une bibliothèque principale, une banque de prêt, une salle pour les thèses, des salles de réunion, une salle pour le corps enseignant, une salle de tirage, des magasins et des installations sanitaires. L'établissement dispose de deux entrées distinctes : l'une réservée aux étudiants et l'autre au personnel administratif et enseignant. Il est ouvert quotidiennement pendant 8 heures. La figure 5.10 illustre une photo aérienne de la faculté d'architecture et d'urbanisme, avec une orientation spécifique qui influe sur ses besoins en chauffage et climatisations.

La disposition de la faculté, telle qu'indiquée dans les plans, comporte deux entrées orientées différemment. L'entrée nord, principalement destinée aux étudiants, reçoit peu de flux solaire, ce qui augmente les besoins en chauffage en hiver mais diminue ceux en climatisation en été. En revanche, l'entrée sud, réservée au personnel et aux enseignants, bénéficie d'un ensoleillement optimal, réduisant ainsi les besoins en chauffage pendant l'hiver mais nécessitant une climatisation pendant l'été.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

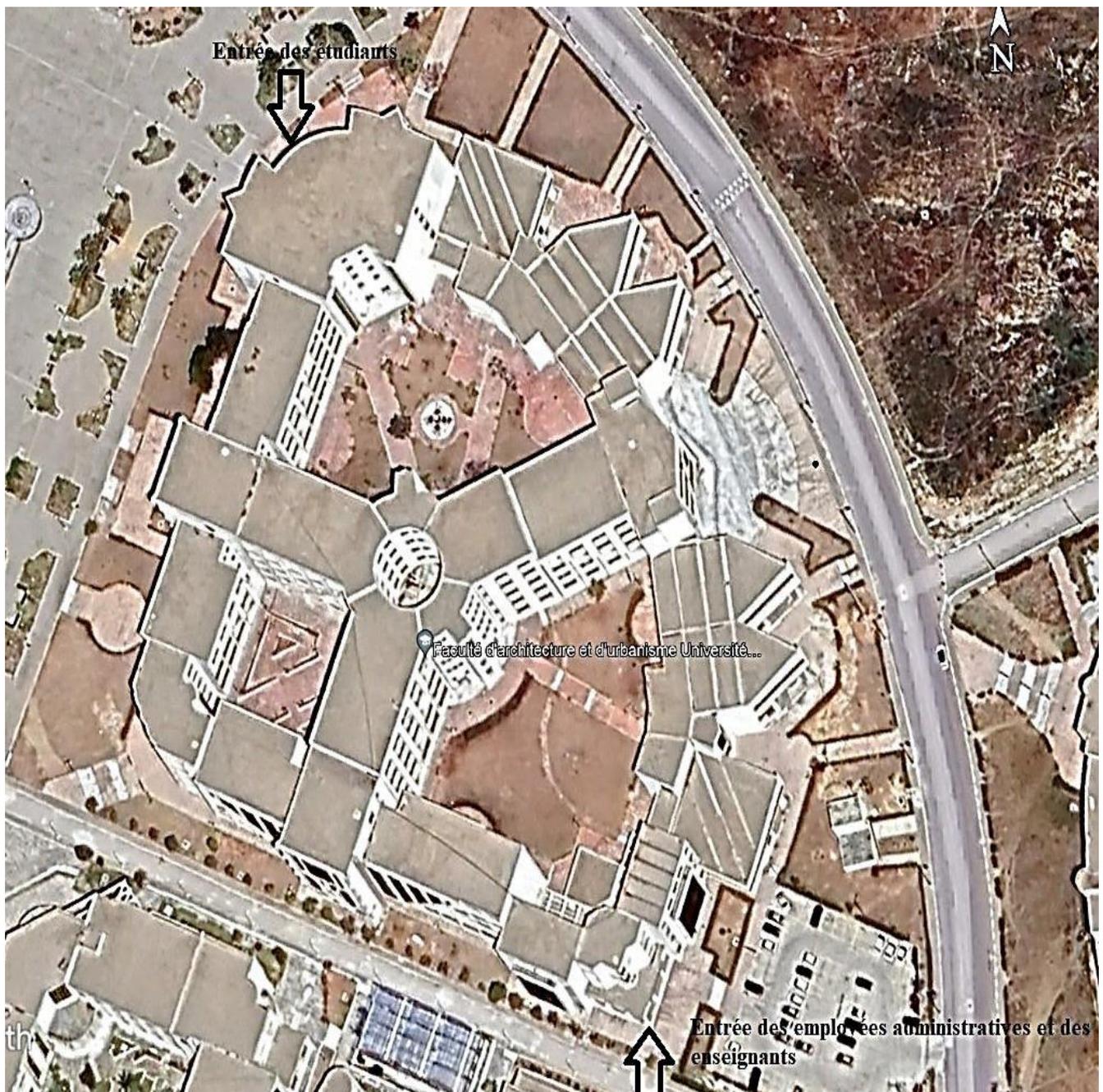


Figure 5.10 Image aérienne de la faculté d'architecture et d'urbanisme.
Source : Google Earth, 2024.

5.2.2. Modélisation

5.2.2.1. Hypothèses de modélisations

Pour adapter le modèle de la Faculté d'Architecture et d'Urbanisme à l'outil de simulation numérique CoDyBa, une simplification était nécessaire. CoDyBa étant conçu pour traiter uniquement des surfaces et des volumes mais sans représentation

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

géométrique exacte, notre modèle, qui présente une architecture complexe, a dû être réduit à des objets plus simples. Cette simplification s'est faite tout en veillant à conserver de manière la même superficie, le même volume et les mêmes orientations pour les différentes zones concernées (voir la figure 5.11).

Pour rationaliser la quantité de vitrage sur chaque mur et dans chaque zone, et ainsi simplifier le modèle, nous avons procédé à un calcul spécifique. Nous avons d'abord déterminé la superficie totale de vitrage pour chaque mur, puis divisé cette superficie par la hauteur du mur concerné. Cette opération nous a permis d'obtenir une largeur de vitrage équivalente, facilitant l'harmonisation du modèle tout en réduisant la complexité liée à la diversité des dimensions de vitrage, et faciliter leur modélisation dans l'outil CoDyBa.

Pour établir les profils d'activité liés à l'éclairage, la climatisation, l'occupation des zones, la ventilation, et l'utilisation d'équipements informatiques, nous nous sommes appuyés sur les emplois du temps de la faculté et les résultats du questionnaire présenté dans la section suivante. Cette approche nous a permis d'identifier précisément les heures pendant lesquelles les zones sont occupées.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

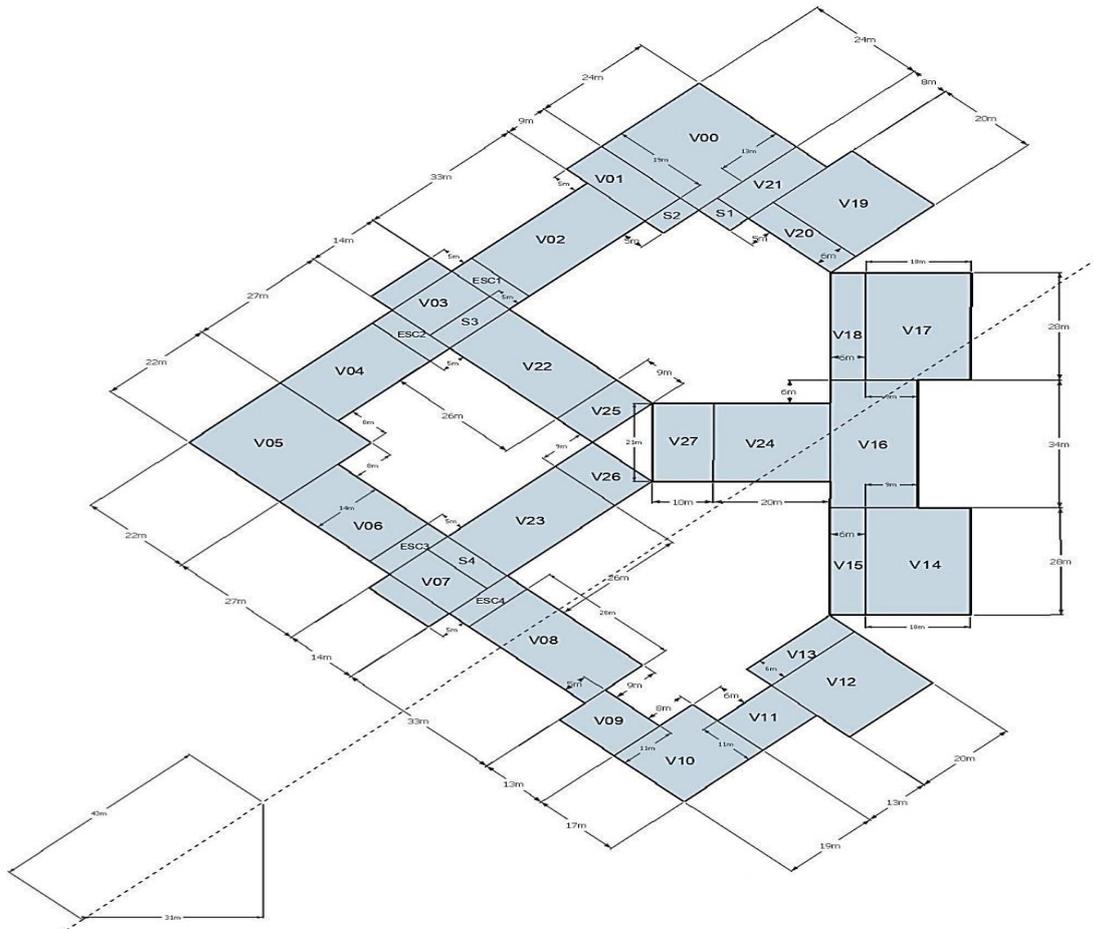


Figure 5.11 Plan adapté du zonage CoDyBa du niveau RDC de la faculté d'architecture et d'urbanisme.

Source : plan Autocad +auteure 2023.

Nous avons modélisé notre bâtiment en simplifiant sa structure grâce à SketchUp, en transformant les formes complexes en rectangles et en ajustant leurs tailles pour qu'elles correspondent aux dimensions réelles du bâtiment. Nous avons aussi divisé la zone en sous-zones utilisant des volumes d'air différenciés selon l'usage et l'orientation des pièces.

La figure 5.11 illustre ce modèle en version simplifiée pour le rez-de-chaussée, incluant également le zonage de chaque zone. Le tableau 5.1 fournit les détails concernant la superficie de chaque niveau. Le Tableau 5.2 illustre les variations en termes de superficie et les pourcentages de différence entre les plans architecturaux originaux et leurs versions simplifiées.

Le bâtiment comprend un rez-de-chaussée et quatre étages. La configuration des volumes d'air du rez-de-chaussée est répétée à chaque niveau, mais le nombre de ces volumes diminue progressivement à mesure que l'on monte, réduisant ainsi leur total.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

Le rez-de-chaussée se distingue par une hauteur spéciale de 4 mètres pour certaines zones, contrairement aux étages supérieurs qui ont une hauteur uniforme de 3,3 mètres. Certaines zones particulières au rez-de-chaussée, identifiés comme v12, v13, v14, v15, v16, v17, v18, v19, et v20, présentent une hauteur supérieure de 4 mètres par rapport aux autres zones. Afin de préserver la cohérence du modèle, nous avons ajusté la division des murs qui sont communs avec un autre niveau, en fonction de leur hauteur spécifique. Ainsi, certains volumes d'air, comme v12, v13, v19 et v20, sont uniquement présents au rez-de-chaussée. En revanche, les autres volumes se prolongent jusqu'au premier étage.

Tableau 5.1 : Surface totale, non chauffée et Surface utile de chaque niveau.

Niveau	Surface totale(m ²)	Surface non chauffés/occupée(m ²)	Surface habitable(m ²)
0	8553.6	505,0	8048.6
1	7883,6	505,0	7378,6
2	6134,6	505	5625,6
3	6204,6	505	5699,6
4	3014,0	225	2789,0

Source : plan Autocad +auteure 2023.

Tableau 5.2 : Analyse comparative des écarts absolus et relatifs des superficies entre les plans architecturaux originaux et simplifiés.

Niveau	Ecart de superficie	Brute	Nette
0	Ecart absolu (m ²)	616	616
	Ecart relatif (%)	6,7%	7%
1	Ecart absolu (m ²)	88	88,1
	Ecart relatif (%)	1,1%	1%
2	Ecart absolu (m ²)	283	1,04
	Ecart relatif (%)	3,7%	0%

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

3	Ecart absolu (m ²)	168	167,57
	Ecart relatif (%)	2,6%	3%
4	Ecart absolu (m ²)	54	5,92
	Ecart relatif (%)	1,8%	2%

Source : plan Autocad +auteure 2023.

5.2.3. Description du bâtiment

5.2.3.1. L'enveloppe de bâtiment

L'enveloppe du bâtiment est caractérisée par des murs extérieurs à double cloison, des murs intérieurs simples, et une combinaison de vitrages simples et doubles. Les planchers sont construits à différents niveaux avec divers revêtements tant à l'intérieur qu'à l'extérieur.

Les techniques de construction de bâtiment emploient des murs extérieurs caractérisés par une double cloison et des murs intérieurs construits avec un seul mur. Pour ce qui est des solutions de vitrage, l'usage se partage entre vitrage simple, y compris en version épaisse, et double vitrage, avec une préférence marquée pour le premier.

Les constructions comportent des planchers à différents niveaux et des revêtements tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. Les techniques de construction ont été fournies par le bureau d'études chargé de la réalisation de la faculté. Les caractéristiques thermiques des matériaux utilisés proviennent des fiches techniques du centre CSTB, conformément aux RT Règles Th-U Fascicule 2 sur les matériaux (centre CSTB, 2012). Les détails spécifiques relatifs aux murs, ouvertures, planchers et revêtements sont présentés dans les tableaux suivants (tableaux 5.3,5.4,5.5,6.5,7.5). Les renseignements plus détaillés sur les dimensions, tels que largeur, hauteur et orientation sont disponibles dans l'annexe (voir l'annexe F).

Tableau 5.3 : Récapitulatif des caractéristiques thermiques des matériaux et leur épaisseur.

Désignation	Matériau	Épaisseur (m)	Conductivité (W/m.°C)	Capacité (J/kg.°C)	Densité (kg/m ³)
Vitrage épais	Verre	0,01	1	720	2500

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE :
FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

Fenêtres	Simple vitrage	Verre	0,004	1	720	2500
	Double vitrage	Verre	0,004	1	720	2500
		Air	0,016	0,026	1007	1,2
		Verre	0,004	1	720	2500
Murs	Extérieur (double cloison) (brique/air/brique)	Brique alvéolaire	0,15	0,15	840	600
		Air	0,05	0,026	1007	1,2
		Brique alvéolaire	0,15	0,15	840	600
	Intérieur	Brique alvéolaire	0,15	0,15	840	600
Planchers	Plancher bas	Hourdis creux	0,16	1,2	850	2000
		Béton plein	0,04	1,7	2400	2400
	Plancher intermédiaire	Hourdis creux	0,16	1,2	850	2000
		Béton plein	0,04	1,7	850	2400
	Plancher haut	Hourdis creux	0,16	1,2	850	2000
		Béton plein	0,04	1,7	2400	2400

**CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE :
FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME**

Revêtements	Extérieur	Mortier de ciment	0,02	1,3	850	2000
	Intérieur	Mortier de plâtre	0,02	0,4	840	1000

Source : centre CSTB, 2012 + Bureau d'étude chargé de la réalisation de l'Université
Constantine 3.

Tableau 5.4 : Surfaces vitrées par rapport au surface totale des parois en m² pour chaque niveau.

Niveau	Surface totale en m ²	Surface vitrée en m ²
0	8553,6	1282,24
1	7883,6	905,45
2	6134,6	803,60
3	6204,6	762,40
4	3014	365,628
Total	31790,04	4119,32

Source : plan Autocad +auteure 2023.

Tableau 5.5 : Superficie et pourcentage de chaque type de vitrage pour chaque niveau.

Niveau	Type de vitrage	Superficie(m ²)	Pourcentage (%)
0	Simple vitrage	499,03	39%
	Simple vitrage épais	393,89	31%
	Double vitrage	389,32	30%
1	Simple vitrage	487,413	54%
	Double vitrage	418,04	46%
2	Simple vitrage	43327	55%

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

	Double vitrage	360,33	45%
3	Simple vitrage	434,85	57%
	Double vitrage	327,53	43%
4	Simple vitrage	226,09	62%
	Double vitrage	139,54	38%

Source : plan Autocad +auteure 2023.

Le tableau 5.6 présente la superficie totale des vitrages, décomposée par type et leur pourcentage respectif, ainsi que la surface globale vitrée.

Tableau 5.6 : Superficie des vitrages avec le pourcentage des types SV et DV.

Surface totale (m ²)	Surface simple vitrage(m ²)	Surface double vitrage (m ²)
4119,32	2484,56	1634,77
100%	60%	40%

Source : plan Autocad +auteure 2023.

Chacune des parois, ainsi que les vitrages sont modélisés, dans CoDyBa, sur les deux faces d'un revêtement dont les caractéristiques sont à trouver dans le tableau 5.7 suivant.

Les valeurs des coefficients d'échange convectif peuvent être déterminées par des calculs expérimentaux basés sur la vitesse du vent, ou en utilisant des valeurs forfaitaires issues de réglementations thermiques. Dans notre cas, nous avons utilisé des valeurs provenant d'un cours académique en Algérie (Mouffok Mostefa, 2020) pour nous approcher des conditions de notre cas et de notre climat d'étude. Ce cours stipule la réglementation algérienne via les Documents Techniques Réglementaires (DTR), notamment la DTR C3-2/4 ; Réglementation thermique des bâtiments d'habitation (Règles de calcul des déperditions calorifiques). Le tableau 5.7 suivant illustre les coefficients d'échange superficiel intérieure et extérieure selon DTR C3-2 (pour plus de détaille voir l'Annexe G).

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

Tableau 5.7 : Les caractéristiques des revêtements et leurs coefficients d'échange convectifs.

Revêtements	Résistance ($m^2 \cdot K/W$)	Coefficient convectif ($W/m^2 \cdot K$)
Plafond extérieur (he)	0,05	20
Plafond intérieur (hi)	0,09	11,11
Plancher extérieur (he)	0,05	20
Plancher intérieur (hi)	0,17	5,88
Vertical extérieur (he)	0,06	16,67
Vertical intérieur (hi)	0,11	9,09

Source : DTR C3-2.

5.2.3.2. Scénarios thermiques CVC du bâtiment

Le bâtiment intègre divers systèmes énergétiques incluant l'éclairage, le matériel informatique, la climatisation et le chauffage.

5.2.3.2.1. Chauffage

Concernant le système de chauffage, le bâtiment dispose d'une chaufferie centrale fonctionnant au gaz, comprenant trois chaudières avec une capacité de chauffe entre 600 000 et 650 000 kcal/h et un rendement de 85%.

Les chaudières se trouvent dans le local de la chaufferie à l'intérieur du bâtiment au rez-de-chaussée, ce qui limite les pertes thermiques par rapport à si les chaudières étaient directement en contact avec l'extérieur. Cependant, nous avons observé que les canalisations ne sont pas isolées. Par conséquent, nous considérons tout de même un pourcentage des pertes de 6% (rendement de 94%) via les canalisations entre les chaudières et les zones à chauffer, car le bâtiment ne possède pas d'isolation. Ce pourcentage des pertes peut être négligé pour les cas de préconisations d'isolation du bâtiment dans l'audit.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

L'utilisation de ces chaudières s'adapte aux conditions climatiques : les trois sont en fonctionnement durant les périodes de grand froid en hiver, tandis que seules deux sont actives vers la fin de l'hiver lorsque le climat s'adoucit. De même, au début de l'automne, lorsque les températures commencent à baisser, le système est adapté en conséquence. Sachant que la salle des chaudières est située à l'intérieur même du bâtiment. Les spécifications techniques des chaudières sont détaillées dans le tableau 5.8 ci-dessous.

Tableau 5.8 : Données techniques relatives aux chaudières.

Puissance Unitaire (kcal/h)	Puissance unitaire en (MW)	Période	Nombre des Chaudières utilisées	Puissance Nominale (MW)	Rendement (%)	Puissance Fournie (MW)
600 000	0,7	Déc - Fév.	3	2,1	85%	1,79
		Oct. - Nov. & Mars – Mai	2	1,4		1,19

Source : l'ingénierie responsable des chaudières de l'université +auteure ,2022.

5.2.3.2.2. Renouvellement d'air par infiltrations

La ventilation dans les bâtiments universitaires repose principalement sur des méthodes naturelles, telles que l'ouverture des fenêtres et des portes. Cette observation, confirmée lors de notre étude sur le terrain, a révélé l'absence de ventilation mécanique contrôlée (VMC). Nous avons supposé que le renouvellement de l'air se produit uniquement par infiltration à travers ces ouvertures. Nous estimons que l'ouverture des fenêtres se limite principalement aux périodes chaudes de l'été, et que dans les zones non climatisées, cela n'affecte pas la consommation de climatisation.

L'étude a inclus une évaluation du taux de renouvellement d'air, basée sur l'infiltration à travers ces ouvertures, conformément à la norme européenne NF EN 12831(AFNOR, 2004). Pour quantifier ce taux, nous avons employé une formule spécifique qui intègre plusieurs facteurs : le volume du bâtiment (V_i) le taux horaire de renouvellement d'air (n_{50}), le coefficient d'exposition (e_i), et un facteur correctif en fonction de la hauteur

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

(ei). L'équation suivante a été utilisée pour déterminer le débit d'air d'infiltration en mètres cubes par heure (m³/h), qui est ensuite converti en taux de renouvellement par volume par heure (m³/h), en prenant en compte le type de vitrage (simple ou double) et la hauteur des étages :

$$v_{\text{infi}} = 2 \cdot v_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

Dans cette équation :

- v_i représente le volume (m³)
- n_{50} représente le taux horaire de renouvellement d'air sous une différence de pression de 50 Pa, incluant les effets des entrées d'air. (h⁻¹)
- e_i est le coefficient d'exposition.
- ε_i est le facteur correctif de hauteur, qui prend en compte l'augmentation de la vitesse du vent avec l'élévation du bâtiment. (m)
- Le facteur 2 est intégré pour considérer le scénario le plus défavorable, où l'air s'infiltrerait uniquement d'un côté du bâtiment.

Les valeurs utilisées pour le taux horaire de renouvellement d'air (6 pour le simple vitrage et 4 pour le double vitrage), le coefficient d'exposition (0.03), et le facteur correctif de hauteur (1 pour les niveaux 0 à 2, et 1.2 pour les niveaux 3 et 4) ont été adaptées selon la configuration spécifique de notre cas d'étude, permettant ainsi d'obtenir des estimations précises pour les différents niveaux et types de vitrage. Le tableau 5.9 suivant illustre le taux d'infiltration (Vol/h) d'air pour chaque volume et chaque type de vitrage.

Tableau 5.9 : Taux d'infiltrations d'air (vol/h).

Niveau / type de vitrage	Simple vitrage	Double vitrage
Niveau 0,1 et 2	0,360	0,240
Niveau 3 et 4	0,432	0,288

Source : auteure ,2024.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

5.2.3.2.3. Climatisation

Un grand nombre de climatiseurs de type mural sont installés à la faculté, notamment dans les bureaux administratifs, les salles de conférences, les salles de soutenance, salle d'internet, les bibliothèques, et les laboratoires de recherche. Ces appareils varient en puissance, de 9000 à 48000 BTU, que nous avons convertis en Watts thermiques pour notre étude. Le tableau 5.10 ci-dessous résume le nombre et les caractéristiques technique des dispositifs de climatisation.

Tableau 5.10 : Nombre et puissances unitaires électriques et thermiques des climatiseurs.

Zones	Nombre de climatiseur	Puissance Électrique (W)	Puissance Thermique (BTU)	Puissance Thermique (W)
Salles (conférence, soutenance, d'honneur)	7	5000	48000	14118
Bureaux administratifs Salles de réunion Laboratoires	22	2000	18000	5294
	2	1500	13000	3824
	2	2500	24000	7059
	27	1400	12000	3529
	12	1000	9000	2647

Source : inventaire établie par l'auteure ,2022.

5.2.3.3. Scénarios thermiques des charges internes du bâtiment

5.2.3.3.1. Occupation

Nous avons déterminé le nombre optimal d'occupants pour chaque pièce, tel qu'indiqué dans les plans d'architectures. Ensuite, nous avons estimé le pourcentage de simultanéité d'occupants présents à chaque volume d'air ainsi que dans chaque niveau. Le tableau ci-après 5.11 présente un résumé du nombre optimal d'occupants par niveau et la moyenne de pourcentage de simultanéité des occupants par niveau. En outre, une allocation

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

de Puissance de 100 watts par individu a été définie, avec une illustration de la distribution de cette puissance dans la figure suivante 5.12.

Tableau 5.11 : Nombre des occupants et leurs pourcentages moyens de présence par niveau.

Niveau	Nombre de personne	Pourcentage
0	2580	58%
1	1769	54%
2	1429	52%
3	1490	50%
4	151	31%

Source : auteure ,2024.

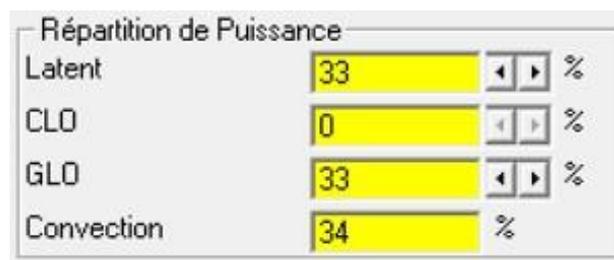


Figure 5.12 Répartition de puissance des occupants considérée dans CoDyBa.

Source : CoDyBA,2024.

5.2.3.3.2. Éclairage

La faculté est équipée d'un système d'éclairage conséquent, avec un parc composé de tubes fluorescents de 36 W et 18 W. À la suite d'un inventaire détaillé, nous avons calculé des pourcentages de simultanéité d'utilisation des lampes, adaptés à chaque zone selon les plages horaires d'occupation, qui sont définies par les emplois du temps des cours (voir l'Annexe I). Cette démarche nous a permis d'estimer l'usage des éclairages, prenant en compte le volume significatif de lampes présentes dans la faculté.

Il est ressorti de nos calculs que, si toutes les lampes étaient utilisées simultanément, la consommation électrique dépasserait nettement la consommations réels observés dans les factures d'électricité. Le tableau suivant 5.12 illustre la quantité des luminaires par volume et la moyenne de pourcentage de simultanéité d'utilisation par niveau. Il est important de

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

noter que les tubes fluorescents se caractérisent par une répartition de puissance avec une partie dissipée par convection et une partie thermique transmise en courte longueur d'onde seulement (GLO nulle)(Réduire les apports de chaleur dus à l'éclairage, 2024). Voir la figure 5.13 suivante (pour plus de détails voir l'annexe H).

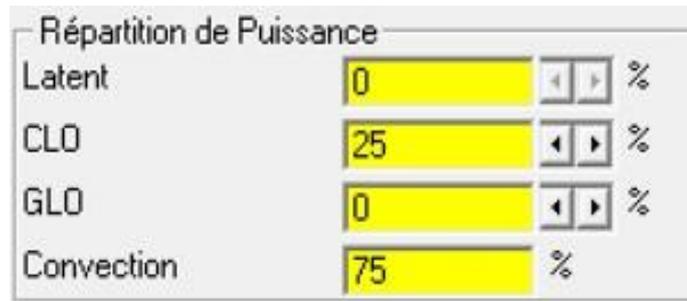


Figure 5.13 Répartitions de puissance des tubes fluorescents considérée.

Source : Réduire les apports de chaleur dus à l'éclairage +auteur 2024.

Tableau 5.12 : Nombre de luminaires et leurs pourcentages d'utilisation simultanée estimés par niveau.

Niveau	Nombre des luminaires	Utilisation estimée (%)
0	2430	57%
1	1656	64%
2	1010	64%
3	1161	59%
4	151	65%

Source : auteur ,2024.

5.2.3.3.3. Équipements Informatiques et reprographie

L'équipement informatique, qui inclut une vaste gamme d'ordinateurs, d'imprimantes, de photocopieuses et de projecteurs (data show), est distribué à travers diverses zones tels que les bureaux administratifs, les salles informatiques, les amphithéâtres, la salle de conférence, d'internet, la salle de tirage, la salle de soutenance, les salles de projection, et les bibliothèques. Le tableau 5.13 ci-après détaille le nombre

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

d'appareils informatiques disponibles ainsi que leur puissance. La figure 5.14 suivante présente la distribution de la puissance des outils informatiques.

Tableau 5.13 : Nombre et la puissance électrique /thermique de chaque outil informatique.

Outils informatique	Nombre	Puissance électrique unitaire(W)	Puissance Électrique (W)	Puissance thermique (W)
Ordinateurs	177	327	57879	17700
Imprimantes	92	53	4876	5520
Projecteurs Data show	10	270	2700	700
Photocopieuses	23	1230/1500	32880	4000

Source : inventaire établie par l'auteure ,2022.

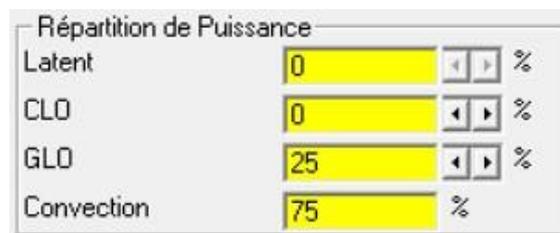


Figure 5.14 Répartition de puissance des outils informatique considérée dans CoDyBa.

Source : <https://energieplus-lesite.be/theories/bilan-thermique44/charges-thermiques-internes-pour-les-bureaux/> auteure,2024.

5.2.3.4. Les scénarios des activités

Dans le cadre de notre étude, nous avons déterminé les profils d'activité pour chacun des systèmes présents à la Faculté d'Architecture et d'Urbanisme, y compris le chauffage à gaz, la climatisation, la ventilation naturelle et l'éclairage. Cette analyse a également pris en compte la présence du personnel, des étudiants et des enseignants. Les tableaux ci-après fournissent un détail des horaires d'utilisation, ainsi que des directives spécifiques pour chaque système pendant les périodes d'activité identifiées.

5.2.3.4.1. Chauffage et climatisations

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

Nous avons développé deux profils d'activités pour le chauffage et un seul pour la climatisation. En ce qui concerne le chauffage, les heures d'activité sont maintenues à 24 heures pour les deux profils. Pour la climatisation, l'utilisation la plus fréquente est observée dans les bureaux administratifs, avec une estimation de 7 heures d'utilisation par jour et une consigne thermique fixée à 21°C, cette dernière a été choisie en fonction des résultats d'un questionnaire comportemental, où la majorité des réponses indiquaient une préférence pour 21°C.

Il existe des zones spécifiques où l'usage de la climatisation est moins fréquent, en fonction de l'occupation, tels que la salle de conférence et la salle d'honneur. Pour ces derniers, nous avons ajusté les plages horaires d'occupation en fonction de la programmation des événements (voir le tableau 5.14).

Tableau 5. 14 : Tableau récapitulatif des scénarios des activités avec la consigne des systèmes de chauffage et climatisations.

Profils		Horaires et consignes			
		Chauffage	Consigne	Climatisation	Consigne
Période scolaire	Octobre - Novembre	24h	19		
	Décembre - Février	24h	21		
	Mars - Mai	24h	19		
Période d'été	Juin - Juillet			9h-16h	21
	Aout				
	Septembre			9h-16h	21

Source : l'ingénieure responsable des chaudières de l'université +auteure ,2022.

5.2.3.4.2. Renouvellement d'air par infiltrations

Nous avons mis au point un profil d'activité décrivant l'infiltration d'air, heure par heure, pour l'ensemble de l'année, adapté à chaque niveau et type de vitrage du bâtiment universitaire. (Voir le tableau 4.15)

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

Tableau 5.15: Profils d'activité pour le renouvellement d'air.

Scénario d'activité	Infiltrations
Période annuelle	24h/24h

Source : auteure,2024.

5.2.3.4.3. Profils des charges internes (éclairage, équipements et occupation)

Nous avons élaboré un profil d'activités spécifique pour l'éclairage, les équipements et les occupants. Les horaires d'occupation ainsi que l'utilisation de l'éclairage et des équipements informatiques varient selon les zones, en fonction des emplois du temps et de l'usage spécifique de chaque zone.

Tableau 5. 16: Profils d'activité pour les charges internes.

Scénario d'activité	Éclairage & Occupation	Équipements
Période annuelle sauf août (5/7 jours)	9h-16h	09h-16h avec mode en veille nuit

Source : auteure,2024.

5.2.4. Simulation et analyse

5.2.4.1. Climat du site

Les figures représentatives du climat en Algérie, utilisant le fichier au format WTH compatible avec l'outil CoDyBa, que nous utiliserons pour la simulation thermique, fournissent des informations essentielles sur les conditions météorologiques tout au long de l'année. La figure 5.15 et 5.16 montre l'intensité du rayonnement solaire direct et diffus, variant selon les saisons, influençant la charge thermique du bâtiment et guidant la conception des stratégies énergétiques efficaces. Cette observation est cruciale pour comprendre les charges thermiques qui pèsent sur le bâtiment, et par conséquent, comment elles affectent les besoins en climatisation et en chauffage.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

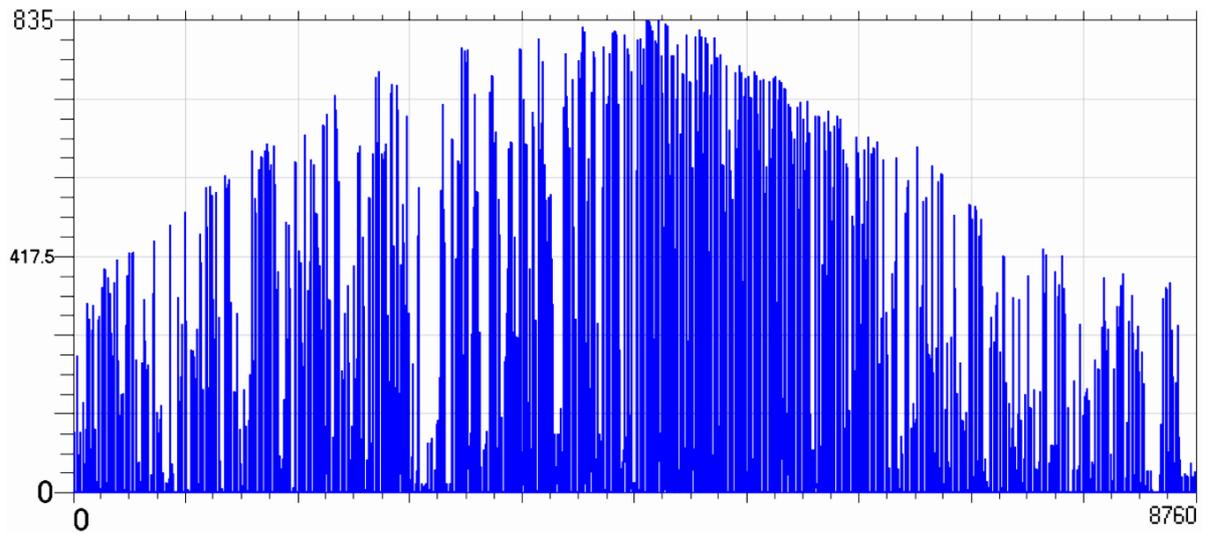


Figure 5.15 Flux solaire annuel horizontal direct (W/m²) – Pas de temps horaire.
Source : auteure ,2024.

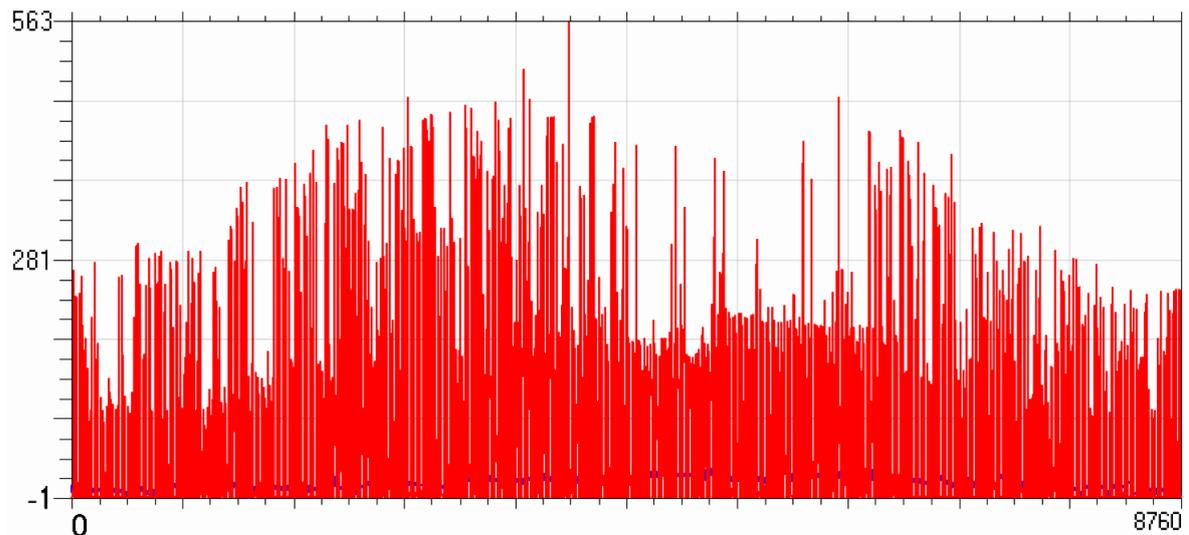


Figure 5.16 Flux solaire annuel horizontal diffus (W/m²) - Pas de temps horaire.
Source : auteure ,2024.

Les figures 5.17, 5.18, 5.19 ,5.20 et 5.21 illustrent la variation annuelle de la température extérieure, ainsi que saisonnières, mettant en évidence les saisons chaudes et froides ainsi que les extrêmes de température, essentielles pour comprendre les besoins en chauffage et en climatisation du bâtiment étudié.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

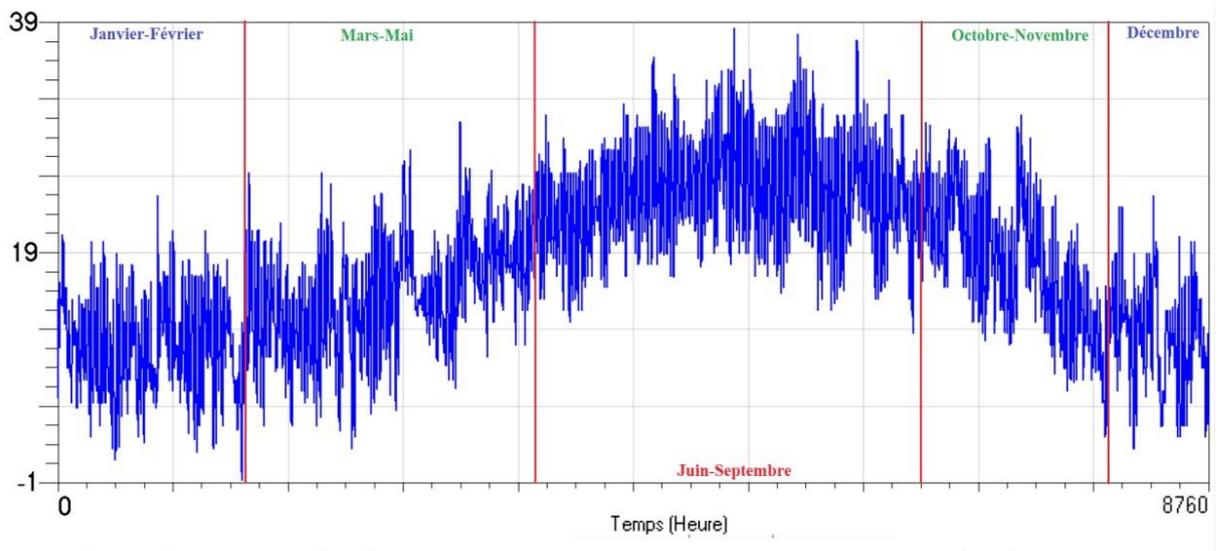


Figure 5.17 Évolution annuelle de la température de l'air extérieur en °C.
Source : auteure ,2024.

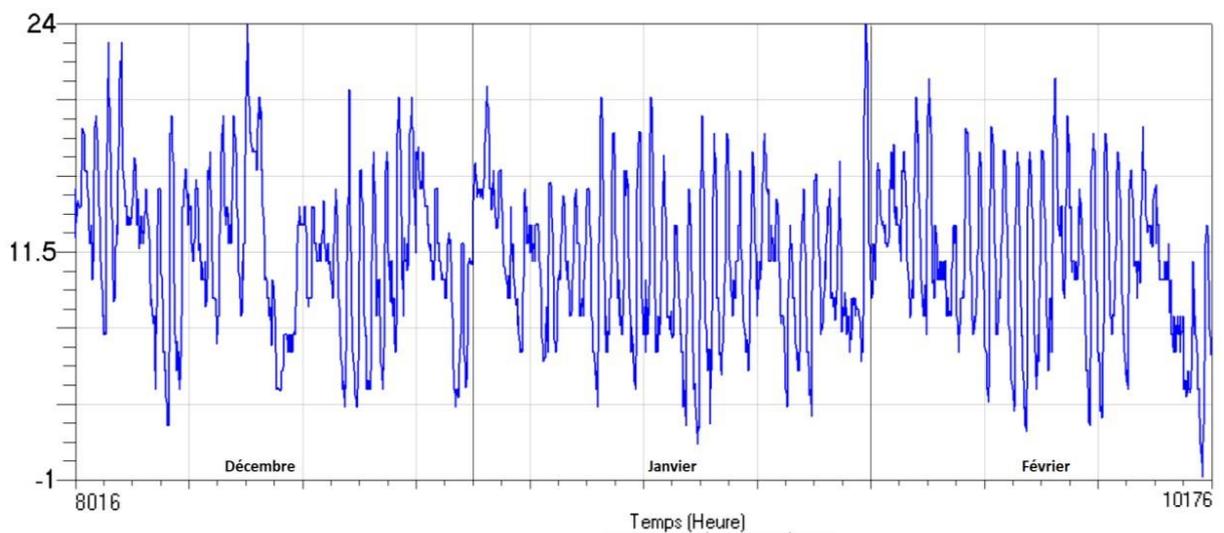


Figure 5.18 Température de l'air extérieur en hiver en °C.
Source : auteure, 2024.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

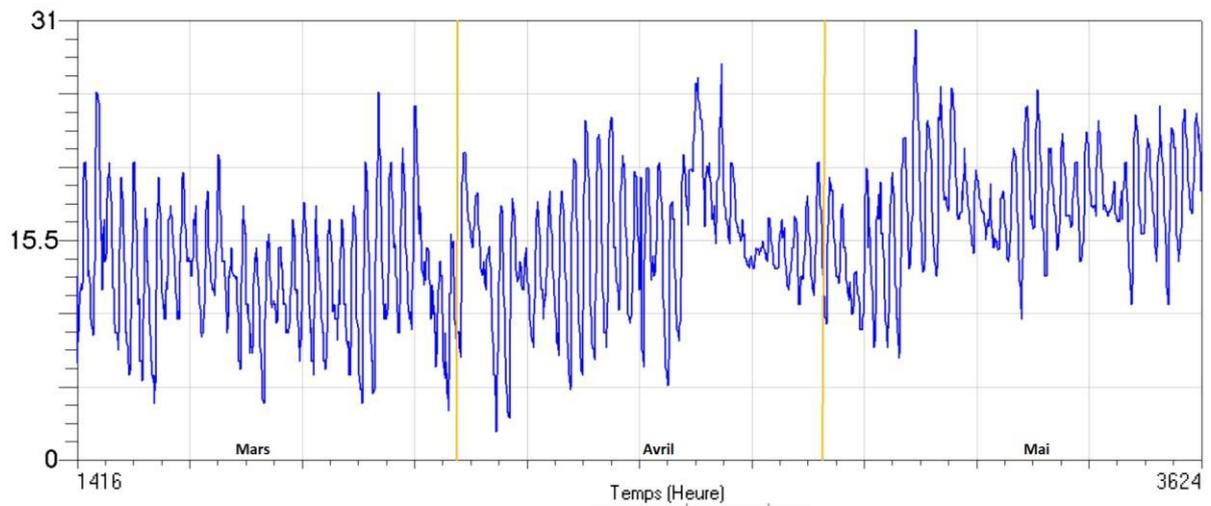


Figure 5.19 Température de l'air extérieur en printemps en °C.
Source : auteure, 2024.

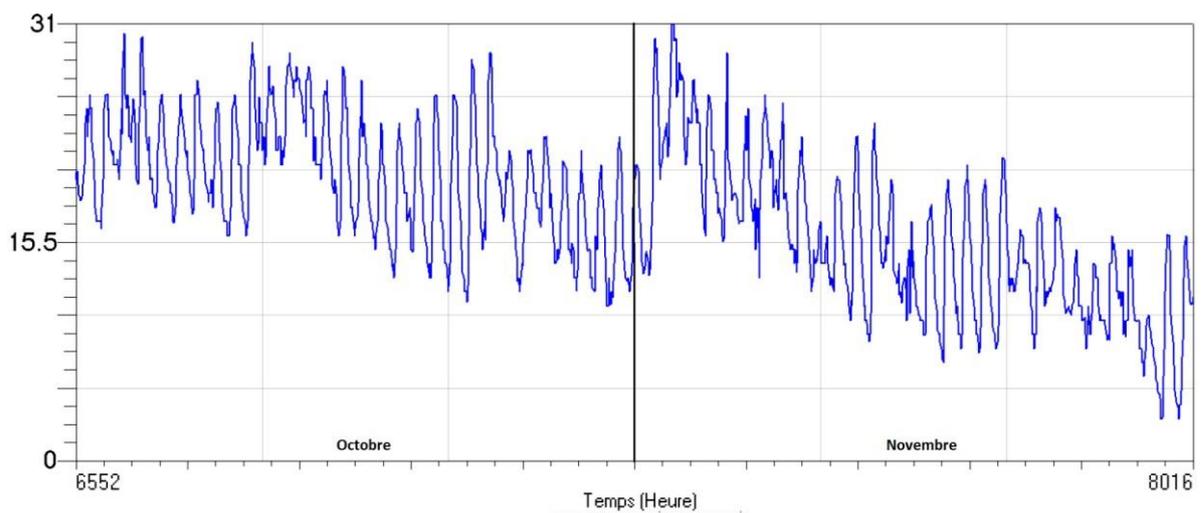


Figure 5.20 Température de l'air extérieur en automne en °C.
Source : auteure, 2024.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

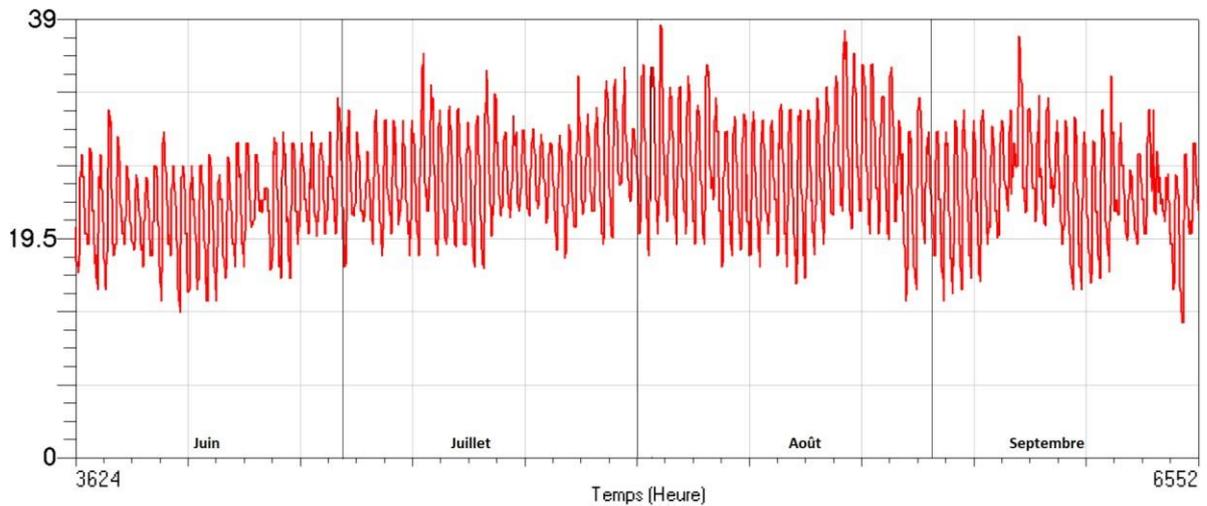


Figure 5.21 Température de l'air extérieur (°C) en période chaude considérée.

Source : auteure ,2024.

Les graphiques antérieurs présentent les températures extérieures annuelles et saisonnières, révélant une température maximale de 38,5 °C en été et une température minimale de -0,8 °C en hiver. Le tableau 5.17 ci-après récapitule les températures extérieures pour chaque saison.

Tableau 5.17 : Températures minimales, moyennes et maximales de l'air extérieur (en °C) selon les périodes considérées.

Saison/période	Température min	Température max	Température moyenne
Décembre - Février	-0.8	24	11.6
Mars-mai & Octobre-novembre	2	31	16.5
Juin-septembre	12	38.5	25.3
Année	-0.8	38.5	18.9

Source : fichier météo d'Algérie – format [.wth] + auteure,2024.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

5.2.4.2. Consommations réelles d'énergie (gaz et électricité)

5.2.4.2.1. Consommation d'électricité (climatisation, éclairage et équipements)

Cette partie comparative illustre la consommation d'électricité réelle, basée sur les relevés des factures pour les années 2018 à 2022, ainsi que la consommation calculée en se basant sur l'inventaire des appareils (nombre, puissance, heures d'utilisation estimées) pour les postes d'éclairage, de climatisation et des équipements de bureaux.

Les données mensuelles fournissent une vue détaillée de la consommation d'électricité au fil des saisons et des mois. La consommation totale annuelle est également présentée, avec une moyenne annuelle calculée basée sur les factures des années considérées, Ces informations sont illustrées dans le tableau 5.18.

Tableau 5.18 : Consommations d'électricité mensuelles et annuelle avec une moyenne annuelle calculée.

Mois	2018	2019	2021	2022
Janvier	22229	25832	24060	23245
Février	21199	23711	22049	22684
Mars	18518	19200	22725	25308
Avril	15972	17173	18738	14674
Mai	13025	8631	9846	14821
Juin	11088	10902	14239	17530
Juillet	10838	15058	12372	11895
Août	5027	4353	5964	7473
Septembre	10885	12180	11066	17070
Octobre	14678	12670	15578	15657
Novembre	20281	24671	24925	21300

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

Décembre	22013	22042	21610	23984
Total (kWh)	185753	196423	203172	215641
Moyenne (MWh)			200,3	

Source : Factures d'électricité de 2018 à 2022 + auteure ,2024.

La consommation théorique d'électricité a été analysée en se basant sur plusieurs paramètres. Tout d'abord, nous avons calculé la consommation prévue pour l'éclairage, la climatisation et les équipements de bureau en utilisant les puissances nominales de chaque appareil, multipliées par les périodes estimées de fonctionnement pour chaque zone du bâtiment selon son utilisation respective (tableau 5.19). De plus, des coefficients d'utilisations ont été estimés afin de mieux représenter l'utilisation réelle de ces dispositifs, prenant en compte la probabilité que certains équipements peuvent être utilisés simultanément. En consolidant les consommations par poste, nous avons pu procéder à une analyse comparative des principaux postes de consommation électrique avec les données réelles issues des factures.

Tableau 5.19 : Consommations annuelle d'électricité calculée à partir d'inventaires pour les postes d'éclairage, des équipements et de climatisation.

Consommation d'éclairage	137,5
Consommation de climatisation	49,4
Consommation des équipements	0,1
Consommation théorique (MWh)	186,9

Source : auteure ,2024.

En comparant la consommation réelle d'électricité (MWh) avec la consommation calculée (MWh), nous constatons un écart de 7%, ce qui peut indiquer des différences entre les estimations théoriques et les mesures réelles (tableau 5.20). Cependant cet écart relativement faible suggère que le calcul théorique basé sur l'inventaire et les estimations est acceptable et valide le modèle développé dans le cadre du travail de thèse.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

Tableau 5.20 : Comparaison des consommations annuelles d'électricité réelles et théoriques.

Consommation réelle d'électricité (factures) (MWh)	200,3
Consommation calculée (inventaire) (MWh)	186,9
Comparaison	7%

Source : auteure ,2024.

5.2.4.2.2. Consommation de gaz (chauffage)

Dans cette section, nous avons examiné la consommation de gaz pour le chauffage du bâtiment sur une période de plusieurs années. Les données mensuelles fournissent un aperçu détaillé de la consommation de gaz par mois pour chaque année étudiée (tableau 5.21).

Le coefficient de conversion utilisé pour convertir les unités thermiques (Th) dans les factures en kilowattheures (kWh) est de 1,163. Sur cette base, nous avons calculé la consommation énergétique totale en kWh pour chaque mois, pour obtenir finalement la moyenne annuelle.

Tableau 5.21 : Consommations thermiques (gaz) mensuelles et annuelle avec une moyenne annuelle calculée.

Mois	2018		2019		2021		2022	
	[Th]	[KWh]	[Th]	[KWh]	[Th]	[KWh]	[Th]	[KWh]
Janvier	339262	291713	393831	338634	565867	486558	635947	546816
Février	675824	581104	642166	552163	504743	434001	404960	348203
Mars	340371	292666	336643	289461	382439	328839	568277	488630
Avril	513616	441630	456210	392270	319715	274905	518690	445993
Mai	0	0	82117	70608	91564	78731	21220	18246

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

Juin	0	0	0	0	0	0	0	0
Juillet	0	0	0	0	0	0	0	0
Août	0	0	0	0	0	0	0	0
Septembre	0	0	0	0	0	0	0	0
Octobre	0	0	0	0	12492	10741	0	0
Novembre	284820	244901	336489	289328	218595	187958	111802	96133
Décembre	291020	250232	383030	329347	587342	505023	385314	331310
Total	2444913	2102247	2630486	2261811	2682758	2306756	2646210	2275331

Energie
moyenne
(MWh)

2237

Source : Factures de gaz de 2018 à 2022 + auteure ,2024.

En moyenne, la consommation énergétique annuelle pour le chauffage du bâtiment est d'environ 2237 MWh. Il est important de noter que le rendement de la chaudière est de 85%, avec des pertes thermiques estimées à 6%. Avant l'isolation (modèle de base), un coefficient global de 80% est retenu, tandis qu'après l'isolation (modèle avec isolation préconisée), ce coefficient est ajusté à 85%. Le tableau 5.22 ci-après représente consommation annuelle réelle et effectives de gaz avec les informations sur la performance des chaudières

Tableau 5.22 : Consommation annuelle réelle et effectives de gaz avec les informations sur la performance des chaudières.

Energie moyenne (MWh)	2237
Rendement (%)	85

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

Pertes thermiques estimées (%)	6
Coefficient retenu avant isolation (%)	80%
Coefficient retenu après isolation (%)	85%
Energie thermique effective fournie (MWh)	1787

Source : auteure ,2024.

5.2.5 Résultats Et Analyse

Nous avons commencé par effectuer une simulation numérique du modèle, en s'appuyant sur les données mentionnées auparavant. Cette étape nous a permis de valider le modèle en comparant la consommation énergétique thermique calculée par le logiciel avec celle réellement observée sur les factures de gaz et d'électricité du bâtiment. L'objectif était de s'assurer de la correspondance entre ces deux mesures, ce qui nous a permis ensuite d'analyser les résultats en profondeur. Sur cette base, nous avons pu identifier et proposer des mesures d'amélioration visant à augmenter l'efficacité énergétique et à optimiser la performance globale du bâtiment.

Nous avons déterminé la moyenne de l'énergie de chauffage délivrée (en MWh), basée sur la consommation énergétique réelle de gaz, tel qu'indiqué dans les factures de 2018 à 2022. Cette évaluation a considéré le rendement de la chaudière ainsi que les pertes correspondantes. Parallèlement, nous avons comparé ces données avec l'énergie de chauffage estimée par CoDyBa. Le tableau 5.23 ci-dessous présente la consommation énergétique dédiée au chauffage de 2018 à 2022, à l'exception de l'année particulière 2020 (covid), incluant à la fois la moyenne de l'énergie de chauffage réelle et celle simulée par CoDyBa.

Tableau 5.23 : Consommation de gaz dédiée au chauffage de 2018 à 2022, incluant à la fois la moyenne de l'énergie de chauffage réelle et celle estimée par CoDyBa.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

Energie thermique de chauffage (gaz)	
Moyenne énergie de chauffage fournie (MWh)	1787
Energie de chauffage simulée (CoDyBa) (MWh)	1888
Comparaison (%)	5.35

Source : auteure ,2024.

Le graphique ci-après montre une comparaison entre la moyenne de l'énergie de chauffage fournie (en MWh) et l'énergie de chauffage simulée par CoDyBa (en MWh). Nous avons observé une différence de consommation de 5.35 %. Cette divergence peut s'expliquer par le comportement des occupants d'utilisation de l'éclairage, de la climatisation ou d'appareils informatiques. En effet, nos calculs supposaient un pourcentage des usages simultanés d'éclairage, de climatisation et d'équipements informatiques basés sur des emplois du temps standards.

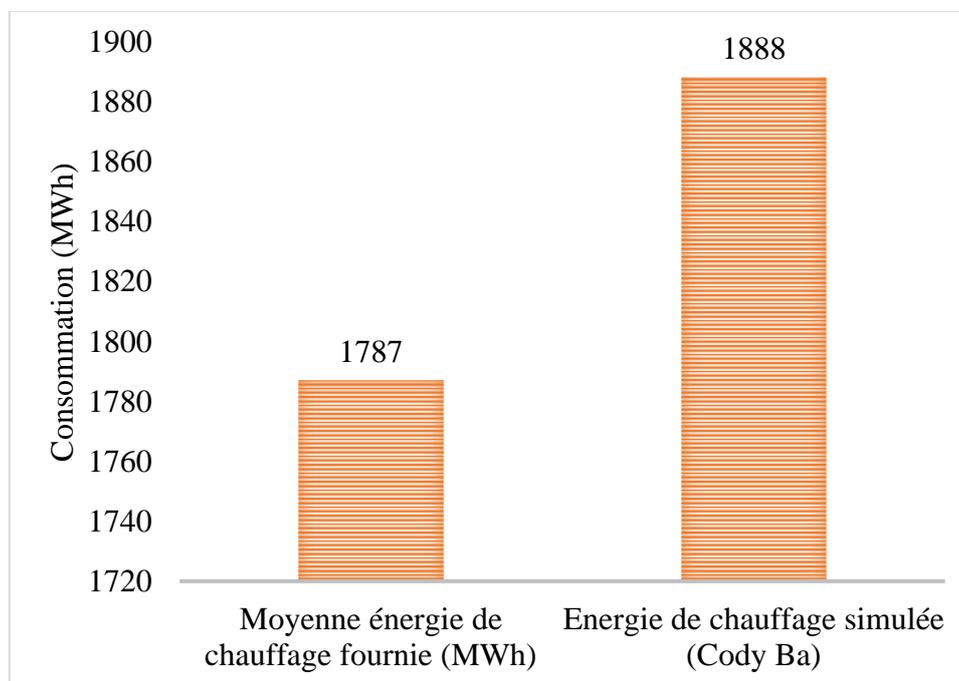


Figure 5.22 Comparaison entre la moyenne de l'énergie de chauffage fournie et l'énergie de chauffage simulée par CoDyBa (MWh).

Source : auteure, 2024.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

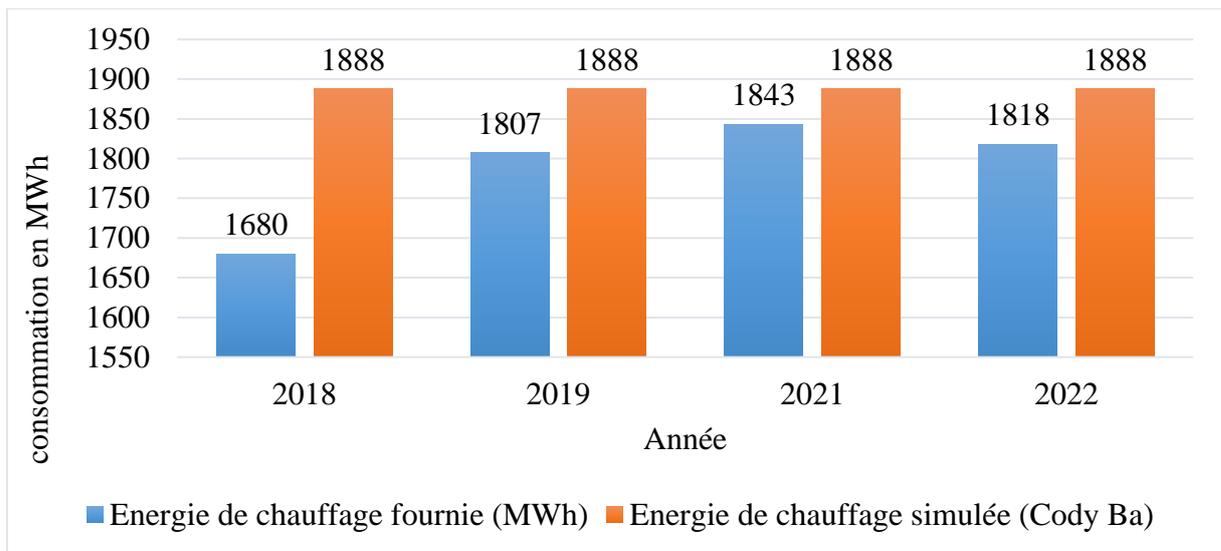


Figure 5.23 Comparaison entre l'énergie de chauffage simulée par CoDyBa et l'énergie de chauffage fournie pour les années considérées.

Source : auteure ,2024.

D'après l'analyse de cette figure révèle que l'écart le plus significatif de consommation thermique s'est produit en 2018, avec une différence de 11 %, suivi de 2019 et 2022 avec 4 %, et enfin de 2021 avec 2 %. Ces variations peuvent être attribuées à plusieurs facteurs. Premièrement, les conditions météorologiques annuelles, qui diffèrent d'une année à l'autre, jouent un rôle crucial. Ensuite, l'écart peut également résulter des différences entre les données météorologiques réelles et celles utilisées par CoDyBa pour ses prévisions. De plus, les habitudes des occupants en matière d'utilisation des systèmes énergétiques. Enfin, l'augmentation annuelle de l'achat d'équipements tels que de nouveaux climatiseurs et matériel informatique, ainsi que les variations du nombre d'occupants, influencent également la consommation d'énergie.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

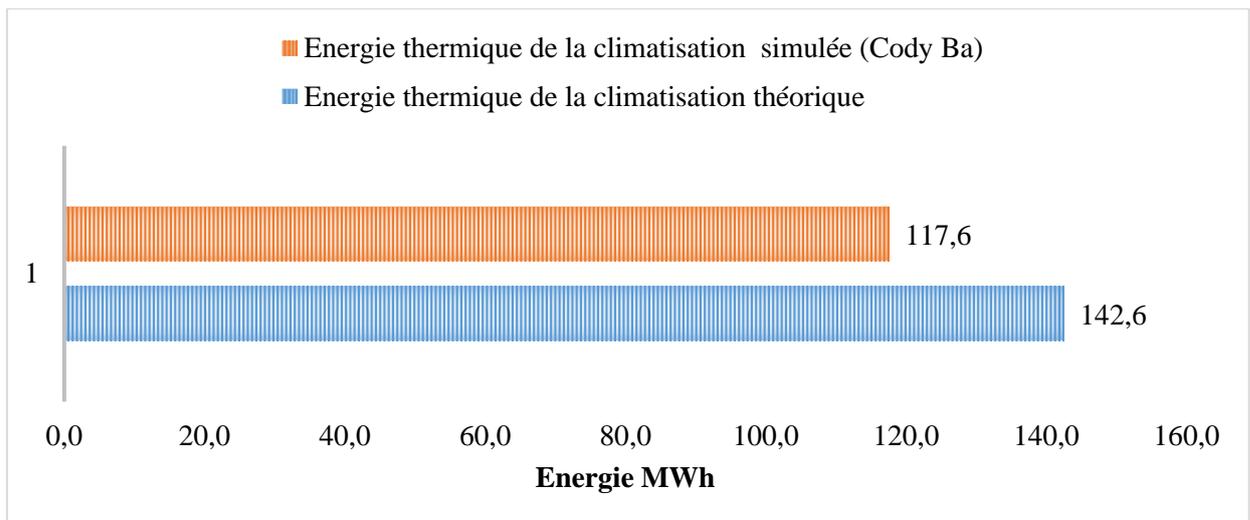


Figure 5.24 Comparaison entre l'énergie de la climatisation calculée selon l'inventaire et simulée par CoDyBa (MWh).

Source : auteure ,2024.

En analysant la consommation énergétique nécessaire au fonctionnement des climatiseurs, nous avons constaté une différence entre les résultats obtenus avec l'outil CoDyBa et ceux calculés à partir des données théoriques recueillies par l'auteure. Cette variation peut être attribuée à la durée effective d'usage des systèmes de climatisation. En effet, pour nos calculs théoriques, nous avons pris en compte la puissance nominale des appareils, tandis que CoDyBa simule une puissance basée sur les écarts horaires de températures entre l'air extérieur et les consignes de climatisation pour estimer la consommation. Cela peut expliquer l'obtention de puissances effectives inférieures aux puissances nominales, et donc des consommations inférieures à celles obtenues à partir des puissances nominales.

Par ailleurs, les conditions météorologiques, comme la température ambiante, jouent un rôle crucial dans l'évaluation de la consommation énergétique. De même, la présence de rayonnement solaire, soit direct soit diffus, est déterminante pour le bilan thermique de la zone, affectant directement l'énergie consommée par les dispositifs de refroidissement. Les figures de 5.17 à 5.21 illustrées précédemment ont mis en lumière les variations de la température extérieure ainsi que de l'intensité du rayonnement solaire, qu'il soit direct ou indirect.

L'audit a révélé que la superficie vitrée représente une part importante de la surface totale du bâtiment, contribuant ainsi aux pertes thermiques. De plus, la répartition des types

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

de vitrage montre une prédominance du simple vitrage, moins efficace du point de vue énergétique.

L'orientation du bâtiment influence les besoins en chauffage et climatisation, nécessitant une gestion différente selon les entrées orientées nord et sud. Les périodes de fonctionnement des chaudières ont été ajustées en fonction des conditions climatiques pour optimiser leur efficacité.

5.2.6 Étiquette DPE ET GES du bâtiment

5.2.6.1 Étiquette DPE

Nous avons développé une étiquette de diagnostic de performance énergétique en nous basant sur la consommation de gaz et d'électricité relevée sur les factures. Ces données ont été converties en énergie primaire en utilisant des facteurs de conversion de 2,3 pour l'électricité et de 1 pour le gaz (*Conversion Energie Finale/Energie Primaire Electricité*, 2018). Ce processus s'est appuyé sur l'utilisation d'un générateur d'étiquettes en ligne (Par chance, 2024). Selon les résultats présentés dans la figure 5.25, notre bâtiment est classé en catégorie C, ce qui indique une consommation énergétique modérée. Afin d'améliorer ce classement, nous avons formulé des recommandations pour l'efficacité énergétique, détaillées dans la section suivante. Ces recommandations comprennent des suggestions pratiques pour réduire la consommation énergétique.

5.2.6.2 Étiquette GES

Nous avons également instauré une étiquette pour les émissions de CO₂ associées à la consommation totale d'énergie primaire de notre modèle. Cette démarche repose sur l'utilisation d'un facteur d'émission de gaz à effet de serre (GES) de 1 kg éq. CO₂ par kWh (Réthoré, 2015). La quantité d'émissions de CO₂ du bâtiment est calculée en multipliant la quantité d'énergie consommée par le facteur d'émission de CO₂ de 2,35, comme décrit dans le chapitre d'analyse des données. En suivant cette méthode, nous avons généré des étiquettes spécifiques. Les résultats, présentés dans la figure 5.25, classent notre modèle en catégorie C, indiquant un niveau relativement modéré d'émissions de CO₂. Pour améliorer ce classement, nous avons élaboré des recommandations visant à réduire ces émissions, notamment par l'amélioration de l'efficacité énergétique. Ces recommandations, détaillées dans la section suivante, proposeront des stratégies concrètes pour l'efficacité énergétique.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

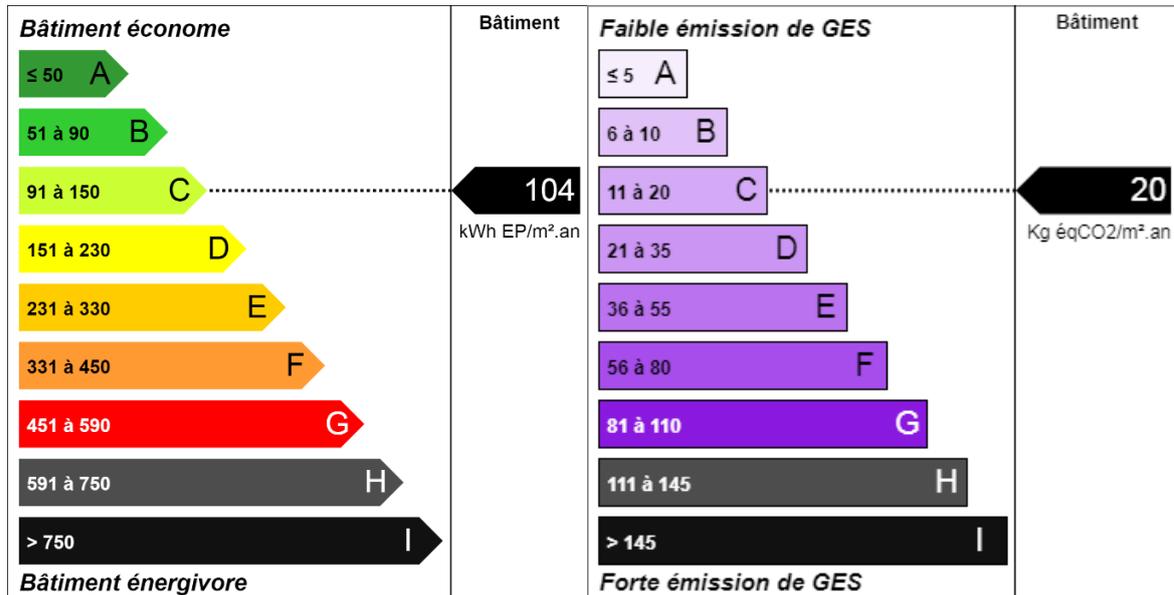


Figure 5.25 Étiquette de DPE et GES de la faculté d'architecture et d'urbanisme
Source : Générateur d'étiquettes DPE et GES 2024.

5.2.7 Préconisations

Suite à l'analyse des résultats obtenus de notre modèle, nous avons constaté que la consommation énergétique de notre bâtiment est significativement élevée. Dans le but d'améliorer sa performance énergétique, nous avons élaboré et proposé plusieurs pistes d'améliorations, avec à l'appui des chiffres et pourcentages d'économie d'énergie correspondants à chaque préconisation par rapport au modèle initial de l'audit.

5.2.7.1 Réglage de la consigne de chauffage et de la climatisation

Nous avons proposé de régler les consignes de température pour le chauffage et la climatisation selon les normes internationales, en fixant le chauffage à 19°C. Notre modèle utilise deux consignes de chauffage, 19°C et 21°C, cette dernière étant utilisée lorsque la température extérieure est extrêmement froide. De même, pour le climatiseur, nous proposons de remplacer la consigne de 21°C par celle de 26°C.

5.2.7.2 Isolation du bâtiment

Une partie significative de la perte de chaleur dans un bâtiment se produit à travers les parois en contact avec l'extérieur. Pour contrer cette déperdition, l'une des stratégies efficaces est l'isolation des murs et du plafond. En conséquence, nous avons adapté notre modèle

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

initial pour y intégrer l'ajout d'un isolant. Pour évaluer l'impact de cette modification sur la performance énergétique du bâtiment, nous avons examiné trois épaisseurs différentes d'isolant, à savoir 5 cm, 10 cm et 15 cm. Le tableau 5.24 ci-après présente le type d'isolant utilisé, ainsi que ses caractéristiques thermiques et son épaisseur.

Tableau 5.24 : Caractéristiques de l'isolant utilisé avec les épaisseurs évaluées dans l'audit.

Isolant	Conductivité (W/m.C)	Capacite (J/kg.°C)	Densité (kg/m ³)	Epaisseurs à évaluer (m)
Polystyrène	0,04	1380	25	0,05 0,10 0,15

Source : bibliothèque des matériaux de CoDyBa + auteure, 2024.

5.2.7.3 Le double vitrage

Le double vitrage joue un rôle crucial dans la réduction des pertes de chaleur au sein d'un bâtiment. Pour diminuer ces déperditions thermiques au sein de la faculté, il est recommandé de généraliser l'usage du double vitrage. Actuellement, 40 % des surfaces vitrées sont déjà équipées de double vitrage. Il est donc proposé d'adopter le double vitrage sur l'ensemble des surfaces vitrées pour améliorer de manière homogène l'efficacité énergétique du bâtiment. Il est important de noter que les pertes liées à la chaudière ne sont pas prises en compte dans cette analyse, car la salle des chaudières se trouve à l'intérieur du bâtiment. Les caractéristiques et l'épaisseur du double vitrage sont résumées dans le tableau 5.25.

Tableau 5.25 : Caractéristiques des fenêtres double vitrage.

Désignation	Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité (W/m.C)	Capacite (J/kg.°C)	Densité (kg/m ³)
Fenêtre Double vitrage	Verre	0,004	1	720	2500
	Air	0,016	0,026	1007	1,2
	Verre	0,004	1	720	2500

Source : bibliothèque des matériaux de CoDyBa + auteure, 2024.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

5.2.7.4 Double vitrage et l'isolant

Afin d'améliorer l'efficacité énergétique, nous avons adopté une stratégie qui consiste à combiner le double vitrage et l'isolation, en utilisant les trois épaisseurs différentes de l'isolant mentionnées précédemment dans notre modèle. Il est important de noter que les pertes liées à la chaudière ne sont pas prises en compte dans cette analyse. Cette méthode a démontré son efficacité à travers les résultats obtenus.

5.2.7.5 Double vitrage et l'optimisation de la consigne de température

Pour améliorer l'efficacité énergétique de notre modèle, nous avons opté pour des solutions combinant l'installation de double vitrage et le réglage de la consigne du climatiseur à 26 degrés Celsius.

5.2.7.6 L'isolant et l'optimisation de la consigne de consigne de température

Pour optimiser notre modèle, nous avons choisi de combiner une meilleure isolation avec le réglage de la consigne des climatiseurs à 26 degrés Celsius.

5.2.7.7 Double vitrage et l'isolant et l'optimisation de la consigne de température

Afin de maximiser l'efficacité énergétique, nous avons adopté une stratégie qui consiste à combiner enfin toutes les préconisations, à savoir l'amélioration de la consigne de température, l'installation de double vitrage et l'isolation. Les résultats finaux sont présentés dans la synthèse suivante.

5.2.8 Synthèse

Le Tableau 5.26 suivant synthétise les différentes préconisations suggérées et les résultats correspondants, présentant une vue d'ensemble des économies potentielles en énergie à la suite de l'application de ces préconisations. Ce tableau permet d'évaluer l'efficacité de chaque préconisation en termes de réduction de la consommation énergétique, fournissant ainsi une base solide pour l'optimisation de l'efficacité énergétique de bâtiment étudié.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

Tableau 5.26 : Différentes préconisations et les résultats correspondants (en kWh).

Préconisation	Type	Consommation (KWh)	Consommation (KWh/m ²)	Economie d'énergie (%)
M0	Base	1888293	63,9	0,0%
M1	Consigne 26	1888907	63,9	0,0%
M2	Consigne 19	1511823	51,2	20%
M3	DV	1507963	51,0	20,1%
M4	M1+M3	1489176	50,4	21%
M5	ITE 05cm	923714	31,3	51,1%
M6	ITE 10cm	804698	27,2	57,4%
M7	ITE 15cm	748341	25,3	60,4%
M8	M1+M7	742105	25,1	61%
M9	M3+M5	556766	18,8	70,5%
M10	M3+M6	446117	15,1	76,4%
M11	M3+M7	416517	14,1	77,9%
M12	M2+M3+M6	415995	14,1	78%
M13	M2+M3+M7	273156	9,2	86%

Source : auteure,2024.

La figure 5.26 présente une comparaison de la consommation énergétique calculée par CoDyBa pour chaque préconisation, mise en perspective avec la consommation énergétique de base. Elle illustre les diverses préconisations accompagnées du pourcentage d'économie d'énergie réalisable pour le chauffage. Les différentes préconisations, désignées de M1 à M13, ainsi que les pourcentages d'économie d'énergie pour le chauffage par rapport à la configuration de base (M0), sont également fournis.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

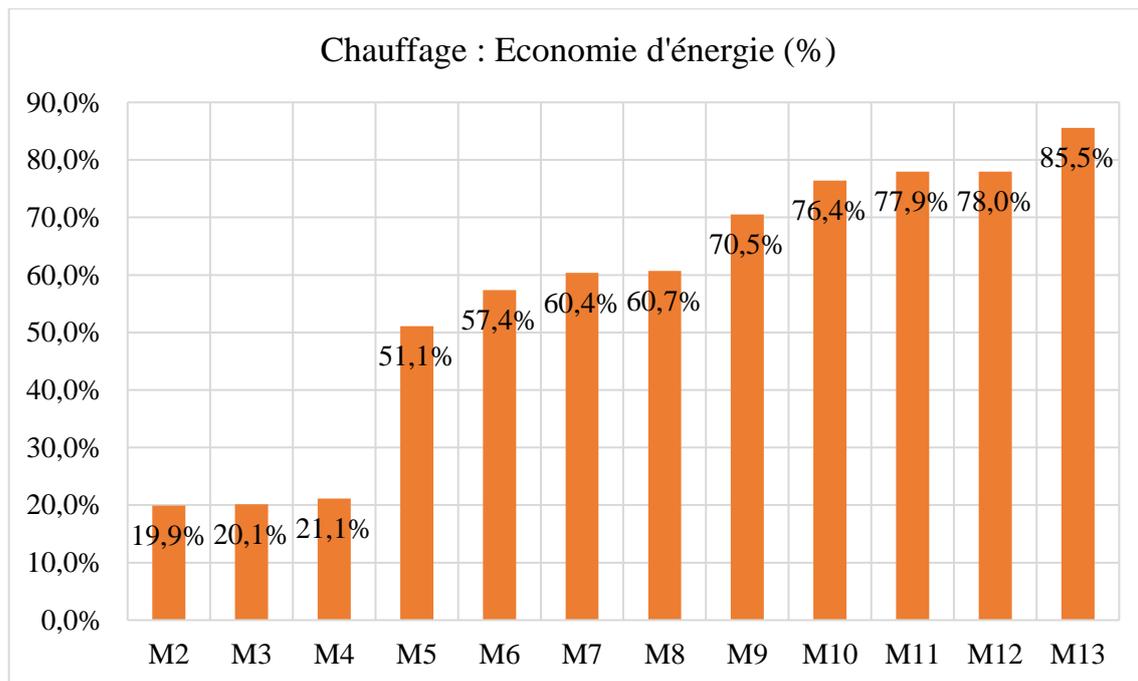


Figure 5.26 Diverses préconisations accompagnées du pourcentage d'économie d'énergie de chauffage réalisable à travers leur mise en œuvre.

Source : auteure, 2024.

En ce qui concerne la climatisation, la figure 5.27 présente les surconsommations de climatisation résultant de leur mise en œuvre demeurent de toute façon relativement faibles dans tous les cas (inférieures à 2,8%). Dans la figure 5.28 nous nous sommes limités à évaluer les recommandations M1, M4, M8 et M12 afin d'examiner uniquement l'impact de l'amélioration de la consigne de climatisation (M1), puis toutes les améliorations considérées en plus de M1, Ces améliorations incluent le remplacement des fenêtres existantes par du double vitrage (M4), l'ajout d'une isolation de 15 cm (M8), et une combinaison des deux avec le réglage de la consigne de climatisation (M12). Cette approche méthodique nous permet de distinguer clairement l'impact de chaque mesure prise individuellement et en combinaison, afin d'optimiser l'efficacité énergétique globale du bâtiment.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

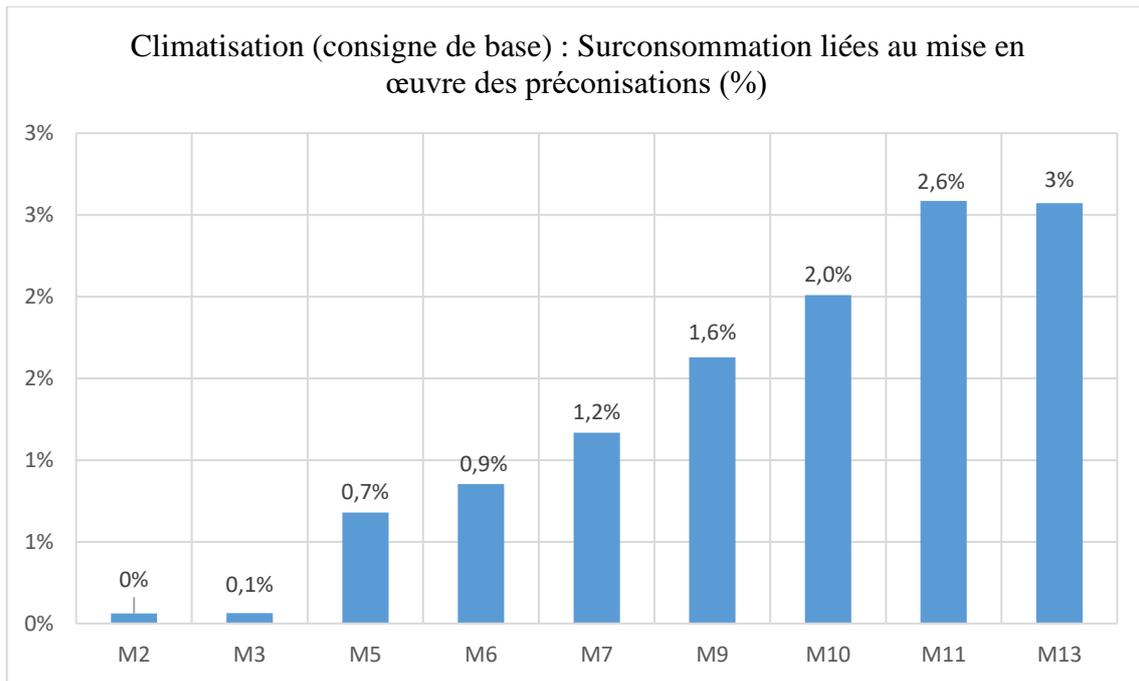


Figure 5.27 Diverses préconisations accompagnées du pourcentage de surconsommation de climatisation à travers leur mise en œuvre.

Source : auteure, 2024.

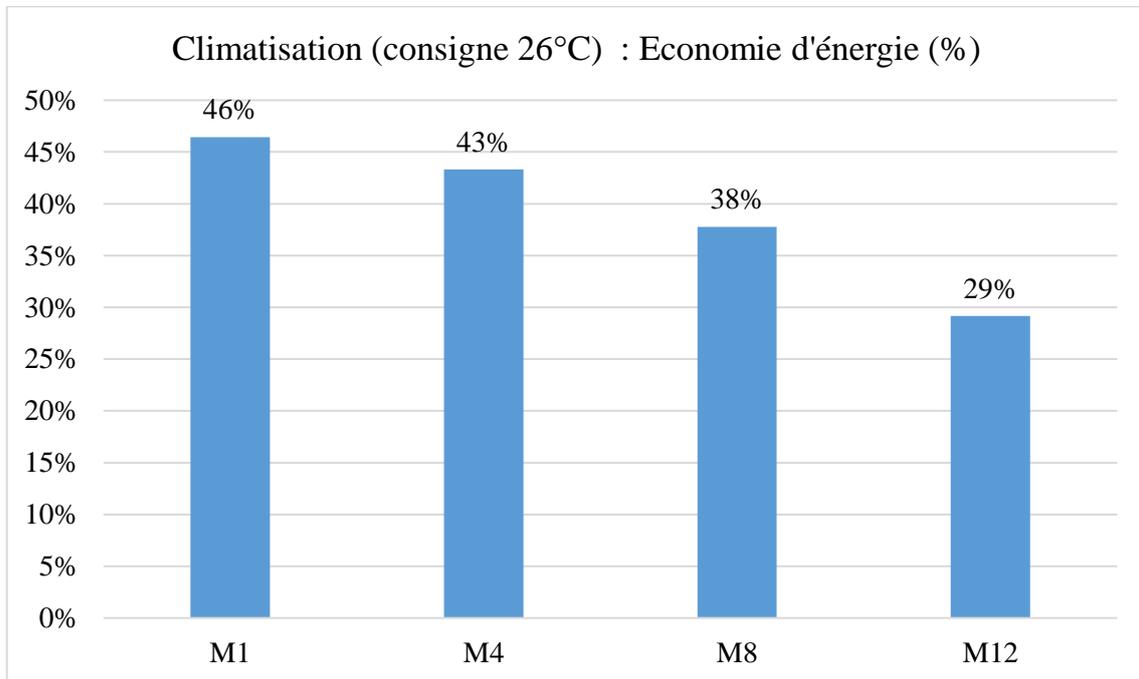


Figure 5.28 Économies d'électricité grâce aux préconisations M1 et M12 où l'amélioration de la consigne de climatisation est appliquée (26°C).

Source : auteure, 2024.

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : **FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME**

L'impact de chaque préconisation sur la consommation de chauffage et de climatisation est analysé comme suit :

1. Remplacement du simple vitrage par un double vitrage (M3) : Une légère augmentation de la consommation d'énergie pour la climatisation (0.1%) est observée, attribuable à une réduction des pertes de chaleur à travers les fenêtres, nécessitant ainsi une utilisation accrue de la climatisation pour maintenir une température confortable.
2. Ajout d'isolant à différentes épaisseurs (M5 à M7) : L'ajout d'isolant entraîne une réduction significative de la consommation d'énergie pour le chauffage, indiquant une amélioration de l'efficacité énergétique du bâtiment. Toutefois, cela se traduit également par une légère augmentation de la consommation d'énergie pour la climatisation, car l'isolant agit comme une barrière thermique, nécessitant ainsi davantage d'énergie pour refroidir l'intérieur du bâtiment. Cette augmentation est plus notable avec une épaisseur d'isolant plus importante.
3. Combinaison d'isolant et de double vitrage (M9 à M10 et M11) : Cette combinaison offre des économies d'énergie significatives pour le chauffage, mais entraîne également une légère augmentation de la consommation d'énergie pour la climatisation (~3%). La synergie entre l'isolant et le double vitrage améliore l'efficacité énergétique globale du bâtiment, bien que l'impact sur la consommation d'énergie pour la climatisation soit plus prononcé par rapport à l'utilisation d'isolant seul ou de double vitrage seul.
4. Le changement de la consigne de température pour les climatiseurs (M1, M4, M8 et M12), de 21°C à 26°C, peut réduire la consommation d'énergie de 29% à 46%, grâce à l'amélioration de la fonctionnalité des climatiseurs.

L'analyse révèle que la stratégie la plus efficace pour réduire la consommation de chauffage est la combinaison d'un isolant de 15 cm d'épaisseur avec du double vitrage et une consigne de température de 19°C, offrant une économie de 85,5%. Cette méthode est suivie par l'utilisation d'un isolant de 15 cm d'épaisseur et du double vitrage, qui permettent une économie de 77,9%. Ensuite, l'association d'un isolant de 10 cm et du double vitrage résulte en une économie de 76,4%. La quatrième position est occupée par l'association d'un isolant de 5 cm avec du double vitrage, offrant une économie de 70,5%. Enfin, le simple changement

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

de la consigne de chauffage à 19°C peut engendrer une économie de 20%. Concernant la climatisation, l'impact des préconisations reste très limité, avec une amélioration inférieure à 3% dans le cas des scénarios impliquant le plus de travaux de rénovation.

Pour le calcul et l'évaluation des émissions de CO₂ selon la formule présentée dans le chapitre 4 analyse des données, qui consiste à multiplier la quantité d'énergie consommée par le facteur d'émission du CO₂, le tableau 5.27 présente les émissions de CO₂ de notre modèle de base ainsi que les pourcentages de réduction obtenus pour les différentes préconisations considérées. Ces réductions demeurent en cohérence et correspondent à celles de l'économie d'énergie indiquées dans la figure 5.26.

Tableau 5.27 : Différentes préconisations et les résultats correspondants (en tonnes de CO₂).

Préconisation	Type	Consommation (kWh)	Emissions de Co ₂ (Tonne)	Emissions de Co ₂ (kg/m ²)	Chauffage
					- réductions de CO ₂ (%)
M0	Base	1888293	381,62	12,68	0,0%
M1	Consigne climatiseur 26	1888907	381,75	12,69	0%
M2	Consigne chauffage 19	1511823	305,54	10,15	20%
M3	DV	1507963	304,76	10,13	20,1%
M4	ITE 05cm	1489176	300,96	10,00	21,1%
M5	ITE 10cm	923714	186,68	6,20	51,1%
M6	ITE 15cm	804698	162,63	5,40	57,4%
M7	ITE 05cm + DV	748341	151,24	5,03	60,4%
M8	ITE 10cm + DV	742105	149,98	4,98	60,7%
M9	ITE 15cm + DV	556766	112,52	3,74	70,5%

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

ITE 15cm + DV					
M10	+Consigne climatiseur 26	446117	90,16	3,00	76%
ITE 15cm +					
M11	DV+ Consigne chauffage 19	416517	84,18	2,80	78%
ITE 15cm + DV					
M12	+Consigne climatiseur 26	415995	84,07	2,79	78%
ITE 15cm +					
M13	DV+ Consigne chauffage 19	273156	55,20	1,83	86%

Source : auteure,2024.

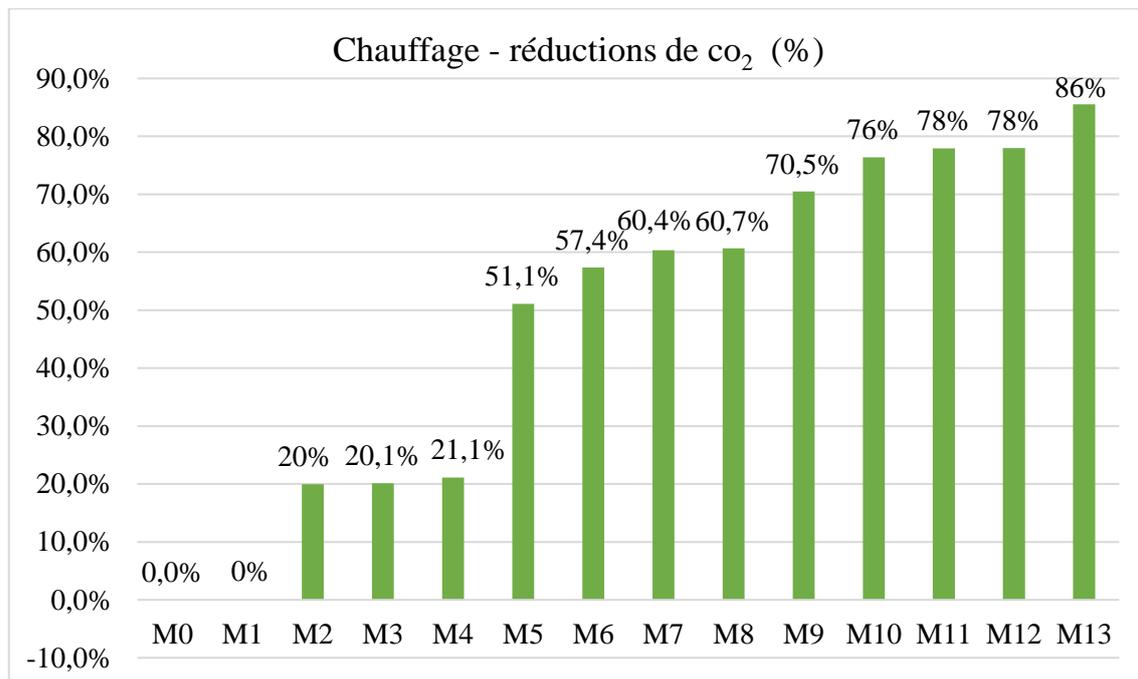


Figure 5.29 Diverses préconisations accompagnées du pourcentage de réduction CO₂ de chauffage réalisable à travers leur mise en œuvre.

Source : auteure,2024.

L'analyse indique que les quantités d'émissions de CO₂ évitées sont intégralement corrélées avec l'économie d'énergie. Par conséquent, la préconisation la plus efficace pour

CHAPITRE V : SIMULATIONS NUMÉRIQUE : FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

diminuer les émissions de CO₂ combine l'utilisation d'un isolant de 15 cm d'épaisseur avec du double vitrage et un réglage de la température à 19°C, ce qui permet une réduction de 86%. Cette stratégie est suivie par l'emploi du même isolant avec du double vitrage, résultant en une réduction de 78%. L'association d'un isolant de 10 cm et du double vitrage entraîne une baisse de 78%. En quatrième position, l'utilisation d'un isolant de 5 cm avec du double vitrage permet une réduction de 76%. L'installation de double vitrage et un simple ajustement de la température de chauffage à 19°C conduit à une réduction de 20%. Le choix de la préconisation dépendra finalement du coût financier par rapport aux objectifs à l'échelle de l'université ou des recommandations réglementaires.

Ces analyses permettent une évaluation précise des stratégies efficaces pour réduire la consommation énergétique et les émissions CO₂ du bâtiment. Chaque préconisation est évaluée en fonction de son potentiel d'économie d'énergie et d'émissions évitées, offrant ainsi une vision claire de l'impact de chaque action sur l'efficacité énergétique globale. Cette approche permet de prioriser les interventions pour maximiser les avantages en termes d'économies d'énergie.

Conclusion

En conclusion, ce chapitre met en lumière l'importance des résultats obtenus grâce à la simulation énergétique dans le cadre de l'audit mené sur l'université Salah Boubnider Constantine 3. À partir de notre étude de cas, l'utilisation de CoDyBa a permis de quantifier les économies d'énergie potentielles et d'identifier les leviers d'optimisation les plus prometteurs. Cette analyse démontre ainsi que la simulation constitue un outil essentiel pour prendre des décisions éclairées en matière de performance énergétique, permettant aux décideurs de maximiser l'impact des mesures d'efficacité énergétique et de garantir un retour sur investissement optimisé.

Pour améliorer davantage la performance énergétique, nous recommandons les ajustements suivants :

Optimisation des paramètres de chauffage et de climatisation. Remplacement des vitrages simples par du double vitrage pour renforcer l'isolation thermique. Amélioration de l'isolation du bâtiment, avec une évaluation des impacts pour des épaisseurs de 5 cm, 10 cm, et 15 cm. Combinaison de l'isolation et du double vitrage pour augmenter l'efficacité énergétique.

Ces mesures, évaluées pour leur efficacité à réduire la consommation énergétique, offrent une base solide pour améliorer l'efficacité énergétique globale du bâtiment. L'analyse montre un lien direct entre les économies d'énergie et les réductions des émissions de CO₂. L'implémentation de ces recommandations devrait diminuer la consommation énergétique et réduire les émissions de CO₂ associées. D'autres stratégies pourraient inclure le remplacement des chaudières existantes par des modèles plus efficaces, l'isolation calorifique des canalisations, l'installation de systèmes de ventilation mécanique contrôlée pour optimiser le renouvellement de l'air, et la mise en place de panneaux photovoltaïques pour produire de l'électricité renouvelable. La décision d'adopter ces mesures dépendra des contraintes budgétaires, des objectifs de l'établissement et des réglementations en vigueur. Néanmoins, les résultats issus de la méthodologie développée dans la thèse permettent de classer les solutions par ordre d'efficacité concernant la réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre (GES).

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

Introduction

Dans ce chapitre, nous analysons le comportement des employés administratifs de chaque faculté et institut en ce qui concerne leur consommation énergétique. Pour atteindre les objectifs de cette étude, nous nous sommes appuyés sur une enquête par un questionnaire distribué au sein des administrations des facultés et des instituts, ainsi que des interviews avec les employés. La méthodologie employée pour cette enquête est décrite en détail dans le chapitre introductif.

Dans la première section, nous aborderons l'importance de cette étude de comportement sur le plan international. Ensuite, dans la section suivante, nous procéderons à l'analyse, à la discussion et à l'interprétation des différents résultats obtenus à travers l'étude empirique au niveau de l'université Constantine 3.

6.1. Analyse du comportement des occupants et de leur impact sur la consommation énergétique à l'échelle internationale

Plusieurs recherches à l'échelle mondiale se concentrent sur l'impact du comportement des occupants sur la consommation énergétique. Au Japon, une étude réalisée par (Yu et al., 2011) examine l'influence du comportement des occupants sur la consommation énergétique des bâtiments résidentiels dans six districts différents. Utilisant une méthodologie basée sur l'analyse des données par clustering, cette étude a révélé que cette approche permet d'évaluer le potentiel d'économie d'énergie en améliorant les comportements des occupants. Une autre étude japonaise menée par (Hondo & Baba, 2010) dans la ville de Iida analyse l'incidence de l'installation des systèmes photovoltaïques dans les habitations et les écoles sur les comportements des occupants. Les résultats montrent que la connaissance de ces systèmes augmente la sensibilisation et favorise les comportements écologiques positifs, les relations familiales étroites et les interactions au sein de la communauté locale ont également un impact positif sur ces comportements écologiques, encourageant la communication sur les comportements environnementaux.

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

En Suède, (Vassileva et al., 2012) ont étudié la consommation énergétique des ménages dans deux immeubles résidentiels à Västerås. Utilisant l'analyse de la consommation mensuelle d'énergie et des paramètres comportementaux recueillis à partir d'une enquête par questionnaire, ils ont découvert que le revenu total du ménage est un facteur déterminant de la consommation d'électricité. Une autre étude suédoise menée par (Ek & Söderholm Patrik, 2010) l'objectif principal est d'analyser la disposition des ménages suédois à intensifier leurs efforts quotidiens en vue d'économiser l'électricité. Cette analyse repose sur une enquête postale adressée à 1200 ménages suédois, visant à identifier les principaux facteurs qui motivent les ménages à réduire leur consommation électrique. Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence significative des coûts, des attitudes environnementales et des interactions sociales sur les comportements d'économie d'électricité. Une attention particulière est accordée au rôle potentiel de l'information en tant qu'outil pour susciter une plus grande volonté au sein des ménages d'adopter des mesures visant à réduire leur consommation. Plus précisément, une analyse empirique a été effectuée pour déterminer si l'information détaillée et spécifique concernant les mesures d'économie d'électricité avait un impact plus important sur les comportements déclarés que l'information de nature plus générale.

En Inde, un des principaux consommateurs d'énergie au monde, une étude a analysé les comportements de consommation énergétique des ménages urbains à Delhi. Les résultats montrent que la consommation est influencée par des paramètres climatiques et l'utilisation d'équipements inefficaces. Une enquête nationale sur la possession d'équipements et leur utilisation a révélé des tendances saisonnières de consommation étroitement liées aux paramètres climatiques et l'effet rebond, indiquant qu'une éducation à l'économie d'énergie pourrait réduire la consommation énergétique. (Thapar, 2020)

En Chine, (Ouyang & Hokao, 2009)) ont mené une étude à Hangzhou, révélant qu'un changement de comportement peut réduire la consommation énergétique de plus de 10%. En comparant les effets de l'amélioration technique des bâtiments avec ceux de l'amélioration du comportement des occupants, ils ont conclu que la seconde option est plus économique et efficace à long terme. Une éducation à l'économie d'énergie mise en place auprès de 124 ménages a montré que l'amélioration du comportement des occupants ne

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

nécessite aucun investissement initial et entraîne des coûts économiques inférieurs, tout en générant davantage d'économies à long terme.

En Malaisie, (Ishak, 2017) a développé un modèle comportemental de consommation d'énergie pour les étudiants des universités publiques en Malaisie, basé sur la "culture de l'énergie". Cette étude a impliqué une enquête auprès de 1 009 étudiants issus de quatre universités sélectionnées et a utilisé l'analyse de régression multiple pour déterminer les économies d'énergie potentielles. Le modèle a été testé avec l'ensemble des étudiants des universités publiques malaisiennes, visant à identifier les économies d'énergie réalisables dans les résidences universitaires. En Italie, (Barthelmes et al., 2016) ont étudié l'impact des comportements des occupants sur la performance énergétique d'un bâtiment résidentiel à faible consommation d'énergie Nzeb (Nearly Zero Energy Building) en utilisant des simulations réalisées avec EnergyPlus. Ils ont constaté que les comportements des occupants influencent significativement la performance énergétique, et que cette performance est également influencée par le type de composition familiale après l'occupation.

Aux États-Unis, (Langevin et al., 2013) ont examiné les comportements énergétiques des résidents de logements publics à faible revenu à Philadelphie. Les entretiens ont révélé que l'entretien des bâtiments et l'éducation des résidents sont cruciaux pour soutenir l'efficacité énergétique. L'étude a impliqué 50 entretiens en face-à-face avec des résidents de logements publics relevant de la Philadelphia Housing Authority. Une autre étude à l'Université du Michigan a révélé que le personnel est plus préoccupé par la conservation de l'énergie que les étudiants, et a identifié des opportunités d'amélioration. Utilisant une approche multiméthode, cette étude a inclus des entretiens, des observations comportementales et des enquêtes en ligne pour explorer les attitudes et comportements liés à la consommation énergétique. (Marans & Edelstein, 2010)

Au Canada, (Mohazabieh et al., 2015) ont mené une étude sur deux maisons écologiques, découvrant que le comportement des occupants a un impact significatif sur la consommation énergétique, malgré l'efficacité des systèmes mécaniques et des enveloppes de bâtiment utilisés. Pendant la pandémie de COVID-19, (Rana et al., 2022) ont étudié l'impact de la pandémie sur la consommation énergétique dans un immeuble résidentiel en Colombie-Britannique. Comparant les périodes avant et pendant le confinement, ils ont constaté une augmentation significative de la consommation due aux changements de comportement des

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

occupants. Cette hausse s'explique par le fait que les occupants passaient plus de temps à la maison, utilisant davantage d'énergie pour le chauffage, la climatisation, l'éclairage et les appareils électroniques.

Ces études montrent l'importance de considérer le comportement des occupants dans l'analyse et l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments. Il apparaît donc nécessaire d'adopter des stratégies éducatives visant à sensibiliser les occupants sur l'utilisation rationnelle de l'énergie afin de réduire la consommation globale d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre.

6.2. Étude de l'impact du comportement des employés administratifs sur la consommation d'électricité à l'université Salah Bounider Constantine 3

6.2.1. Comportement des employés administratifs et leur impact sur la consommation d'électricité : une étude empirique

Pour examiner l'impact du comportement des employés sur la consommation énergétique au sein de l'université, nous avons mis en œuvre un questionnaire spécifiquement (voir l'annexe A) destiné aux employés administratifs de chaque faculté et institut. Les résultats obtenus sont présentés dans la section suivante.

6.2.1.1. La fréquence horaire d'utilisation des appareils électrique par jour

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

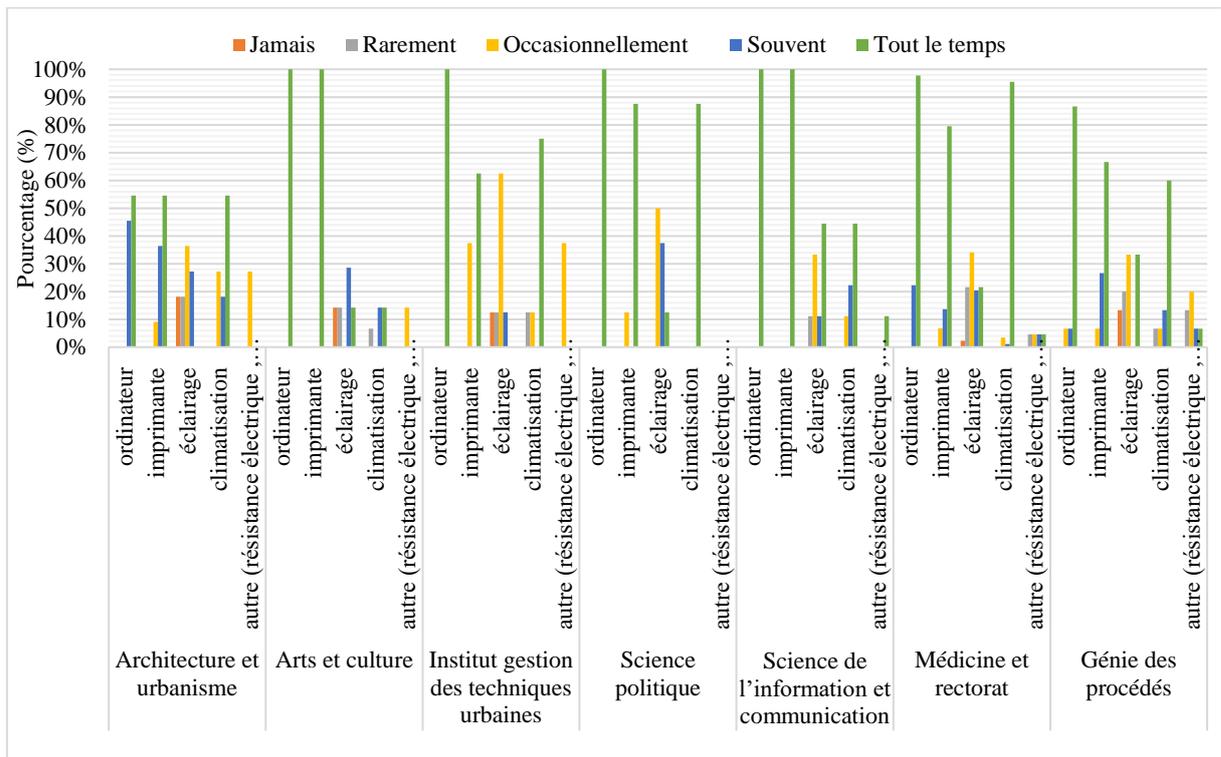


Figure 6.1 La fréquence horaire d'utilisation des appareils électrique par jour.
Source : auteure ,2024.

Ce diagramme démontre comment les dispositifs électriques sont utilisés quotidiennement dans diverses facultés et institut. À la faculté d'architecture et d'urbanisme, l'utilisation des ordinateurs est quasi-continue, oscillant entre "toujours" et "souvent". L'imprimante reste généralement en service de façon permanente, bien que quelques utilisateurs l'éteignent occasionnellement. L'éclairage est utilisé de manière sporadique, parfois éteint. La climatisation fonctionne majoritairement, avec quelques exceptions. D'autres appareils, comme ceux de la cafétéria et les réfrigérateurs, sont activés de façon sporadique.

À la faculté d'art et de culture, ainsi qu'à l'Institut de gestion des techniques urbaines, les ordinateurs et imprimantes restent constamment en marche. L'éclairage y est moins fréquemment utilisé, et la climatisation varie d'une utilisation continue à occasionnelle. Les appareils additionnels suivent un schéma d'utilisation intermittent.

Cette tendance se poursuit à la faculté de science politique et à la faculté de science de l'information et des communications, où les ordinateurs et les imprimantes restent

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

constamment allumés. L'éclairage est majoritairement en fonction, avec quelques variations, et la climatisation fonctionne presque sans interruption.

À la faculté de médecine et au rectorat, les ordinateurs sont utilisés très régulièrement, et les imprimantes fonctionnent sans pause notable. L'éclairage est généralement utilisé de manière occasionnelle, tandis que la climatisation est presque toujours active. Les autres appareils suivent un schéma d'utilisation sporadique à rare.

Enfin, à la faculté de génie des procédés, les ordinateurs et les imprimantes sont utilisés sans interruption. L'éclairage est principalement allumé en continu, avec une utilisation occasionnelle, et le climatiseur est fréquemment en marche, avec quelques périodes d'inactivité. Les autres équipements y sont activés de manière occasionnelle.

Selon les résultats obtenus à partir du graphique et de l'interview avec les employés administratifs des facultés et institut, il est évident que l'ordinateur est l'outil le plus utilisé, avec une fréquence allant de "toujours" à "souvent", témoignant d'une forte dépendance aux technologies informatiques pour les tâches académiques et administratives. L'imprimante, également très utilisée, varie dans son utilisation de "toujours" à "occasionnellement", ce qui souligne la persistance du besoin d'impression à l'ère numérique. La climatisation est majoritairement utilisée "en permanence". Pour l'éclairage, l'utilisation est majoritairement "occasionnelle", dépendant du climat et de la lumière naturelle. Il est également à noter que tous les bureaux ne sont pas systématiquement équipés d'une machine à café ou d'un réfrigérateur, avec des utilisations allant de "occasionnellement" à "rarement". Cette étude met en lumière l'importance des appareils principaux tels que les ordinateurs, les imprimantes et les climatiseurs dans les bureaux. L'analyse fournit des informations essentielles sur les pratiques de consommation énergétique dans un contexte institutionnel et pourrait orienter des initiatives spécifiques pour réduire les dépenses et accroître la durabilité.

6.2.1.2. Gestion des appareils électriques laissés en marche durant les heures de travail sans utilisation.

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

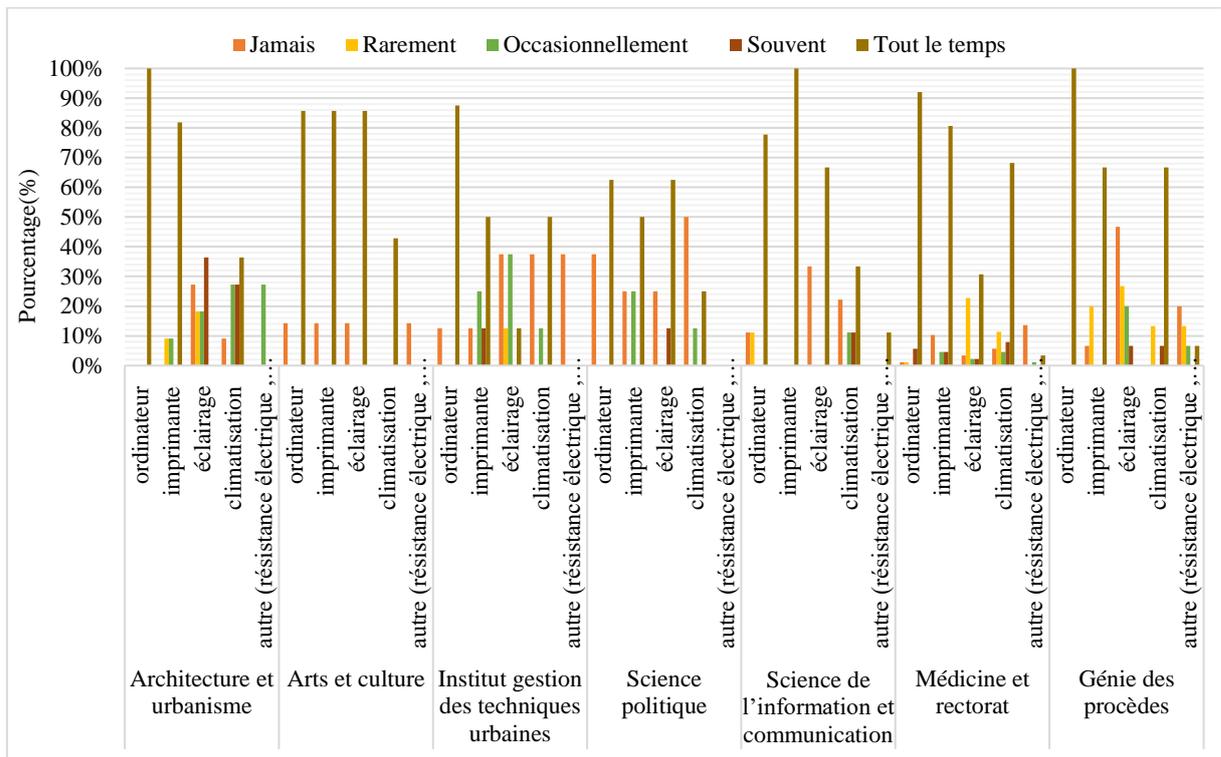


Figure 6.2 La fréquence horaire des appareils électriques laissés en marche durant les heures de travail sans utilisation.

Source : auteure ,2024.

Cette illustration met en lumière la fréquence à laquelle les appareils électriques demeurent actifs sans être utilisés durant les heures de travail dans divers établissements éducatifs.

À la faculté d'architecture et d'urbanisme, il est courant de voir les ordinateurs, imprimantes et éclairages laissés allumés, la plupart des utilisateurs préférant ne pas les éteindre. Seule une minorité adopte des pratiques plus économes en énergie. La climatisation est également souvent laissée en marche, avec quelques exceptions. En revanche, les appareils supplémentaires, comme ceux de la cafétéria et les réfrigérateurs, ne sont activés que de manière occasionnelle.

À la faculté d'art et de culture, les équipements tels que les ordinateurs, imprimantes et systèmes d'éclairage restent continuellement en fonction, avec une minorité choisissant de les éteindre. La climatisation y fonctionne également en permanence, tandis que les appareils additionnels, tels que ceux de la cafétéria et les réfrigérateurs, sont généralement inactifs.

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

Pour l'institut de gestion des techniques urbaines, les ordinateurs et imprimantes sont toujours allumés, bien qu'une petite partie du personnel les éteigne parfois. L'éclairage est éteint plus régulièrement et les autres appareils additionnels ne sont jamais laissés actifs.

À la faculté de science politique, les ordinateurs, imprimantes et éclairages sont constamment en marche, avec une minorité les éteignant. Cependant, le climatiseur est habituellement éteint, sauf pour quelques exceptions.

À la faculté de science de l'information et de la communication, les ordinateurs, imprimantes, éclairages et climatiseurs restent allumés en permanence, avec une minorité de personnes les éteignant. Les autres appareils, comme ceux de la cafétéria et les réfrigérateurs, ne sont jamais laissés actifs.

À la faculté de médecine et au rectorat, les ordinateurs, imprimantes et climatiseurs fonctionnent continuellement, bien qu'une minorité les éteigne. L'éclairage est généralement éteint, avec une minorité qui l'allume. Les autres appareils additionnels sont rarement actifs, sauf pour une minorité qui les laisse allumés.

Enfin, à la faculté de génie des procédés, la situation est similaire. Les ordinateurs, imprimantes et climatiseurs restent allumés en permanence, tandis que l'éclairage et les autres appareils additionnels, comme ceux de la cafétéria et les réfrigérateurs, sont généralement éteints, sauf pour une minorité qui les allume.

Selon les résultats obtenus à partir du graphique et de l'interview avec les employés administratifs des facultés et institut, on constate que les climatiseurs et les ordinateurs sont souvent actifs, typiquement "tout le temps" ou "souvent". Cette tendance pourrait indiquer l'absence de protocoles énergétiques efficaces ou de systèmes de gestion automatisés, nécessaires pour réduire cette surconsommation. Elle pourrait également refléter un déficit de responsabilité individuelle en matière de conservation de l'énergie. Les imprimantes, bien que moins fréquemment utilisées en continu par rapport aux climatiseurs et aux ordinateurs, restent souvent allumées. L'éclairage, quant à lui, est souvent laissé allumer, ce qui suggère une gestion parfois négligente, probablement due à des oublis. En revanche, les autres appareils additionnels, comme ceux de la cafétéria et les réfrigérateurs, montrent un usage plus mesuré, étant souvent éteints lorsqu'ils ne sont pas nécessaires, ce qui dénote une approche plus consciente et responsable de leur utilisation.

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

6.2.1.3. Arrêt des appareils électriques pendant la pause déjeuner.

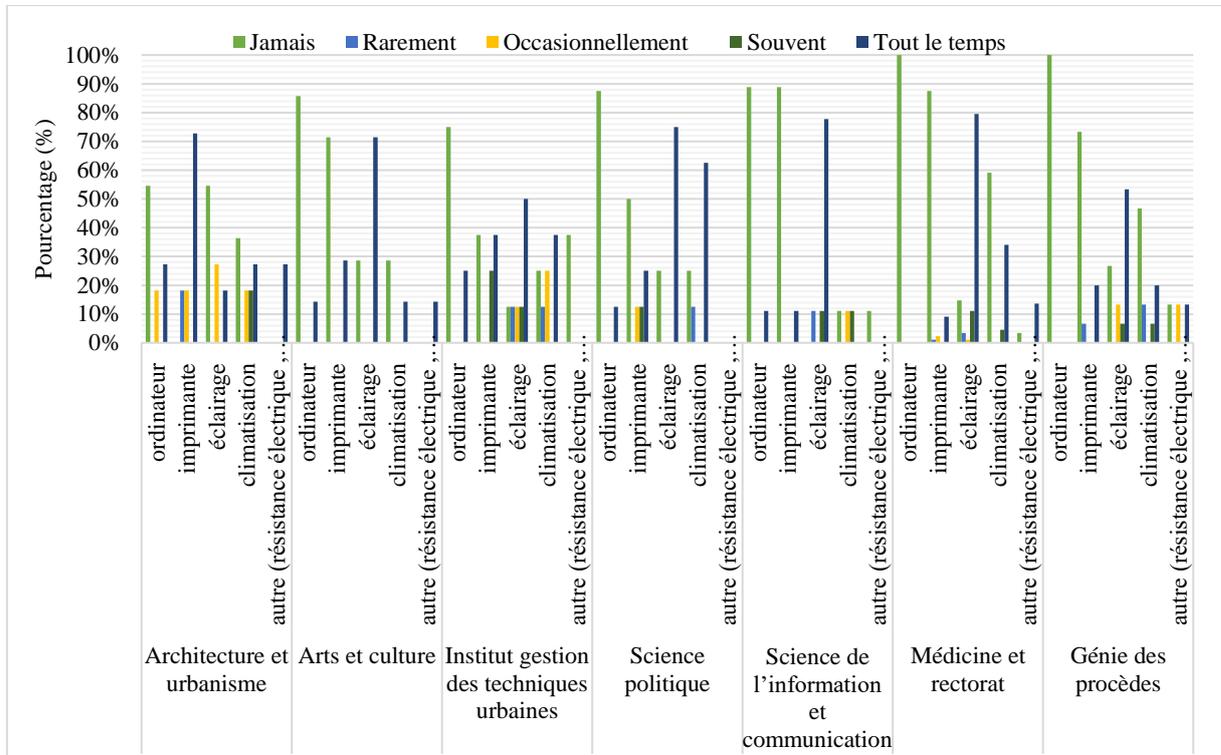


Figure 6.3 Extinction des appareils lors de la pause déjeuner.

Source : auteure ,2024.

Ce graphique détaille les pratiques de gestion des appareils électriques durant la pause déjeuner dans divers environnements professionnels.

À la faculté d'architecture et d'urbanisme, les ordinateurs restent souvent allumés, bien que certains les éteignent. Les imprimantes, en revanche, sont généralement hors service, sauf pour une minorité. L'éclairage et la climatisation fonctionnent fréquemment, avec quelques exceptions. Les autres appareils, comme ceux de la cafétéria et les réfrigérateurs, sont toujours éteints.

À la faculté d'art et de culture, la majorité laisse les ordinateurs et les imprimantes en marche, avec seulement quelques exceptions. L'éclairage est habituellement coupé, tandis que la climatisation reste souvent active, sauf pour quelques rares cas. Les autres équipements restent également éteints.

La situation est similaire à l'Institut de gestion des techniques urbaines, où les ordinateurs et les imprimantes sont rarement désactivés. L'éclairage est généralement éteint,

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

sauf par une minorité, et la climatisation fonctionne presque continuellement. Les autres appareils, comme ceux de la cafétéria et les réfrigérateurs, restent constamment allumés.

À la faculté de science politique, les ordinateurs et les imprimantes sont majoritairement en marche, avec une minorité qui les éteint. L'éclairage et la climatisation sont souvent coupés, bien qu'une minorité les maintienne allumés.

À la faculté de science de l'information et de la communication, les ordinateurs et les imprimantes sont fréquemment utilisés, avec quelques exceptions qui les éteignent. L'éclairage est principalement allumé, tandis que l'utilisation de la climatisation varie. Les autres appareils, comme ceux de la cafétéria et les réfrigérateurs, sont toujours actifs.

À la faculté de médecine et au rectorat, les ordinateurs et les imprimantes sont souvent en marche, et l'éclairage est généralement éteint, sauf pour quelques-uns. Les climatiseurs sont majoritairement en fonction, avec certains les éteignant. Les autres appareils, comme ceux de la cafétéria et les réfrigérateurs, sont presque toujours coupés.

Enfin, à la faculté de génie des procédés, les ordinateurs et les imprimantes restent allumés, avec une minorité qui les éteint. L'éclairage est souvent coupé, et la climatisation fonctionne généralement, avec quelques exceptions. Les autres appareils, comme ceux de la cafétéria et les réfrigérateurs, sont constamment allumés ou éteints.

D'après l'analyse des résultats obtenus et les interviews avec les employés, il est notable que des équipements tels que les ordinateurs, les imprimantes et les climatiseurs sont régulièrement laissés en marche, souvent par commodité ou pour retrouver un environnement de travail immédiatement opérationnel. Cette pratique, bien que compréhensible pour des raisons de confort, traduit une méconnaissance ou un manque de sensibilisation quant à l'impact de telles habitudes sur la consommation énergétique et l'environnement. En revanche, il est positif de constater que l'éclairage est souvent éteint pendant cette période, reflétant une prise de conscience et une bonne pratique énergétique parmi le personnel. Enfin, il est intéressant de noter que les appareils moins essentiels, comme ceux de la cafétéria et les réfrigérateurs, sont systématiquement éteints pendant la pause déjeuner. Cette habitude montre que l'application de mesures simples de réduction de la consommation énergétique est tout à fait possible et pourrait être étendue à des équipements plus critiques comme les ordinateurs et les climatiseurs.

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

6.2.1.4. Fonctionnements des appareils électriques durant les weekends.

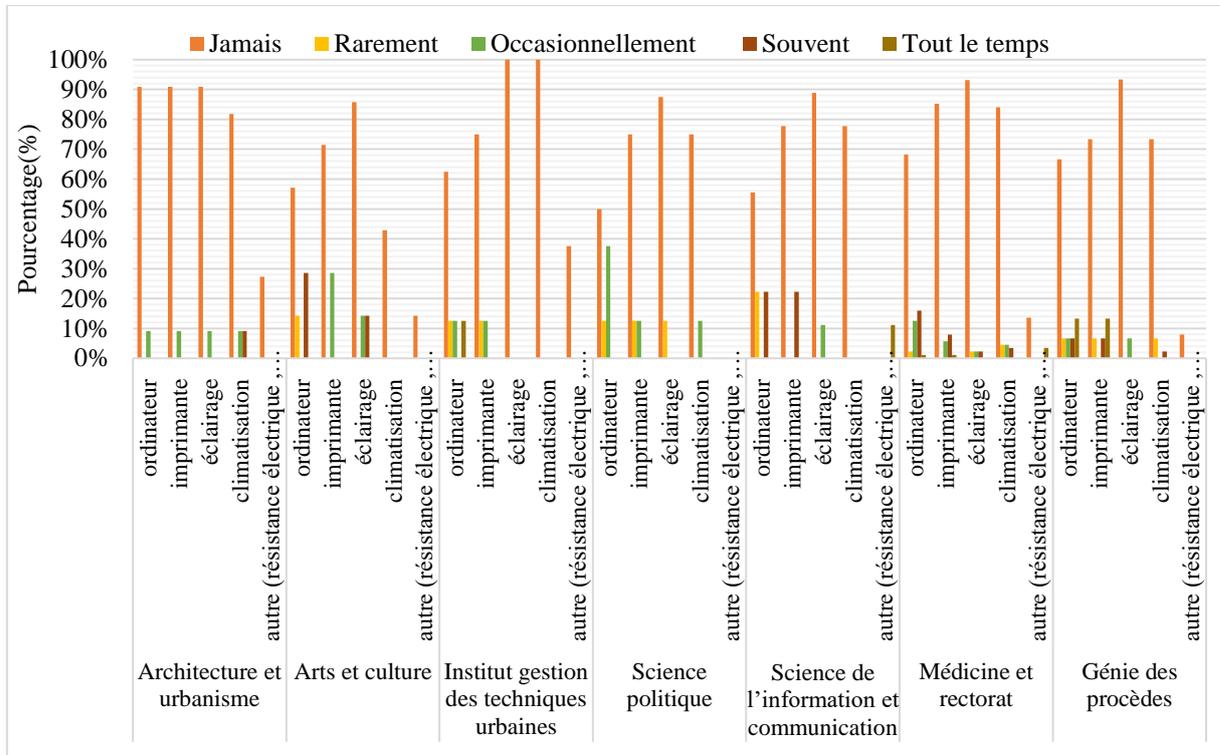


Figure 6.4 Garder les appareils électriques en marche durant les jours de repos.

Source : auteur, 2024.

Cette illustration met en évidence les pratiques de gestion des appareils électriques pendant les weekends dans divers établissements académiques. À la faculté d'architecture et d'urbanisme, les ordinateurs, les imprimantes et parfois les climatiseurs fonctionnent de manière occasionnelle durant le weekend. À la faculté d'art et de culture, les ordinateurs restent souvent allumés tout le weekend, tandis que les imprimantes et l'éclairage sont utilisés de manière occasionnelle.

À l'Institut de gestion des techniques urbaines, les ordinateurs restent fréquemment en marche, tandis que l'utilisation des imprimantes est plus rare. Dans la faculté de science politique, les ordinateurs et les imprimantes sont allumés de façon occasionnelle à rare, avec un usage similaire pour l'éclairage et les climatiseurs. En revanche, à la faculté de science de l'information et de la communication, les ordinateurs fonctionnent souvent, les imprimantes presque toujours, et l'éclairage de manière occasionnelle, tandis que d'autres appareils comme les réfrigérateurs fonctionnent en continu.

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

À la faculté de médecine et au rectorat, les ordinateurs et les imprimantes sont fréquemment laissés en marche, tout comme les climatiseurs et d'autres appareils tels que les réfrigérateurs et les cafetières. À la faculté de génie des procédés, les ordinateurs et les imprimantes sont également habituellement en fonction, l'éclairage est utilisé de manière occasionnelle, et le climatiseur est fréquemment actif.

Ces pratiques révèlent une gestion potentiellement inefficace de l'énergie dans les institutions académiques durant les périodes non ouvrables. L'utilisation continue d'appareils, particulièrement dans des domaines non critiques comme les imprimantes ou l'éclairage, suggère une opportunité pour ces établissements de revoir et d'améliorer leurs stratégies de gestion énergétique.

6.2.1.5. La fréquence horaire d'utilisation de la climatisation par jour.

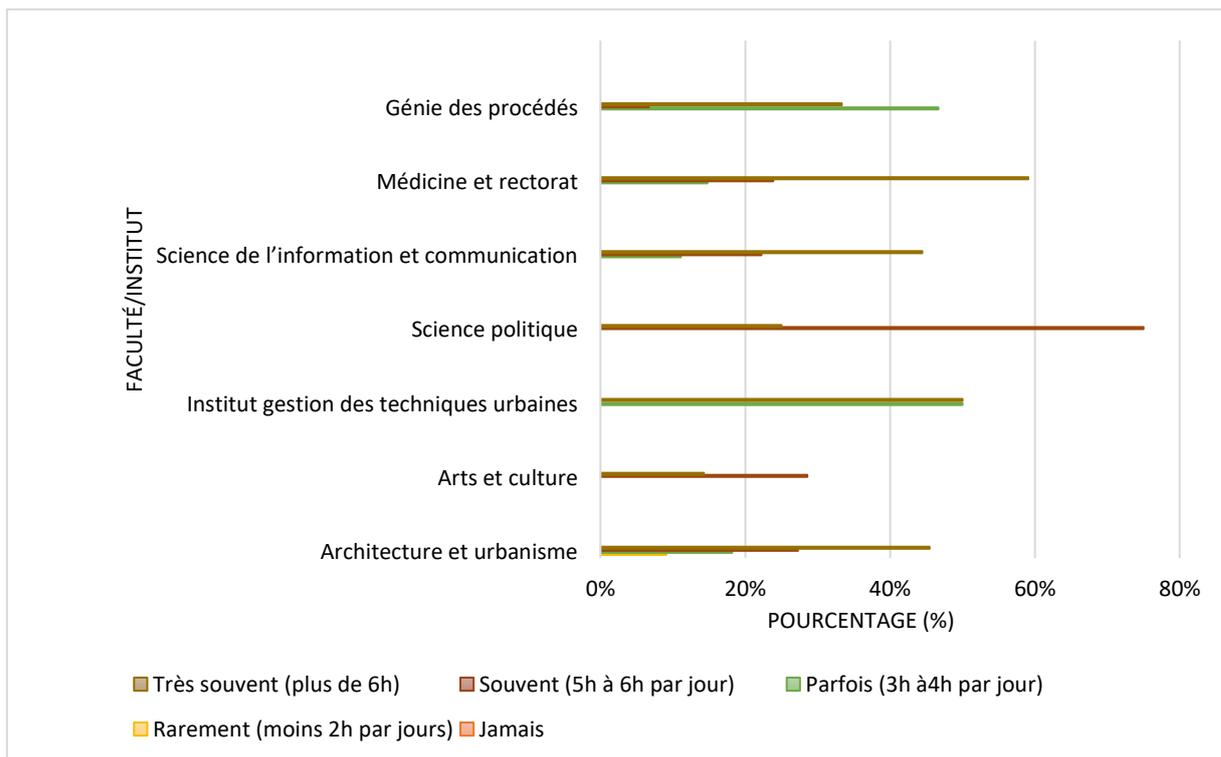


Figure 6.5 La fréquence horaire d'utilisation de la climatisation par jour.

Source : auteur, 2024.

Ce diagramme montre les durées typiques d'utilisation de la climatisation dans chaque faculté et institut au quotidien. À la faculté d'architecture et d'urbanisme, la plupart des utilisateurs activent la climatisation plus de 6 heures par jour, tandis qu'une petite portion

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

l'utilise entre 5 et 6 heures. Certains l'allument occasionnellement entre 3 et 4 heures, et il est rare de la voir fonctionner moins de 2 heures. À la faculté d'art et de culture, la tendance dominante est également de 5 à 6 heures par jour, avec quelques cas où elle dépasse les 6 heures.

À l'Institut de gestion des techniques urbaines, l'utilisation dépasse souvent les 6 heures, avec des périodes plus modérées de 3 à 4 heures. À la faculté de science politique et à celle de science de l'information et de la communication, la climatisation est généralement utilisée entre 5 et 6 heures, bien que beaucoup la maintiennent active plus de 6 heures. La faculté de médecine et le rectorat montrent des tendances similaires, avec des durées prédominantes dépassant les 6 heures, mais aussi des périodes d'utilisation de 5 à 6 heures et parfois de 3 à 4 heures.

Enfin, à la faculté de génie des procédés, la climatisation fonctionne généralement de 3 à 4 heures, avec une minorité optant pour des durées plus longues de 5 à 6 heures ou plus de 6 heures.

Ces données révèlent plusieurs aspects importants concernant la gestion énergétique et le comportement environnemental dans le milieu académique. Une utilisation fréquente et prolongée, souvent au-delà de six heures par jour, indique non seulement une consommation énergétique élevée, mais aussi une opportunité pour ces institutions d'améliorer leur efficacité énergétique. Des mesures telles que l'installation de double vitrage ou l'ajout d'un isolant thermique, abordées dans le chapitre précédent, pourraient être particulièrement bénéfiques. Optimiser l'utilisation de la climatisation en ajustant les horaires selon les heures réelles d'occupation et en promouvant des campagnes de sensibilisation sur les économies d'énergie pourrait également conduire à des réductions significatives de la consommation.

6.2.1.6. Réglages de température de la climatisation.

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

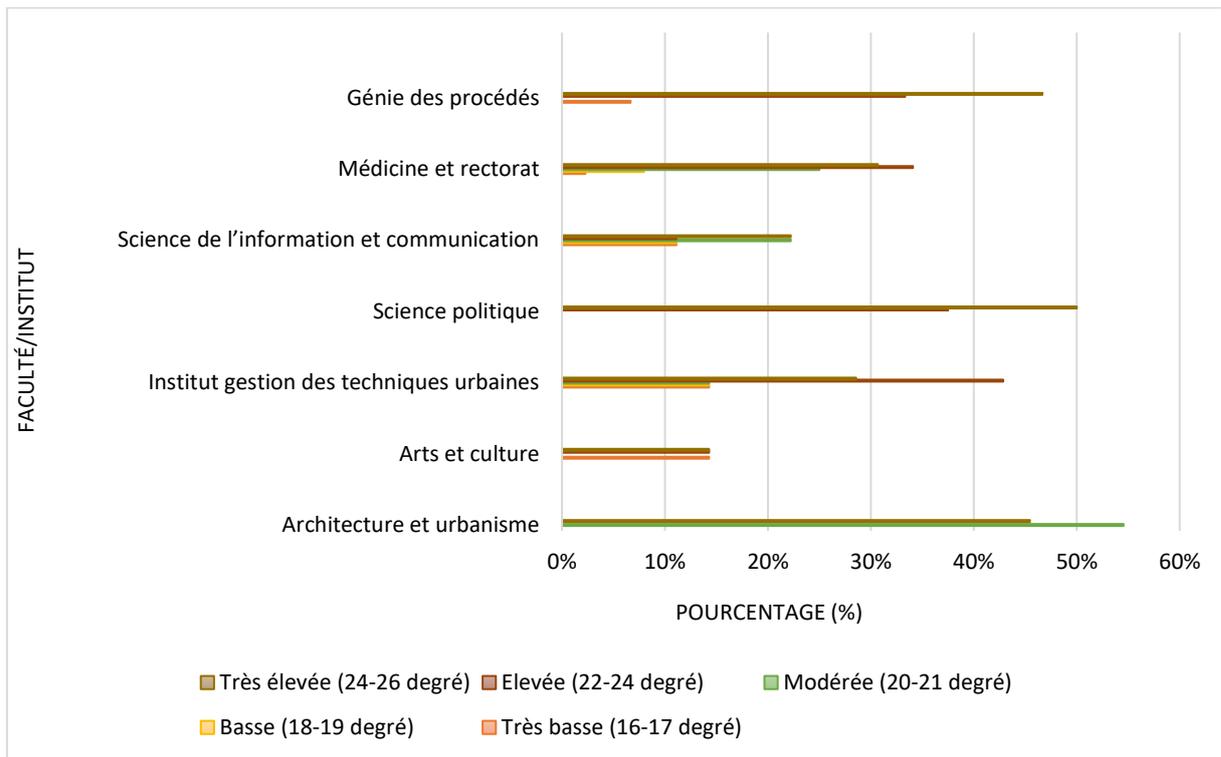


Figure 6.6 Réglages de température de la climatisation dans diverses facultés et institut.
Source : auteure, 2024.

Cette illustration détaille les réglages de température des climatiseurs dans diverses facultés et institut. À la faculté d'architecture et d'urbanisme, la majorité des employés administratifs préfère une température modérée, réglant leur climatiseur entre 20 et 21 degrés, tandis qu'une minorité opte pour des températures plus élevées de 22 à 24 degrés. À la faculté d'art et de culture, les employés ajustent principalement leur climatisation à une température très basse de 16 à 17 degrés, bien que certains la maintiennent entre 22 et 24 degrés, voire entre 24 et 26 degrés.

À l'Institut de gestion des techniques urbaines, la majorité des employés choisit une température élevée de 22 à 24 degrés, avec une minorité préférant des réglages modérés de 20 à 21 degrés et d'autres des températures basses de 18 à 19 degrés. À la faculté de science politique, la plupart des employés préfèrent des températures élevées de 22 à 24 degrés, tandis qu'une minorité choisit des niveaux très élevés de 24 à 26 degrés.

À la faculté de science de l'information et de la communication, la tendance générale est à des températures de 22 à 24 degrés, bien que quelques-uns règlent leur climatiseur à

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

24-26 degrés. Certains préfèrent une température modérée de 20 à 21 degrés, et d'autres des températures basses de 18 à 19 degrés.

À la faculté de médecine et au rectorat, les employés régulent majoritairement leur climatiseur à des températures de 22 à 24 degrés, avec une minorité qui préfère des niveaux de 24 à 26 degrés, tandis que d'autres optent pour des réglages de 20 à 21 degrés ou de 18 à 19 degrés.

Enfin, à la faculté de génie des procédés, la plupart des employés ajustent leur climatiseur à des températures de 22 à 24 degrés, avec une minorité préférant des niveaux de 24 à 26 degrés, et une portion choisissant des températures très basses de 16 à 18 degrés.

Les données sur la consommation énergétique des climatiseurs montrent que des températures plus basses entraînent une consommation d'électricité plus élevée, augmentant ainsi l'impact environnemental. Dans la plupart des facultés et instituts, la température est généralement réglée entre 22 et 24 degrés. Bien que cette plage soit courante, elle n'est pas idéale pour minimiser la consommation d'énergie. Selon la norme ANSI/ASHRAE Standard 55-2017, intitulée "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy", une température de 25 à 26 degrés est recommandée. Dans le chapitre précédent, une simulation à la faculté d'architecture a montré que l'augmentation de la température du climatiseur de 21 à 26 degrés permettait de réduire la consommation énergétique de 46 %. Cet ajustement prouve qu'il est possible de réaliser des économies d'énergie significatives et de minimiser les émissions de CO₂.

Ces observations montrent l'importance du comportement des employés administratifs sur la consommation énergétique. En effet, une simple action, sans dépenses initiales, peut réduire la consommation énergétique du bâtiment de 46 %. Cela démontre que les occupants ont un impact très significatif sur la consommation énergétique. Sensibiliser le personnel aux pratiques écoénergétiques, comme ajuster la température des climatiseurs, pourrait conduire à des économies substantielles.

6.2.1.7. Évaluation de la conscience des employés administratifs sur la consommation d'énergie

Dans cette partie, nous avons évalué la conscience des employés administratifs par des actions personnelles pour réduire la consommation d'énergie à l'université : éteindre les

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

lumières, la climatisation et les appareils électriques inutilisés en quittant le bureau, réduire la climatisation lorsque c'est possible, et privilégier l'utilisation des escaliers plutôt que l'ascenseur pour les employés administratifs du rectorat. La figure suivante illustre une évaluation de la conscience des employés administratifs sur la consommation d'énergie dans chaque faculté et institut.

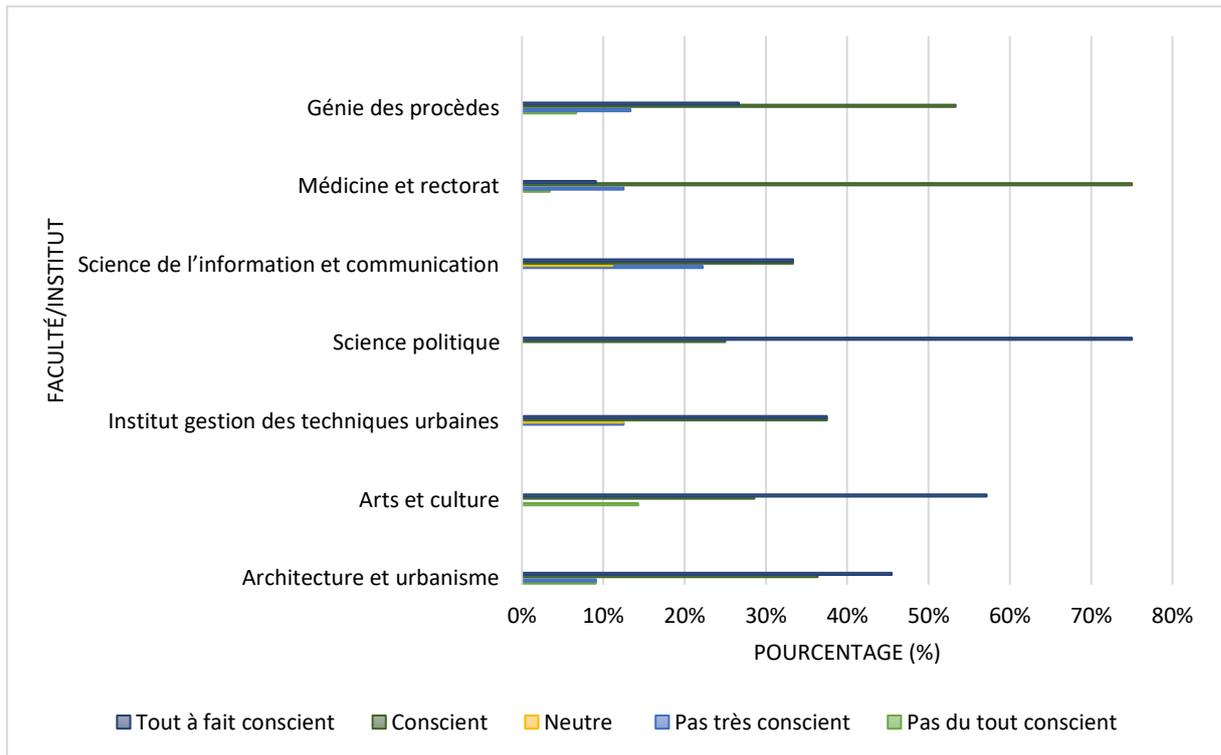


Figure 6.7 Évaluation de la conscience des employés administratifs sur la consommation d'énergie.

Source : auteure ,2024.

Ce graphique montre le niveau de sensibilisation des employés administratifs concernant la consommation d'énergie au sein des différentes facultés et instituts. À la faculté d'architecture et d'urbanisme, une grande majorité se dit bien informée, tandis qu'une minorité varie de partiellement consciente à complètement inconsciente. À la faculté d'art et culture, la plupart des employés se considèrent bien informés, avec quelques-uns oscillant entre partiellement conscients et totalement inconscients. L'institut de gestion des techniques urbaines présente une majorité partagée entre bien informés et partiellement conscients, tandis que la minorité se divise entre neutres et peu conscients. La faculté de science politique et celle de sciences de l'information et de la communication affichent des profils

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

similaires, avec des majorités se déclarant bien informées ou partiellement conscientes, et des minorités allant de neutres à peu conscientes. Enfin, à la faculté de médecine et au rectorat, ainsi qu'à la faculté de génie des procédés, la plupart des réponses indiquent une prise de conscience des problématiques énergétiques, avec une minorité évaluant leur niveau de connaissance de bien informés à complètement inconscients.

Suite à cette analyse, il apparaît que bien que la majorité des employés administratifs se déclarent bien informés ou conscients des enjeux liés à la consommation énergétique, ces déclarations ne reflètent pas toujours les pratiques réelles. Les résultats obtenus précédemment montrent que le niveau de conscience réel des employés n'est pas très élevé. Par exemple, concernant l'extinction des appareils électriques pendant la pause déjeuner, la majorité des réponses indiquent que cela est fait rarement ou jamais. De même, pendant les week-ends, les appareils sont souvent laissés allumés. La fréquence d'utilisation du climatiseur est également préoccupante, avec des durées allant de 5 à plus de 6 heures quotidiennement. En ce qui concerne la température de la climatisation, elle est généralement réglée entre 22 et 24 degrés Celsius, ce qui ne correspond pas aux consignes les plus économiques en termes de consommation d'énergie. Ces comportements indiquent un décalage significatif entre la perception de la conscience énergétique et les actions quotidiennes, soulignant ainsi la nécessité d'intensifier les efforts de sensibilisation et de formation sur les pratiques énergétiques durables.

6.2.1.7.1. Actions du personnel administratif pour réduire la consommation d'énergie à l'université : éteindre les lumières en quittant le bureau

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

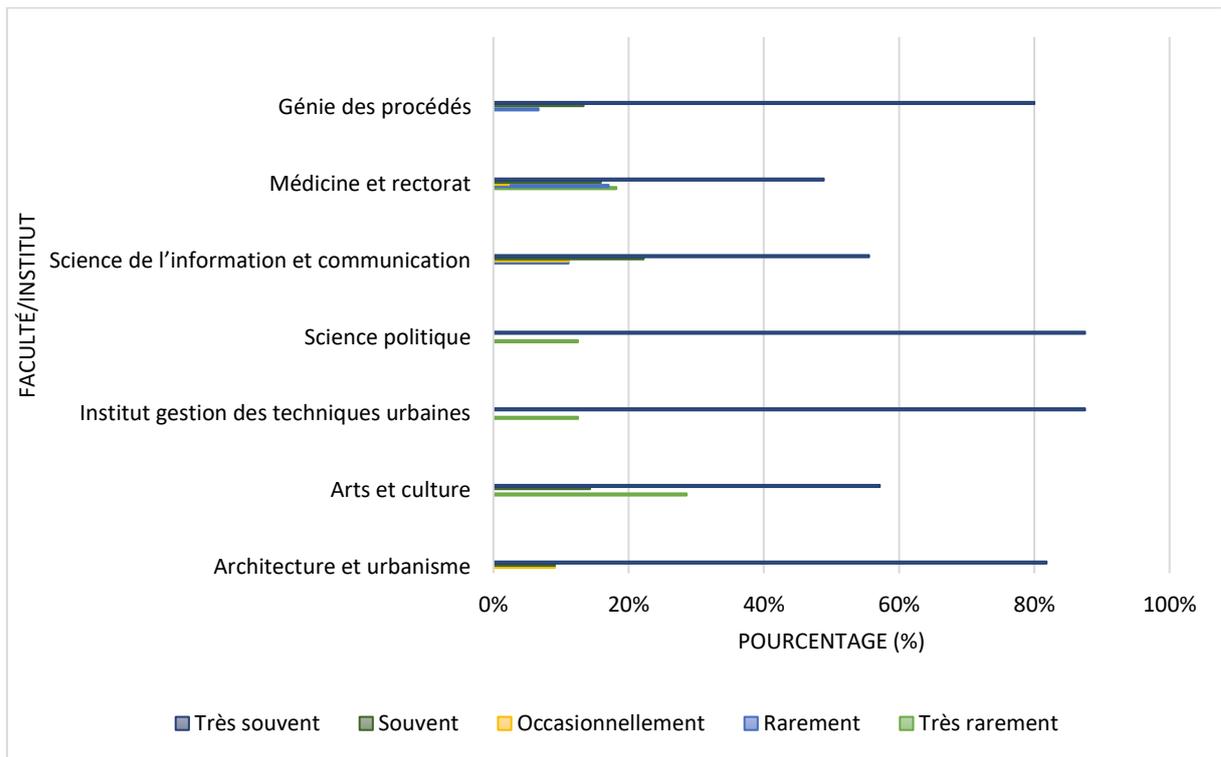


Figure 6.8 Actions personnelles pour réduire la consommation d'énergie à l'université : éteindre les lumières en quittant le bureau.

Source : auteure ,2024.

Cette illustration décrit les initiatives individuelles adoptées pour minimiser la consommation d'énergie dans les différentes facultés et institut de l'université, principalement par l'extinction des lumières en quittant les bureaux. À la faculté d'architecture, la majorité des personnes interrogées indiquent qu'elles éteignent fréquemment les lumières, tandis qu'une minorité le fait souvent ou occasionnellement. À la faculté d'art et de culture, éteindre les lumières est également une pratique très courante pour la plupart, avec quelques-uns le faisant souvent ou rarement. L'Institut de gestion des techniques urbaines et la faculté de science politique montrent un comportement similaire, où la plupart des employés éteignent régulièrement les lumières et une très petite part le fait rarement. À la faculté de science de l'information et de la communication, la majorité des réponses indiquent une extinction fréquente des lumières, tandis que la minorité se répartit entre souvent, occasionnellement et rarement. De même, à la faculté de médecine et au rectorat, couper les lumières est très courant, avec une minorité variant de souvent à rarement. Enfin, à la faculté de génie des procédés, éteindre les lumières est une habitude

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

courante pour la plupart, tandis que les réponses de la minorité oscillent entre souvent et rarement.

Les résultats montrent une prise de conscience notable concernant la réduction de la consommation d'énergie à l'université, notamment à travers le geste simple mais efficace d'éteindre les lumières en quittant les bureaux. Cette pratique semble être bien ancrée dans la culture des facultés et institut étudiés, avec une forte adoption de cette habitude.

Le rôle du personnel administratif dans la réduction de la consommation énergétique est crucial. Leurs actions quotidiennes, comme éteindre les lumières et les équipements électroniques lorsqu'ils ne sont pas utilisés, contribuent significativement à diminuer la consommation globale d'énergie de l'institution. Leur engagement à adopter des pratiques durables sert d'exemple pour les autres membres de la communauté universitaire et peut inspirer un changement de comportement à plus grande échelle.

Cependant, malgré ces résultats positifs, il existe toujours une minorité qui n'adopte pas cette pratique de manière régulière, ce qui souligne l'importance de continuer à promouvoir des politiques d'économie d'énergie et à encourager des comportements durables à tous les niveaux de l'institution. La variabilité des réponses entre souvent, occasionnellement et rarement indique des opportunités d'amélioration, notamment par des campagnes de sensibilisation ciblées ou par l'introduction de mesures incitatives pour renforcer l'adoption de ces pratiques.

6.2.1.7.2. Actions du personnel administratif pour réduire la consommation d'énergie à l'université : éteindre les climatiseurs en quittant le bureau

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

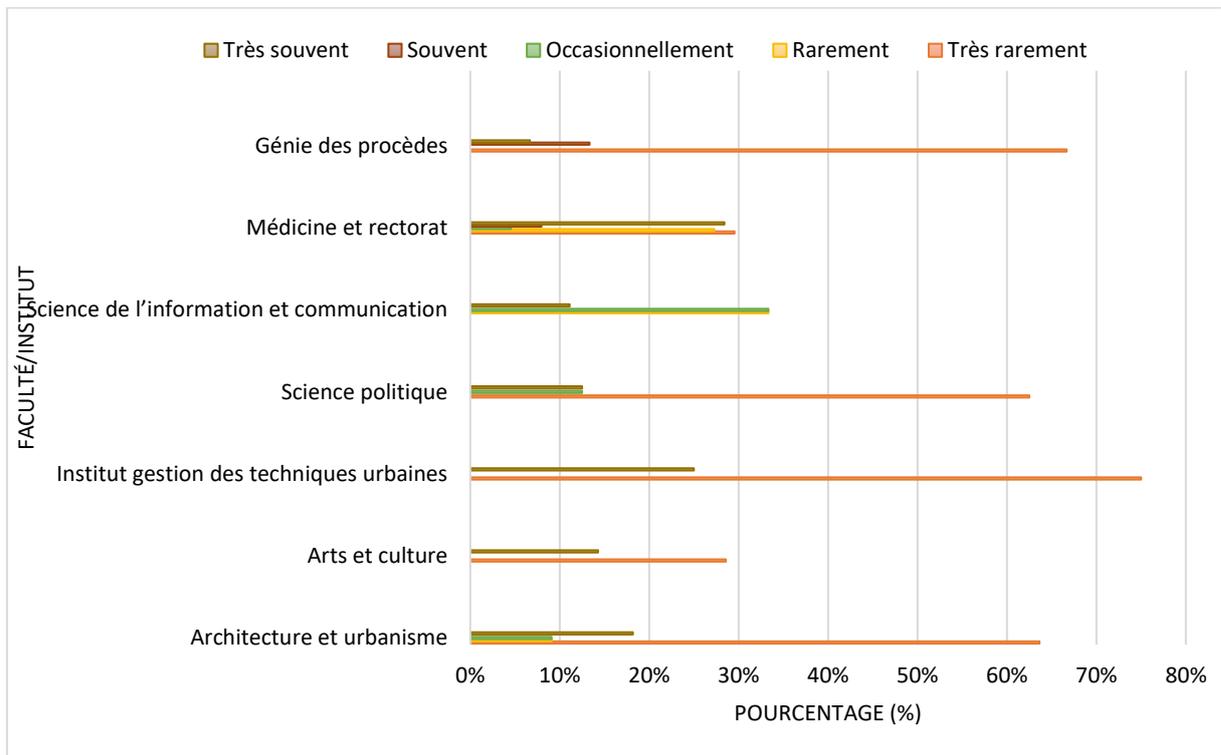


Figure 6.9 Actions personnelles pour réduire la consommation d'énergie à l'université : éteindre les climatiseurs en quittant le bureau.

Source : auteure, 2024.

Cette illustration met en avant les mesures prises par les membres du personnel de l'université pour diminuer la consommation d'énergie, en se concentrant sur l'extinction des climatiseurs en quittant leur bureau. À la faculté d'architecture et d'urbanisme, une majorité affirme qu'elle éteint les climatiseurs très rarement, tandis qu'une minorité le fait de manière variable, oscillant entre rarement et très souvent. De même, à la faculté d'art et de culture et à l'institut de gestion des techniques urbaines, la tendance est de ne pas éteindre les appareils régulièrement, sauf pour une petite fraction qui le fait fréquemment. À la faculté de science politique, le comportement est similaire, avec une minorité alternante entre occasionnellement et très souvent. À la faculté de science de l'information et de la communication, la plupart des personnes interrogées éteignent les climatiseurs rarement à occasionnellement, alors que quelques-uns le font très souvent. À la faculté de médecine et au rectorat, la majorité déclare également éteindre très rarement les climatiseurs, avec une minorité variant de rarement à très souvent. À la faculté de génie des procédés, la plupart éteignent très rarement les climatiseurs, mais une petite partie le fait souvent.

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

Les résultats montrent une variation notable dans les comportements d'extinction des climatiseurs à l'université, révélant des lacunes en matière de sensibilisation et d'application des politiques d'économie d'énergie. Majoritairement, les personnes interrogées admettent ne pas éteindre fréquemment les climatiseurs, ce qui peut indiquer un manque de directives claires ou de motivation pour adopter de telles pratiques. Cette situation souligne le besoin d'une stratégie plus robuste pour améliorer la gestion de l'énergie dans les facultés. L'existence d'une minorité qui suit déjà ces pratiques de manière rigoureuse offre un potentiel exemple à généraliser.

L'implication du personnel administratif dans la réduction de la consommation énergétique est essentielle. Leurs actions quotidiennes, comme éteindre les climatiseurs en quittant les bureaux, peuvent réduire significativement la consommation d'énergie de l'université. Leur engagement à adopter des pratiques durables encourage les autres membres de la communauté universitaire à suivre leur exemple, favorisant ainsi un changement de comportement à plus grande échelle. De plus, la mise en place de programmes de formation sur l'efficacité énergétique peut renforcer cette dynamique. En sensibilisant et en impliquant activement le personnel dans la gestion énergétique, l'université peut non seulement réaliser des économies importantes, mais aussi jouer un rôle de premier plan dans la lutte contre le changement climatique.

6.2.1.7.3. Actions du personnel administratif pour réduire la consommation d'énergie à l'université : éteindre les appareils électriques inutilisés en quittant le bureau

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

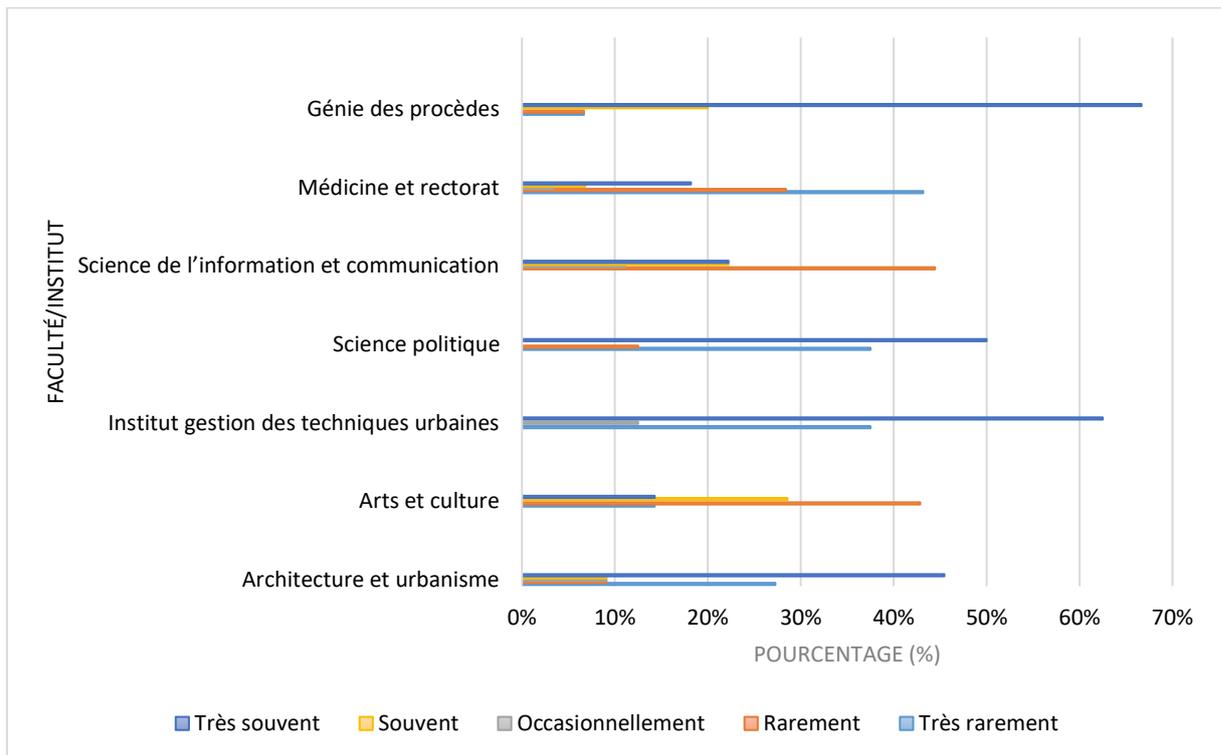


Figure 6.10 Actions personnelles pour réduire la consommation d'énergie à l'université : éteindre les appareils électriques inutilisés en quittant le bureau.

Source : auteure ,2024.

Cette figure montre les actions individuelles prises pour réduire la consommation d'énergie à l'université, en particulier l'habitude d'éteindre les appareils électriques inutilisés en quittant le bureau, selon chaque faculté ou institut. À la faculté d'architecture et d'urbanisme, la majorité des personnes éteignent très souvent les appareils, tandis qu'une minorité varie entre souvent, rarement et très rarement. À la faculté d'art et de culture, la majorité les éteint rarement, avec une minorité répartie entre très rarement, souvent et très souvent. À l'institut de gestion des techniques urbaines, la majorité les éteint très souvent, et la minorité se répartit entre occasionnellement et très rarement. À la faculté de science politique, la majorité les éteint très souvent, et la minorité les éteint rarement ou très rarement. À la faculté de science de l'information et de la communication, la majorité les éteint rarement, et la minorité varie entre très souvent et occasionnellement. À la faculté de médecine et au rectorat, la majorité les éteint très rarement, tandis que la minorité se répartit entre rarement, occasionnellement, souvent et très souvent. Enfin, à la faculté de génie des procédés, la majorité les éteint très souvent, avec une minorité qui les éteint souvent, rarement ou très rarement.

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

Les résultats révèlent des différences marquantes dans les pratiques d'économie d'énergie entre les diverses facultés de l'université. Les facultés d'architecture et d'urbanisme, de sciences politiques, de génie des procédés, ainsi que l'institut de gestion des techniques urbaines, montrent une grande attention à la consommation énergétique en éteignant fréquemment les appareils inutilisés, témoignant d'une forte conscience écologique.

En revanche, les facultés d'art et de culture, de science de l'information et de la communication, ainsi que la faculté de médecine et le rectorat, éteignent rarement les appareils, indiquant un besoin accru de sensibilisation à la consommation d'énergie. Ces disparités soulignent l'importance des actions personnelle pour réduire la consommation énergétique ainsi de mettre en place des initiatives ciblées pour encourager des comportements écoresponsables de manière uniforme à travers toute l'université.

6.2.1.7.4. Actions du personnel administratif pour réduire la consommation d'énergie à l'université : Réduction de la climatisation quand c'est possible.

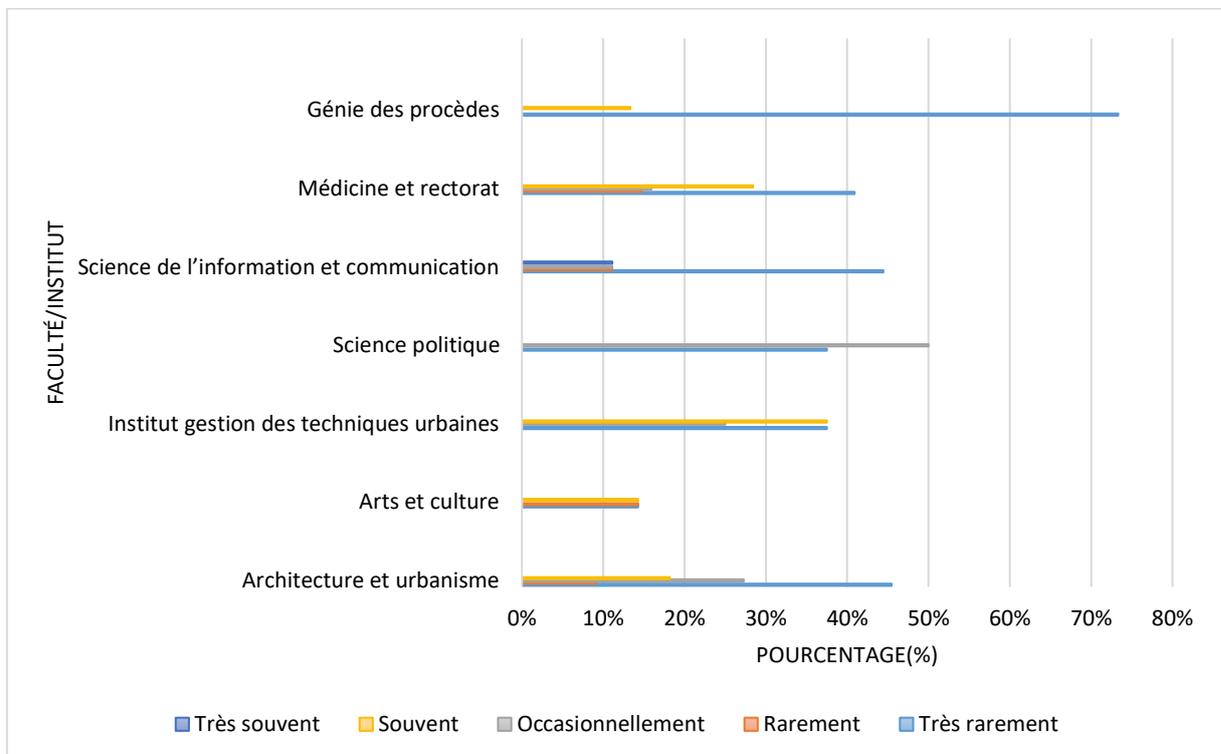


Figure 6.11 Actions personnelles pour réduire la consommation d'énergie à l'université : Réduction de la climatisation quand c'est possible.

Source : auteure ,2024.

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

Cette figure illustre les actions personnelles visant à réduire la consommation d'énergie à l'université, notamment en ajustant la climatisation lorsque cela est possible, selon chaque faculté ou institut. À la faculté d'architecture et d'urbanisme, le changement de température des climatiseurs se fait principalement très rarement, avec une minorité répartie entre rarement et souvent. À la faculté d'art et de culture, les réponses sont équitablement réparties entre rarement, souvent et très souvent. À l'institut de gestion des techniques urbaines, la majorité indique une réduction très fréquente ou rare, tandis que la minorité opte pour une fréquence occasionnelle. À la faculté de science politique, la majorité mentionne une fréquence occasionnelle, tandis que la minorité indique une fréquence très rare. À la faculté de science de l'information et de la communication, la majorité des réponses est très rare, et la minorité se répartit entre rarement, occasionnellement et très souvent. À la faculté de médecine et au rectorat, la majorité des réponses est très rare, avec une minorité répartie entre rarement et très souvent. Enfin, à la faculté de génie des procédés, la majorité des réponses est très rare, et la minorité indique une fréquence élevée.

Les résultats mettent en lumière des différences significatives dans la pratique de la réduction de la climatisation entre les facultés et institut de l'université. À la faculté d'architecture et d'urbanisme, à la faculté de médecine, au rectorat et à la faculté de génie des procédés, la climatisation est rarement ajustée, ce qui suggère une faible sensibilisation ou une priorité accordée au confort thermique. En revanche, l'institut de gestion des techniques urbaines se distingue par des ajustements fréquents de la climatisation, indiquant une meilleure compréhension des enjeux énergétiques.

La faculté d'art et de culture présente une répartition équilibrée des pratiques, reflétant une diversité d'attitudes parmi ses membres. Quant à la faculté de science politique et à la faculté de science de l'information et de la communication, elles montrent des ajustements occasionnels à très rares, signalant une prise de conscience modérée des enjeux énergétiques.

Ces variations mettent en évidence l'importance du comportement des employés administratifs sur la consommation énergétique. Elles soulignent également l'importance cruciale de la promotion d'un comportement écoresponsable. En effet, les actions quotidiennes des employés, telles que l'utilisation judicieuse des équipements de bureau et l'adoption de pratiques de réduction de la consommation énergétique, peuvent avoir un

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

impact significatif. Encourager une culture d'économie d'énergie au sein de l'administration n'est pas seulement bénéfique pour l'environnement, mais peut également entraîner des économies substantielles sur les coûts énergétiques.

6.2.1.7.5. Actions du personnel administratif pour réduire la consommation d'énergie à l'université : Utilisation des escaliers plutôt que de l'ascenseur au niveau du rectorat.

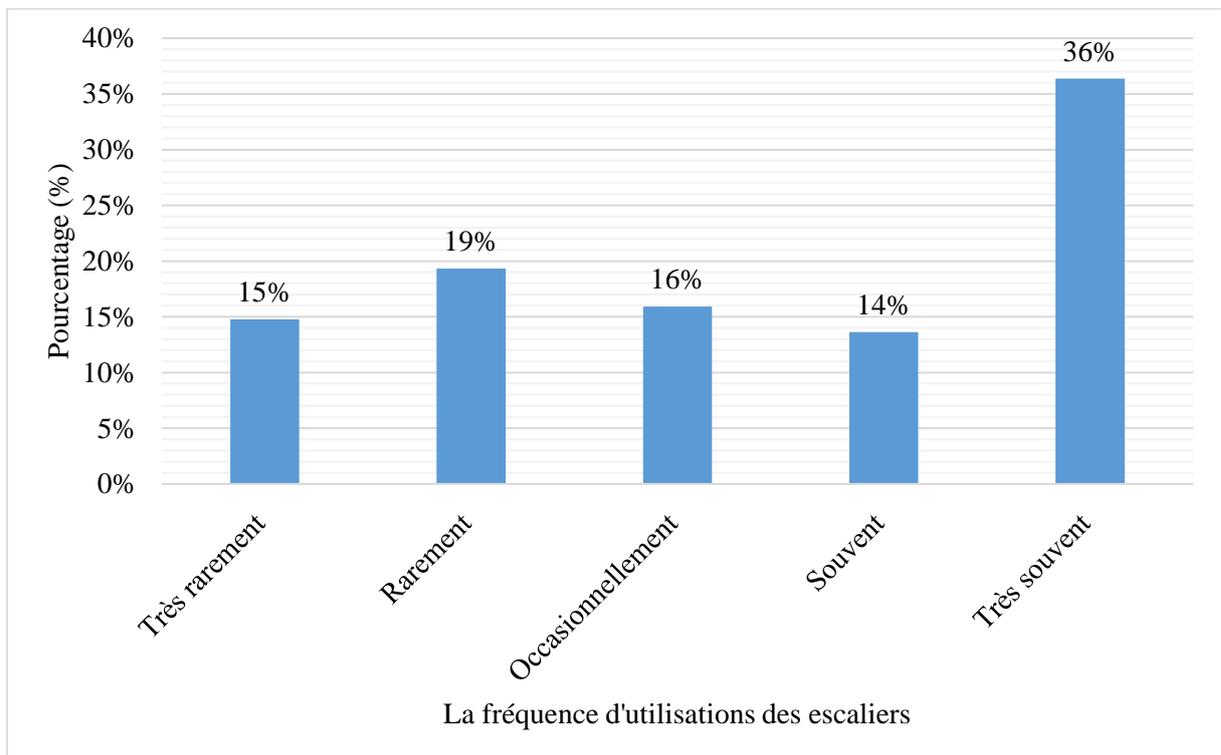


Figure 6.12 Actions personnelles pour réduire la consommation d'énergie à l'université : Utilisation des escaliers plutôt que de l'ascenseur au niveau du rectorat.

Source : auteure ,2024.

Cette figure illustre les actions personnelles pour réduire la consommation d'énergie à l'université, en particulier l'utilisation des escaliers plutôt que de l'ascenseur au rectorat. Nous constatons que la majorité des personnes utilisent très souvent les escaliers, suivies par une minorité qui les utilise rarement, puis occasionnellement, très rarement, et enfin souvent. Cette étude a été réalisée spécifiquement au rectorat, où l'ascenseur est disponible pour les occupants.

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

Selon Les résultats obtenus et les interviews avec les employés montrent que la majorité préfère utiliser les escaliers plutôt que l'ascenseur. Cela peut s'expliquer par la faible hauteur des bureaux, situés entre le premier et le deuxième étage, ou par une phobie des ascenseurs. Ou par des pannes fréquentes de l'ascenseur. Il est intéressant de noter que cette préférence ne semble pas être motivée par une volonté de réduire la consommation d'énergie. Une part importante des personnes utilise rarement les escaliers, tandis qu'une minorité les utilise de manière occasionnelle à fréquente.

L'utilisation des escaliers au lieu de l'ascenseur présente plusieurs avantages importants. D'une part, elle contribue à réduire la consommation d'énergie, car les ascenseurs sont des équipements énergivores, surtout lorsqu'ils sont utilisés fréquemment. D'autre part, prendre les escaliers favorise l'exercice physique, ce qui est bénéfique pour la santé des employés. En outre, l'adoption de cette pratique peut inspirer d'autres membres de la communauté universitaire à suivre cet exemple, créant ainsi une culture de durabilité et de bien-être.

En conclusion, bien que la majorité des employés au rectorat préfèrent utiliser les escaliers pour des raisons autres que la conservation d'énergie, il est essentiel de continuer à promouvoir cette habitude. Sensibiliser le personnel aux avantages énergétiques et sanitaires de l'utilisation des escaliers pourrait renforcer cette pratique et contribuer à un environnement plus durable et plus sain.

6.2.1.8. Degré de Connaissances des notions énergétiques

Dans cette partie, nous avons évalué les employés administratifs de chaque faculté et institut en fonction de leurs connaissances sur les notions énergétiques.

6.2.1.8.1. Connaissance de la notion transition énergétique

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

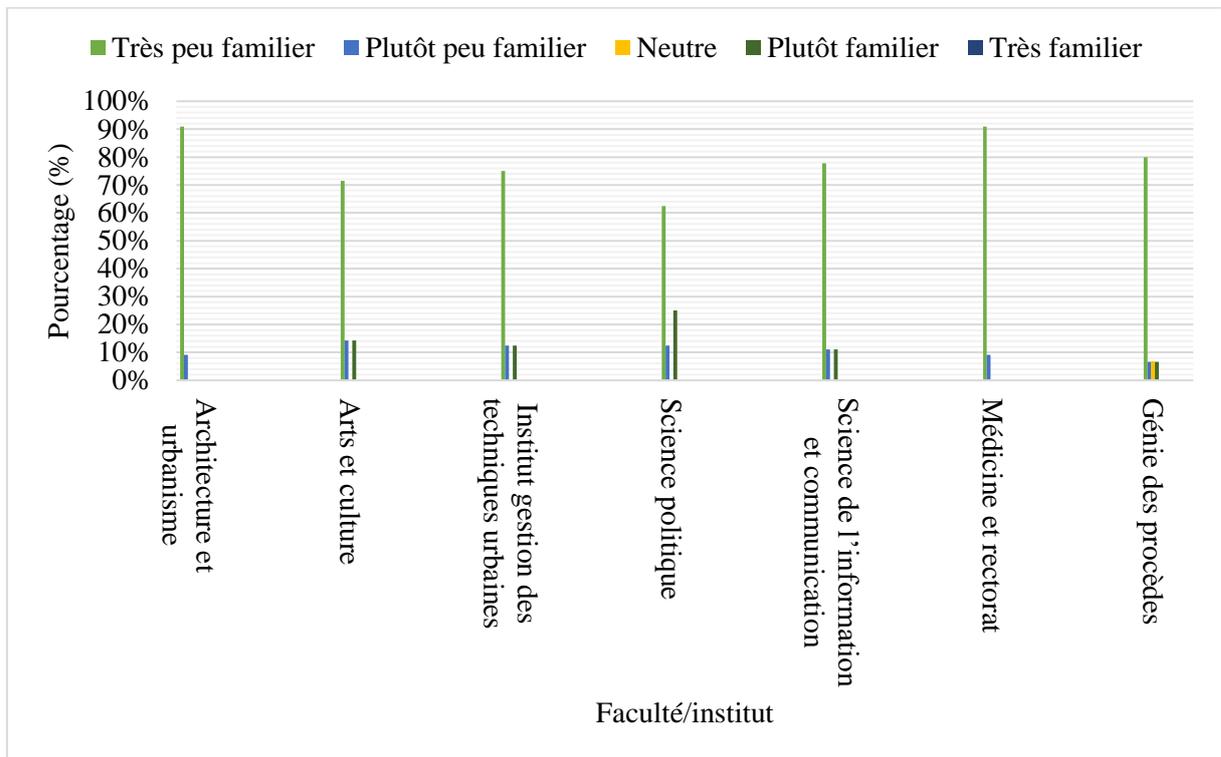


Figure 6.13 Connaissance de la notion transition énergétique par les employés administratifs.

Source : auteure ,2024.

Cette figure illustre la familiarité des employés administratifs avec la notion de transition énergétique dans chaque faculté et institut.

À la faculté d'architecture et d'urbanisme, ainsi qu'à la faculté de médecine et au rectorat, la majorité des employés se déclarent très peu familiers avec ce concept, tandis qu'une minorité se considère plutôt peu familière. À la faculté d'art et de culture, à l'institut de gestion des techniques urbaines, à la faculté de science politique, et à la faculté de science de l'information et de la communication, la majorité des employés se disent également très peu familiers, avec une minorité répartie entre plutôt peu familiers et plutôt familiers. À la faculté de génie des procédés, la majorité se dit très peu familière, tandis que la minorité se répartit entre plutôt peu familiers, neutres, et plutôt familiers.

Les résultats montrent que les employés administratifs de l'université ont une connaissance limitée de la transition énergétique. Cette tendance est particulièrement marquée à toutes les facultés et institut. La connaissance de la transition énergétique joue un rôle clé dans la promotion de pratiques écoresponsables. Elle permet aux employés de

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

comprendre l'importance des actions quotidiennes, comme l'extinction des lumières et des appareils électriques lorsqu'ils ne sont pas utilisés, et l'ajustement des climatiseurs pour une efficacité énergétique optimale. En renforçant cette compréhension, l'université peut non seulement améliorer ses performances énergétiques, mais aussi servir d'exemple de durabilité pour ses étudiants et la communauté environnante.

6.2.1.8.2. Connaissance de la notion maîtrise de l'énergie

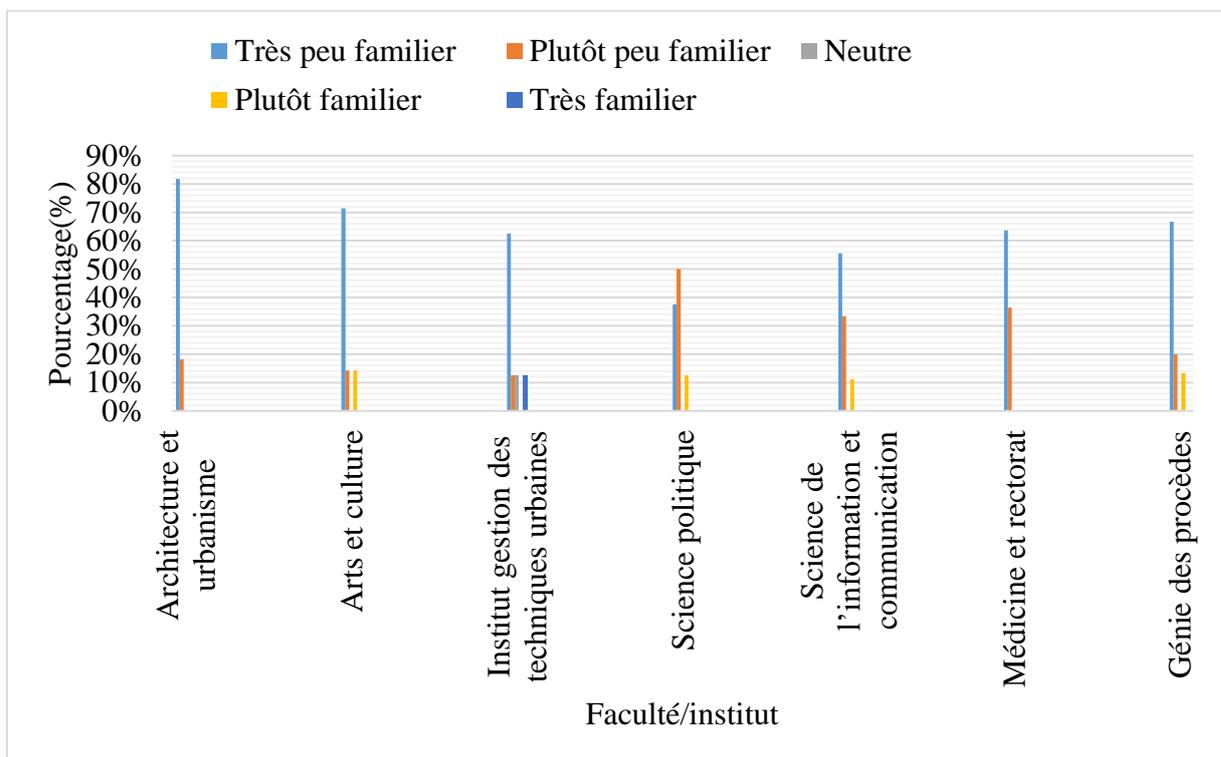


Figure 6.14 Connaissance de la notion maîtrise de l'énergie par les employés administratifs.

Source : auteure ,2024.

Ce graphique illustre la connaissance de la notion de maîtrise de l'énergie par le personnel administratif au sein des facultés et institut. Nous constatons qu'à la faculté d'architecture et d'urbanisme, à la faculté de médecine, et au rectorat, la majorité des employés indiquent que cette notion est très peu familière, avec une minorité se déclarant plutôt peu familière. À la faculté d'art et de culture, à la faculté de science de l'information et de la communication, à la faculté de génie des procédés, et au rectorat, les réponses montrent également une majorité très peu familière avec cette notion, tandis que la minorité se répartit entre plutôt peu familière et plutôt familière. À l'institut de gestion des techniques

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

urbaines, la majorité des réponses est très peu familière, avec une minorité variée entre plutôt peu familière, neutre et très familière. Enfin, à la faculté de science politique, la majorité des employés se dit plutôt peu familière avec la notion, avec une minorité répartie entre très peu familière et plutôt familière.

Ces résultats révèlent donc une assez faible connaissance de cette notion de maîtrise de l'énergie, à l'image de la connaissance de la transition énergétique, bien que révélant une variabilité plus forte selon les facultés et institut. La connaissance de la maîtrise de l'énergie joue un rôle crucial dans la promotion de comportements écoresponsables. Elle permet aux employés de comprendre l'impact de leurs actions sur la consommation d'énergie et l'environnement. En sensibilisant le personnel à ces enjeux, l'université peut améliorer ses performances énergétiques, réduire ses coûts opérationnels et diminuer son empreinte carbone. De plus, une meilleure compréhension de la maîtrise de l'énergie peut inspirer une culture de durabilité au sein de la communauté universitaire, favorisant un environnement plus conscient et respectueux des ressources.

6.2.1.8.3. Connaissance de la notion économie de l'énergie

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

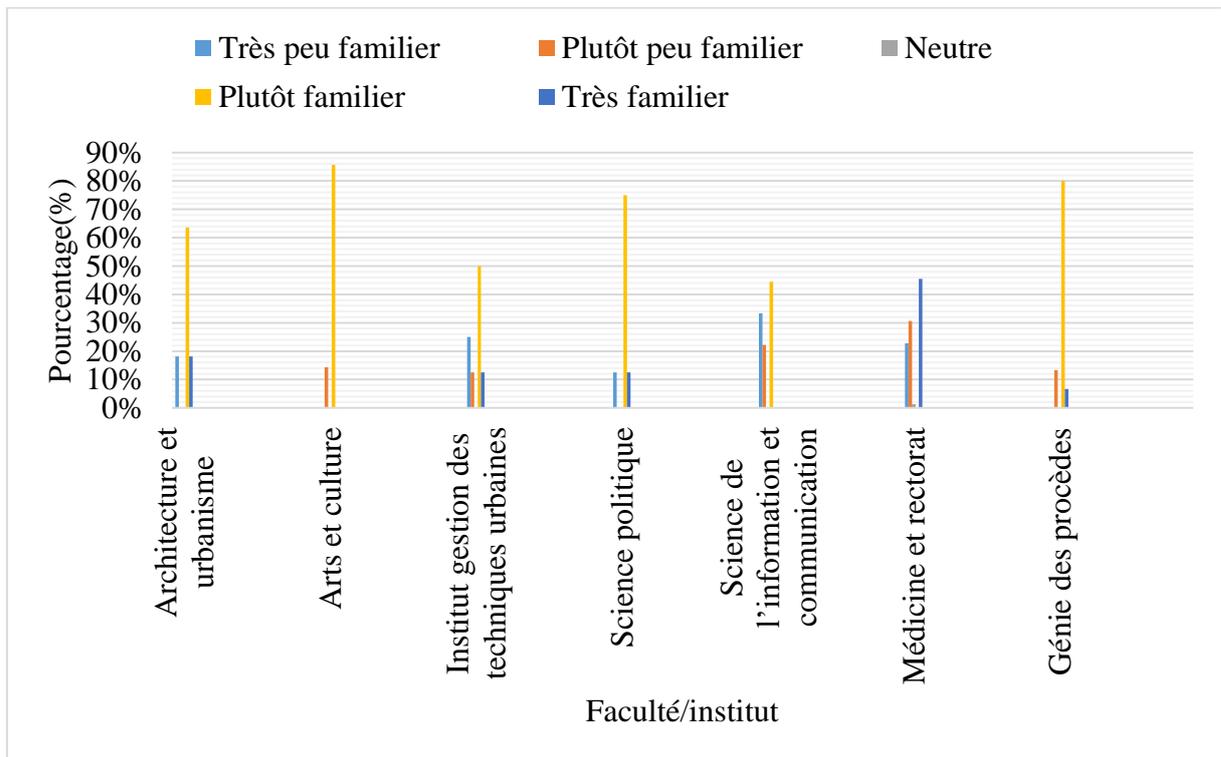


Figure 6.15 Connaissance de la notion économie de l'énergie par les employés administratifs.

Source : auteure, 2024.

Cette figure présente la connaissance de la notion d'économie d'énergie parmi les employés administratifs. Nous constatons qu'à la faculté d'architecture et d'urbanisme ainsi qu'à la faculté de sciences politiques, la majorité des personnes interrogées se disent plutôt familières avec cette notion, tandis qu'une minorité se répartit entre très peu familières et très familières. À la faculté d'art et culture, la plupart se déclarent plutôt familières, avec une minorité peu familière. À l'institut de gestion des techniques urbaines, la majorité se dit plutôt familière, et la minorité varie entre très peu familière, plutôt peu familière, et très familière. À la faculté de science de l'information et de la communication, la majorité des personnes interrogées se déclarent plutôt familières, avec une minorité répartie entre plutôt peu familières et très peu familières. À la faculté de médecine et au rectorat, la majorité se déclare très familière, tandis que la minorité se répartit entre neutre, plutôt peu familière, et très peu familière. Enfin, à la faculté de génie des procédés, la majorité des personnes interrogées se disent plutôt familières, avec une minorité très peu familière.

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

Les résultats montrent une variation notable dans la familiarité avec la notion d'économie d'énergie parmi les employés administratifs. Cette connaissance est encourageante car elle indique que les employés administratifs comprennent modérément cette notion, qui est cruciale pour réduire la consommation énergétique et les émissions de CO₂, ainsi que pour promouvoir des comportements écoresponsables et efficaces sur le plan énergétique. En sensibilisant davantage le personnel à l'importance de l'économie d'énergie, l'université peut améliorer ses performances énergétiques, réduire ses coûts opérationnels et promouvoir une culture de durabilité. Une meilleure compréhension de l'économie d'énergie peut également inspirer des initiatives individuelles et collectives pour adopter des pratiques plus respectueuses des ressources, renforçant ainsi l'engagement de l'université envers la durabilité.

6.2.1.9. Connaissance du programme national 2016-2030 sur l'efficacité énergétique.

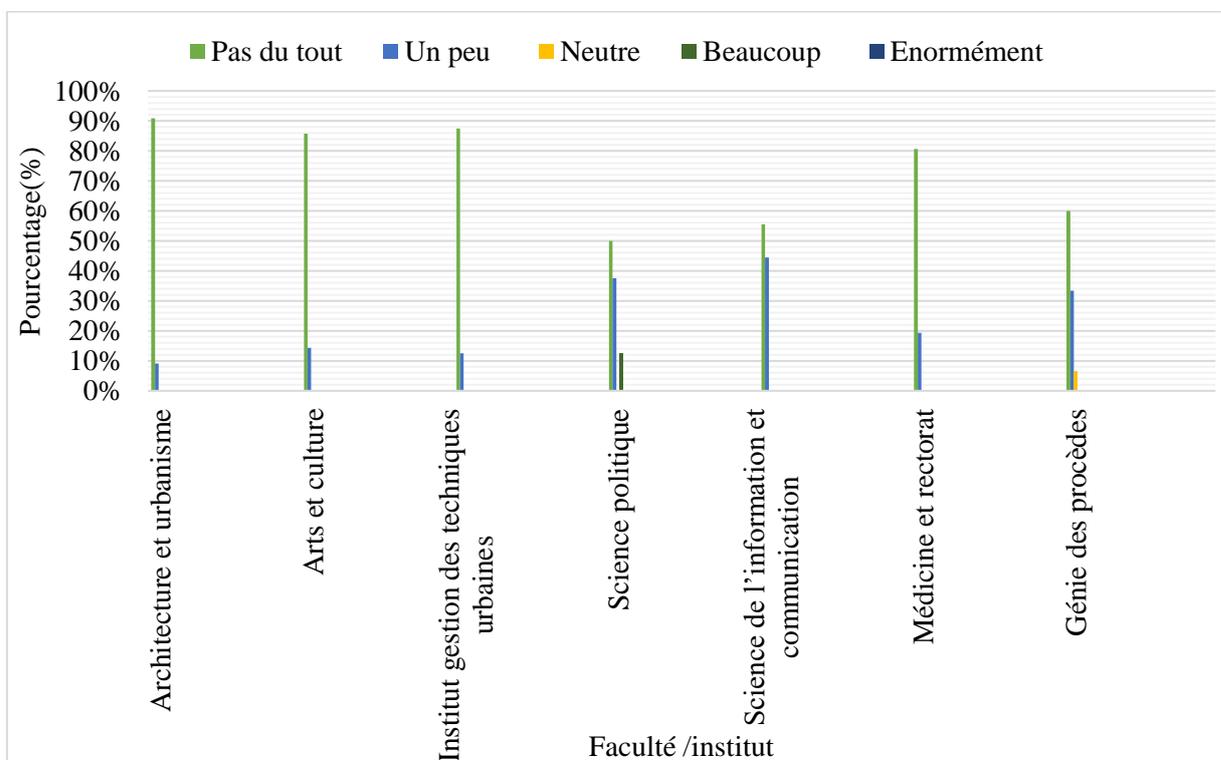


Figure 6.16 Connaissance du programme national 2016-2030 sur l'efficacité énergétique.
Source : auteure ,2024.

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

Cette figure présente la connaissance des employés administratifs concernant le programme national 2016-2030 sur l'efficacité énergétique. Nous constatons que, dans les facultés d'architecture et d'urbanisme, d'art et de culture, de gestion des techniques urbaines, de science de l'information et de la communication, ainsi qu'à la faculté de médecine et au rectorat, la majorité des employés déclarent n'avoir aucune connaissance de ce programme, tandis qu'une minorité le connaît quelque peu. À la faculté de science politique, la majorité des employés ignorent également ce programme, avec une minorité répartie entre ceux qui en ont une connaissance partielle et complète. Enfin, à la faculté de génie des procédés, la majorité des employés ne sont pas familiers avec le programme, avec une minorité le connaissant partiellement et quelques-uns restant neutres.

Les résultats montrent une connaissance très limitée du programme national 2016-2030 sur l'efficacité énergétique parmi les employés administratifs de l'université. Dans la plupart des facultés et institut, cette connaissance limitée révèle un manque d'information et de sensibilisation concernant ce programme, qui est pourtant crucial pour l'efficacité énergétique à l'échelle nationale. Connaître les projets et les initiatives du pays dans le domaine de l'efficacité énergétique est essentiel pour encourager la réduction de la consommation d'énergie.

Ces résultats soulignent un besoin urgent de sensibilisation et de formation pour promouvoir des pratiques énergétiques plus efficaces et durables au sein de l'université. En augmentant la connaissance et la compréhension de ce programme, l'université peut non seulement améliorer ses performances énergétiques, mais aussi jouer un rôle actif dans la promotion de la durabilité à l'échelle nationale.

6.2.1.10. La Prédilection des Employés à Modifier Leurs Comportements.

Dans cette section, nous allons examiner la capacité et la volonté des employés à modifier leur comportement de consommation énergétique, ainsi qu'à apprendre et appliquer les bonnes pratiques pour consommer moins d'énergie.

6.2.1.10.1. Capacité à modifier les comportements de consommation énergétique sur le campus universitaire

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

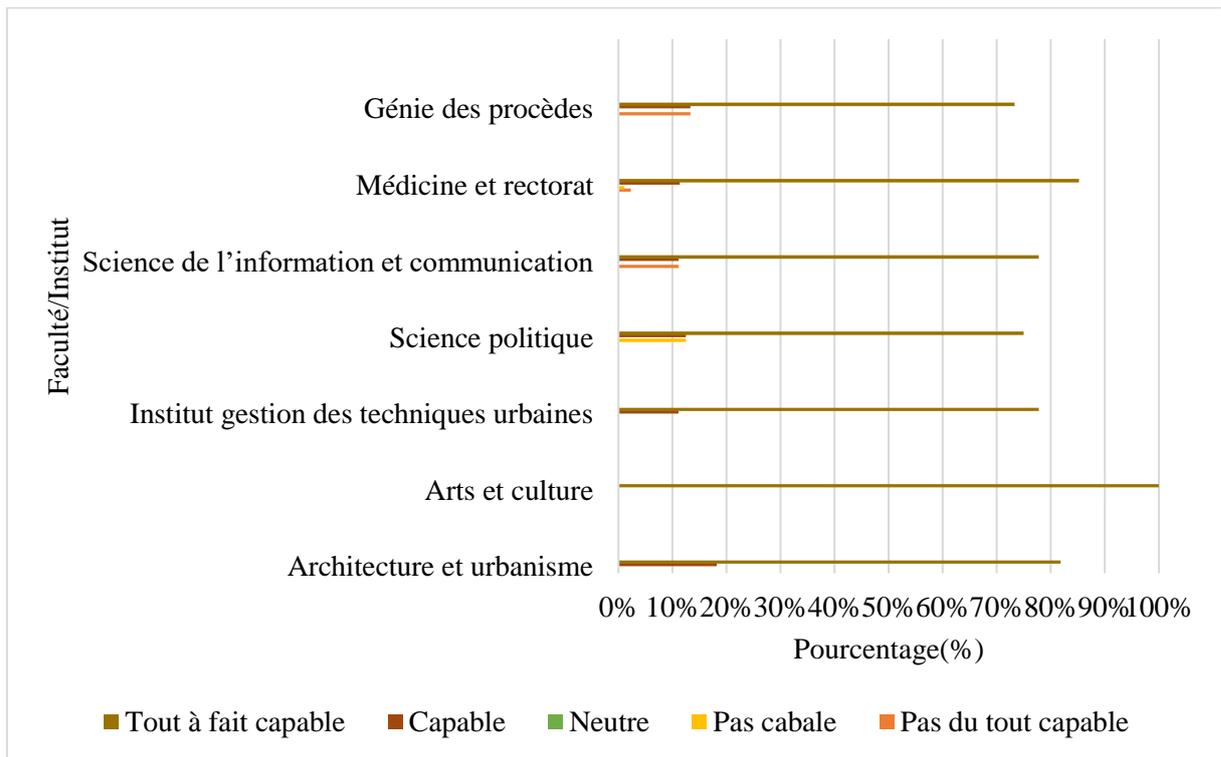


Figure 6.17 Capacité à modifier les comportements de consommation énergétique sur le campus universitaire.

Source : auteure, 2024.

Cette illustration montre la capacité à modifier les comportements de consommation énergétique sur le campus universitaire. Nous constatons qu'à la faculté d'architecture et d'urbanisme, ainsi qu'à l'institut de gestion des techniques urbaines, la majorité des employés se disent tout à fait aptes à changer leurs comportements, avec une minorité affirmant également être capables. À la faculté d'art et de culture, la plupart des employés se considèrent tout à fait aptes. À la faculté de science politique, la majorité se dit tout à fait capable de changer, avec une minorité répartie entre capables et incapables. À la faculté de science de l'information et de la communication et à la faculté de génie des procédés, la majorité se déclare tout à fait apte, avec une minorité variée entre capables et pas du tout capables. Enfin, à la faculté de médecine et au rectorat, la majorité des employés se déclarent tout à fait aptes à modifier leur comportement, avec une minorité se répartissant entre capables, incapables, et pas du tout capables.

Les résultats montrent une forte volonté et une capacité des employés à modifier leurs comportements de consommation énergétique sur le campus universitaire. Dans la plupart

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

des facultés et institut, ces résultats indiquent une base solide pour la mise en œuvre de programmes de sensibilisation et de formation visant à promouvoir des pratiques énergétiques durables, tout en soulignant la nécessité de soutenir les employés moins capables à changer.

6.2.1.10.2. Capacité à apprendre à consommer moins d'énergie

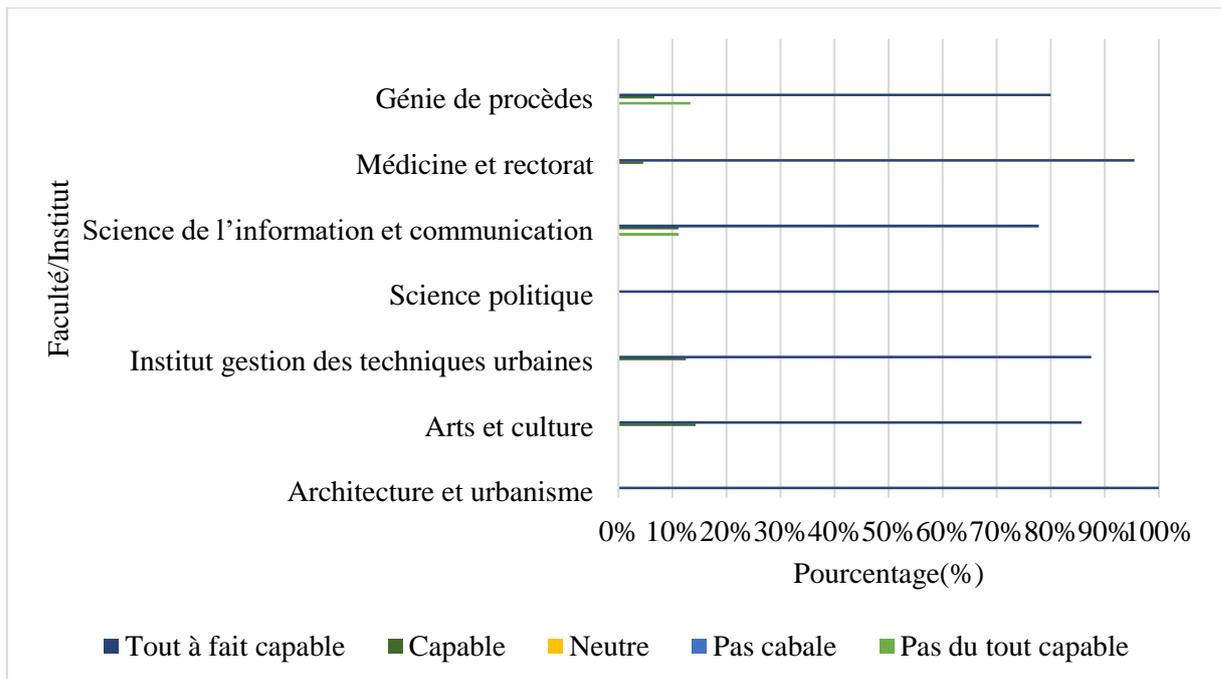


Figure 6.18 Capacité à apprendre à consommer moins d'énergie.

Source : auteure, 2024.

Cette illustration présente la capacité des employés administratifs à apprendre à consommer moins d'énergie sur le campus universitaire. Nous constatons qu'à la faculté d'architecture et d'urbanisme, ainsi qu'à la faculté de science politique, la majorité des employés se disent tout à fait aptes. À la faculté d'art et de culture, à l'institut de gestion des techniques urbaines, et à la faculté de médecine et au rectorat, la plupart des employés se considèrent entièrement capables, tandis qu'une minorité se déclare également apte. À la faculté de science de l'information et de la communication et à la faculté de génie des procédés, la majorité des employés se disent tout à fait aptes, avec une minorité variée entre capables et pas du tout capables.

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

Les résultats montrent une forte volonté et capacité des employés administratifs à apprendre à consommer moins d'énergie sur le campus universitaire. Ces résultats indiquent une disposition positive à suivre et appliquer les programmes de formation et de sensibilisation sur la consommation énergétique, tout en offrant un soutien ciblé pour les employés moins confiants.

6.2.1.10.3. Capacité à appliquer les bonnes pratiques pour réduire la consommation d'énergie sur le campus universitaire.

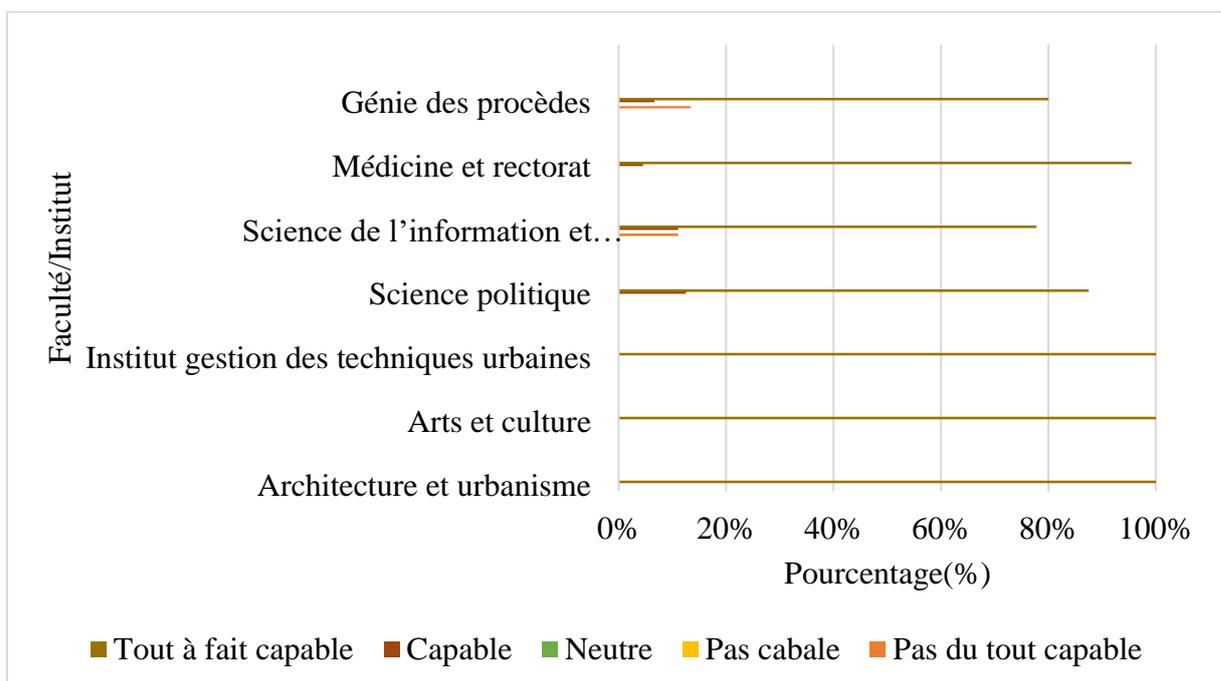


Figure 6.19 Capacité à appliquer les bonnes pratiques pour réduire la consommation d'énergie sur le campus universitaire.

Source : auteure, 2024.

Ce graphique présente la capacité des employés à adopter des pratiques visant à réduire la consommation d'énergie sur le campus universitaire. Nous constatons que les employés de la faculté d'architecture et d'urbanisme, de la faculté d'art et de culture, et de l'institut de gestion des techniques urbaines se considèrent tous tout à fait aptes à appliquer ces mesures. À la faculté de science politique, ainsi qu'à la faculté de médecine et au rectorat, la majorité des employés se disent entièrement capables de suivre ces pratiques, avec une minorité également confiante. À la faculté de science de l'information et de la

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

communication et à la faculté de génie des procédés, la majorité des employés se déclarent tout à fait aptes, tandis que la minorité se répartit entre capables et pas du tout capable.

Ces résultats montrent une disposition générale positive à adopter des pratiques énergétiques durables, tout en mettant en évidence la nécessité d'un soutien ciblé pour les employés moins confiants afin de garantir une adoption uniforme des bonnes pratiques énergétiques sur l'ensemble du campus.

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

Conclusion

Ce chapitre a mis en lumière l'importance des comportements des occupants sur la consommation énergétique à l'échelle internationale, en se basant sur des études menées dans divers pays qui montrent l'influence significative de ces comportements. Nous avons ensuite examiné les comportements des employés administratifs de l'université, révélant des variations notables entre les différentes facultés et instituts.

Une étude empirique sur les comportements des employés administratifs de l'Université Constantine 3 a été réalisée, évaluant divers aspects : les pratiques de consommation énergétique, les comportements associés, les connaissances énergétiques et la prédisposition des employés à modifier leurs comportements.

Les résultats montrent que les appareils électriques les plus utilisés dans toutes les facultés et instituts sont les ordinateurs, les imprimantes et les climatiseurs. La plupart des employés administratifs ne coupent pas les appareils inutilisés, même pendant la pause déjeuner. En outre, certains ne coupent pas les ordinateurs et parfois l'éclairage, tandis que les climatiseurs sont très rarement laissés allumer pendant les journées off. La majorité des employés utilisent les climatiseurs pendant plus de six heures par jour, avec des températures souvent réglées entre 22 et 24 degrés Celsius. Bien que beaucoup d'employés déclarent être conscients des enjeux énergétiques, les résultats montrent le contraire. Les actions personnelles pour réduire la consommation énergétique sont faibles, sauf pour l'éclairage, qui est souvent éteint, et l'utilisation des escaliers plutôt que des ascenseurs, motivée par la faible hauteur des bureaux, la phobie des ascenseurs ou des pannes fréquentes.

Les connaissances des employés sur des concepts clés comme la transition énergétique, la maîtrise de l'énergie et les programmes nationaux d'efficacité énergétique sont globalement limitées, indiquant un besoin urgent de programmes de formation et de sensibilisation. Cette lacune en matière de connaissances souligne l'importance d'une éducation continue pour promouvoir des comportements écoresponsables et une compréhension uniforme des enjeux énergétiques à travers toute l'université. La sensibilisation aux enjeux écologiques est donc un levier essentiel. En augmentant la prise de conscience et la compréhension des employés sur ces sujets, il devient possible de les motiver à adopter des pratiques plus respectueuses de l'environnement.

CHAPITRES VI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU PERSONNEL ADMINISTRATIF SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE

Les résultats montrent également une volonté et une capacité des employés à apprendre et à appliquer de nouvelles pratiques pour réduire leur consommation d'énergie. La majorité se déclare tout à fait capable de changer ses habitudes, bien qu'une minorité se sente moins confiante.

En conclusion, il est essentiel de mettre en place des initiatives ciblées de formation et d'éducation aux bonnes pratiques pour réduire la consommation énergétique, ainsi que de sensibilisation pour uniformiser les pratiques énergétiques durables au sein de l'université. En soutenant les employés moins confiants et en renforçant les connaissances sur les notions énergétiques, l'université peut progresser vers une gestion énergétique plus efficace et responsable.

CONCLUSIONS GÉNÉRALE

CONCLUSIONS GÉNÉRALE

L'université Salah Boubnider Constantine 3, l'un des plus grands pôles universitaires en Afrique, comprend six facultés, un institut et un rectorat. L'objectif de cette recherche était de réaliser un audit énergétique détaillé dans le secteur tertiaire et d'évaluer l'impact environnemental de la consommation énergétique en identifiant les points de consommation d'énergie et les opportunités d'économies d'énergie. Le but ultime est de réduire la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre, conformément aux exigences de la politique nationale algérienne sur l'efficacité énergétique et la maîtrise de l'énergie.

À la fin de cette étude, nous avons pu répondre à plusieurs questions clés : L'université Salah Boubnider Constantine 3 dépasse-t-elle le seuil de consommation de 500 TEP précisé par le Décret exécutif n°05-495, obligeant les établissements grands consommateurs d'énergie à réaliser un audit énergétique ? Quel sont les facultés ou institut de l'Université qui sont les plus gros consommateurs d'énergie et les plus gros émetteurs de CO₂ ? Quelles sont les opportunités d'amélioration de l'efficacité énergétique à l'université Salah Boubnider Constantine 3 ?

Pour répondre à ces questions et vérifier les hypothèses, nous avons mis en place un processus théorique, analytique, empirique et numérique, combinant plusieurs méthodes pour trouver la plus adaptée aux objectifs de cette recherche.

L'analyse théorique a permis d'identifier les définitions, normes et étapes de l'audit énergétique, approfondissant ainsi notre compréhension de ce processus. L'audit énergétique examine la consommation d'énergie dans les bâtiments, identifie les inefficacités et repère les opportunités d'amélioration, essentielles pour augmenter l'efficacité énergétique et réduire les émissions de gaz à effet de serre. Nous avons également exploré l'importance des outils de simulation numérique pour évaluer la performance énergétique des bâtiments, en choisissant le logiciel de simulation thermique CoDyBa. Ce logiciel a permis une analyse précise et fiable des économies d'énergie envisageables, prenant en compte de nombreuses variables et conditions environnementales.

L'analyse des données obtenues à travers les factures de gaz et d'électricité et l'inventaire des équipements nous a permis de constater que l'université dépasse le seuil de 500 TEP imposé par le décret, avec une consommation totale de 1550,93 TEP. La faculté de

CONCLUSIONS GÉNÉRALE

médecine et le rectorat se sont avérés être les plus grands consommateurs d'énergie et les plus importants émetteurs de CO₂.

Nous avons également identifié un surdimensionnement de l'éclairage dans plusieurs facultés et instituts, où la consommation de l'éclairage seule dépasse celle affichée sur les factures. Une réduction du nombre de lampes utilisées a été proposée. Un benchmark entre les facultés a révélé que la faculté de génie des procédés présente une intensité énergétique plus élevée en raison de la présence de laboratoires énergivores.

Ces résultats confirment nos deux hypothèses : « Il est probable que l'université Salah Boubnider Constantine 3 dépasse le seuil de consommation de 500 TEP stipulé par le Décret exécutif n°05-495, nécessitant ainsi la réalisation d'un audit » et « La faculté de médecine et le rectorat semblent être les principaux consommateurs d'énergie et émetteurs de CO₂, en raison de leur grande taille et du nombre élevé d'étudiants et de personnel administratif. »

Les simulations thermiques de la faculté d'architecture et d'urbanisme, réalisées avec CoDyBa, ont montré que des mesures telles que l'installation de double vitrage, l'isolation des murs extérieurs, et la modification des consignes de climatisation et de chauffage à 26 et 19 degrés respectivement, peuvent réduire significativement la consommation énergétique. Par exemple, mettre le climatiseur à 26 degrés pourrait réduire la consommation énergétique de 46 % sans coût initial.

À la lumière de ces résultats, nous confirmons notre dernière hypothèse : « Si l'université Salah Boubnider Constantine 3 mettait en œuvre plusieurs mesures d'efficacité énergétique, elle pourrait réduire de manière significative sa consommation d'énergie. Par exemple, le renforcement de l'isolation thermique des murs extérieurs permettrait de diminuer les pertes de chaleur de 51 % à 60 %, tandis que l'installation de double vitrage pourrait réduire les besoins énergétiques des fenêtres de 20 %. De plus, en abaissant la consigne de chauffage à 19 °C, une réduction de la consommation énergétique de l'ordre de 20 % serait envisageable, et l'ajustement des températures de climatisation à une consigne de 26 °C pourrait entraîner une réduction allant jusqu'à 46 %. Une optimisation de l'éclairage, notamment par une réduction et une réorganisation des lampes, contribuerait également à une diminution notable de la consommation électrique globale. ».

En somme, l'étude a démontré que l'amélioration de l'efficacité énergétique à l'université Salah Boubnider Constantine 3 est non seulement possible mais aussi nécessaire

CONCLUSIONS GÉNÉRALE

pour réduire les coûts énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre, tout en répondant aux exigences de la politique nationale algérienne sur l'efficacité énergétique

Une étude empirique sur les comportements des employés administratifs de l'Université Constantine 3 a été réalisée, couvrant les pratiques de consommation énergétique, les comportements associés, les connaissances énergétiques et la prédisposition à modifier leurs comportements. Les résultats ont montré que la majorité des employés ne sont pas conscients aux enjeux énergétiques. Les résultats montrent également une volonté et une capacité des employés à apprendre et à appliquer de nouvelles pratiques pour réduire leur consommation d'énergie.

Selon les résultats obtenus dans cette étude, plusieurs opportunités d'économie d'énergie et d'amélioration de l'efficacité énergétique de l'université Salah Bounider Constantine 3 ont été identifiées :

- **Installation de systèmes de régulation et d'automatisation pour le chauffage :** Cela permettrait de mieux contrôler et optimiser l'utilisation de gaz dans toutes les facultés et institut. Actuellement, certaines salles inoccupées ont des radiateurs très chauds, et il fait parfois très chaud même en plein hiver en raison du changement climatique, ce qui constitue un gaspillage de gaz. Une gestion plus fine permettrait des économies significatives.
- **Réduction du nombre de luminaires :** Il est recommandé de réduire le nombre de luminaires utilisés et de les remplacer par des LED, comme certaines facultés ont déjà commencé à le faire.
- **Installation de détecteurs de mouvement :** Ces détecteurs pour l'éclairage des couloirs et des sanitaires aideraient à réduire la consommation d'énergie en éteignant les lumières automatiquement lorsqu'elles ne sont pas nécessaires.
- **Installation de double vitrage et isolation thermique :** L'installation de double vitrage et l'utilisation d'isolation thermique pour les murs extérieurs contribueraient à réduire les pertes de chaleur.
- **Campagnes de sensibilisation :** Organiser des campagnes de sensibilisation pour encourager les comportements économes en énergie parmi les employés administratifs.

CONCLUSIONS GÉNÉRALE

- **Formations pour les employés** : Former les employés administratifs aux bonnes pratiques de consommation d'énergie pour adopter des habitudes qui réduisent la consommation.
- **Systèmes de gestion de l'énergie intelligents** : Utiliser des systèmes capables d'éteindre ou de mettre en mode économie d'énergie les ordinateurs et imprimantes inactifs.

Limites de la Recherche

Durant cette recherche, plusieurs limites ont été rencontrées :

- **Matériel disponible** : L'absence de caméra thermique a limité notre capacité à détecter les ponts thermiques et les déperditions thermiques au niveau de l'enveloppe du bâtiment. Une caméra thermique permet de localiser précisément les points de déperdition énergétique, facilitant ainsi la mise en place de mesures correctives pour améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment. Sans cet outil, il a été difficile d'identifier précisément ces problèmes et de proposer des solutions adaptées.
- **Logiciel de simulation spécialisé** : l'impossibilité d'accéder à un logiciel de simulation spécifique pour l'audit énergétique, tel que PERRENOUD BAO Évolutions, a limité la précision des résultats obtenus.
- **Accès aux données** l'obtentions des données avec une difficulté concernant la consommation énergétique des facultés et institut ont entravé notre capacité à réaliser une analyse complète. De plus, le manque de certaines données essentielles a nécessité la réalisation d'un inventaire, ce qui a retardé le processus et limité la profondeur de l'analyse.

Perspectives et Pistes de Recherche

En se basant sur les résultats obtenus et les différentes revues, plusieurs perspectives de recherche sont envisagées :

- **Étude approfondie sur l'utilisation des énergies renouvelables** : En particulier, une étude sur l'utilisation de l'énergie solaire serait bénéfique. Il s'agirait d'évaluer

CONCLUSIONS GÉNÉRALE

la capacité des panneaux solaires et la quantité d'énergie produite pour couvrir les besoins de l'université. Cela inclut l'analyse du potentiel de production d'énergie solaire, des coûts d'installation, de l'intégration au réseau existant, et des économies à long terme.

- **Création d'un label algérien de performance énergétique pour les bâtiments tertiaires** : Développer un label pour évaluer et certifier la performance énergétique des bâtiments tertiaires en Algérie. Ce label permettrait de standardiser les critères d'efficacité énergétique, d'encourager les pratiques durables et d'améliorer la transparence et la comparabilité des performances énergétiques entre les bâtiments.
- **Mesure et vérification continue de la consommation d'énergie** La mise en œuvre de systèmes de mesure continue permet de suivre la consommation d'énergie des bâtiments en temps réel. Les informations recueillies aident à identifier les tendances, à signaler les écarts et à ajuster les opérations et les efforts d'efficacité énergétique en conséquence.
- **Analyse de l'Impact Environnemental** L'analyse de l'impact environnemental des projets d'efficacité énergétique aide à quantifier les avantages en termes de réduction des émissions de CO₂ et de conservation des ressources naturelles. Ces études servent de support à l'analyse coût-efficacité des investissements en efficacité énergétique.
- **Mesure des Bénéfices Énergétiques Post- Inspection** Après la réalisation d'audits énergétiques, il est crucial d'évaluer les gains réels obtenus. Cette vérification établit que les mesures prises sont efficaces et permet les réglages pour atteindre les objectifs fixés.
- **Analyse comparative entre les bâtiments audités et non audités** La comparaison des performances énergétiques des bâtiments audités et non audités contribue à l'acquisition d'informations sur l'efficacité des audits énergétiques. Ce genre de comparaison peut établir l'efficacité des audits et être utilisé pour promouvoir l'audit

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR. (2004). *NF EN 12831*.
- AFNOR. (2022). *Norme européenne*.
- Ahamed, M. S., Guo, H., & Tanino, K. (2020). Modeling heating demands in a Chinese-style solar greenhouse using the transient building energy simulation model TRNSYS. *Journal of Building Engineering*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101114>
- Al Rashdi, S. A., Sudhir, C. V., Basha, J. S., Saleel, C. A., Soudagar, M. E. M., Yusuf, A. A., El-Shafay, A. S., & Afzal, A. (2022). A case study on the electrical energy auditing and saving techniques in an educational institution (IMCO, Sohar, Oman). *Case Studies in Thermal Engineering*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.101820>
- Al Thumann, P. E. C. E. M., William J. Younger, C. E. M. C. B. E. P., & Terry Niehus, P. E. C. E. M. (2010). *Handbook en Energy Audits* (The Fairmont Press, Ed.; Eighth). <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/17412/2/93.pdf.pdf>
- Alajmi, A. (2012). Energy audit of an educational building in a hot summer climate. *Energy and Buildings*, 47, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.033>
- Allab, Y., Pellegrino, M., Guo, X., Nefzaoui, E., & Kindinis, A. (2017). Energy and comfort assessment in educational building: Case study in a French university campus. *Energy and Buildings*, 143, 202–219. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.028>
- Allouhi, A., El Fouih, Y., Kousksou, T., Jamil, A., Zeraoui, Y., & Mourad, Y. (2015). Energy consumption and efficiency in buildings: Current status and future trends. *Journal of Cleaner Production*, 109, 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.139>
- Al-Saadi, S. N. J., Ramaswamy, M., Al-Rashdi, H., Al-Mamari, M., & Al-Abri, M. (2017). Energy Management Strategies for a Governmental Building in Oman. *Energy Procedia*, 141, 206–210. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.039>
- Anne V. T. Whyte, & Ian Burton. (1980). Environmental Risk. In J. Wiley (Ed.), *Environmental Risk Assessment* ((SCOPE) and (ICSU), pp. 1–13).
- Anzi, A. Al, & Al-Shammeri, B. (2010). *Energy Saving Opportunities Using Building Energy Simulation for a typical Mosque in Kuwait*. <http://www.asme.org/about-asme/terms-of-use>
- APRUE. (2017). *LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE FINALE*. www.aprue.org.dz
- ASHRAE. (2018). *Standard for Commercial Building Energy Audits*. www.ashrae.org/technology.
- Ashrae. (2021). *ANSI/ASHRAE Addendum a to ANSI/ASHRAE Standard 169-2020*. www.ashrae.org.
- Attia, S. G., & De Herde, A. (2011). EARLY DESIGN SIMULATION TOOLS FOR NET ZERO ENERGY BUILDINGS: A COMPARISON OF TEN TOOLS. *12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November*. .
- Baniyounes, A. M., Ghadi, Y. Y., & Baker, A. A. (2019). Institutional smart buildings energy audit. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 9(2), 783–788. <https://doi.org/10.11591/ijece.v9i2.pp.783-788>
- Barthelmes, V. M., Becchio, C., & Corgnati, S. P. (2016). Occupant behavior lifestyles in a residential nearly zero energy building: Effect on energy use and thermal comfort. *Science*

BIBLIOGRAPHIE

- and Technology for the Built Environment*, 22(7), 960–975.
<https://doi.org/10.1080/23744731.2016.1197758>
- Bergero, S., & Chiari, A. (2021). Validation and calibration of dynamic energy models: energy audit of a public building. *Journal of Physics: Conference Series*, 2116(1).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2116/1/012107>
- Brun, A., Spitz, C., Wurtz, E., & Mora, L. (2009). BEHAVIOURAL COMPARISON OF SOME PREDICTIVE TOOLS USED IN A LOW-ENERGY BUILDING. *Eleventh International IBPSA Conference Glasgow, Scotland*.
- Budaiwi, I., & Abdou, A. (2013). HVAC system operational strategies for reduced energy consumption in buildings with intermittent occupancy: The case of mosques. *Energy Conversion and Management*, 73, 37–50. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.04.008>
- Cantlon, J. E., & Koenig, H. E. (1999). Sustainable ecological economies. In *Ecological Economics* (Vol. 31). www.elsevier.com/locate/ecocon
- Carutasiu, M. B., Tanasiev, V., Ionescu, C., Danu, A., Necula, H., & Badea, A. (2015). Reducing energy consumption in low energy buildings through implementation of a policy system used in automated heating systems. *Energy and Buildings*, 94, 227–239.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.03.008>
- Carvalho, M. M. Q., La Rovere, E. L., & Goncalves, A. C. M. (2010). Analysis of variables that influence electric energy consumption in commercial buildings in Brazil. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 14, Issue 9). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.009>
- centre CSTB. (2012). *RÈGLES Th-U FASCICULE 2 : MATÉRIAUX*.
- Cetin, K. S., Fathollahzadeh, M. H., Kunwar, N., Do, H., & Tabares-Velasco, P. C. (2019). Development and validation of an HVAC on/off controller in EnergyPlus for energy simulation of residential and small commercial buildings. *Energy and Buildings*, 183, 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.11.005>
- Chahinez Djahnine. (2023, March 3). Campus universitaire Constantine-3 : Futur Hub continental de l'innovation. *El Modjahid*. elmoudjahid.dz/fr/actualite/campus-universitaire-constantine-3-futur-hub-continental-de-l-innovation-
- Charfadine, A., Barka, M., Tahir, A. M., Mohammed, M. A., & Gaye, Pr. S. (2016). Approach Thermal Habitat Assessment in N'Djamena in Chad. *World Journal of Engineering and Technology*, 04(01), 82–102. <https://doi.org/10.4236/wjet.2016.41009>
- Charles, A., Maref, W., & Ouellet-Plamondon, C. M. (2019). Case study of the upgrade of an existing office building for low energy consumption and low carbon emissions. *Energy and Buildings*, 183, 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.008>
- Chihib, M., Salmerón-Manzano, E., & Manzano-Agugliaro, F. (2020). Benchmarking energy use at university of Almeria (Spain). *Sustainability (Switzerland)*, 12(4).
<https://doi.org/10.3390/su12041336>
- Chung, W., Hui, Y. V., & Lam, Y. M. (2006). Benchmarking the energy efficiency of commercial buildings. *Applied Energy*, 83(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2004.11.003>
- Citherlet, S., & Hildbrand, C. (2015a). *ENVIRONMENTAL ASSESSMENT WITH ECO-BAT OF A BUILDING EQUIPMENT*. <https://www.researchgate.net/publication/267816938>

BIBLIOGRAPHIE

- Citherlet, S., & Hildbrand, C. (2015b). *ENVIRONMENTAL ASSESSMENT WITH ECO-BAT OF A BUILDING EQUIPMENT IEA SHC Task 44 Solar and Heat Pump Systems View project ENVIRONMENTAL ASSESSMENT WITH ECO-BAT OF A BUILDING EQUIPMENT*.
<https://www.researchgate.net/publication/267816938>
- CNERIB. (1998). *DTR C3-4 (règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments)*.
- Conversion Energie finale/Energie primaire electricité. (2018). https://conseils-thermiques.org/contenu/conversion_energie_primaire_finale.php#:~:text=A%20l'occasion%20de%20la,soit%20une%20diminution%20de%2011%25.
- Crawley, D. B., Lawrie, L. K., Winkelmann, F. C., & Pedersen, C. O. (2001). *EnergyPlus: New Capabilities in a Whole-Building Energy Simulation Program*.
<https://www.researchgate.net/publication/242075033>
- Dahanayake, K. W. D. K. C., & Chow, C. L. (2017). Studying the potential of energy saving through vertical greenery systems: Using EnergyPlus simulation program. *Energy and Buildings*, 138, 47–59. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.002>
- Darío Gómez, A. R., Watterson Branca B Americano, J. D., Ha, C., Marland, G., Matsika, E., Nenge Namayanga, L., Osman-Elasha, B., Kalenga Saka, J. D., Treanton, K., & Quadrelli, R. (2006). *Chapter 2: Stationary Combustion 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2.1 C H A P T E R 2 STATIONARY COMBUSTION Volume 2: Energy 2.2 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Contributing Author*.
- Darshan, A., Girdhar, N., Bhojwani, R., Rastogi, K., Angalaeswari, S., Natrayan, L., & Paramasivam, P. (2022). Energy Audit of a Residential Building to Reduce Energy Cost and Carbon Footprint for Sustainable Development with Renewable Energy Sources. *Advances in Civil Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/4400874>
- Denes, T., Bozonnet, E., Calmet, I., & Dénes-Bé, T. (2010). *Modeling the global warming effect on indoor temperature peaks and cooling systems consumption MODELING THE GLOBAL PEAKS AND COOLING SY*. <https://hal.science/hal-00456366>
- Drury B. Crawley, Curtis O. Pedersen, Linda K. Lawrie, & Frederick C. Winkelmann. (2000). *The following article was published in ASHRAE Journal*.
- Duffy, M. J., Hiller, M., Bradley, D. E., Keilholz, W., & Thornton, J. W. (2009). *TRNSYS – FEATURES AND FUNCTIONALITY FOR BUILDING SIMULATION 2009 CONFERENCE*.
- Duta, A., Noël, J., & Roux, J.-J. (1994). CODYBA-V. 6.0 : new version of software for building dynamical behaviour simulation. *PLEA 2000*.
- EIA U.S Energy Information Administration. (2024). *Country Analysis Brief: Algeria*.
- Eisabegloo, A., Haghshenas, M., & Borzoui, A. (2016). Comparing the results of thermal simulation of rasoulia house in Yazd by design builder software, with experimental data. *Int. J. Architect. Eng. Urban Plan*, 26(2), 121–130. <https://doi.org/10.22068/ijaup.26.2.121>
- Ek, K., & Söderholm Patrik, P. (2010). The devil is in the details: Household electricity saving behavior and the role of information. *Energy Policy*, 38(3), 1578–1587.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.11.041>
- EnerData. (2022). *Algeria Energy Information*.
- Energy plus. (2024). *Energy plus*. <https://energyplus.net/>

BIBLIOGRAPHIE

- Escobedo, A., Briceño, S., Juárez, H., Castillo, D., Imaz, M., & Sheinbaum, C. (2014). Energy consumption and GHG emission scenarios of a university campus in Mexico. *Energy for Sustainable Development, 18*(1), 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.10.005>
- Farzaneh, A., Monfet, D., & Forgues, D. (2015). USABILITY AND INFORMATION MANAGEMENT OF ENERGY SIMULATION INPUTS: A COMPARISON BETWEEN 3 TOOLS. *Conference of International Building Performance Simulation Association, Hyderabad, India.*
- Favre, D., & Citherlet, S. (2007). *COMPARING ENVIRONMENTAL IMPACTS OF BUILDINGS WITH ECO-BAT.*
- Favre, D., & Citherlet, S. (2008). Eco-Bat: A design tool for assessing environmental impacts of buildings and equipment. *Building Simulation, 1*(1), 83–94. <https://doi.org/10.1007/s12273-008-8503-3>
- Fonseca, P., Moura, P., Jorge, H., & de Almeida, A. (2018). Sustainability in university campus: options for achieving nearly zero energy goals. *International Journal of Sustainability in Higher Education, 19*(4), 790–816. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-09-2017-0145>
- Fumo, N., Mago, P., & Luck, R. (2010). Methodology to estimate building energy consumption using EnergyPlus Benchmark Models. *Energy and Buildings, 42*(12), 2331–2337. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.07.027>
- Ghorbani, B., Shirmohammadi, R., & Mehrpooya, M. (2020). Development of an innovative cogeneration system for fresh water and power production by renewable energy using thermal energy storage system. *Sustainable Energy Technologies and Assessments, 37.* <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100572>
- Global Alliance for Buildings and Construction. (2024). *Global Statuts for Buildings and Construction: Beyond foundations - Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector.* United Nations Environment Programme. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095>
- Graiz, E., & Al Azhari, W. (2019). Energy Efficient Glass: A Way to Reduce Energy Consumption in Office Buildings in Amman (October 2018). *IEEE Access, 7*, 61218–61225. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2884991>
- Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat. (2023). Emissions Trends and Drivers. In *Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change.* Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157926.004>
- Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat., Organisation météorologique mondiale., & Programme des Nations Unies pour l'environnement. (1992). *Changement climatique : les évaluations du GIEC de 1990 et 1992 : premier rapport d'évaluation du GIEC : aperçu général et résumés destinés aux décideurs et supplément 1992 du GIEC.*
- Gunawan, E., Giordano, N., Jensson, P., Newson, J., & Raymond, J. (2020). Alternative heating systems for northern remote communities: Techno-economic analysis of ground-coupled heat pumps in Kuujuaq, Nunavik, Canada. *Renewable Energy, 147*, 1540–1553. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.039>
- Günkaya, Z., Özkan, A., & Banar, M. (2021). The effect of energy-saving options on environmental performance of a building: a combination of energy audit–life cycle assessment for a university building. *Environmental Science and Pollution Research, 28*(7), 8822–8832. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11141-z>

BIBLIOGRAPHIE

- Haltrecht, D., & Fraser, K. (1997). VALIDATION OF HOT2000™ USING HERS BESTEST. *Proceedings Building Simulation*,.
- Haltrecht, D., Zmeureanu, R., & Beausoleil-Morrison, I. (1999). DEFINING THE METHODOLOGY FOR THE NEXT-GENERATION HOT2000-SIMULATOR. *6th Conference of IBPSA*.
- Harmathy, N. (2019). Energy Performance Estimation of ASHRAE 90.1 App. G System 7 VAV with Reheat using Dynamic B-SIM. *E3S Web of Conferences*, 135. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913503078>
- Henderson, B., Anderson, L., & Ap, L. (2011). *The Lighting Handbook 10 th Edition 10 Edition*.
- Herbert, V., Maillefert, M., Petit, O., & Zuindeau, B. (2009). Risque environnemental et action collective : l'exemple de la gestion du risque d'érosion à Wissant (Côte d'Opale). *La Revue Électronique En Sciences de l'environnement*. <http://vertigo.revues.org/9303>.
- Hondo, H., & Baba, K. (2010). Socio-psychological impacts of the introduction of energy technologies: Change in environmental behavior of households with photovoltaic systems. *Applied Energy*, 87(1), 229–235. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.05.009>
- Hong, T., Chou, S. K., & Bong, T. Y. (2000). *Building simulation: an overview of developments and information sources*. www.elsevier.com/locate/buildenv
- Hong, T., & Eley, C. (2003). *VisualDOE-A Green Design Tool Modeling occupant behavior in buildings View project IEA EBC Annex 79: Occupant-centric building design and operation View project*. www.visualdoe.com.
- Hong, T., Lin, H.-W., Chang, W.-K., Wang, L., Turner, W., Yan, D., Zhu, D., Zhou, X., Wang, C., Peng, C., & Ren, X. (2013). *Building Performance Simulation*.
- IANOR. (2023). *CATALOGUE DES NORMES ALGERIENNES*.
- Ibáñez, M., Lázaro, A., Zalba, B., & Cabeza, L. F. (2005). An approach to the simulation of PCMs in building applications using TRNSYS. *Applied Thermal Engineering*, 25(11–12), 1796–1807. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2004.11.001>
- International Energy Agency., & Global Alliance for Buildings and Construction. (2019). *2019 global status report for buildings and construction*. International Energy Agency.
- International Energy Agency., & Global Alliance for Buildings and Construction. (2022). *global status report for buildings and construction*. www.globalabc.org.
- Iqbal, I., & Al-Homoud, M. S. (2007). Parametric analysis of alternative energy conservation measures in an office building in hot and humid climate. *Building and Environment*, 42(5), 2166–2177. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.04.011>
- Ishak, M. H. (2017). Modelling energy consumption behaviour using “energy culture” concept for student accommodations in Malaysian public universities. *Facilities*, 35(11–12), 658–683. <https://doi.org/10.1108/F-12-2015-0084>
- ISO. (2014). *ISO 50002:2014 Audits énergétiques Exigences et recommandations de mise en oeuvre*. <https://www.iso.org/fr/standard/60088.html>
- ISO. (2019a). *ISO/DIS 50002-1(en) Energy audits — Requirements with guidance for use — Part 1: General requirements*. ISO (International Organization for Standardization). <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:50002:-1:dis:ed-1:v1:en>

BIBLIOGRAPHIE

- ISO. (2019b). *ISO/DIS 50002-2(en) Energy audits — Requirements with guidance for use — Part 2: Buildings*. ISO (International Organization for Standardization).
<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:50002:-2:dis:ed-1:v1:en>
- Itani, T., Ghaddar, N., & Ghali, K. (2013). Strategies for reducing energy consumption in existing office buildings. *International Journal of Sustainable Energy*, 32(4), 259–275.
<https://doi.org/10.1080/14786451.2011.622765>
- Jani, D. B., Bhabhor, K., Dadi, M., Doshi, S., Jotaniya, P. V., Ravat, H., & Bhatt, K. (2020). A review on use of TRNSYS as simulation tool in performance prediction of desiccant cooling cycle. In *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* (Vol. 140, Issue 5, pp. 2011–2031). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08968-1>
- Jean-Jacques ROUX, & Jean NOËL. (2007). *manuel-cdb-fr*.
- Jia, M., & Srinivasan, R. (2020). Building performance evaluation using coupled simulation of energyplus and an occupant behavior model. *Sustainability (Switzerland)*, 12(10).
<https://doi.org/10.3390/SU12104086>
- Kabaka, P. I. (2019). Enjeux et préalables à l'amélioration de l'efficacité énergétique dans les bâtiments en France. *Hal-02172674f*. <https://hal.science/hal-02172674>
- Kebangsaan Malaysia, U. (2013). PASSIVE DESIGN AND PERFORMANCE EVALUATION OF BUILDING USING E-QUEST: A CASE STUDY. *Journal of Building Performance*, 4(1). <http://spaj.ukm.my/jsb/index.php/jbp/index>
- King Saud Univ, J., & Vo, ! (2009). Energy Audit and Potential Energy Saving in an Office Building in Riyadh, Saudi Arabia. In *Eng. Sci* (Vol. 21, Issue 2).
- Krarti, Moncef., & Marchio, Dominique. (2016). *Guide technique d'audit énergétique*. Presses des Mines.
- Langevin, J., Gurian, P. L., & Wen, J. (2013). Reducing energy consumption in low income public housing: Interviewing residents about energy behaviors. *Applied Energy*, 102, 1358–1370.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.07.003>
- Laporte, J. P., & Cansino, J. M. (2024). Energy Consumption in Higher Education Institutions: A Bibliometric Analysis Focused on Scientific Trends. *Buildings*, 14(2).
<https://doi.org/10.3390/buildings14020323>
- Lavigne, K., Daoud, A., Sansregret, S., & Leduc, M.-A. (2014). Demand Response Strategies in a Small All-Electric Commercial Building in Quebec. *ESim2014*.
- Le Commissariat aux Énergies Renouvelables et à l'Efficacité Énergétique (CEREFÉ). (2020). *Transition Énergétique en Algérie*. www.cerefe.gov.dz
- Litardo, J., Hidalgo-Leon, R., & Soriano, G. (2021). Energy performance and benchmarking for university classrooms in hot and humid climates. *Energies*, 14(21).
<https://doi.org/10.3390/en14217013>
- Liu, L. (2023). Simulation Optimization of Energy-saving Techniques for Gymnasiums in Jiangxi Province Based on DesignBuilder. *E3S Web of Conferences*, 439.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343901005>
- Lodi, C., Malaguti, V., Contini, F. M., Sala, L., Muscio, A., & Tartarini, P. (2017). University energy planning for reducing energy consumption and GHG emissions: The case study of a

BIBLIOGRAPHIE

- university campus in Italy. *International Journal of Heat and Technology*, 35(Special Issue 1), S27–S32. <https://doi.org/10.18280/ijht.35Sp0104>
- Lorenzo-Sáez, E., Oliver-Villanueva, J. V., Coll-Aliaga, E., Lemus-Zúñiga, L. G., Lerma-Arce, V., & Reig-Fabado, A. (2020). Energy efficiency and GHG emissions mapping of buildings for decision-making processes against climate change at the local level. *Sustainability (Switzerland)*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/su12072982>
- Ma, Y., Xi, J., Cai, J., & Gu, Z. (2023). TRNSYS simulation study of the operational energy characteristics of a hot water supply system for the integrated design of solar coupled air source heat pumps. *Chemosphere*, 338, 139453. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2023.139453>
- Mahdi, A. M. J. (2018). Energy Audit a step to effective Energy Management. *International Journal of Trend in Research and Development*, 5(2), 2394–9333. www.ijtrd.com
- Malik Bensafta, K. (2020). *THE IMPACT OF INCOME ON ENERGY DEMAND IN THE CONTEXT OF ENERGY TRANSITION: THE CASE OF ALGERIA* (Vol. 28, Issue 3).
- Marans, R. W., & Edelstein, J. Y. (2010). The human dimension of energy conservation and sustainability: A case study of the University of Michigan's energy conservation program. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 11(1), 6–18. <https://doi.org/10.1108/14676371011010011>
- Marc, O., Sinama, F., Lucas, F., & Danet, G. (2010). *Modélisation dans l'environnement EnergyPlus et éléments de validation expérimentale d'une installation de rafraîchissement solaire couplée au bâtiment MéGaPICS View project Pat etm View project Modélisation dans l'environnement EnergyPlus et éléments de validation expérimentale d'une installation de rafraîchissement solaire couplée au bâtiment*. <https://www.researchgate.net/publication/258117884>
- Mattinen, M. K., Heljo, J., Vihola, J., Kurvinen, A., Lehtoranta, S., & Nissinen, A. (2014). Modeling and visualization of residential sector energy consumption and greenhouse gas emissions. *Journal of Cleaner Production*, 81, 70–80. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.054>
- Mccusker, K. (2013). Measuring, Managing and Visualizing Building Energy Consumption & Carbon Emissions: Benchmarking at the University of Massachusetts Amherst. *ScholarWorks@UMass Amherst Sustainable UMass Sustainable UMass 2013*. <https://scholarworks.umass.edu/csi>
- Millette, J., Sansregret, S., & Daoud, A. (2011). SIMEB: SIMPLIFIED INTERFACE TO DOE2 AND ENERGYPLUS-A USER'S PERSPECTIVE-CASE STUDY OF AN EXISTING BUILDING. *Building Simulation 2011*.
- Ministère de l'Énergie. (2019). *Bilan Énergétique National*.
- MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES. (1999). *Loi n°99-09 du 28 juillet 1999 sur la maîtrise de l'énergie*.
- MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES. (2005). Le décret éducatifs n° 05-495 de l'audit énergétique. *JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 84*.
- MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES. (2023). *Bilan Énergétique National de la consommation finale*.

BIBLIOGRAPHIE

- Mohammad, S., & Professor, S. A. (2023). Simulation Study on Building Energy Management in HVAC Control System for House Building. *CVR Journal of Science and Technology*, 25. <https://doi.org/10.32377/cvrjst2515>
- Mohammed, M. A., & Budaiwi, I. M. (2013). Strategies for reducing energy consumption in a student cafeteria in a hot-humid climate: A case study. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 1(1), 14–26. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.2013.01.0002>
- Mohazabieh, S. Z., Ghajarkhosravi, M., & Fung, A. S. (2015). Energy Consumption and Environmental Impact Assessment of the Energy Efficient Houses in Toronto, Canada. *Procedia Engineering*, 118, 1024–1029. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.544>
- Morel, V. /, Deboudt, P., Deldrève, V., Longuépée, J., Maillefert, M., Masson, E., Meur-Férec, C., Petit, O., & Zuindeau, B. (2010). *Les risques environnementaux : lectures disciplinaires et champs de recherches interdisciplinaires*.
- Mouffok Mostefa. (2020). *Thermique du Bâtiment*.
- Moussa, R. R., & Moawad, D. R. M. (2020). Investigating the Efficiency of Building Energy Simulation Software on Architectural Design Process. *ACM International Conference Proceeding Series*, 37–40. <https://doi.org/10.1145/3436829.3436860>
- Mungwena, W., & Rashama, C. (2013). Strategies for Energy Efficiency Improvement in Zimbabwean Industries Using the Energy Audit. *Energy and Power Engineering*, 05(05), 372–376. <https://doi.org/10.4236/epe.2013.55038>
- Mythili Gnanamangai, B., Rajalakshmi, S., Kumar Srivastava, A., Sudhakaran, R., Muruganath, G., & Thirumoorthi, P. (2022). ENERGY AUDIT PROCEDURES AND ENERGY SAVINGS OPPORTUNITIES IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS AND INDUSTRIAL SECTORS. *International Journal of Advanced Research*, 10(05), 592–601. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/14744>
- Navarro, O., & Guillou, E. (2014). *Analyse des risques et menaces environnementales: Un regard psycho-socio-environnemental*. <https://www.researchgate.net/publication/285432510>
- Neil Stephen Lopez, & Jeremias Gonzaga. (2017). Energy Audit and Analysis of the Electricity Consumption of an Educational Building in the Philippines for smart consumption. *IEEE National Aerospace and Electronics Conference (NAECON)*.
- Noël, J., Roux, J.-J., & Virgone, J. (2005). PRESENTATION ET PERSPECTIVES DU LOGICIEL CODYBA. *Journée Thématique SFT-IBPSA*.
- Ostojić, S., Veršić, Z., & Muraj, I. (2016). Energy analysis and refurbishment strategy for Zagreb University buildings: Former Faculty of Technology in Zagreb by Alfred Albini. *Energy and Buildings*, 115, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.043>
- Ouyang, J., & Hokao, K. (2009). Energy-saving potential by improving occupants' behavior in urban residential sector in Hangzhou City, China. *Energy and Buildings*, 41(7), 711–720. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.02.003>
- Par chance. (2024). *Générateur d'étiquettes DPE et GES gratuites Générateur d'étiquettes DPE et GES gratuites*. <http://www.parchance.fr/etiquette/dpe-ges/>
- parash Goyal, B.Shiva Kumar, & K.Sudhakar. (2013). ENERGY AUDIT : A CASE STUDY OF ENERGY CENTRE AND HOSTEL OF MANIT, BHOPAL. In *IEEE Communication Society*.

BIBLIOGRAPHIE

- Parekh, A., Charron, R., Poirier, S., & Roux, L. (2018). Testing of HOT2000 version 11 in Accordance with ASHRAE Standard 140-2014. *The 10th Conference of IBPSA-Canada*.
- Pawar, B. S., & Kanade, G. (2018). *Energy Optimization of Building Using Design Builder Software*. www.ijntr.org
- Pedrini, A., Westphal, F. S., & Lamberts, R. (2002). A methodology for building energy modelling and calibration in warm climates. In *Building and Environment* (Vol. 37). www.elsevier.com/locate/buildenv
- People's Democratic Republic of Algeria Ministry of Energy And Mines. (2005). *The Specifications Defining The Methodology, The Audit Report And Its Summary*.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., González, R., & Maestre, I. R. (2009). A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. In *Energy and Buildings* (Vol. 41, Issue 3, pp. 272–278). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.10.004>
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>
- Pertuiset, C. (2015). *AUDIT ENERGETIQUE Attendus et les conséquences pour les organismes Hlm*.
- Politecnico, S. T., Torino, D., Mutani, G., Di Torino, P., Lucia, P., & Politecnico, L. (2016). *Preliminary analyses for the development of the Turin-Milan Hyperloop corridor. View project SHAPE-ENERGY-Social Sciences and Humanities for Advancing Policy in European Energy (SHAPE-ENERGY) H2020 project LCE32 (2016-18). View project*. <https://www.researchgate.net/publication/303498062>
- Population Connection. (2024). *The Connections Between Population and Climate Change* populationconnection.org/resources/population-and-climate *The Connections Between Population and Climate Change Info Brief*.
- Puchala, M. (2019). *Cost effective and environmental friendly energy renovation of commercial buildings from 1960s*.
- Qin, M., & Yang, J. (2016). Evaluation of different thermal models in EnergyPlus for calculating moisture effects on building energy consumption in different climate conditions. *Building Simulation*, 9(1), 15–25. <https://doi.org/10.1007/s12273-015-0263-2>
- Quevedo, T. C., Geraldi, M. S., Melo, A. P., & Lamberts, R. (2024). Benchmarking energy consumption in universities: A review. In *Journal of Building Engineering* (Vol. 82). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2023.108185>
- Rana, A., Kamali, M., Riyadh, M. M., Sultana, S. R., Kamal, M. R., Alam, M. S., Hewage, K., & Sadiq, R. (2022). Energy efficiency in residential buildings amid COVID-19: A holistic comparative analysis between old and new normal occupancies. *Energy and Buildings*, 277. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112551>
- Réduire les apports de chaleur dus à l'éclairage. (2024). *energie plus*.
- Réthoré, O. (2015). *Direction Economie Circulaire et Déchets Service Produits et Efficacité Matières*.
- Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2020). *Energy Production and Consumption*.

BIBLIOGRAPHIE

- Rofia ABADA. (2021). *LE PÔLE UNIVERSITAIRE CONSTANTINE 3, ET LES TERRITOIRES URBAINS EN FORMATION. PROJET ET ACTEURS*. Université Salah Boubnider Constantine 3.
- Roger Cadiergues. (2012). *L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL*.
- Salimzadeh, N., Seyed, :, Sharif, A., Hammad, A., & Student, P. D. (2016). *Visualizing and Analyzing Urban Energy Consumption: A Critical Review and Case Study*.
- Sami, S., Kaci, K., EL.Ganaoui, M., & Ouhsaine, L. (2020). Integration of a solar cooling and heating system. Case of a residential building located in Blida region. *MATEC Web of Conferences*, 307, 01048. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202030701048>
- Scherbak, V. (2021). USING THE UNIVERSITY ENERGY EFFICIENCY KNOWLEDGE HUB FOR ENERGY CERTIFICATION AND ENERGY AUDITS OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS. *MANAGEMENT Journal Issue*, 33(33). <https://doi.org/10.30857/2415>
- Shrivastava, R. L., Kumar, V., & Untawale, S. P. (2017). Modeling and simulation of solar water heater: A TRNSYS perspective. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 67, pp. 126–143). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.005>
- Siddik, M. A., Islam, M. T., Zaman, A. K. M. M., & Hasan, M. M. (2021). *Assessing Socio-economic Impacts of River Bank Erosion in Coastal Island of Bangladesh View project CURRENT STATUS AND CORRELATION OF FOSSIL FUELS CONSUMPTION AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS* (Vol. 28, Issue 2). <https://www.researchgate.net/publication/357323190>
- Software Ltd. (2024). *DesignBuilder*.
- Suliman, F. E. M. (2023). Building Performance Simulation for Energy Rationalization. *Buildings*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/buildings13051122>
- Tahir, M. Z., Nawi, M. N. M., & Zulhumadi, F. (2021). Strategy for energy-efficient office building of public university in malaysia: Case study. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 12(1), 100–109. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2021.12.01.010>
- Taileb, A., & Sherzad, M. F. (2023). Energy Audits and Energy Modeling as a Tool towards Reducing Energy Consumption in Buildings: The Cases of Two Multi-Unit Residential Buildings (MURBs) in Toronto. *Sustainability (Switzerland)*, 15(18). <https://doi.org/10.3390/su151813983>
- Tavares, P. F. de A. F., & Martins, A. M. de O. G. (2007). Energy efficient building design using sensitivity analysis-A case study. *Energy and Buildings*, 39(1), 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.04.017>
- Tayari, N., & Nikpour, M. (2023). Investigating DesignBuilder Simulation Software's Validation in Term of Heat Gain through Field Measured Data of Adjacent Rooms of Courtyard House. *Iranian Journal of Energy and Environment*, 14(1), 1–8. <https://doi.org/10.5829/ijee.2023.14.01.01>
- Thapar, S. (2020). Energy consumption behavior: A data-based analysis of urban Indian households. *Energy Policy*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111571>
- Thornton, J. W., Klein, S. A., & Beckman, W. A. (1995). *A. Fiksel Developments to the TRNSYS Simulation Program*. <http://solarenergyengineering.asmedigitalcollection.asme.org/>

BIBLIOGRAPHIE

- Uddin, M. N., Wei, H. H., Chi, H. L., & Ni, M. (2019). An Inquisition of Envelope Fabric for Building Energy Performance Using Prominent BIM-BPS Tools - A Case Study in Sub-Tropical Climate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 354(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/354/1/012129>
- U.S. Department of Energy. (2019). *simulationresearch.lbl.gov-DOE-2 Simulation Research*.
- Vaisi, S., Dyer, M., Pilla, F., Vaisi, S., Dyer, M., & Pilla, F. (2014). *Energy requirement mapping for university campus using CIBSE benchmarks and comparing CIBSE to display energy certificate (DEC) to extract a new criterion Energy benchmarking for Hospital Buildings, Case study: 4 Governmental Hospitals in Sanandaj View project SLEEP DISORDERED BREATHING AND RELATIONSHIP WITH PM10 View project Energy requirement mapping for university campus using CIBSE benchmarks and comparing CIBSE to display energy certificate (DEC) to extract a new criterion*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1213.0721/2>
- Vassileva, I., Wallin, F., & Dahlquist, E. (2012). Analytical comparison between electricity consumption and behavioral characteristics of Swedish households in rented apartments. *Applied Energy*, 90(1), 182–188. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.05.031>
- Veyret, Y., M. de R. N. (2004). Des types de risques. In *Risques naturels et aménagements en Europe* (SEDES, pp. 47–59).
- Wasilowski, H. A., & Reinhart, C. F. (2009). Modeling an Existing Building in DesignBuilder/EnergyPlus: custom vs. default inputs. In *Awarded Arup Engineering Best*. <https://nrs.harvard.edu/urn-3:HUL.InstRepos:29663437>
- Wiedmann, T. O., Chen, G., & Barrett, J. (2016). The Concept of City Carbon Maps: A Case Study of Melbourne, Australia. In *Journal of Industrial Ecology* (Vol. 20, Issue 4, pp. 676–691). Blackwell Publishing. <https://doi.org/10.1111/jiec.12346>
- Ya'u Muhammad, J., Adamu, A. A., Yusuf, Y., Mika'il Alhaji, A., & Ali, Y. Y. (2018). Engineering Science Energy Audit and Efficiency of a Complex Building: A Comprehensive Review Energy Audit and Efficiency of a Complex Building: A Comprehensive Review. *Yerima Yusif Ali. Energy Audit and Efficiency of a Complex Building: A Comprehensive Review. Engineering Science*, 3(4), 36–41. <https://doi.org/10.11648/j.es.20180304.11>
- Yu, Z., Fung, B. C. M., Haghghat, F., Yoshino, H., & Morofsky, E. (2011). A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption. *Energy and Buildings*, 43(6), 1409–1417. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.02.002>
- Zailan, R., Tarmizy Che Kar, M., & Kuantan Pahang, G. (2018). Energy Audit: A Case Study in FTK Building Universiti Malaysia Pahang. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES*, 5(ISSN:2462-1269). <https://doi.org/10.15282/ijets.5.2.2018.1009>
- Zhang, L. (2014). Simulation analysis of built environment based on design builder software. *Applied Mechanics and Materials*, 580–583, 3134–3137. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.580-583.3134>
- ZHANG, Y., TINDALE, A., Ordonez GARCIA, A., KOROLIJA, I., TRESIDDER, E., PASSARELLI, M., & GALE, P. (2022). How To Integrate Optimization Into Building Design Practice: Lessons Learnt From A Design Optimization Competition. *Proceedings of Building Simulation 2013: 13th Conference of IBPSA*, 13. <https://doi.org/10.26868/25222708.2013.1462>

BIBLIOGRAPHIE

- Zhu, D., Hong, T., Yan, D., & Wang, C. (2013). A detailed loads comparison of three building energy modeling programs: EnergyPlus, DeST and DOE-2.1E. *Building Simulation*, 6(3), 323–335. <https://doi.org/10.1007/s12273-013-0126-7>
- Zmeureanu, R. (1997). *DEFINING THE METHODOLOGY FOR THE NEXT-GENERATION HOT2000 SIMULATOR Task 1 presented by Defining the Methodology for the Next-Generation HOT2000 Simulator*.
- Zumtobel Lighting GmbH. (2017). *Manuel pratique de l'éclairage*.

LISTE DES ANNEXES

Annexe A : Formulaires des questionnaires.

Cadre : préparation d'une thèse de doctorat

Institut de Gestion des Techniques Urbaines -IGTU-

Etude comportementale des employées de l'UC3 sur la consommation d'électricité

Doctorante : FILALI Fatima Zohra

Encadreur : CHAFI Fatima Zohra

I. Informations générales :

1.1 Sexe : Homme Femme

1.2 Age : 18- 30 ans 30- 45 ans 45-60 +60 ans.

1.3 Faculté /Institut :

Faculté d'architecture et d'urbanisme Faculté génie des procédés pharmaceutique
 Faculté science politique Faculté science de l'information et de la communication
 Faculté de l'art et de la culture Faculté de médecine Institut gestion des techniques urbaines

II. Pratiques de consommation d'énergie

2.1. Parmi les appareils électriques cités ci-dessous, Pourriez-vous donner une approximation de votre fréquence horaire d'utilisation par jour ?

	Jamais	Rarement	Occasionnellement	Souvent	Tout le temps
Ordinateur					
Imprimante					
Éclairage					
Climatisation					
Autre (résistance électrique, cafetière, micro-ondes, chargeur ... etc)					

2.2 Laissez-vous vos appareils électriques allumés pendant vos heures de travail, même si vous ne les utilisez pas ?

ANNEXE

	Jamais	Rarement	Occasionnellement	Souvent	Tout le temps
Ordinateur					
Imprimante					
Eclairage					
Climatiseur					
Autre (résistance électrique, cafetière, micro-ondes, chargeur .. etc)					

2.3. Lorsque vous sortez en pause déjeuner, éteignez-vous vos appareils ?

	Jamais	Souvent	Occasionnellement	Rarement	Tout le temps
Ordinateur					
Imprimante					
Eclairage					
Climatiseur					
Autre (résistance électrique, cafetière, micro-ondes , chargeuretc)					

2.4 Avez-vous déjà laissé vos appareils électriques allumés pendant vos journées off ?

	Jamais	Rarement	Occasionnellement	Souvent	Tout le temps
Ordinateur					

ANNEXE

Imprimante					
Eclairage					
Climatiseur					
Autre (résistance électrique, cafetière, micro-ondes, Chargeuretc)					

2.5. Quelle est la fréquence horaire d'utilisation de la climatisation par jour ?

Jamais	Rarement (moins 2h par jours)	Parfois (3h à4h par jour)	Souvent (5h à 6h par jour)	Très souvent (plus de 6h)

2.6 à quelle température régleriez-vous votre climatiseur ?

Très basse (16- 17 degré)	Basse (18-19 degré)	Modérée (20- 21 degré)	Elevée (22-24 degré)	Très élevée (24-26 degré)

III. Comportements liés à la consommation énergétique

3.1. Comment évaluez-vous votre niveau de sensibilisation à la consommation énergétique à l'Université ?

Pas du tout conscient	Pas très conscient	Neutre	Conscient	Tout à fait conscient

3.2. Quelles actions avez-vous entreprises personnellement pour réduire votre consommation énergétique à l'Université ?

3.2.1 Éteignez-vous les lumières lorsque vous quittez le bureau ?

Très rarement	Rarement	Occasionnellement	Souvent	Très souvent
---------------	----------	-------------------	---------	--------------

ANNEXE

--	--	--	--	--

3.2.2 Éteignez-vous le climatiseur lorsque vous quittez le bureau ?

Très rarement	Rarement	Occasionnellement	Souvent	Très souvent

3.2.3 Éteignez-vous les appareils électriques inutilisé ?

Très rarement	Rarement	Occasionnellement	Souvent	Très souvent

3.2.4 Réduisez-vous la climatisation lorsque cela est possible ?

Très rarement	Rarement	Occasionnellement	Souvent	Très souvent

3.2.5 Utilisez-vous les escaliers au lieu de l'ascenseur ?

Très rarement	Rarement	Occasionnellement	Souvent	Très souvent

IV. Connaissances énergétiques

4.1 Connaissez-vous les notions -transition énergétique- , -maitrise de l'énergie- , - économie d'énergie- ?

4.1.1 Transition énergétique

Très peu familier	Plutôt peu familier	Neutre	Plutôt familier	Très familier

4.1.2 maitrises de l'énergie

Très peu familier	Plutôt peu familier	Neutre	Plutôt familier	Très familier

4.1.3 économies d'énergie

Très peu familier	Plutôt peu familier	Neutre	Plutôt familier	Très familier

ANNEXE

--	--	--	--	--

4.2 Avez-vous entendu parler du programme national 2016-2030 sur l'efficacité énergétique ?

Pas du tout	Un peu	Neutre	Beaucoup	Enormément

V. La Prédiposition des Employés à Modifier Leurs Comportements

4.1. Êtes-vous capable de changer vos comportements concernant la consommation énergétique du campus universitaire ?

Pas du tout capable	Pas capable	Neutre	Capable	Tout à fait capable

4.2 Pensez-vous être capable d'apprendre comment consommer moins d'énergie?

Pas du tout capable	Pas capable	Neutre	Capable	Tout à fait capable

4.3. Êtes-vous capable d'appliquer les bonnes pratiques pour réduire votre consommation d'énergie du campus universitaire ?

Pas du tout capable	Pas capable	Neutre	Capable	Tout à fait capable

Annexe B : Cadres institutionnelles et juridique du l'audit énergétique

Les texte règlementaires et juridique concernant l'audit énergétique

Loi n°99-09 du 28 juillet 1999 relative a la maitrise de l'énergie

Concernant la gestion et la conservation des ressources énergétiques. Cette loi établit le contexte général de l'efficacité énergétique et de la conservation de l'énergie, dans lequel s'inscrit l'audit énergétique.

Décret exécutif n°05-495 du 26 décembre 2005 relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie. Ce texte constitue la base du cadre réglementaire pour l'audit énergétique, spécifiant les obligations pour les grandes consommations énergétiques.

Décret exécutif n°13-424 du 18 décembre 2013 modifiant et complétant le décret exécutif n°05-495 de 2005. Ce décret apporte des précisions et des modifications au texte initial, notamment en ce qui concerne les modalités d'agrément des auditeurs énergétiques et la méthodologie d'audit.

Arrêté interministériel du 29 septembre 2010 portant sur les cahiers des charges définissant la méthodologie, le rapport d'audit et sa synthèse, le guide méthodologique, les valeurs des pouvoirs calorifiques, les facteurs de conversion pour le calcul de la consommation, ainsi que les modalités d'agrément des auditeurs. Ce texte précise les critères techniques et les procédures à suivre pour l'audit énergétique.

Arrêté interministériel du 19 juin 2014 modifiant et complétant l'arrêté de 2010. Il apporte des ajustements aux dispositions précédentes, pour améliorer la pratique de l'audit énergétique en Algérie.

Le décret n° 85-235 du 25 août 1985 a établi une agence dédiée à la promotion et à l'optimisation de l'utilisation de l'énergie, placée sous l'égide du ministère de l'Énergie et des Mines. Cette agence a pour objectif principal de déployer la stratégie nationale visant à contrôler la consommation énergétique en encourageant l'efficacité énergétique.

Décret exécutif n° 04-149 du 29 du 19 mai précise les critères de création du Programme National de Maîtrise de l'Énergie (PNME), Ce décret est complété par :

Arrêté du 26 juin 2016 portant nomination des membres du Comité Intersectoriel de la Maîtrise de l'Énergie

ANNEXE

Décret exécutif n° 15-319 du 13 décembre 2015 définit le fonctionnement du compte d'affectation spéciale n° 302-131, nommé « Fonds national pour la maîtrise de l'énergie et pour les énergies renouvelables et de la cogénération ».

Décret exécutif n°17-168 du 22 mai 2017 modifiant et complétant le décret exécutif n°15-319 de 2015, fixant les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spéciale intitulé « Fonds national pour la maîtrise de l'énergie et pour les énergies renouvelables et de la cogénération ». Ce texte soutient financièrement les initiatives d'efficacité énergétique et d'audit énergétique.

Annexe C : Des photos réelles des tubes fluorescents et du climatiseur.



Source : auteur 2022



Source : auteur 2022

ANNEXE

Annexe D : Une photo de la facture d'électricité de la Faculté d'Art et Culture.



الشركة الجزائرية لتوزيع الكهرباء والغاز
Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz

FOURNITURE D'ELECTRICITE HAUTE TENSION TYPE A

Capital Social : 64 000 000 000 DA

Direction de distribution : ALI MENDJELI

Adresse: BOULEVARD DE L'ALN, UV7, ALI MENDJELI.

N° RC: 25/10-0805455B06

FACTURE N°:282105A00386

N° NIF :000609080545593

N° RIB :BNA 00100834030000041864

N° RIP :xxxxxxxxxxxxxxxxxx

Mai 2021

N° NIS :

N° Fax : (031) 77-75-03

N° Tél : (031) 77-75-05

Client

Référence : 258201602230176 N° Contrat: 2820469E2013

N° Client : 2191608 Poste N°: N° IS : N° RC :

Nom Du Client : FACULTÉ DES ART ET DE LA CULTU NIF : Tél : 0 00 00 00

Adresse lieux de consommation: UNIV CNE 03 ALI MENDJELI Fax : 0 00 00 00

Nom & adresse du destinataire de la facture : FACULTÉ DES ART ET DE LA CULTU UNIV CNE03 ALI MENDJELI 25100

Type : Facture cyclique Tarif: 42 Période de consommation du : 01/05/2021 au 31/05/2021

Consommation :

Compteurs	N° série	Coef. de Lecture	Index Premier Cadran		Index Second Cadran		Index Troisième Cadran	
			Ancien	Nouveau	Ancien	Nouveau	Ancien	Nouveau
Actif-T-Tarif	031261000260	1.00	306 362	308 035	143 036	143 867	555 365	560 138
Reactif-S-T		-1.00	959 902	966 593				
Index Puissance		1.00		40				

Energies	Consommations			Périodes Tarifaires	
	Cadran 1	Cadran 2	Cadran 3	H.Pointe	Pointe
Consom. Active	1 673,00	831,00	4 773,00		
P.E.C. Active	25,10	12,47	71,60	7 658,70	1 066,67
P.A.V Active	418,50	223,20	697,50		
Consom. Réactive	6 691,00				
P.E.C Réactive	267,64				15514,64
P.A.V Réactive	8 556,00				

FACTURATION

Veillez régler par :

- Virement au compte CCP ou bancaire sus indiqué
- Chèque CCP ou bancaire adressé à notre unité

Contribution aux coûts permanents du système: 65.44 DA

Avis:
Un délai de paiement de 15 jours à dater de la réception de la présente facture vous est accordé. Passé ce délai, nous serons dans l'obligation d'entamer la procédure de suspension de la fourniture d'énergie.

Energie consommée	Quantité	P.U. (cDA)	A déduire	A ajouter(DA)
H.Pointe	7 658,70	180,64		13 834,68
Pointe	1 066,67	872,02		9 301,58
Facteur de Puissance (ER/EA)	177.81 %			
Majoration	11 151,96	45,53		5 077,49
Puissance Mise à Disposition	500	3 870,00		19 350,00
Puissance Maximale atteinte	40	18 058,00		7 223,20
Primes Fixes (DA)	1			515,65
Montant énergie HT				55 302,60
TVA énergie Taux 19%				10 507,49
Location (Complage, Transformateur)				0,00
Entretien du poste transformateur				0,00
Frais de coupure et remise				0,00
Montant prestation Hors Taxes				0,00
TVA prestation Taux 19 %				0,00
Taxe d'habitation				0,00
Soutien de l'état			0,00	
Taxe sur vente de produits énergétiques				0,00
TOTAL FACTURE:				65 810,09

N° Client : 2191608

Facture N°:282105A00386

Référence : 258201602230176

Montant : 65 810,09 DA

Clé EBP: 53



CONSTANTINE, le 13/06/2021

Le Directeur de Distribution



ح. بن سويدي

ANNEXE

Annexe E : Inventaire énergétique

- **Tableau 1 : l'inventaire énergétique de la Faculté d'architecture et d'urbanisme**

L'emplacement		Chauffage				L'éclairage		
	Nombre	Nombre de radiateur	Nombre d'élément	Nombre d'élément par radiateur	Capacité (110 W)	Type	Nombre	Capacité 36W/18 W
Amphi	Amphi 1 à 7	42	1008	24	110880	Tube fluorescent	1064	38304
	Amphi 300	8	192	24	21120	Tube fluorescent	196	3528
Salle de conférence		7	168	24	18480	Tube fluorescent	196	3528
Foyer des étudiants						Tube fluorescent	43	1548
Salle de travail		5	90	18	9900	Tube fluorescent	144	2592
Salle des maquettes		3	72	24	7920	Tube fluorescent	14	504
Salle des soutenances		6	144	24	15840	Tube fluorescent	156	2808
Service de traitement scientifique		5	90	18	9900	Tube fluorescent	144	2592
Salles d'internet (1 et 2)		9	180	20	19800	Tube fluorescent	296	5328

ANNEXE

Bureaux administratifs	10	10	180	18	19800	Tube fluorescent	60	2160
Ateliers	50	50	900	18	99000	Tube fluorescent	300	10800
Salle de réunion	2	4	72	18	7920	Tube fluorescent	16	576
Salle de tirage	1	2	36	18	3960	Tube fluorescent	8	288
Salle des enseignants	1	2	36	18	3960	Tube fluorescent	8	288
Magasins B0	2	4	72	18	7920	Tube fluorescent	16	576
Salle Td	54	108	1944	18	213840	Tube fluorescent	432	15552
Atelier	2	4	88	24	9680	Tube fluorescent	24	864
Atelier	24	48	1056	24	116160	Tube fluorescent	288	22464
Bureaux d'enseignants	74	74	592	8	65120	Tube fluorescent	296	11232
Bureaux non occupés	10	18	240	12elem /24	26400	Tube fluorescent	224	5760
Laboratoire de recherche	8	16	384	24	42240	Tube fluorescent	184	6048
Ateliers	8	16	384	24	42240	Tube fluorescent	192	6912
Salle informatique	4	12	168	14	18480	Tube fluorescent	128	4608

ANNEXE

Salle Td	6	24	336	18	36960	Tube fluorescent	576	20736
Salle Td	10	10	180	14	19800	Tube fluorescent	60	2160
Bureaux administratifs	53	53	572	24/08 et 18	62920	Tube fluorescent	264	9504
Salles non occupés	10	15	240	20 et 16 et 14 et 18 et 10	26400	Tube fluorescent	112	1728
Salles de projection	2	6	108	18	11880	Tube fluorescent	64	2304
Sanitaires	46					Tube fluorescent	139	4740
Couloir		82	1968	24	216480	Tube fluorescent	1231	33732
Bibliothèque	Banque de prêt	14	326	24 et 14	35860	Tube fluorescent	150	5400
	Salle de thèse	14	336	24	36960	Tube fluorescent	196	4680
	Bibliothèque centrale	5 et 3 de 10 éléments	150	24 elem et 10	16500	Tube fluorescent	120	4320
Escaliers		679				Tube fluorescent	47	1692

ANNEXE

Puissance	Puissance unitaire	Puissance W	Nombre	Puissance totale
48000	1BTU =0,29828W	14317,44	5	71587,2
18000	0,292828	5270,904	21	110688,984
13000	0,292828	3806,764	2	7613,528
9000	0,292828	2635,452	10	26354,52
12000	0,292828	3513,936	24	84334,464
Total				300578,696

- **Tableau 2 : l'inventaire énergétique de la Faculté d'art et culture**

L'emplacement		Chauffage				L'éclairage		
	Nombre	Nombre de radiateur	Nombre d'élément par radiateur	Nombre élément	Capacité 110W	Type	Nombre	Capacité 36/18 w
Amphi	Amphi 1 à 7	42	24	1008	110880	Tube fluorescent	840	15120
	Amphi 300	6	24	144	15840	Tube fluorescent	176	3168
Salle TD	66	132	14	1848	203280	Tube fluorescent	528	9504
Salle de théâtre	1	8	24	192	21120	Tube fluorescent + 12 projecteurs de 1000w +2 projecteurs de 220w	321	18596
Salle de conférence	1	6	24	144	15840	Tube fluorescent	80+50 spots	1615

ANNEXE

Salle de concert	1	8	24	192	21120	Tube fluorescent	332	6048
Galerie d'exposition	2	22	24et 10	520	57200	Tube fluorescent	98	3528
Salle de concert expérimentale						Tube fluorescent + 10 projecteurs de 1000+2 projecteurs de 220w	20	11160
Atelier de sculpture	1	4	14	56	6160	Tube fluorescent	18	648
Atelier de peinture	2	4	14	56	3080	Tube fluorescent	32	1152
Salle de musique	1	3	14	42	4620	Tube fluorescent	18	648
Laboratoires	40	120	14	1680	184800	Tube fluorescent	720	25920
Salle info	2	4	14	56	6160	Tube fluorescent	16	576
Salle d'internat des enseignants	1	6	24	144	15840	Tube fluorescent	125	2340
Banque de prêt	1	4	24	96	10560	Tube fluorescent	146	5256
Salle de doctorat	1	3	14	42	4620	Tube fluorescent	23 spot	80,5
Salle de doctorat informatique	1	2	14	28	3080	Tube fluorescent	24	864
Salle d'inscription	1	4	16	64	7040	Tube fluorescent	20	360
Club des étudiants	1	3	16	48	5280	Tube fluorescent	16	288

ANNEXE

Foyer des étudiants	1	4	14	56	6160	Lad	19 spots et 4 lustre lad	106,5
Salle d'honneur	1	3	12	36	3960	Lad	12 spots et 3 lustres lad	72
Poste transformateur	1					Tube fluorescent	2	72
Salle maintenance	3	6	10	60	6600	Tube fluorescent	24	864
Bureaux RDC	4	6	10 et 14	48	2200	Tube fluorescent	40	1440
Archive	2	2	12	24	2640	Tube fluorescent	8	288
Dépôt	6					Tube fluorescent	12	432
Salle internet étudiant	1	3	24	72	7920	Tube fluorescent	40	864
Salle d'internet des étudiants	1	9	24	216	23760	Tube fluorescent	156	2808
Salle de lecture des enseignants	1	10	24 et 10	212	23320	Tube fluorescent	116	2088
Salle de soutenance	1	8	24	192	21120	Tube fluorescent	52	936
Magasin rdc	2					Tube fluorescent	36	1296
Bureaux administratifs	66	74	10 et 12	756	83160	Tube fluorescent + lad	132 et 8 spots	4792

ANNEXE

	Salle de réunion 5émé	2	10	20	2200	Tube fluorescent	4	144
Bureaux enseignants	68	68	10	680	74800	Tube fluorescent	136	4896
Salle de délibération	2	4	20	80	8800	Tube fluorescent	28	1008
Sanitaires	45					Tube fluorescent	96	3456
Escaliers						Tube fluorescent	48	1728
Couloirs		40		724	79640	Tube fluorescent	1104	19872
Totale		620			1042800		5679	154034

Climatiseur			
Capacité	Puissance W	Nombre	Puissance totale
48000	15286,62	4	61146,48
9000	2866,24	3	8598,72
18000	5732,48	1	5732,48

ANNEXE

12000	3821,65	14	53503,1
Total			128980,78

- **Tableau 3 : l'inventaire énergétique de la Faculté génie des procédées**

L'emplacement		Chauffage				L'éclairage		
	Nombre	Nombre de radiateur	Nombre d'élément par radiateur	Nombre élément	Puissance d'un élément (110w)	Type	Nombre	Capacité 36/18W
Amphi	Amphi 1 à 7	42	20	840	92400	Tube fluorescent	1008	18144
	300	6	24	144	15840	Tube fluorescent	180	3240
Salle de conférence	1	8	24	192	21120	Tube fluorescent+ Lad	56 +24 spots	1188
Salle td	62	124	18	2232	245520	Tube fluorescent	496	17856

ANNEXE

Laboratoires pédagogique	40	120	18 et 14	2112	232320	Tube fluorescent	720	25920
Laboratoire pilote	1	13	24	312	34320	Tube fluorescent	176	6336
Foyer pour étudiant	1	4	24	96	10560	Tube fluorescent	64	1152
Atelier de stockage						Tube fluorescent	12	432
Chaudière						Tube fluorescent	8	288
Atelier de maintenance						Tube fluorescent	30	1080
Atelier de stockage						Tube fluorescent	18	648
Poste transformateur						Tube fluorescent	8	288

ANNEXE

Bureau d'ingénieur	4	8		112	12320	Tube fluorescent	32	1152
Bibliothèque		65	24 et 20	1460	160600	Tube fluorescent	740	19444
Espace multimédia informatique	2	4		56	6160	Tube fluorescent	144	5184
Salles fermées non occupées	2					Tube fluorescent	4	144
Laboratoires de recherche	16	48		1152	126720	Tube fluorescent	384	42240
Salle d'internet et informatique	2	8		96	10560	Tube fluorescent	56	1008
Bureaux d'enseignants	76	76		760	83600	Tube fluorescent	152	5472
Bureaux administratifs	62	77	10 et 12 et 8 et 20	826	90860	Tube fluorescent	184	6624

ANNEXE

Sanitaires	56					Tube fluorescent	156	5616
Escaliers						Tube fluorescent	32	1152
Couloirs		72	20/18/10	1398	153780	Tube fluorescent	455	13716
Totale		675		11788	1296680		5059	178324

Climatiseur			
Capacité	Puissance W	Nombre	Puissance totale
36000	11464	2	22928
18000	5278	4	21112

ANNEXE

12000	3519	23	80937
Total			124977

- **Tableau 4 : l'inventaire énergétique de la Institut Gestion des techniques urbaine**

L'emplacement		Chauffage				L'éclairage		
	Nombre	Nombre de radiateur	Nombre d'élément par radiateur	Nombre d'élément	Capacité (110 w)	Type	Nombre	Capacité (36/18w)
Amphi	Amphi 1 a amphi 7	42	24	1008	110880	Tube fluorescent	784	14112
	Amphi 300	8	24	192	21120	Tube fluorescent	148	2664
Salle td	37	74	14	1036	113960	Tube fluorescent	296	10656
Club des étudiants	1	2	14	28	3080	Tube fluorescent	8	288
Atelier spécialisé	8	24	20	480	52800	Tube fluorescent	336	12096
Laboratoire	2	6	20	120	13200	Tube fluorescent	48	1728
Un atelier de maintenance	2	1	10	20	2200	Tube fluorescent	4	144

ANNEXE

Atelier	26	78	14	1092	120120	Tube fluorescent	624	22464
Salle polyvalente	8	24	14	336	36960	Tube fluorescent	96	3456
Salle de lecture rez-de-chaussée	1	4	24	96	10560	Tube fluorescent	48	1728
Salle de lecture 2ème étage	1	16	24	384	42240	Tube fluorescent	46	1656
Bibliothèque	1	16	24	384	42240	Tube fluorescent	135 spots	1395
Sanitaires	30					Tube fluorescent	94	3384
Salle d'informatique	4	12	14	168	18480	Tube fluorescent	48	1728
Salle de cours	2	6	10	60	6600	Tube fluorescent	24	864
Salle d'internet	1	2	20	40	4400	Tube fluorescent	14	504
Salle des doctorants	1	2	20	40	4400	Tube fluorescent	14	504
Salle de conférence	la petite salle de conférence	3	23	69	7590	Tube fluorescent	30	1080
	Visio conférence	2	20	40	4400	Tube fluorescent	12 (spot)	42

ANNEXE

	La grande salle de conférence	7	24	168	18480	Tube fluorescent	50 (spot)	250
Couloirs		41	20	820	90200	Tube fluorescent	912	8208
Les escaliers						Tube fluorescent	15	540
Bureaux d'enseignants	72	72	10	720	79200	Tube fluorescent	144	5184
Bureaux administratifs	47	48	10 et 20 et 8	606	66660	Tube fluorescent	288	10368
	Salle de réunion	2	24	48	5280	Tube fluorescent	18	576
	Cafétéria	2	24	48	5280	Tube fluorescent	18	576
	Directeur	2	10	20	2200	Tube fluorescent	20 (spot)	150
Bureaux des agents		1	10	10	1100	Tube fluorescent	2	72
Totale		497			882530			106345

Climatiseur			
Capacité	Puissance W	Nombre	Puissance totale
36000	11464	2	22928

ANNEXE

18000	5278	4	21112
2 climats plafonniers (15000)	4777	2	9554
9000	2866,24	10	28662,4
12000	3519	19	66861
total			149117,4

- **Tableau 5 : l'inventaire énergétique de la Faculté de science de l'information et communications**

L'emplacement		Chauffage				L'éclairage		
	Nombre	Nombre de radiateur	Nombre d'élément par radiateur	Nombre d'élément	Capacité 110w/300w aluminium	Type	Nombre	Capacité 36/18w
Amphi	Amphi 1 à 7	42	24	1008	110880	Tube fluorescent	888	15984
	Amphi 300	8	24	192	21120	Tube fluorescent	124	2232
Salle de conférence	1	8	24	192	21120	Tube fluorescent	35 spots	164,5
Salle td	34	132	12	1584	174240	Tube fluorescent	804	28944

ANNEXE

Salle de cours	66	132	14	1848	203280	Tube fluorescent	528	19008
Salle d'honneur	1	2	24	48	5280	Tube fluorescent	8spot grand +12 très petit +12 moyens	156
Salle de réception	1	2	24	48	5280	Tube fluorescent	22	792
6 bureaux studio 6	6	6	14	84	9240	Tube fluorescent	12	432
Studio radio		7	24	168	18480	Tube fluorescent	120	2160
Salle de préparation	2	6	24	144	15840	Tube fluorescent	96	1728
Studio caméra		10	24	240	26400	Tube fluorescent	152	2736
Studio radio	1	8	24	192	21120	Tube fluorescent	120	2160
Espace internet		5	18 et 10	82	9020	Tube fluorescent	58	1080
Salle rez-de-chaussée	1	4	24	96	10560	Tube fluorescent	54	2568
Studio	1	2	24	48	5280	Tube fluorescent	12 spot petit +12 grand+4 spot carrée+6 spot très grand	236

ANNEXE

Bureaux administratifs	1+57	2+57	24 et 8 et 10 12	554	60940	Tube fluorescent	148	5328
Bureaux agents	2					Tube fluorescent	16	576
Magasins	2					Tube fluorescent	8	288
Foyer des étudiants	2	6	18	108	11880	Tube fluorescent	104	3744
Bibliothèque		18	24	432	47520	Tube fluorescent	214	4824
Salle de lecteur	1	15	24	360	39600	Tube fluorescent	56+58 spots	2219
Bureaux bibliothèque	4	4	10	40	4400	Tube fluorescent	8	288
Salle de lecteur	2	25	24	600	66000	Tube fluorescent	134	952
Salle des doctorants		3	24	72	7920	Tube fluorescent	32	1152
Bureaux d'enseignants	80	80	10	800	88000	Tube fluorescent	160	5760
Salle de réunion	2					Tube fluorescent	32	1152
Dépôt	2					Tube fluorescent	4	144
Sanitaires	58					Tube fluorescent	204	7358
Escaliers						Tube fluorescent	41	1476

ANNEXE

Couloirs		37+1 en aluminium de 20 éléments	18 et 12 et 10 et 24	1026	116660	Tube fluorescent	479	14292
Totale		563		9966	1100060		4765	129933,5

Climatiseur			
Capacité	Puissance W	Nombre	Puissance totale
48000	15286,62	2	30573,24
9000	2866,24	5	14331,2
13000	4140,12	8	33120,96
12000	3821,65	5	19108,25
Total			97133,65

- **Tableau 6 : l'inventaire énergétique de la Faculté science politique**

L'emplacement		Chauffage				L'éclairage		
Amphi	Nombre	Nombre de radiateur	Nombre d'élément par radiateur	Nombre d'élément	Capacité 110w	Type	Nombre	Capacité 36/18 w

ANNEXE

	Amphi 1 a amphi 7	42	24	1008	110880	Tube fluorescent	940	16920
	300	8	24	192	21120	Tube fluorescent	196	3528
Salle td	71	142	24 et 18 et 14 et 12	3136	344960	Tube fluorescent	572	20592
Salle des cours	41	82	24	1968	216480	Tube fluorescent	766	27576
Dépôt	1					Tube fluorescent	4	144
Salle des doctorants	1	2	24	48	5280	Tube fluorescent	9 spots	31,5
Salle de sport	1					Tube fluorescent	38	1368
Chaudière	1					Tube fluorescent	12	432

ANNEXE

Poste transfert	1					Tube fluorescent	6	216
La poste	1	3	24	72	7920	Tube fluorescent	14	504
Archives	1	4	20	80	8800	Tube fluorescent	92	1656
Salle informatique	1	2	16	32	3520	Tube fluorescent	32	576
La bibliothèque numérique	1	4	24	96	10560	Tube fluorescent	160	2880
Salle internet	1	4	24	96	10560	Tube fluorescent	94	1728
Bibliothèque	1	40	24 et 18	936	10560	Tube fluorescent	660	13608
Bureaux de la bibliothèque	5	5	12	60	6600	Tube fluorescent	10	360

ANNEXE

Les cubes	2	6	20 et 14	108	11880	Tube fluorescent	22	792
Bureaux des enseignants	74	74	8 et 10	604	66440	Tube fluorescent	148	5328
Bureaux administratifs	47	48	8 et 10 et 14 et 16 et 18	508	55880	Tube fluorescent	118	4248
	1 Salle de réunion	2	14	28	3080	Tube fluorescent	12+ 6 spots	441,5
Salle de conférence	1	8	24	192	21120	Tube fluorescent	17spots +32+96	4091,5
Sanitaire	40					Tube fluorescent	106	3924
Escaliers	52					Tube fluorescent	52	1872
Couloirs		54	24et 14 et 12	1202	132220	Tube fluorescent	869	20484

ANNEXE

Totale		530		10366	1047860		5974	133300,5
Climatiseur								
		Capacité	Puissance W	Nombre	Puissance totale			
		36000	11464	2	22928			
		9000	2866,24	10	28662,4			
		18000	5278	6	31668			
		12000	3519	19	66861			
		Total			150119,4			

- **L'inventaire énergétique de la Faculté de médecine + Rectorat**

Tableau 1 : l'inventaire énergétique de la faculté de médecine

ANNEXE

L'emplacement		Chauffage				L'éclairage		
Amphi	Nombre	Nombre de radiateur	Nombre d'élément par radiateur	Nombre d'élément	Capacité 110w	Type	Nombre	Capacité 36/18
	Amphi 1 à 7	49	24	1176	129360	Tube fluorescent	1208	21744
	Amphi 300	7	24	168	18480	Tube fluorescent	184	3312
Salle des cours	37	125	14 et 16 et 24	2040	224400	Tube fluorescent	722	25992
Laboratoires pédagogiques	44	121	14 et 16 et 18 et 20 et 24	2454	266932	Tube fluorescent	1174	50544
Bureaux des enseignants	70	70	10	700	77000	Tube fluorescent	70	2520
Bibliothèque		75	24	1500	165000	Tube fluorescent	1161	41796

ANNEXE

Salle de conférence	1	6	24	144	15840	Tube fluorescent	196	3528		
Bureau administratifs	76	128	16/10/2014	1792	197120	Tube fluorescent	472	16992		
Sanitaires	54					Tube fluorescent	154	5544		
Escaliers	31					Tube fluorescent	31	1116		
Couloirs			47	20/24	1070	117700	Tube fluorescent	420	7560	
Totale			628			1211832			5792	180648

Climatiseur			
Capacité	Puissance W	Nombre	Puissance totale

ANNEXE

48000	15286,62	2	30573,24
18000	5732,48	5	28662,4
12000	3821,65	2	7643,3
Total		66878,94	

Tableau 8 : l'inventaire énergétique du Rectorat

L'emplacement		Chauffage				L'éclairage		
		Nombre de radiateur	Nombre d'élément par radiateur	Nombre d'élément	Capacité 110w/300w aluminium	Type	Nombre	Capacité 36/18 w
Bureaux	108	140	14 et 10	1620	178200	Tube fluorescent	287	10332
Magasins	6	12	14	168	18480	Tube fluorescent	24	864
Sanitaire	14					Tube fluorescent	30	1080
Couloirs		2	24 et 14	38	4180	Tube fluorescent	100	3600

ANNEXE

Escaliers			Tube fluorescent	12	432
Total		200860		453	16308

Climatiseurs			
Capacité	Puissance	Nombre	Puissance totale
18000	5732,48	7	40127,36
12000	3821,65	35	133757,75
Total		173885,11	

Annexe F : Dimensions du modèle

- Niveau rez-de-chaussée

La configuration des volumes d'air du rez-de-chaussée est répétée à chaque niveau, mais le nombre de ces volumes diminue progressivement à mesure que l'on monte, réduisant ainsi leur total.

NIVEAU	Volum e d'air	Usage	Paroi	Volume adjacen t	Présence de fenêtres	Hauteur	Largeur	Type de vitrage	Surfac e des vitrages	Orien tation	Largeur calculé e	Haut eur calculé e	Surface des murs	Profon deur calculé e	Surfac e plancher	Surface des planche rs non	Surface plancher nette	Volu me(m3)
--------	---------------	-------	-------	------------------	----------------------	---------	---------	-----------------	-----------------------	--------------	-------------------	--------------------	------------------	-----------------------	-------------------	----------------------------	------------------------	-------------

ANNEXE

													extérieur		considérés	considérés			
N0, N1	NOV00-N1V00	Hall + ESC N	NOV01P01	N0V01						SO	19	4			576,0	0	576,0	4204,8	
			NOV01P02	N0V21						SE	19	4							
			N1V00P01	N1V01						SO	19	3,3							
			N1V00P02	N1V19						SE	19	3,3							
			NOV01P03	EXT	OUI	6,6	23,80	Sv épais	157,08	NO	24	7,3	175,2						
			NOV01P04	EXT	OUI	6,6	23,80	Sv épais	157,08	NE	24	7,3	175,2						
			NOV01P05	N0S1						SE	5	4							
			NOV01P06	N0S2						SO	5	4							
			N1V00P05	N1S1						SE	5	3,3							
			N1V00P06	N1S2						SO	5	3,3							
			NOV01P07	SOL							24		24						
			NOV01P08	N2V00							24		24						
N0, N1	NOV01	Salle d'internet	NOV01P01	N0V00						NE	19	4							
			NOV01P02	N0S2						SE	9	4							
			NOV01P03	N0V02						SO	14	4							
			NOV01P04	EXT	OUI	3	10,46	DV	31,3896	SO	9	4	36						
			NOV01P05	EXT						NO	5	4	20						

ANNEXE

			NOV01P0 6	SOL						19		9	171,0	0	171,0	684			
			NOV01P0 7	N1V01						19		9							
NO	NOV0 2	Salles des TD	NOV02P0 1	NOV01					NE	14	4								
			NOV02P0 2	EXT	OUI	3	13,09	SV	39,26	NO	28	4	112						
			NOV02P0 3	NOESC 1						SO	14	4							
			NOV02P0 4	EXT	OUI	3	13,09	DV	39,26	SE	28	4	112						
			NOV02P0 5	SOL							28			14	392,0	0	392,0	1568	
			NOV02P0 6	N1V02							28			14					
	NOV0 3	Hall NO	NOV03P0 1	NOESC 1						NE	9	4							
			NOV03P0 2	N0S3						SE	14	4							
			NOV03P0 3	EXT	OUI	3	1,76	DV	5,28	NO	14	4	56						
					OUI	3	6,34	DV	19,024										
			NOV03P0 4	NOESC 2						SO	9	4							
			NOV03P0 7	SOL							14			9	126,0	0	126,0	504	
	NOV03P0 8	N1V03							14			9							
	NOV0 4	Salles des TD	NOV04P0 1	NOESC 2						NE	14	4							
			NOV04P0 2	EXT	OUI	3,00	7,93	SV	23,8	NO	22	4	88						
			NOV04P0 3	NOV05						SO	14	4							
			NOV04P0 4	EXT	OUI	3,00	7,93	DV	23,8	SE	22	4	88						
			NOV04P0 5	SOL							22			14	308,0	0	308,0	1232	

ANNEXE

		NOV04P0 6	N1V04							22		14						
NOV0 5	Bureau x O	NOV05P0 1	N0V04						NE	14	4							
		NOV05P0 2	EXT	OUI	3,00	5,33	DV	16	SO	22	4	88						
		NOV05P0 3	EXT	OUI	3,00	3,84	DV	11,52	NO	22	4	88						
		NOV05P0 4	N0V06							NE	14	4						
		NOV05P0 5	EXT	OUI	3,00	2,67	SV	8	NE	8	4	32						
		NOV05P0 6	EXT	OUI	3,00	0,85	SV	2,56	SO	8	4	32						
		NOV05P0 7	SOL								22			14	308,0	0	308,0	1232
		NOV05P0 8	N1V05								22			14				
NOV0 6	Salles des TD	NOV06P0 1	N0V05						NO	14	4							
		NOV06P0 2	EXT	OUI	3	7,96	DV	23,88	SO	22	4	88						
		NOV06P0 3	N0ESC 3							SE	14	4						
		NOV06P0 4	EXT	OUI	3	7,96	SV	23,88	NE	22	4	88						
		NOV06P0 5	SOL								22			14	308,0	0	308,0	1232
		NOV06P0 6	N1V06								22			14				
NOV0 7	Hall SO	NOV07P0 1	N0ESC 3						NO	9	4							
		NOV07P0 2	N0CH						SO	14	4							
		NOV07P0 3	N0ESC 4						SE	9	4							
		NOV07P0 4	N0S4						NE	14	4							

ANNEXE

		NOV07P0 5	SOL							14		9	126,0	0	126,0	504	
		NOV07P0 6	N1V07							14		9					
NOV08	Salles de tirage +salle des enseignants + salle de la réunion s	NOV08P0 1	N0ESC 4						NO	14	4						
		NOV08P0 2	EXT	OUI	3	13,09	SV	39,26	SO	28	4	112					
		NOV08P0 3	N0V09							SE	5	4					
		NOV08P0 4	EXT							SE	9	4	36				
		NOV08P0 5	EXT	OUI	3	13,09	DV	39,26	NE	28	4	112					
		NOV08P0 6	SOL								28		14	392,0	0	392,0	1568
		NOV08P0 7	N1V08								28		14				
				NOV09P0 1	N0V08						NO	5	4				
NOV09	Bureau x SO	NOV09P0 2	EXT							NO	6	4	24				
		NOV09P0 3	EXT	OUI	3	8,99	DV	26,97	SO	13	4	52					
		NOV09P0 4	N0V10							SE	11	4					
		NOV09P0 5	EXT	OUI	3	4,396	SV	13,19	NE	13	4	52					
		NOV09P0 6	SOL								13		11	143,0	0	143,0	572
		NOV09P0 7	N1V09								13		11				
				NOV10P0 1	N0V09						NO	11	4				
NOV10	Hall S	NOV10P0 2	N0V11						NE	11	4						
			EXT	OUI	3	1,03	Sv	3,08	SO	17	4	68					

ANNEXE

		NOV12P0 3	EXT	OUI	6	1,46	DV	8,78	SE	20	5	100													
		NOV12P0 4	EXT	OUI	6	1,46	DV	8,78	NE	20	5	100													
		NOV12P0 5	NOV13						NO	20	5														
		NOV12P0 6	SOL							20		400									20	400,0	0	400,0	2000
		NOV12P0 7	EXT							20		30									20				
NOV1 3	Couloir NO	NOV13P0 1	EXT	OUI	6	0,51	SV	3,08	SO	6	5	30													
		NOV13P0 2	NOV12						SE	20	5														
		NOV13P0 3	EXT						NE	6	5	30													
		NOV13P0 4	EXT	OUI	6	3,90	SV	23,4	NO	20	5	100													
		NOV13P0 5	SOL							20											6	120,0	0	120,0	600
		NOV13P0 6	EXT							20		120									6				
NOV1 4	Amphi 1 E	NOV14P0 8	SOL						O	28	1,3														
		NOV14P0 9	SOL						S	18	1,3														
		NOV14P1 0	SOL						E	28	1,3														
		NOV14P1 1	SOL						N	18	1,3														
		NOV14P0 1	NOV15						O	28	5														
		NOV14P0 2	EXT						S	18	5	90													
		NOV14P0 3	EXT	OUI	3	2,95	DV	8,85	E	28	5	140													
		NOV14P0 4	EXT						N	9	5	45													

ANNEXE

		NOV14P0 5	N0V16						N	9	4					
		NOV14P0 6	SOL							28		18	504,0	0	504,0	2520
		NOV14P0 7	N1V12							28		18				
NOV1 5	Couloir	NOV15P0 1	EXT						S	6	5	30				
		NOV15P0 2	N0V14						E	28	5					
		NOV15P0 3	N0V16						N	6	4					
		NOV15P0 4	EXT	OUI	3	8,52	SV	25,56	O	28	5	140				
		NOV15P0 5	SOL	3						28		6	168,0	0	168,0	840
		NOV15P0 6	N1V13							28		6				
NOV1 6	Hall E	NOV16P0 1	N0V14						S	9	4					
		NOV16P0 2	N0V15						S	6	4					
		NOV16P0 3	EXT	OUI	3	26,58	Sv épais	79,73	E	34	4	136				
		NOV16P0 4	N0V17						N	9	4					
		NOV16P0 5	N0V18						N	6	4					
		NOV16P0 6	EXT	OUI	3	2,18	DV	6,55	O	6,5	4	26				
		NOV16P0 7	N0V24						O	21	4					
		NOV16P0 8	EXT	OUI	3	2,18	SV	6,55	O	6,5	4	26				
		NOV16P0 9	SOL							34		15	510,0	0	510,0	2040
		NOV16P1 0	N1V14							34		15				

ANNEXE

NOV1 7	Amphi 2 E	NOV17P0 8	SOL					N	18	1,3						
		NOV17P0 9	SOL					E	28	1,3						
		NOV17P1 0	SOL					S	18	1,3						
		NOV17P1 1	SOL					O	28	1,3						
		NOV17P0 1	N0V16					S	6,5	4						
		NOV17P0 2	EXT					S	11	5	55					
		NOV17P0 3	EXT	OUI	5	1,46	DV	7,31	E	28	5	140				
		NOV17P0 4	EXT					N	18	5	90					
		NOV17P0 5	N0V18					O	28	5						
		NOV17P0 6	SOL						28			18	504,0	0	504,0	2520
		NOV17P0 7	N1V15						28			18				
		NOV1 8	Couloir	NOV18P0 1	N0V16					S	6	4				
NOV18P0 2	N0V17							E	28	5						
NOV18P0 3	EXT							N	6	5	30					
NOV18P0 4	EXT			OUI	3	8,52	SV	25,56	O	28	5	140				
NOV18P0 5	SOL								28			6	168,0	0	168,0	840
NOV18P0 6	N1V16								28			6				
NOV1 9	Amphi NE	NOV19P0 8	SOL					SE	20	1,3						
		NOV19P0 9	SOL					NE	20	1,3						

ANNEXE

		NOV19P1 0	SOL						NO	20	1,3										
		NOV19P1 1	SOL						SO	20	1,3										
		NOV19P0 1	EXT	OUI	6	1,46	DV	8,78	SE	20	5	100									
		NOV19P0 2	EXT	OUI	6	1,46	DV	8,78	NE	20	5	100									
		NOV19P0 3	EXT						NO	7	5	35									
		NOV19P0 4	NOV21						NO	13	4										
		NOV19P0 5	NOV20						SO	20	5										
		NOV19P0 6	SOL							20			20					400,0	0	400,0	2000
		NOV19P0 7	EXT							20		30	20								
		NOV2 0	Couloir SO	NOV20P0 1	EXT						SE	6	5								
NOV20P0 2	NOV19								NE	20	5										
NOV20P0 3	NOV21								NO	6	4										
NO20P04	EXT			OUI	6	7,80	SV	46,80	SO	20	5	100									
NOV20P0 5	SOL									20			6	120,0	0	120,0	600				
NOV20P0 6	EXT									20			6								
NOV2 1	Salle d'honneur	NOV21P0 1	NOV19						SE	13	4										
		NOV21P0 2	NOV20						NE	6	4										
		NOV21P0 3	NOV00						NO	19	4										
		NOV21P0 4	EXT	OUI	3	10,46	DV	31,39	NE	8	4	32									

ANNEXE

		NOV21P0 5	N0S01						SO	8	4						
		NOV21P0 6	SOL							19			8	152,0	0	152,0	608
		NOV21P0 7	N1V17							19			8				
NOV2 2	Atelier urbanis me	NOV22P0 1	N0S03						NO	14	4						
		NOV22P0 2	EXT	OUI	3	10,26	SV	30,78	SO	26	4	104					
		NOV22P0 3	N0V25						SE	14	4						
		NOV22P0 4	EXT	OUI	3	10,26	SV	30,78	NE	26	4	104					
		NOV22P0 5	SOL							14			26	364,0	0	364,0	1456
		NOV22P0 6	N1V18								14			26			
NOV2 3	Atelier Archite cture archive s	NOV23P0 1	N0S04						SO	14	4						
		NOV23P0 2	EXT	OUI	3	10,26	SV	30,78	SE	26	4	104					
		NOV23P0 3	N0V26						NE	14	4						
		NOV23P0 4	EXT	OUI	3	10,26	SV	30,78	NO	26	4	104					
		NOV23P0 5	SOL							14			26	364,0	0	364,0	1456
		NOV23P0 6	N1V19								14			24			
NOV2 4	Salles des TD	NOV24P0 1	N0V16						E	21	4						
		NOV24P0 2	EXT	OUI	3	6,29	SV	18,86	N	20	4	80					
		NOV24P0 4	N0V27						O	21	4						
		NOV24P0 5	EXT	OUI	3	6,29	SV	18,86	S	20	4	80					

ANNEXE

		NOV24P0 7	SOL							21		20					
		NOV24P0 8	N1							21		20					
		NOV24P0 9	SOL							21		20	420,0	0	420,0	1680	
		NOV24P1 0	N1V20							21		20					
NOV2 5	Patio SE	NOV25P0 1	N0V22						NO	14	4						
		NOV25P0 2	EXT	OUI	3	1,07	SV	3,20	SO	9	4	36					
		NOV25P0 3	Volume miroir						SE	14	4						
		NOV25P0 4	EXT	OUI	3	1,07	SV	3,20	NE	9	4	36					
		NOV25P0 5	SOL							14			9	126,0	0	126,0	504
		NOV25P0 6	N1V21							14			9				
NOV2 6	Patio NE	NOV26P0 1	N0V23						SO	14	4						
		NOV26P0 2	EXT	OUI	3	1,07	SV	3,20	SE	9	4	36					
		NOV26P0 3	Volume miroir						NE	14	4						
		NOV26P0 4	EXT	OUI	3	1,07	SV	3,20	NO	9	4	36					
		NOV26P0 5	SOL							14			9	126,0	0	126,0	504
		NOV26P0 6	N1V22							14			9				
NOV2 7	Patio O	NOV27P0 1	N0V24						E	21	4						
		NOV27P0 2	EXT	OUI	3	3,36	SV	10,08	N	10	4	40					
		NOV27P0 3	Volume miroir						O	21	4						

ANNEXE

		N0V27P0 4	EXT	OUI	3	3,36	SV	10,08	S	10	4	40						
		N0V27P0 5	SOL							21			10	210,0	0	210,0	840	
		N0V27P0 6	N1V23							21			10					
N0S1	Sanitair e	N0S1P01	EXT						SO	8	4	32						
		N0S1P02	EXT	OUI	3	0,32	SV	0,96	SE	5	4	20						
		N0S1P03	N0V21						NE	8	4							
		N0S1P04	N0V00						NO	5	4							
		N0V27P0 5	SOL							8			5	0	40,0	40,0	160	
		N0V27P0 6	N01S1							8		20	5					
N0S2	Sanitair e	N0S2P01	EXT	OUI	3	0,32	SV	0,96	SO	5	4	36						
		N0S2P02	EXT						SE	9	4							
		N0S2P03	N0V00						NE	5	4							
		N0S2P04	N0V01						NO	9	4							
		N0S2P05	SOL							5			9	0	45,0	45,0	180	
		N0S2P06	N01S2							5			9					
N0S3	Sanitair e	N0S3P01	N0ESC 1						NE	5	4							
		N0S3P02	N0V03						NO	14	4							
		N0S3P03	N0ESC 2						SO	5	4							
		N0S3P04	N0V22						SE	14	4							
		N0S3P05	SOL							14			5	0	70,0	70,0	280	
		N0S3P06	N01S3							14			5					
N0S4	Sanitair e	N0S4P01	N0ESC 3						NO	5	4							
		N0S4P02	N0V07						SO	14	4							
		N0S4P03	N0ESC 4						SE	5	4							
		N0S4P04	N0V23						NE	14	4							

ANNEXE

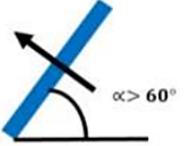
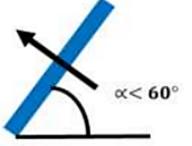
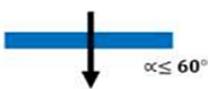
		N0S4P05	SOL			14		5	0	70,0	70,0	280	
		N0S4P06	N01S4			14		5					
NOES C1	Escalier	NOESC1P 01	N0V02		NE	14	4						
		NOESC1P 02	EXT		NO	5	4	20					
		NOESC1P 03	N0V03		SO	9	4						
		NOESC1P 04	N0S3		SO	5	4						
		NOESC1P 05	EXT		SE	5	4	20					
		NOESC1P 06	SOL			14			5	0	70,0	70,0	280
		NOESC1P 07	N01ES C1			14			5				
NOES C2	Escalier	NOESC2P 01	N0V02		SO	14	4	20					
		NOESC2P 02	EXT		NO	5	4						
		NOESC2P 03	N0V03		NE	9	4						
		NOESC2P 04	N0S3		NE	5	4						
		NOESC2P 05	EXT		SE	5	4						
		NOESC2P 06	SOL			14			5	0	70,0	70,0	280
		NOESC2P 07	N01ES C2			14			5				
NOES C3	Escalier	NOESC3P 01	N0V02		NO	14	4	20					
		NOESC3P 02	EXT		SO	5	4						
		NOESC3P 03	N0V03		SE	9	4						
		NOESC3P 04	N0S3		SE	5	4						

ANNEXE

NOES C4		NOESC3P 05	EXT						NE	5	4						
		NOESC3P 06	SOL							14			5	0	70,0	70,0	280
		NOESC3P 07	N01ES C3							14			5				
		NOESC4P 01	N0V02						SE	14	4	20					
		NOESC4P 02	EXT						SO	5	4						
		NOESC4P 03	N0V03						NO	9	4						
		NOESC4P 04	N0S3						NO	5	4						
		NOESC4P 05	EXT						NE	5	4						
		NOESC4P 06	SOL							14			5	0	70,0	70,0	280
		NOESC4P 07	N01ES C4							14			5				
		NOCH	Chauff erie & AUX	N0CHP0 1	N0V03						SE	14	4				
N0CHP0 2	EXT								NE	5	4	20					
N0CHP0 3	EXT			Oui	3	8,54	DV	25,624	NO	14	4	56					
N0CHP0 4	EXT								SO	5	4	20					
NOESC4P 06	SOL									14			5	0	70,0	70,0	280
NOESC4P 07	N1V07									14			5				

Annexe G : Coefficients d'échange convectif selon la DTR C3-2

Tableau.III.3. Coefficient d'échange superficiel intérieur & extérieur (DTR C3-2).

$1/h$ en ($m^2 \cdot C/W$)		Pari en contact avec :			Pari en contact avec :		
		$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$
Mur (Latéral)		0,11	0,06	0,17	0,11	0,11	0,22
Toiture (Ascendant)		0,09	0,05	0,14	0,09	0,09	0,18
Plancher (Descendant)		0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Annexe H : Caractéristiques thermiques des tubes fluorescents

Comme il a été étudié dans la [partie théorique](#), toute la puissance électrique consommée par les sources d'éclairage est en très bonne approximation transformée en chaleur. Pourtant, cette chaleur n'est pas de même nature suivant les sources et voici un bilan énergétique synthétique (en partie d'après C.Meyer et H. Nienhuis) :

	Conduction convection (%)	UV (%)	Visible (%)	Infrarouge (%)	Commentaires
Incandescence 100W	15	-	10	75	Principe du corps noir donc les infrarouges sont très présents
Fluorescent rectiligne	71,5	0,5	28	-	Les lampes fluorescentes – grâce à leurs poudres spécifiques – n'émettent pratiquement que dans le visible
Fluorescent compacte	80	0,5	19,5	-	
Iodures métalliques	50	1,5	24	24,5	Ces familles de lampes à décharge – qui ne sont opalisées que pour des raisons de confort d'éclairage et non par nécessité comme les sources fluorescentes – émettent des ondes qui ne sont pas transformées, sont donc moins précises et « débordent » sur les UV et infrarouges.
Sodium Haute pression	44	-	31	25	
Sodium basse pression	31	-	35	34	
LED	65	-	35	-	Les LED – n'émettent pratiquement pas dans l'infrarouge et les UV

Annexe I : l'usage de L'éclairage

- Niveau rez-de-chaussée

ANNEXE

Volume d'air	Usage	Nombre d'heures par jour	Nombre de jours par semaine	Simultanéité (%)	Puissance retenue (W)
N0V00	Halle d'entrée	9	5	0,8	1267,2
N0V01	Salle informatique	3	2	0,3	777,6
N0V02	Salle TD	7	3	0,8	1843,2
N0V03	HALL 03	8	5	0,4	144
N0V04	Salle TD	7	3	0,7	324,8
N0V05	Bureau O	1	5	0,8	979,2
N0V06	Salle TD	7	3	0,7	324,8
N0V07	HALL S0	8	5	0,4	201,6
N0V08 (la moitié fermer)	Salle TD	7	3	0,5	1008
N0V09	Bureau SO	7	5	0,5	828
N0V10	HALL S	8	5	0,4	115,2
N0V11	Médecin générale	7	5	0,8	1324,8
N0V12	Amphi SE	6	2	0,9	3175,2
N0V13	Couloir NO	8	5	0,4	144
N0V14	Amphi 1 E	6	2	0,9	4924,8
N0V15	Couloir 1 O	8	5	0,4	259,2
N0V16	HALL E	8	5	0,5	864
N0V17	Amphi 2 E	6	2	0,9	4924,8
N0V18	Couloir 2 O	8	5	0,4	230,4
N0V19	Salle de conférence	7	2	0,9	1555,2
N0V20	Couloir SO	8	5	0,4	172,8
N0V21	Salle d'honneur	3	2	0,4	1036,8
N0V22	Atelier URBANISM E	6	5	0,8	2131,2
N0V23	Atelier ARCHITECTURE	6	5	0,8	2131,2
N0V24	Atelier	6	5	0,8	4454,4
N0V25	Patio SE	8	5	0,5	270
N0V26	Patio NE	8	5	0,5	270
N0V27	Patio O	8	5	0,5	504
N0S1	Sanitaire	8	5	0,5	90
N0S2	Sanitaire	8	5	0,5	90
N0S3	Sanitaire	8	5	0,5	108
N0S4	Sanitaire	8	5	0,5	108
N0ESC1	Escalier	8	5	0,4	14,4
N0ESC2	Escalier	8	5	0,4	14,4

ANNEXE

N0ESC3	Escalier	8	5	0,4	14,4
N0ESC4	Escalier	8	5	0,4	14,4
N0CH	Chaufferie	1	5	0,3	172,8

• **Niveau 1**

Volume d'air	Usage	Nombre d'heures par jour	Nombre de jours par semaine	Simultanéité (%)	Puissance retenue (W)
N1V00	Hall N	8	5	0,5	234
N1V01	Salle de travail	6	5	0,8	2073,6
N1V02	Salles des TD	6	3	0,9	1782
N1V03	Salle informatique	6	3	0,8	1929,6
N1V04	Salles des TD	6	3	0,8	1036,8
N1V05	Bureaux O	1	5	0,8	1353,6
N1V06	Salles des TD	6	3	0,8	1036,8
N1V07	Salle info (non utiliser)				
N1V08	Salles des TD	6	3	0,9	1782
N1V09	Bureaux SO	7	5	0,8	1296
N1V10	Hall S	8	5	0,4	43,2
N1V11	Bureaux SO	7	5	0,8	1296
N1V12	Amphi 1 E	6	2	0,9	4924,8
N1V13	Couloir	8	5	0,4	144
N1V14	Hall E	8	5	0,4	172,8
N1V15	Amphi 2 E	6	2	0,9	4924,8
N1V16	Couloir	8	5	0,4	144
N1V17	Service de traitement scientifique	6	5	0,8	2160
N1V18	Atelier urbanisme	6	5	0,9	2494,8
N1V19	Atelier Architecture	6	5	0,9	2494,8
N1V20	Atelier	6	5	0,9	3175,2
N1V21	Patio SE	8	5	0,5	216
N1V22	Patio NE	8	5	0,5	216
N1V23	Patio O	8	5	0,5	468
N1S1	Sanitaire	8	5	0,5	90
N1S2	Sanitaire	8	5	0,5	90
N1S3	Sanitaire	8	5	0,5	108

ANNEXE

N1S4	Sanitaire	8	5	0,5	108
N1ESC1	Escalier	8	5	0,4	14,4
N1ESC2	Escalier	8	5	0,4	14,4
N1ESC3	Escalier	8	5	0,4	14,4
N1ESC4	Escalier	8	5	0,4	14,4

• **Niveau 2**

Volume d'air	Usage	Nombre d'heures par jour	Nombre de jours par semaine	Simultanéité (%)	Puissance retenue (W)
N2V00	Hall N	8	5	0,5	810
N2V01	Salle de stockage des livres 1	6	5	0,8	1440
N2V02	Salles des TD	6	3	0,9	1782
N2V03	SALLE informatique	6	3	0,8	1929,6
N2V04	Salles des TD	6	3	0,8	1036,8
N2V05	Bureaux O	1	5	0,8	1353,6
N2V06	Salles des TD	6	2	0,8	1036,8
N2V07	Salle de projections	6	3	0,8	1929,6
N2V08	Salles des TD	6	3	0,9	1782
N2V09	Bureaux SO	7	5	0,8	1296
N2V10	Hall S	8	5	0,4	43,2
N2V11	Bureaux SO	7	5	0,8	1296
N2V12	ATELIER (non utiliser)				
N2V13	Salle de stockage des livres	6	5	0,4	662,4
N2V14	Atelier urbanisme	6	4	0,9	2494,8
N2V15	Atelier Architecture	6	4	0,9	2494,8
N2V16	Atelier	6	4	0,9	3175,2
N2V17	Patio SE	8	5	0,5	216
N2V18	Patio NE	8	5	0,5	216
N2V19	Patio O	8	5	0,5	468
N2S1	Sanitaire	8	5	0,5	90
N2S2	Sanitaire	8	5	0,5	90
N2S3	Sanitaire	8	5	0,5	108
N2S4	Sanitaire	8	5	0,5	108

ANNEXE

N2ESC1	Escalier	8	5	0,4	14,4
N2ESC2	Escalier	8	5	0,4	14,4
N2ESC3	Escalier	8	5	0,4	14,4
N2ESC4	Escalier	8	5	0,4	14,4

• Niveau 3

Volume d'air	Usage	Nombre d'heures par jour	Nombre de jours par semaine	Simultanéité (%)	Puissance retenue (W)
N3V00	Hall N	8	5	0,5	810
N3V01	Biblio 1	6	5	0,8	1209,6
N3V0V2	Salles des TD	1	1	0,8	3456
N3V04	Bureau	1	5	0,5	666
N3V04	Salles des TD	1	1	0,8	2188,8
N3V05	Bureaux O	1	5	0,5	846
N3V06	Salles des TD	1	1	0,8	2188,8
N3V07	BUREAU	1	5	0,5	666
N3V08	Salles des TD	1	1	0,8	3456
N3V09	Bureaux SO	7	5	0,4	604,8
N3V10	Hall S	7	5	0,4	43,2
N3V11	Bureaux SO	7	5	0,4	288
N3V12	Ateliers				
N3V13	Biblio2	6	5	0,9	2008,8
N3V14	Atelier urbanisme	6	3	0,9	3272,4
N3V15	Atelier Architecture	6	3	0,9	3272,4
N3V16	Salles des TD	6	3	0,8	1468,8
N3V17	Patio SE	8	5	0,5	216
N3V18	Patio NE	8	5	0,5	216
N3V19	Patio O	8	5	0,5	468
N3S1	Sanitaire	8	5	0,5	90
N3S2	Sanitaire	8	5	0,5	90
N3S3	Sanitaire	8	5	0,5	108
N3S4	Sanitaire	8	5	0,5	108
N3ESC1	Escalier	8	5	0,4	14,4
N3ESC2	Escalier	8	5	0,4	14,4
N3ESC3	Escalier	8	5	0,4	14,4
N3ESC4	Escalier	8	5	0,4	14,4

• Niveau 4

Volume d'air	Usage	Nombre d'heures par jour	Nombre de jours par semaine	Simultanéité (%)	Puissance retenue (W)
N4V00	Hall N	8	5	0,5	810
N4V01	Salles des revues 01	1	1	0,8	1382,4

ANNEXE

N4V02	Bureaux	1	1	0,8	1065,6
N4V03	Bureaux	1	1	0,8	576
N4V04	Bureaux	1	1	0,8	1065,6
N4V05	Salles des revues 02	1	1	0,8	1728
N4V06	Laboratoire	8	5	0,9	3272,4
N4V07	Laboratoire	8	5	0,9	3272,4
N4V08	Patio se	8	5	0,5	216
N4V09	Patio ne	8	5	0,5	216
N4V10	Patio o	8	5	0,5	468
N4S1	Sanitaire	8	5	0,5	90
N4S2	Sanitaire	8	5	0,5	90
N4S3	Sanitaire	8	5	0,5	108
N4S4	Sanitaire	8	5	0,5	108

Annexe J: Article

ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION AND CO₂ EMISSION: CASE SALAH BOUBNIDER CONSTANTINE 3 UNIVERSITY, ALGERIA

Fatima Zohra Filali[□] and Fatima Zohra Chafi[†], PhD

Urban Technical Management Institute, Salah Boubnider Constantine 3 University,
Ali Mendjili, Algeria

ABSTRACT

This manuscript presents an analysis of energy consumption and CO₂ emissions at Constantine 3 University. The study is primarily based on data collection through an energy inventory of electrical equipment, gas equipment, and lighting for a comprehensive assessment of the university's energy consumption, which is considered the largest university hub in Africa. The obtained data were compared to the electricity and gas bills to verify the compatibility between consumption calculations and the kilowatt-hours billed to the university, thus classifying the faculties from the highest to the lowest energy consumer. The results show that the Faculty of Architecture consumes the most energy when all its existing equipment is functioning. However, the Faculty of Medicine and the Rectorate are the biggest consumers of energy when the equipment is running, and therefore, emit the most greenhouse gases. This study highlights the importance of conducting an energy audit, as Algerian regulations mandate an audit for tertiary institutions only when consumption exceeds 500 TOE (Tonne of oil equivalent). After analyzing Constantine 3 University's energy consumption, the estimated consumption is 2047 TOE, which complies with Algerian energy regulations.

Keywords: energy consumption, CO₂ emissions, Algerian policy, energy efficiency, Constantine 3 University

1. INTRODUCTION

Energy efficiency is a national and international policy aimed at reducing energy consumption and CO₂ emissions to achieve energy security. In Algeria, the energy delegate ministry emphasized that energy security should be seen as a national project that integrates all of the country's forces to ensure its availability and sustainability. Worldwide, energy

* Corresponding Author's E-mail: fatima.filali@univ-constantine3.dz

† Author's E-mail: fatima.chafi@univ-constantine3.dz



Nom et Prénom : FILALI Fatima Zohra
Titre : AUDIT ÉNERGÉTIQUE AU TERTIAIRE ET RISQUE ENVIRONNEMENTAL CAS DU
PÔLE UNIVERSITAIRE CONSTANTINE 3
Thèse en vue de l'Obtention du Diplôme de Doctorat LMD en
Gestion des techniques urbaines

Résumé

Il est certain que la croissance démographique entraîne une hausse des besoins énergétiques, augmentant ainsi les émissions de CO₂ et contribuant au changement climatique. L'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments est donc une mesure clé pour réduire cette consommation et les émissions associées.

L'audit énergétique est une étape essentielle dans l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments ; Ce processus systémique permet d'analyser la consommation d'énergie d'un bâtiment, d'identifier les principales sources de gaspillage et de repérer les opportunités d'économie.

Cette thèse de recherche met en lumière l'importance de l'audit énergétique dans le secteur tertiaire, précisément à l'université Salah Boubnider Constantine 3. L'objectif principal est de réaliser un audit énergétique détaillé pour améliorer l'efficacité énergétique de l'université, réduire l'impact environnemental de sa consommation énergétique et répondre aux exigences de la politique nationale algérienne sur l'efficacité énergétique et la maîtrise de l'énergie.

Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé une méthodologie analytique en analysant les factures de gaz et d'électricité, ainsi que l'inventaire énergétique. Ensuite, l'étude s'est penchée sur la simulation numérique en utilisant le logiciel CoDyBa pour la simulation énergétique de la faculté d'architecture et d'urbanisme comme exemple d'étude. Nous avons également mené une étude empirique pour évaluer les comportements des employés administratifs en matière de consommation énergétique.

Les résultats révèlent que l'université Salah Boubnider Constantine 3 doit mettre en place un audit énergétique en conformité avec le Décret exécutif n°05-495, compte tenu d'une consommation énergétique totale de 1550,93 TEP.. Nous avons relevé que la climatisation et l'éclairage sont les parts d'énergie les plus notables. Nos analyses ont révélé un surdimensionnement de l'éclairage. Les simulations ont permis de proposer des recommandations efficaces et peu coûteuses, telles que la modification des consignes de chauffage et de climatisation ; il serait plus judicieux de mettre le climatiseur à 26°C. Ceci pourrait réduire la consommation énergétique de 46 % sans coût initial. De plus, l'étude empirique a révélé que la majorité des employés administratifs ne sont pas conscients de leur consommation énergétique. Des recommandations pour l'amélioration de l'efficacité énergétique ont été dérivées de cette recherche, visant à optimiser la gestion énergétique de l'université et à réduire son empreinte carbone.

Mots clés : Audit énergétique, Consommations Energétique, Efficacité Energétique, Emissions de CO₂, Risque Environnemental, Université Salah Boubnider Constantine 3.

Directeur de thèse : Fatima Zohra CHAFI -Université Constantine 3
Co-directeur : Frédéric KUZNIK- INSALyon

Année Universitaire : 2023-2024