

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Université Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de Science et Technologie
Département de Génie Mécanique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en : Energétique
Domaine : SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE
Filière: GENIE MECANIQUE
Spécialité : ENERGETIQUE
Thème

***Etude technico-économique comparative de
différents systèmes de chauffage et de
climatisation de l'habitat***

Présenté Par :

- 1) EL HABIB DAHO Abdessamad
- 2) BENZINA Mohamed El Amine
- 3) BERRAHAIL Kamel

Devant le jury composé de :

Pr. BENZENINE HAMIDOU.....UAT.B.B (Ain-Temouchent) Président
Dr. CHERIET Nour ElhoudaUAT.B.B (Ain-Temouchent) examinateur
Pr. BENSAAAD BOURASSIA.....UAT.B.B (Ain-Temouchent) Encadrante

Année universitaire 2023/2024

REMERCIEMENT

On voudrait tout d'abord adresser toute notre gratitude à «Mme.Bensaad» la directrice de ce travail, Pour le temps qu'elle nous a consacré, pour ses conseils avisés ainsi que pour sa supervision éclairée tout au long de la rédaction de ce projet fin de cycle. On la remercie aussi pour sa disponibilité. En termes d'aide, de conseil et de direction c'est la personne qui a le plus contribué dans ce travail, elle la vue évaluer.

On a passé pas mal de temps dans les couloirs de cette université, et ce travail n'est que la finalité de toutes ces années de dur labeur. Nous tenons à saisir cette occasion et adresser nos remerciements les plus sincères au corps professoral et administratif de l'Université Belhadj Bouchaib Ain Temouchent pour leur collaboration et leur aide.

Nous exprimons nos reconnaissances à tous les membres de jury d'avoir accepté de lire ce manuscrit et d'apporter les critiques nécessaires pour cette mémoire. Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude à nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

*Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragés au cours de la réalisation de ce travail.
Mercie à tous et à toute*

Dédicace

Avec un énorme plaisir je dédie ce travail à mes très chers parents votre courage, vos sacrifices ont été pour moi le meilleur soutien durant ce long parcours.

A mes chers frères et sœurs.

A mon encadrante Pr.BENSAAD BOURASSIA

A mes très chers amis et mes collègues de génie mécanique, spécialité énergétique.

A tous mes professeurs qui m'ont encadré tous ou long de mon cursus universitaire.

EL HABIB DAHO Abdessamad

Dédicace

*Avec un énorme plaisir je dédie ce travail à mes très chers parents
votre courage, vos sacrifices ont été pour moi le meilleur soutien
durant ce long parcours.*

A mes chers frères et sœurs.

A mon encadrante Pr.BENSAAD BOURASSIA

*A mes très chers amis et mes collègues de de génie mécanique,
spécialité énergétique*

BENZINA Mohamed El Amine.

Dédicace

*Avec un énorme plaisir je dédie ce travail à mes très chers parents
votre courage, vos sacrifices ont été pour moi le meilleur soutien
durant ce long parcours.*

A mes chers frères et sœurs.

A mon encadrante Pr.BENSAAD BOURASSIA

*A mes très chers amis et mes collègues de de génie mécanique,
spécialité énergétique*

BERRAHAIL Kamel

Résumé

Dans cette étude, nous avons exploré les systèmes de chauffage et de climatisation et leur impact sur les besoins énergétiques des bâtiments ainsi que sur l'efficacité énergétique. Nous avons analysé divers systèmes, leurs performances, et identifié des méthodes pour optimiser leur efficacité afin de réduire la consommation d'énergie. Dans les deux derniers chapitres, nous avons appliqué ces concepts à un cas pratique en prenant l'exemple d'une école. Nous avons calculé les besoins énergétiques de cette école et évalué différents systèmes de chauffage et de climatisation pour déterminer les solutions les plus appropriées. Ces recommandations visent à améliorer l'efficacité énergétique globale tout en répondant aux besoins spécifiques du bâtiment.

Mot clé

Besoins énergétique, efficacité énergétique, consommation énergétique, Systèmes de chauffage, système de climatisation

Abstract

In this study, we explored heating and cooling systems and their impact on building energy needs as well as energy efficiency. We analyzed various systems, their performance, and identified methods to optimize their efficiency to reduce energy consumption. In the last chapter, we applied these concepts to a practical case using the example of a school. We calculated the energy needs of this school and evaluated different heating and cooling systems to determine the most appropriate solutions. These recommendations aim to improve overall energy efficiency while meeting the specific needs of the building.

Key word

Energy needs, energy efficiency, energy consumption, heating systems, air conditioning system.

التلخيص

في هذه الدراسة، قمنا باستكشاف أنظمة التدفئة والتبريد وتأثيرها على احتياجات الطاقة في المبنى وكذلك كفاءة الطاقة. قمنا بتحليل الأنظمة المختلفة وأدائها وتحديد طرق لتحسين كفاءتها لتقليل استهلاك الطاقة. وفي الفصل الأخير قمنا بتطبيق هذه المفاهيم على حالة عملية باستخدام مثال المدرسة. قمنا بحساب احتياجات الطاقة لهذه المدرسة وقمنا بتقييم أنظمة التدفئة والتبريد المختلفة لتحديد الحلول الأنسب. تهدف هذه التوصيات إلى تحسين كفاءة الطاقة بشكل عام مع تلبية الاحتياجات المحددة للمبنى.

الكلمات المفتاحية

احتياجات الطاقة، كفاءة الطاقة، استهلاك الطاقة، أنظمة التدفئة، نظام تكييف الهواء

Sommaire

Introduction générale.....	2
Chapitre I : Généralités	3
1 Introduction.....	4
2 Les besoins énergétiques du bâtiment.....	4
2.1 Définition.....	4
2.2 L'évaluation des besoins énergétiques d'un bâtiment	4
3 Généralités sur le confort thermique.....	5
4 Confort thermique.....	5
4.1 Définition du confort thermique	5
4.2 Les principaux paramètres du confort thermique	6
4.3 Normes et réglementations en matière de confort thermique dans les bâtiments en Algérie	6
5 L'efficacité énergétique dans le bâtiment	6
5.1 Définition.....	6
5.2 Facteurs influençant l'efficacité énergétique du bâtiment.....	7
5.2.1 Isolation thermique.....	7
5.2.2 Systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC)	7
5.2.3 Éclairage.....	7
5.2.4 Équipements électriques et électroménagers.....	7
5.2.5 Conception passive.....	8
5.2.6 Contrôle et gestion énergétique.....	8
5.2.7 Utilisation de sources d'énergie renouvelable	8
6 Méthodes d'amélioration de l'efficacité énergétique dans les bâtiments	8
6.1 Isolation thermique renforcée	8
6.2 Installation de fenêtres à haute performance énergétique	9
6.2.1 Les caractéristiques des fenêtres à haute performance énergétique.....	9
6.2.2 Les matériaux de construction couramment utilisés pour les fenêtres	10
6.3 Utilisation de systèmes de chauffage et de refroidissement efficaces.....	11
6.4 Optimisation de l'éclairage	12

6.4.1	La stratégie de base	12
6.4.2	Autres stratégies d'optimisation de l'éclairage.....	12
6.5	Gestion efficace de la ventilation	13
6.5.1	Systèmes de ventilation à récupération de chaleur (VRC)	13
6.5.2	Les systèmes de ventilation à débit variable.....	13
6.5.3	La ventilation naturelle	14
6.6	Installation de systèmes de contrôle et de gestion de l'énergie.....	14
6.7	Recours aux énergies renouvelables	15
6.8	Sensibilisation et engagement des occupants	17
7	Normes thermiques en Algérie	18
8	Les systèmes de chauffage et de climatisation	19
8.1	Les systèmes de chauffage	19
8.1.1	Le chauffage central	19
8.1.2	Le chauffage électrique	20
8.1.3	Le chauffage au gaz.....	20
8.1.4	Le chauffage à air pulsé	20
8.1.5	Le chauffage radiant.....	21
8.1.6	Le chauffage par le sol	21
8.1.7	Le chauffage solaire	22
8.1.8	La pompe à chaleur	22
8.1.9	Cheminée a bois	23
8.2	Les systèmes de climatisation.....	23
8.2.1	Les climatiseurs de fenêtre	23
8.2.2	Les climatiseurs centraux	24
8.2.3	Les climatiseurs portables	24
8.2.4	Les climatiseurs à split	25
8.2.5	Les climatiseurs à évaporation	25
8.2.6	Les climatiseurs géothermiques	26
9	Conclusion	26
Chapitre II : Méthodes et outils d'évaluation		27
1.	Introduction.....	28
2.	Méthodes de calcul des besoins énergétiques du bâtiment.....	28

2.1	Méthode de calcul réglementaire.....	28
2.2	Simulation thermique dynamique (STD)	28
2.3	Analyse de cycle de vie (ACV)	29
2.4	Analyse thermique détaillée	30
3.	Explication des principaux indicateurs utilisés.....	30
3.1	Coefficient Bbio (Besoin bioclimatique).....	30
3.2	Coefficient Cep (Consommation d'énergie primaire).....	31
3.3	Indice de performance énergétique (IPE).....	32
3.4	Indice d'étanchéité à l'air	32
3.5	Indice d'occupation des locaux	33
3.6	Indice de confort thermique.....	33
4.	Indicateurs d'efficacité énergétique	34
4.1	Définition.....	34
4.2	Exemples d'indicateurs d'efficacité énergétique couramment utilisés dans le bâtiment	34
5.	Conclusion	35
Chapitre III : Méthodologie.....		36
1.	Introduction	37
2.	Présentation du bâtiment étudié	37
3.	Calcul technique des déperditions.....	39
4.	Calcul numérique des besoins énergétiques sur TRANSYS.....	39
4.1	Description générale du logiciel TRNSYS.....	39
4.2	Les outils de l'environnement TRNSYS	40
4.3	Méthodologie.....	40
4.4	Les données de notre étude.....	41
4.5	Création du modèle sur TRNBUILD.....	42
4.6	Les caractéristiques thermiques des matériaux)	44
4.7	Conditions de temps (Heures d'activité ou temps de consommation)	44
5.	Les systèmes choisis.....	45
5.1	Chauffage central.....	45
5.2	Chauffage à gaz	46
5.3	Climatiseur à split.....	47
6.	Description de la méthodologie pour une étude technico-économique	48

6.1	Pour le chauffage central	48
6.1.1	Analyse des besoins et du contexte	48
6.1.2	Étude des solutions techniques.....	48
6.1.3	Dimensionnement et conception	48
6.1.4	Analyse économique	48
6.1.5	Étude de sensibilité et de risques	49
6.1.6	Recommandations et conclusion.....	49
6.2	Pour le chauffage à gaz.....	49
6.2.1	Identification des besoins.....	49
6.2.2	Analyse des options technologiques	49
6.2.3	Étude technique.....	49
6.2.4	Étude économique et estimation des coûts	49
6.3	Pour le climatiseur	50
6.3.1	Déterminer la surface à climatiser	50
6.3.2	Calculer le volume de l'espace à climatiser	50
6.3.3	Calcul final.....	50
6.4	Étude de marché et choix de climatiseur	50
7.	Conclusion.....	51
Chapitre IV : Calcul et étude technico-économique		52
1.	Introduction.....	53
2.	Dimensions des salles de classe.....	53
3.	Dimensions des fenêtres	53
4.	Données météorologiques internes	53
5.	Données de l'occupant.....	54
6.	Données des murs extérieurs et intérieurs	54
7.	Vérification et déperditions de référence	55
7.1	Vérification réglementaire	55
7.2	Calcul des déperditions de référence	55
7.2.1	La surface des murs.....	55
8.	Déperditions par renouvellement d'air d'un volume	56
8.1	Calcul du débit spécifique de ventilation Q_v	56
8.2	Calcul du débit supplémentaire par infiltration due au vent Q_s	56

9.	Calcul des déperditions surfaciques.....	57
9.1	Pour le mur 1	57
9.2	Pour le mur 2	57
9.3	Pour le mur 3 et 4, le sol et le toit.....	58
10	Calcul des déperditions par liaison	58
10.1	Liaison entre deux parois extérieures	58
10.2	Déperditions par les liaisons entre le mur extérieur et le toit	59
10.3	Calcul de la déperdition par les liaisons entre les parois et le sol	59
10.4	Calcul des déperditions par la liaison entre mur intermédiaire et mur extérieur.....	59
10.5	Calcul déperdition par liaison entre un mur et une menuiserie	59
10.6	Calcul la déperdition pour la fenêtre en bois	59
10.7	Calcul de la déperdition pour la fenêtre en bois 2	59
10.8	Calcul du périmètre de la porte.....	59
10.9	Calcul des déperditions totales par liaison	60
11	Calcul des déperditions par transmission.....	60
12	Vérification réglementaire	60
	Déperditions de base pour un volume	60
12.1	Comparaison entre les résultats de simulation et les calculs de DTR	60
13.	Calcul de puissance de chauffage.....	61
14.	Étude pour une installation de chauffage central	61
14.1	Vue générale.....	61
14.2	Etude de l'installation de chauffage central	62
14.2.1	Calcul du volume de la pièce	63
14.2.2	Calcul de la puissance de chauffage à partir du volume de la pièce.....	63
14.2.3	Calcul de la puissance nécessaire par mètre carré	63
14.3	Comparaison.....	63
14.4	Étude du marché et choix des radiateurs	64
14.4.1	Comparaison entre deux types de radiateur en aluminium et choix final.....	64
14.4.2	Radiateur à colonnes	65
14.4.3	Radiateur à panneaux	66
14.4.4	Choix final	68
14.5	La tuyauterie	68

14.5.1 Cuivre.....	68
14.5.2 PER (Polyéthylène réticulé).....	69
14.5.3 Multicouche	69
14.5.4 Conclusion	70
14.6 Les coudes et les vannes	70
14.6.1 Types de coudes et leurs utilisations.....	70
14.6.2 Types de vannes et leurs utilisations :.....	70
14.7 Estimation des coûts	71
14.8 Avis et discussion après l'étude du marché.....	71
15. Calcul de la puissance du chauffage à gaz	72
15.1 Le calcul de puissance chauffage à gaz nécessaire	72
15.2 Étude du marché	73
15.3 Coûts de base	73
15.4 Avis et discussion après l'étude du marché.....	74
16 Calcul de la puissance de climatisation	74
16.1 Étude du marché.....	74
16.2 Avis et discussion après l'étude du marché.....	75
17. Analyse technico-économique des trois système	75
17.1. Critères techniques	76
17.2. Critères de confort et d'usage	76
17.3. Critères environnementaux et réglementaires	77
17.4. Critères économiques	77
18. Conclusion.....	78
Annexe	89

Liste des figures

FIGURE 1: L'OSSATURE METALLIQUE POUR UNE ISOLATION EFFICACE DES MURS PAR L'INTERIEUR.....	7
FIGURE 2: EXEMPLE D'ISOLATION DU PLAFOND ET DU SOL	8
FIGURE 3: DOUBLE VITRAGE A LAME D'ARGON	9
FIGURE 4: FENETRES EN PVC, ALUMINIUM, BOIS	11
FIGURE 5: ECLAIRAGE LED.....	12
FIGURE 6: SYSTEME DE VENTILATION VRC.....	13
FIGURE 7: DEBIT D'AIR VARIABLE-ENERGIE PLUS LE SITE	14
FIGURE 8: EXEMPLE D'UN BATIMENT AVEC VENTILATION NATURELLE	14
FIGURE 9: SYSTEME DE CONTROLE ET GESTION D'ENERGIE	15
FIGURE 10: PROCEDE DURANT LA DEUXIEME QUINZAINE DU MOIS D'AOUT 2018 A L'ELECTRIFICATION PAR VOIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE (PV) DE L'ETABLISSEMENT SCOLAIRE DENOMME CHAHID GOURRI SITUE DANS LA NOUVELLE VILLE DE ANNABA.....	16
FIGURE 11: EXTRAIT DES ARCHIVES DE LA CAMPAGNE DE SENSIBILISATION DU CENTRE DE DEVELOPPEMENT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES	17
FIGURE 12: SOURCES DE DEPERDITIONS THERMIQUES DANS LA REGLEMENTATION THERMIQUE ALGERIENNE.....	19
FIGURE 13: INSTALLATION DE CHAUFFAGE CENTRAL AU GAZ AVEC CHAUDIERE MURALE.....	19
FIGURE 14: CHAUFFAGE ELECTRIQUE.....	20
FIGURE 15: CHAUFFAGE A GAZ.....	20
FIGURE 16: CHAUFFAGE A AIR PULSE	21
FIGURE 17: LE CHAUFFAGE RADIANT.....	21
FIGURE 18: LE CHAUFFAGE PAR LE SOL	22
FIGURE 19: CHAUFFAGE SOLAIRE	22
FIGURE 20: LA POMPE A CHALEUR.....	22
FIGURE 21: CHEMINEE A BOIS.....	23
FIGURE 22: CLIMATISEURS DE FENETRE	24
FIGURE 23: CLIMATISEUR CENTRAL.....	24
FIGURE 24: CLIMATISEUR PORTABLE.....	25
FIGURE 25: CLIMATISEUR A SPLIT.....	25
FIGURE 26: SYSTEME CLIMATISEUR A EVAPORATION	26
FIGURE 27: LES CLIMATISEURS GEOTHERMIQUES	26
FIGURE 28: LES LOGICIELS DE SIMULATION THERMIQUE LES PLUS CONNUES.....	29
FIGURE 29: FAÇADE DE L'ECOLE	37
FIGURE 30: VUE SATELLITE DU VILLAGE EN QUESTION AINSI QUE L'EMPLACEMENT DE L'ECOLE PRIMAIRE REZIGUI BOUCIF	38
FIGURE 31: DIMENSIONS DE SALLES DE CLASSE ETUDIEES	38
FIGURE 32: EXEMPLE DE LA VARIATION ANNUELLE DE LA TEMPERATURE JOURNALIERE MAX ET MIN DE LA ZONE ETUDIEE	42
FIGURE 33: FENETRE POUR TRANBUILD	43
FIGURE 34: SCHEMA DE SIMULATION DES ZONES.....	43
FIGURE 35: HEURES D'ACTIVITE PAR JOUR.....	44
FIGURE 36: HEURES D'ACTIVITE PAR SEMAINE.....	45
FIGURE 37: HEURES D'ACTIVITE PAR ANNEE	45
FIGURE 38: RADIATEUR A COLONNES	65
FIGURE 39: RADIATEUR A PANNEAUX.....	66
FIGURE 40: INSTALLATION EN TUBE DE CUIVRE.....	68
FIGURE 41: INSTALLATION EN TUBE PER	69
FIGURE 42: INSTALLATION EN TUBE MULTICOUCHE	70
FIGURE 43: INSTALLATION DE CHAUFFAGE CENTRAL	71
FIGURE 44: PLAN DE L'EMPLACEMENT DE CHAUFFAGE CENTRAL.....	72

FIGURE 45: CHAUFFAGE A GAZ SONARIC 9KW INCLUS UN DETECTEUR CO GRATUIT – ALGER-OUEDKNISS.COM	73
FIGURE 46:CLIMATISEURS CONDOR CS24-AL44T3-I.....	75

Liste des tableaux

TABLE 1: PROPRIETES THERMO-PHYSIQUES DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION	44
TABLE 2: TEMPERATURE (AMBIANTE) MAXIMALE ET MINIMALE POUR CHAQUE PLAGE DE PERIODES.	45
TABLE 3 : PLAGE D'HEURES DE CHAQUE SAISON	45
TABLE 4: DIMENSIONS DES SALLES DE CLASSE	53
TABLE 5: TABLEAU REGROUPANT L'ORIENTATION LES DIMENSIONS ET LA POSITION DES FENETRES.	53
TABLE 6: DONNEES METEOROLOGIQUES INTERNES	54
TABLE 7: DONNEES DE L'OCCUPANT	54
TABLE 8: PROPRIETES THERMO-PHYSIQUES DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION	55
TABLE 9: RESULTATS DE LA SURFACE , COEFFICIENT D'ECHANGE K , K MOYEN ET DEPERDITIONS SURFACIQUES POUR LE MUR 1	57
TABLE 10: RESULTATS DE LA SURFACE, COEFFICIENT D'ECHANGE K , K MOYEN ET DEPERDITIONS SURFACIQUES POUR LE MUR 2	58
TABLE 11: RESULTATS DE LA SURFACE , COEFFICIENT D'ECHANGE K , K MOYEN ET DEPERDITIONS SURFACIQUES POUR LES MURS 3 ET 4 , LE SOL ET LE TOIT	58
TABLE 12: DES PUISSANCES DE RADIATEURS SELON LE NOMBRE DE M2 : 15M2, 20M2, 30M2, 40M2	62
TABLE 13: DES PUISSANCES DU RADIATEUR MOYENNES SELON LA REGION ET L'ISOLATION DE LA MAISON	62
TABLE 14: LA PUISSANCE DE CHAUFFAGE NECESSAIRE PAR METRE CARRE	63
TABLE 15: COMPARAISON DES TROIS TYPES DE RADIATEURS	64
TABLE 16 : ESTIMATIONS DE COUTS POUR TROIS TYPES DE COUDE	71
TABLE 17: COMPARAISON ENTRE TROIS TYPES DE VANNES	71
TABLE 18: TABLEAU REGROUPANT LES COUTS DE BASE D'UNE INSTALLATION POUR CHAUFFAGE A GAZ	74
TABLE 19: COMPARAISON ENTRE DEUX CLIMS PRODUIT LOCAL	75
TABLE 20: CRITERES TECHNIQUES DE LA COMPARAISON	76
TABLE 21: CRITERES DE CONFORT ET D'USAGE DE LA COMPARAISON	76
TABLE 22: CRITERES ENVIRONNEMENTAUX ET REGLEMENTAIRES	77
TABLE 23: TABLEAU DES CRITERES ECONOMIQUES	77

Liste des abréviations

Abréviations	Significations
DTR	Document Technique Réglementaire
BTU	British Thermal Unit
LED	Light-Emitting Diode
CCH	Code de la Construction et de l'Habitat
VRC	ventilation à récupération de chaleur
STD	Simulation thermique dynamique
ACV	Analyse de cycle de vie
CEP	Consommation d'énergie primaire
Bbio	Besoin bioclimatique
CEP	Consommation d'énergie primaire
IPE	Indice de performance énergétique
COV	Composés organiques volatils
CVC	Chauffage, ventilation et climatisation

Liste des symboles

Symboles	Significations
Aj	La surface de l'ouvrant j
°C	Température Celsius
Cr	pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel,
Cin	Coefficient de surpuissance
Db	Déperditions de base pour un volume
Di	Déperditions totales du volume thermique
Dli	Déperditions par liaison
DR	Déperditions par renouvellement d'air
Dréf	Déperditions de référence
DRs	Déperditions supplémentaires dues au vent
DRv	Déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation
Ds	Déperditions surfaciques
DT	Déperditions par transmission
e	épaisseur
h	Hauteur
K	Coefficient d'échange
KWh	Kilowattheure
L	Longueur
m ²	Mètre carré
m ³	Mètre cube
P	Périmètres
Poj	Perméabilité surfacique à l'air de l'ouvrant j
Ppi	Perméabilité d'une paroi
Q	La puissance de chauffage
Qs	Débit supplémentaire par infiltrations dues au vent
Qv	Débit spécifique de ventilation
R	Résistance thermique
tbe	Température extérieure de base
tbi	Température intérieure de base

Vh
W

Volume habitable
Watts

Introduction

Générale

Introduction générale

Dans le contexte actuel de transition énergétique et de lutte contre le changement climatique, l'efficacité énergétique des bâtiments est devenue une priorité. Les bâtiments résidentiels et tertiaires représentent une part significative de la consommation énergétique globale, ce qui incite les chercheurs et les professionnels du secteur à développer des solutions plus efficaces et durables pour le chauffage et la climatisation. Ce mémoire s'intitule vise à apporter une contribution à cet enjeu en proposant une analyse approfondie des besoins énergétiques des bâtiments, des systèmes disponibles et des méthodes d'évaluation.

Le premier chapitre, intitulé "Revue de littérature", explore les fondements théoriques de notre étude. Il traite des besoins énergétiques des bâtiments, en mettant l'accent sur le confort thermique et l'efficacité énergétique. Ce chapitre examine également les différentes méthodes d'amélioration de l'efficacité énergétique et discute des systèmes de chauffage et de climatisation disponibles sur le marché. Cette revue de littérature permet de situer notre recherche dans le contexte des travaux existants et de souligner l'importance de solutions innovantes et performantes.

Le deuxième chapitre, "Méthodes et outils d'évaluation", présente les différentes méthodes de calcul des besoins énergétiques des bâtiments. Ce chapitre explique également les principaux indicateurs utilisés pour évaluer la performance énergétique des systèmes de chauffage et de climatisation. Les outils et méthodologies décrits ici sont essentiels pour une analyse rigoureuse et objective des performances des différents systèmes.

Dans le troisième chapitre, intitulé "Méthodologie", nous présentons le bâtiment étudié et les spécificités de notre cas d'étude. Ce chapitre comprend le calcul technique des déperditions thermiques selon les normes DTR 2017, ainsi que le calcul numérique des besoins énergétiques à l'aide du logiciel TRANSYS. Nous y décrivons également les systèmes de chauffage et de climatisation choisis pour notre étude, ainsi que la méthodologie adoptée pour mener une étude technico-économique exhaustive.

Le quatrième chapitre, "Calcul et étude technico-économique", est dédié à l'application pratique des concepts théoriques et des méthodes présentées précédemment. Nous y effectuons les calculs des dimensions des salles et des fenêtres du bâtiment étudié, en intégrant toutes les données de calcul relatives aux besoins énergétiques et à l'installation des systèmes de chauffage et de climatisation. Ce chapitre fournit une analyse détaillée des performances techniques et économiques des systèmes étudiés, permettant de comparer leur efficacité et leur rentabilité.

Chapitre I :

Généralités

1 Introduction

Les bâtiments représentent non seulement des structures physiques dans lesquelles nous vivons, travaillons et interagissons quotidiennement, mais également des entités énergétiques complexes ayant un impact significatif sur notre environnement et notre bien-être. D'autre part, le confort thermique des occupants est une composante essentielle de la qualité de vie à l'intérieur des bâtiments. Il fait référence à la sensation subjective de bien-être thermique.

Parallèlement à ces considérations, l'efficacité énergétique des bâtiments est devenue un impératif majeur dans la lutte contre le changement climatique et la réduction de la dépendance aux énergies fossiles. Améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments implique de réduire la quantité d'énergie nécessaire pour répondre à leurs besoins, en optimisant la conception, la construction et le fonctionnement des systèmes énergétiques.

Ce chapitre se propose d'explorer en profondeur la relation entre les besoins énergétiques des bâtiments, le confort thermique de leurs occupants et l'efficacité énergétique des systèmes qui les alimentent. Nous examinerons les principaux facteurs qui influent sur ces trois aspects, en mettant en évidence les synergies et les tensions entre eux. Nous aborderons également les différentes stratégies et technologies disponibles pour optimiser à la fois l'efficacité énergétique des bâtiments et le confort thermique de leurs occupants, en tenant compte des défis spécifiques liés à chaque contexte, ainsi que les différents systèmes de chauffage et de climatisation.

2 Les besoins énergétiques du bâtiment

2.1 Définition

Les besoins énergétiques d'un bâtiment se réfèrent à la quantité totale d'énergie nécessaire pour répondre aux différentes exigences liées à son fonctionnement. Cela inclut généralement l'énergie requise pour le chauffage, la climatisation, l'éclairage, les équipements électriques, ainsi que d'autres besoins tels que la ventilation et la production d'eau chaude sanitaire.

Ces besoins énergétiques sont déterminés par divers facteurs, tels que la taille du bâtiment, son isolation, son orientation, ses équipements installés, le comportement des occupants, et les conditions climatiques locales. [1]

2.2 L'évaluation des besoins énergétiques d'un bâtiment

Voici quelques points clés à considérer lors de l'évaluation des besoins énergétiques d'un bâtiment :

- 1) **Isolation thermique** : La qualité de l'isolation affecte directement les besoins en chauffage et en climatisation. Un bâtiment bien isolé nécessitera moins d'énergie pour maintenir une température confortable.
- 2) **Orientation et exposition solaire** : une bonne conception permettant de maximiser l'utilisation de la lumière naturelle peut réduire la demande en éclairage artificiel.
- 3) **Systèmes de chauffage et de climatisation** : Le type de système de chauffage et de climatisation installé aura un impact majeur sur la consommation d'énergie. Des systèmes plus efficaces peuvent réduire les besoins énergétiques

- 4) **Équipements électriques et éclairage** : La sélection d'équipements électriques économes en énergie ainsi que l'utilisation d'éclairage LED peuvent contribuer à réduire la consommation d'électricité.
- 5) **Gestion de l'eau** : Les chauffe-eau solaires ou les chauffe-eau thermodynamiques, peuvent être utilisés pour réduire la consommation énergétique.
- 6) **Usage des occupants** : Les habitudes des occupants du bâtiment, tels que leur utilisation des équipements électriques, leur comportement en matière de chauffage et de climatisation, peuvent également influencer les besoins énergétiques.

En combinant ces facteurs et en utilisant des outils de modélisation appropriés, il est possible d'estimer les besoins énergétiques d'un bâtiment avec une certaine précision.

3 Généralités sur le confort thermique

Il est vrai que depuis toujours, l'homme a cherché à se protéger des conditions climatiques difficiles en créant des habitats adaptés. Cependant, grâce à l'émergence de l'ère industrielle et à la disponibilité facile de l'énergie fossile, la construction a connu une évolution vers une approche axée sur la quantité et l'apparence, au détriment de la qualité, de la durabilité et de l'adaptation au milieu. Dans le domaine de la construction, cette approche a entraîné une consommation d'énergie excessive, ce qui a contribué aux émissions de gaz à effet de serre et au changement climatique.

En Algérie, cette tendance s'est manifestée par la création rapide et abordable de logements standardisés, sans prendre en considération les conditions climatiques et physiques. La consommation d'énergie a été excessive afin de maintenir une température constante tout au long de l'année, ce qui a eu des conséquences sur l'environnement et a également entraîné une utilisation inefficace de l'énergie. Il est donc primordial d'adopter une approche plus écologique et respectueuse de l'environnement lors de la construction, en tenant compte des conditions météorologiques et de la localisation géographique. Cela peut favoriser une diminution de la consommation d'énergie, des émissions de gaz à effet de serre et la création d'environnements intérieurs de meilleure qualité et plus performants sur le plan énergétique.[2]

4 Confort thermique

4.1 Définition du confort thermique

Le confort thermique est une sensation de bien-être qui est propre à chacun lorsqu'on est exposé à une ambiance intérieure. En utilisant des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation performants, en isolant de manière adéquate le bâtiment, en utilisant des fenêtres à double vitrage, en régulant l'entrée de la lumière du soleil et en utilisant des matériaux de construction adaptés, il est possible d'atteindre cet objectif.[3]

4.2 Les principaux paramètres du confort thermique

Le confort thermique est traditionnellement lié à 6 paramètres :

- 1- **La température ambiante de l'air T_a** : C'est la mesure de la chaleur ou du froid de l'air ambiant.
- 2- **Humidité relative** : Le rapport entre la quantité réelle de vapeur d'eau dans l'air et sa capacité maximale à une température donnée.
- 3- **Température radiante** : Il s'agit de la température perçue des surfaces environnantes par les occupants
- 4- **Le métabolisme** : Qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de $36,7^{\circ}\text{C}$
- 5- **L'habillement** : Qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.
- 6- **La vitesse de l'air** : Qui influence les échanges de chaleur par convection. Dans le bâtiment, les vitesses de l'air ne dépassent généralement pas $0,2\text{ m/s}$.

4.3 Normes et réglementations en matière de confort thermique dans les bâtiments en Algérie

En Algérie, les normes et réglementations en matière de confort thermique dans les bâtiments sont principalement définies par le Code de la Construction et de l'Habitat (CCH)[4]. Voici les principaux éléments à prendre en compte :

1. **Thermalité des bâtiments** : Le CCH fixe des exigences concernant la conception thermique des bâtiments pour assurer le confort thermique des occupants. Cela inclut des critères sur l'isolation thermique, la ventilation, le chauffage et la climatisation.
2. **Réglementation thermique** : L'Algérie a mis en place une réglementation thermique pour les bâtiments neufs, visant à réduire leur consommation d'énergie et à garantir un niveau de confort thermique adéquat.
3. **Normes de conception** : Outre la réglementation thermique, il existe des normes algériennes relatives à la conception des bâtiments, qui peuvent inclure des recommandations spécifiques concernant le confort thermique des occupants, y compris des exigences en matière d'isolation, de ventilation et de systèmes de chauffage et de climatisation.

Il existe aussi des mécanismes de certification énergétique pour les bâtiments, qui évaluent leur performance énergétique et leur conformité aux normes et réglementations en vigueur en matière de confort thermique.

5 L'efficacité énergétique dans le bâtiment

5.1 Définition

L'efficacité énergétique d'un bâtiment désigne sa capacité à tirer parti de l'énergie de manière efficace pour diminuer sa consommation d'énergie et son impact sur l'environnement.

Le chauffage, la climatisation, l'éclairage et les équipements électriques des bâtiments nécessitent une grande quantité d'énergie, ce qui peut avoir un effet considérable sur l'environnement et constituer une part significative des dépenses de fonctionnement d'un édifice. [5]

5.2 Facteurs influençant l'efficacité énergétique du bâtiment

L'efficacité énergétique est un pilier central dans la conception et la gestion des bâtiments modernes, contribuant à réduire la consommation d'énergie, les coûts associés et l'impact environnemental. Voici quelques-uns des principaux facteurs qui influencent l'efficacité énergétique d'un bâtiment :

5.2.1 Isolation thermique

La capacité d'un bâtiment à isoler thermiquement est sa capacité à restreindre les échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur. Elle joue un rôle crucial dans le maintien d'une température agréable à l'intérieur du bâtiment tout en réduisant au minimum la consommation d'énergie requise pour chauffer ou climatiser le bâtiment.[6]

Différentes méthodes peuvent être utilisées pour améliorer l'isolation thermique d'un bâtiment, comme l'incorporation d'isolants thermiques dans les murs (figure01)

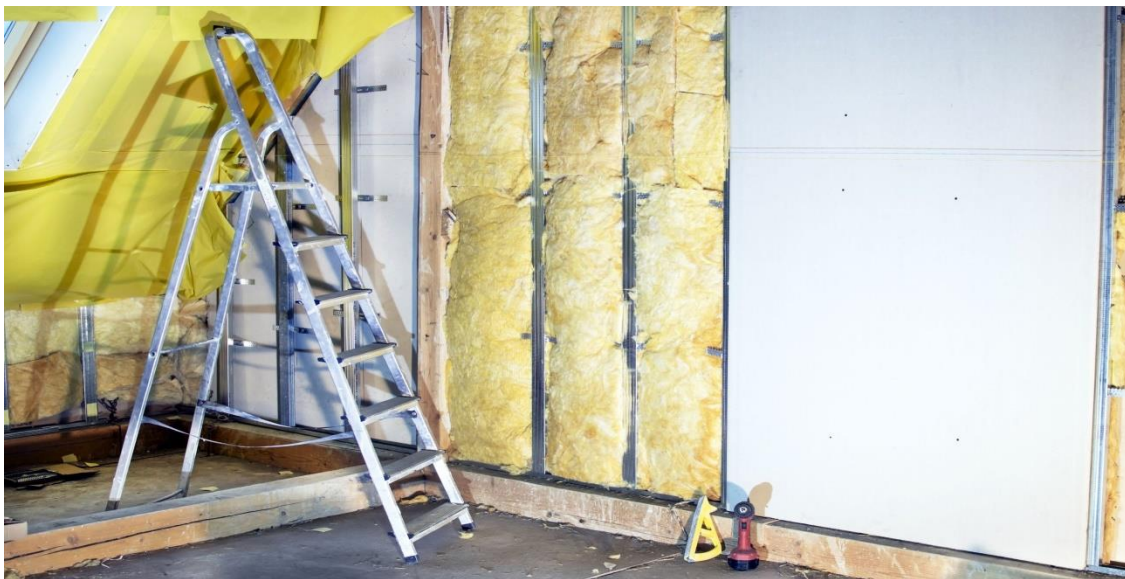


Figure 1:L'ossature métallique pour une isolation efficace des murs par l'intérieur

5.2.2 Systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC)

L'utilisation de systèmes CVC efficaces et bien entretenus permet de réduire la consommation d'énergie pour le chauffage, la ventilation et la climatisation, tout en assurant un confort thermique optimal.

5.2.3 Éclairage

L'utilisation des sources lumineuses économes en énergie, telles que les ampoules LED, et la conception d'éclairage naturel efficace permettent de réduire la consommation d'électricité pour l'éclairage.

5.2.4 Équipements électriques et électroménagers

Le choix d'équipements électriques et d'électroménagers économes en énergie contribue à réduire la consommation d'électricité du bâtiment.

5.2.5 Conception passive

Une conception architecturale qui tire parti des caractéristiques naturelles du site, telles que l'orientation solaire, la ventilation naturelle et l'ombrage, peut réduire les besoins énergétiques du bâtiment.

5.2.6 Contrôle et gestion énergétique

La mise en place de systèmes de contrôle et de gestion énergétique permet de surveiller et d'optimiser la consommation d'énergie du bâtiment, en ajustant les paramètres en fonction des besoins des occupants et des conditions météorologiques.

5.2.7 Utilisation de sources d'énergie renouvelable

L'intégration de sources d'énergie renouvelable permet de réduire la dépendance aux combustibles fossiles et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

En prenant en compte ces facteurs lors de la conception, de la construction et de la gestion d'un bâtiment, il est possible d'améliorer considérablement son efficacité énergétique et de réduire son impact environnemental.

6 Méthodes d'amélioration de l'efficacité énergétique dans les bâtiments

Différentes méthodes permettent d'améliorer les performances énergétiques des bâtiments, telles que :

6.1 Isolation thermique renforcée

Renforcer l'isolation thermique des bâtiments est une stratégie fondamentale pour améliorer leur efficacité énergétique et réduire leur empreinte environnementale. Cette mesure consiste à utiliser des matériaux isolants de haute performance pour renforcer l'isolation des murs, des toits et des planchers, afin de limiter les échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment [7]. (Figure 2)



Figure 2: Exemple d'isolation du plafond et du sol

L'amélioration de l'isolation thermique présente plusieurs avantages significatifs. Tout d'abord, elle réduit les pertes de chaleur en hiver, en minimisant les flux de chaleur à travers les parois du bâtiment. Cela permet de maintenir une température intérieure plus constante et confortable, tout en réduisant la dépendance aux systèmes de chauffage. Par conséquent, les occupants bénéficient d'un meilleur confort thermique et les coûts de chauffage sont réduits. De plus, une isolation thermique renforcée limite également les gains de chaleur en été, en empêchant la chaleur excessive de pénétrer à l'intérieur du bâtiment. Cela permet de maintenir

des températures intérieures plus fraîches et agréables pendant les mois chauds, réduisant ainsi la nécessité de recourir à la climatisation et diminuant la consommation d'énergie associée.

En réduisant la consommation d'énergie nécessaire pour le chauffage et la climatisation, l'amélioration de l'isolation thermique contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à atténuer l'impact environnemental du bâtiment. De plus, elle permet de réaliser des économies d'énergie significatives à long terme, ce qui se traduit par des coûts d'exploitation plus faibles pour les propriétaires et les occupants du bâtiment. Pour renforcer l'isolation thermique, une variété de matériaux isolants peut être utilisée, tels que la laine minérale, la mousse de polyuréthane, le polystyrène extrudé, et d'autres isolants à haute performance. Ces matériaux sont sélectionnés en fonction de leurs propriétés isolantes, de leur durabilité, de leur facilité d'installation et de leur compatibilité avec les autres composants du bâtiment.

En résumé, l'amélioration de l'isolation thermique des bâtiments est une stratégie efficace pour réduire les pertes de chaleur en hiver, les gains de chaleur en été, et la dépendance aux systèmes de chauffage et de climatisation. En réduisant la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, elle contribue à promouvoir la durabilité et la responsabilité environnementale dans le secteur de la construction.

6.2 Installation de fenêtres à haute performance énergétique

L'installation de fenêtres à haute performance énergétique est une stratégie efficace pour améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment tout en améliorant le confort des occupants. Cette mesure implique le remplacement des fenêtres existantes par des modèles spécialement conçus pour réduire les pertes de chaleur et optimiser l'isolation thermique [8]. (Figure 3)

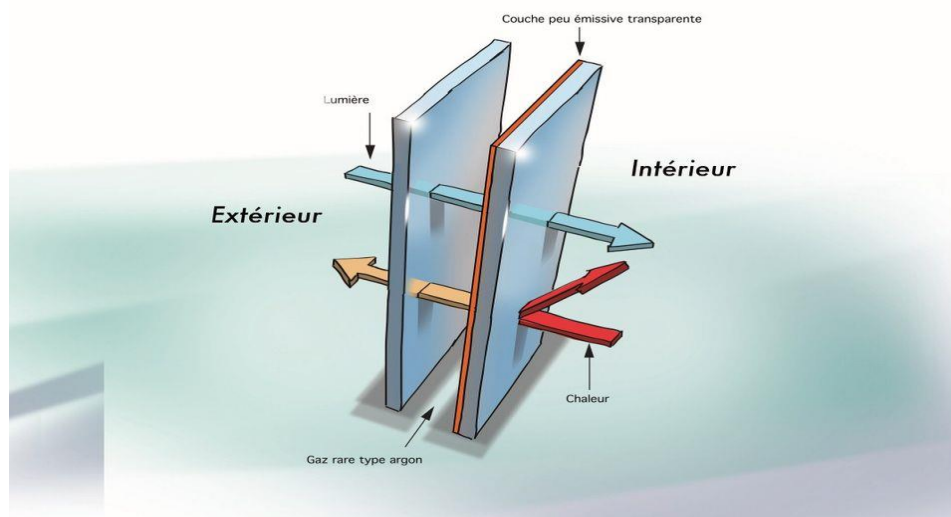


Figure 3: Double vitrage à lame d'argon

6.2.1 Les caractéristiques des fenêtres à haute performance énergétique

Les fenêtres à haute performance énergétique se caractérisent par plusieurs caractéristiques clés. Tout d'abord, elles sont souvent équipées de vitrages à double ou triple épaisseur, avec des espaces d'air ou de gaz inertes entre les vitres pour améliorer l'isolation thermique. Ces vitrages spéciaux réduisent la conductivité thermique, limitant ainsi les transferts de chaleur à travers les fenêtres.

De plus, les fenêtres à haute performance peuvent être dotées de revêtements à faible émissivité, également appelés revêtements à faible émissivité ou Low-E. Ces revêtements réfléchissent une partie du rayonnement thermique, ce qui aide à maintenir la chaleur à l'intérieur pendant les mois froids et à empêcher la chaleur extérieure de pénétrer à l'intérieur pendant les mois chauds.

En remplaçant les fenêtres existantes par des modèles à haute performance énergétique, les propriétaires de bâtiments peuvent réaliser plusieurs avantages significatifs. Tout d'abord, cela permet de réduire les pertes de chaleur pendant la saison de chauffage, ce qui se traduit par des économies d'énergie et une réduction des coûts de chauffage. De même, pendant la saison de refroidissement, les fenêtres à haute performance contribuent à maintenir une température intérieure confortable en limitant les gains de chaleur indésirables, ce qui peut réduire la nécessité de recourir à la climatisation et diminuer les coûts de refroidissement.

En plus des économies d'énergie et des réductions des coûts d'exploitation, l'installation de fenêtres à haute performance énergétique peut également améliorer le confort thermique des occupants en réduisant les courants d'air froid près des fenêtres et en éliminant les zones de condensation potentielle. De plus, ces fenêtres peuvent réduire les bruits extérieurs indésirables, améliorant ainsi la qualité de vie à l'intérieur du bâtiment [8].

En résumé, l'installation de fenêtres à haute performance énergétique est une stratégie efficace pour réduire les pertes de chaleur, améliorer le confort thermique et réduire la consommation d'énergie d'un bâtiment. En investissant dans des fenêtres de qualité supérieure, les propriétaires peuvent réaliser des économies d'énergie à long terme et contribuer à la durabilité environnementale.

6.2.2 Les matériaux de construction couramment utilisés pour les fenêtres

1. **Bois** : Les fenêtres en bois offrent une esthétique chaleureuse et traditionnelle. Le bois est également un bon isolant thermique, mais il nécessite un entretien régulier pour éviter la pourriture et la déformation due aux intempéries [9]. (Figure 04)
2. **Aluminium** : Les fenêtres en aluminium sont légères, durables et nécessitent peu d'entretien. Elles offrent également une bonne résistance aux intempéries et peuvent être peintes dans une variété de couleurs. Cependant, l'aluminium est un conducteur thermique, ce qui peut entraîner des problèmes d'isolation thermique si les fenêtres ne sont pas correctement conçues [10]. (Figure 04)
3. **Vinyle (PVC)** : Les fenêtres en vinyle sont économiques, durables et nécessitent peu d'entretien. Elles offrent également une bonne isolation thermique et acoustique. Cependant, le vinyle peut se déformer sous l'effet de la chaleur, ce qui peut entraîner des problèmes de fonctionnement des fenêtres [11]. (Figure 04).



Figure 4: Fenêtres en PVC, Aluminium, Bois

4. **Fibres de verre** : Les fenêtres en fibres de verre sont légères, résistantes et nécessitent peu d'entretien. Elles offrent également une bonne isolation thermique et peuvent être peintes dans une variété de couleurs. Les fenêtres en fibres de verre sont souvent utilisées dans les applications haut de gamme en raison de leur coût relativement élevé [12].
5. **Composite** : Les fenêtres en composite sont fabriquées à partir d'un mélange de matériaux, tels que le bois et le plastique, pour combiner les avantages de différents matériaux. Elles offrent généralement une bonne isolation thermique et une bonne résistance aux intempéries, tout en nécessitant peu d'entretien [13].

Ces matériaux peuvent être utilisés seuls ou en combinaison pour fabriquer différents types de fenêtres, en fonction des besoins en termes d'esthétique, de performances et de budget.

6.3 Utilisation de systèmes de chauffage et de refroidissement efficaces

L'utilisation de systèmes de chauffage et de refroidissement efficaces est une étape essentielle pour améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment et réduire sa consommation d'énergie. Cette mesure implique l'installation de systèmes de chauffage et de refroidissement plus modernes et plus performants, conçus pour fournir un confort thermique optimal tout en minimisant la consommation d'énergie. Parmi les systèmes de chauffage et de refroidissement efficaces les plus couramment utilisés, on trouve les pompes à chaleur, les chaudières à condensation, les systèmes de géothermie et les systèmes de climatisation à haut rendement. Chacun de ces systèmes présente des caractéristiques spécifiques qui contribuent à améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment de différentes manières. En installant ces systèmes de chauffage et de refroidissement efficaces, les propriétaires de bâtiments peuvent réaliser des économies d'énergie significatives et réduire leurs coûts d'exploitation [14]. De plus, ces systèmes contribuent à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à promouvoir la durabilité environnementale en utilisant des sources d'énergie plus propres et plus efficaces. En résumé, l'utilisation de systèmes de chauffage et de refroidissement efficaces est une stratégie clé pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. En investissant dans des technologies modernes et performantes, les propriétaires peuvent réaliser des économies d'énergie importantes et contribuer à réduire leur impact environnemental.

6.4 Optimisation de l'éclairage

6.4.1 La stratégie de base

L'optimisation de l'éclairage dans un bâtiment est une stratégie clé pour améliorer son efficacité énergétique et réduire sa consommation d'électricité. Cette mesure consiste à mettre en œuvre diverses solutions pour réduire la consommation d'énergie liée à l'éclairage, tout en maintenant des niveaux de luminosité adéquats pour les activités et le confort des occupants. Le remplacement des ampoules traditionnelles par des lampes LED économes en énergie est l'une des premières mesures à prendre (Figure 5).

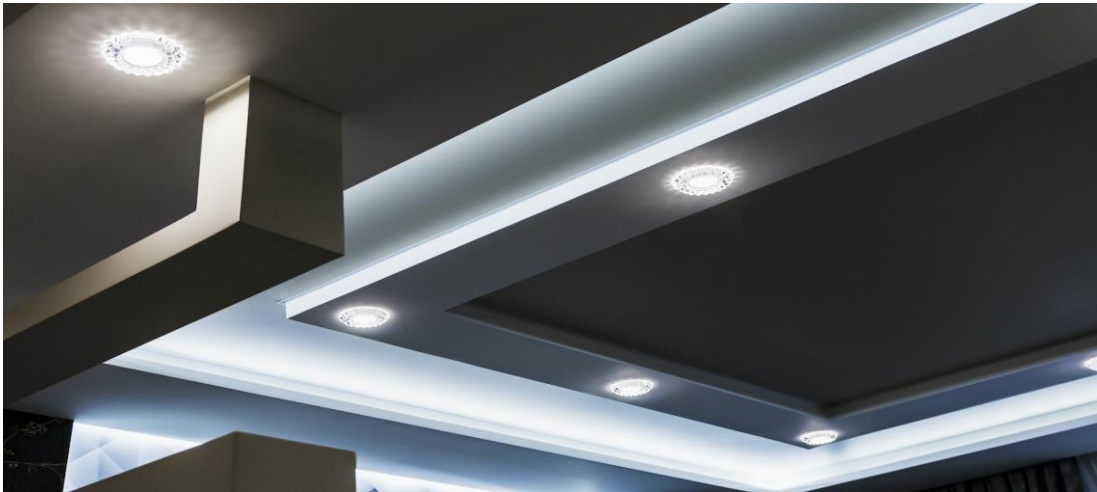


Figure 5:ECLAIRAGE LED

Les lampes LED consomment significativement moins d'énergie que les ampoules à incandescence et les lampes fluorescentes compactes, tout en offrant une durée de vie beaucoup plus longue et une qualité de lumière comparable, voire supérieure [16]. En remplaçant les anciennes ampoules par des lampes LED, les propriétaires de bâtiments peuvent réaliser des économies d'énergie importantes et réduire les coûts d'exploitation à long terme.

6.4.2 Autres stratégies d'optimisation de l'éclairage

- 1) **L'installation de capteurs de mouvement et de gradateurs de lumière** : Les capteurs de mouvement détectent la présence des occupants dans une pièce et allument automatiquement les lumières, ce qui permet d'éviter le gaspillage d'énergie lorsque les espaces sont inoccupés. Les gradateurs de lumière permettent de régler l'intensité lumineuse en fonction des besoins, ce qui permet de réduire la consommation d'énergie tout en offrant une flexibilité aux occupants pour ajuster l'éclairage selon leurs préférences [16].
- 2) **Maximiser l'utilisation de la lumière naturelle** : C'est également une stratégie importante pour optimiser l'éclairage. Cela peut être réalisé en concevant des espaces avec des fenêtres bien positionnées et en utilisant des solutions architecturales telles que des puits de lumière et des conduits de lumière pour faire pénétrer la lumière naturelle profondément à l'intérieur du bâtiment [17]. En combinant efficacement la lumière naturelle avec l'éclairage artificiel, il est possible de réduire la dépendance aux luminaires électriques pendant la journée et de minimiser la consommation d'énergie associée.

En résumé, l'optimisation de l'éclairage dans un bâtiment est une stratégie efficace pour réduire la consommation d'électricité et améliorer son efficacité énergétique. En remplaçant les ampoules traditionnelles par des lampes LED, en installant des capteurs de mouvement et des gradateurs de lumière, et en maximisant l'utilisation de la lumière naturelle, les propriétaires de bâtiments peuvent réaliser des économies d'énergie significatives et créer des environnements intérieurs plus confortables et durables pour les occupants.

6.5 Gestion efficace de la ventilation

La gestion efficace de la ventilation est essentielle pour améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment tout en garantissant une qualité de l'air intérieur optimale pour les occupants [18]. Cette mesure implique l'utilisation de diverses stratégies et technologies pour minimiser la consommation d'énergie associée à la ventilation tout en maximisant les avantages pour la santé et le confort des occupants.

6.5.1 Systèmes de ventilation à récupération de chaleur (VRC)

L'utilisation de systèmes de ventilation à récupération de chaleur (VRC) est l'une des principales stratégies pour optimiser la ventilation. Ces systèmes permettent de récupérer la chaleur de l'air extrait du bâtiment avant qu'il ne soit rejeté à l'extérieur, et de l'utiliser pour préchauffer l'air frais entrant. Cela permet de réduire la perte de chaleur associée à la ventilation, tout en assurant un renouvellement adéquat de l'air intérieur [19]. (Figure 6)

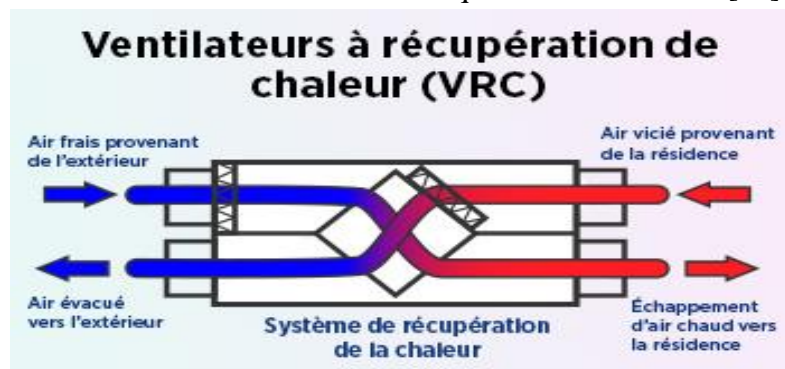


Figure 6: Système de ventilation VRC

6.5.2 Les systèmes de ventilation à débit variable

En régulant le débit d'air en fonction des besoins réels, il est possible d'optimiser la ventilation pour chaque zone du bâtiment en fonction de son occupation et de son utilisation. Les systèmes de ventilation à débit variable ajustent automatiquement le débit d'air en fonction de la demande, ce qui permet d'économiser de l'énergie en évitant la surventilation des espaces inoccupés ou sous-ventilation des espaces occupés [20]. (Figure 7)

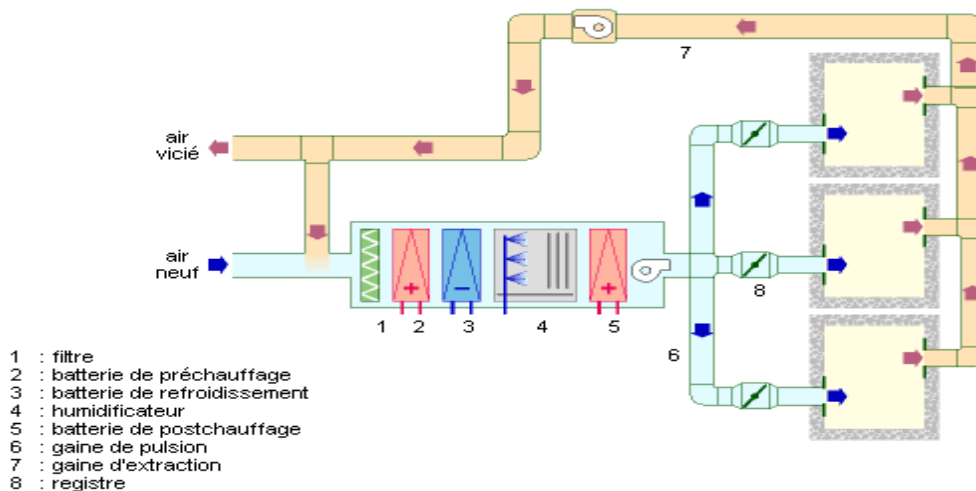


Figure 7: Débit d'air variable-Energie Plus Le Site

6.5.3 La ventilation naturelle

Mettre en œuvre des stratégies de ventilation naturelle est une autre approche pour réduire la consommation d'énergie associée à la ventilation. Cela peut inclure la conception de bâtiments avec des ouvertures positionnées stratégiquement pour favoriser la circulation naturelle de l'air, ainsi que l'utilisation de dispositifs tels que les puits de lumière, les lucarnes et les fenêtres à ouverture réglable pour faciliter le flux d'air et maximiser la ventilation naturelle [21]. (Figure 8)



Figure 8: Exemple d'un bâtiment avec ventilation naturelle

En combinant ces différentes stratégies de gestion efficace de la ventilation, il est possible de réduire significativement la consommation d'énergie associée à la ventilation tout en améliorant la qualité de l'air intérieur. Une ventilation adéquate permet de minimiser l'accumulation de polluants et d'humidité à l'intérieur du bâtiment, ce qui contribue à prévenir les problèmes de santé et à maintenir un environnement intérieur confortable et sain pour les occupants.

6.6 Installation de systèmes de contrôle et de gestion de l'énergie

L'installation de systèmes de contrôle et de gestion de l'énergie est une stratégie fondamentale pour optimiser l'utilisation de l'énergie dans un bâtiment. Ces systèmes permettent de

surveiller, de contrôler et d'optimiser les différents équipements et systèmes énergétiques du bâtiment, tels que le chauffage, la ventilation, la climatisation, l'éclairage et d'autres appareils électriques. En utilisant des systèmes de contrôle et de gestion de l'énergie, les propriétaires de bâtiments peuvent réaliser plusieurs avantages significatifs. Tout d'abord, cela permet de réduire la consommation d'énergie et les coûts d'exploitation du bâtiment en évitant les gaspillages et en optimisant l'utilisation de l'énergie. De plus, ces systèmes contribuent à améliorer le confort des occupants en assurant des conditions intérieures optimales et en minimisant les variations de température et d'éclairage.

En fin, l'installation de systèmes de contrôle et de gestion de l'énergie est une stratégie efficace pour optimiser l'utilisation de l'énergie dans un bâtiment et réduire les gaspillages. En surveillant et en régulant automatiquement les différents équipements et systèmes énergétiques, ces systèmes permettent de réaliser des économies d'énergie significatives tout en améliorant le confort des occupants [22].



Figure 9: Système de contrôle et gestion d'énergie

6.7 Recours aux énergies renouvelables

Le recours aux énergies renouvelables est une stratégie de plus en plus populaire et efficace pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments tout en réduisant leur empreinte carbone. Cette approche consiste à intégrer des sources d'énergie renouvelable telles que l'énergie solaire photovoltaïque (Figure 10), l'énergie solaire thermique et l'énergie éolienne dans la conception et l'exploitation des bâtiments. [23]



Figure 10: Procédé durant la deuxième quinzaine du mois d'août 2018 à l'électrification par voie solaire photovoltaïque (PV) de l'établissement scolaire dénommé Chahid Gourri situé dans la nouvelle ville de Annaba
L'intégration de panneaux solaires photovoltaïques sur le toit ou les façades d'un bâtiment permet de convertir directement la lumière du soleil en électricité, fournissant ainsi une source d'énergie propre et renouvelable. Cette électricité peut être utilisée pour alimenter les besoins en énergie du bâtiment, y compris l'éclairage, les équipements électroménagers, la climatisation et d'autres systèmes électriques, réduisant ainsi la dépendance aux combustibles fossiles et les émissions de gaz à effet de serre associées.

On peut trouver d'autres sources d'énergie renouvelables :

- **L'utilisation de systèmes solaires thermiques pour le chauffage de l'eau :** Cela permet de capturer la chaleur du soleil et de l'utiliser pour chauffer l'eau sanitaire ou pour le chauffage de l'espace. Ces systèmes sont particulièrement efficaces dans les climats ensoleillés et peuvent contribuer à réduire les coûts de chauffage de l'eau tout en réduisant la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ [24].
- **L'utilisation de l'énergie éolienne :** l'énergie éolienne peut également être une source d'énergie renouvelable efficace pour les bâtiments, en particulier dans les zones où les vents sont forts et constants. L'installation de petites éoliennes sur le toit ou à proximité du bâtiment peut générer de l'électricité à partir de l'énergie cinétique du vent, offrant ainsi une source supplémentaire d'énergie propre et renouvelable pour répondre aux besoins énergétiques du bâtiment [26].

En intégrant des sources d'énergie renouvelable dans la conception et l'exploitation des bâtiments, les propriétaires peuvent réaliser plusieurs avantages significatifs. Tout d'abord, cela permet de réduire la dépendance aux combustibles fossiles et de diversifier les sources d'énergie, ce qui contribue à renforcer la sécurité énergétique et à atténuer les risques liés à la volatilité des prix des énergies fossiles. De plus, le recours aux énergies renouvelables contribue à réduire l'empreinte carbone globale du bâtiment en limitant les émissions de gaz à effet de serre et en favorisant la transition vers une économie à faible émission de carbone. En investissant dans des solutions d'énergie renouvelable, les propriétaires de bâtiments peuvent non seulement réaliser des économies d'énergie et réduire leurs coûts d'exploitation à long terme, mais aussi contribuer à préserver l'environnement et à promouvoir la durabilité à l'échelle locale et mondiale.

6.8 Sensibilisation et engagement des occupants

Sensibiliser et engager les occupants dans les efforts d'économie d'énergie est un aspect crucial pour maximiser l'efficacité énergétique des bâtiments. Cette approche consiste à éduquer les occupants sur les bonnes pratiques en matière d'économie d'énergie, à les encourager à participer activement à des programmes de gestion de l'énergie et à leur fournir des retours d'information sur leur consommation d'énergie. Tout d'abord, éduquer les occupants sur les bonnes pratiques en matière d'économie d'énergie leur permet de comprendre comment leur comportement quotidien peut avoir un impact sur la consommation énergétique du bâtiment. Cela peut inclure des conseils simples tels qu'éteindre les lumières en quittant une pièce, régler les thermostats à des températures raisonnables, utiliser des appareils économes en énergie et éviter le gaspillage d'eau chaude. En comprenant l'importance de ces actions, les occupants sont plus susceptibles d'adopter des comportements économes en énergie dans leur vie quotidienne. En encourageant la participation active des occupants à des programmes de gestion de l'énergie, les propriétaires de bâtiments peuvent renforcer l'engagement des occupants et promouvoir une culture de conservation de l'énergie. Cela peut prendre la forme d'initiatives telles que des campagnes de sensibilisation, des ateliers éducatifs, des concours d'économie d'énergie ou des incitations financières pour encourager les comportements économes en énergie. En impliquant les occupants dans le processus de gestion de l'énergie, ils deviennent des partenaires actifs dans la recherche de solutions pour réduire la consommation d'énergie du bâtiment. Fournir des retours d'information sur la consommation d'énergie aux occupants est également un moyen efficace de les responsabiliser et de les motiver à réduire leur empreinte énergétique (Figure 11). Cela peut se faire en affichant publiquement les données de consommation d'énergie dans des endroits stratégiques du bâtiment, en envoyant des rapports de consommation personnalisés aux occupants ou en utilisant des outils de suivi en ligne pour surveiller leur consommation d'énergie au fil du temps. En rendant les occupants conscients de leur propre consommation d'énergie et de son impact, ils sont plus enclins à modifier leur comportement pour réduire leur empreinte énergétique. [26]



Figure 11: Extrait des archives de la campagne de sensibilisation du Centre de Développement des Énergies Renouvelables

En combinant ces différentes méthodes, il est possible d'améliorer considérablement l'efficacité énergétique des bâtiments tout en réduisant les coûts d'exploitation et en minimisant leur impact environnemental. En favorisant une culture de conservation de l'énergie et en impliquant activement les occupants dans les efforts d'économie d'énergie, les propriétaires de bâtiments peuvent réaliser des économies d'énergie significatives et créer des environnements intérieurs plus durables et durables pour tous.

7 Normes thermiques en Algérie

Le DTR 2017, également connue sous le nom de Document Technique Réglementaire algérien de 2017, vise à améliorer les performances énergétiques des bâtiments en Algérie. Les bâtiments neufs et les bâtiments existants qui subissent des travaux de rénovation importants sont soumis à cette réglementation [27]. Selon le DTR 2017, les bâtiments doivent respecter des critères de performance énergétique minimales en fonction de leur utilisation (résidentielle, tertiaire, etc.) et de leur région climatique. Elle établit en particulier des limites quant à la consommation d'énergie pour le chauffage, le refroidissement, l'éclairage, la ventilation et la production d'eau chaude sanitaire. Dès la conception du bâtiment, la réglementation thermique algérienne de 2017 exige également la considération de la performance énergétique. Dès la conception du bâtiment, la réglementation thermique algérienne de 2017 exige également la considération de la performance énergétique. Il est donc obligatoire pour les experts du bâtiment (architectes, ingénieurs, etc.) de mener une étude thermique pour chaque projet de construction ou de rénovation majeur. L'objectif de cette étude est de trouver les solutions techniques les plus appropriées afin d'atteindre les objectifs de performance énergétique établis par la réglementation. Les mesures incitatives de le DTR 2017 visent à promouvoir la construction de bâtiments performants en matière d'efficacité énergétique. De cette manière, les constructions qui respectent les normes peuvent recevoir des crédits d'impôt ou des subventions pour effectuer des travaux d'amélioration énergétique.

En résumé, la réglementation thermique algérienne de 2017 vise à améliorer la performance énergétique des bâtiments en Algérie, Elle établit des exigences minimales de performance énergétique, encourage la prise en compte de la performance énergétique dès la conception du bâtiment et prévoit des mesures incitatives pour promouvoir la construction de bâtiments performants. (Figure12)

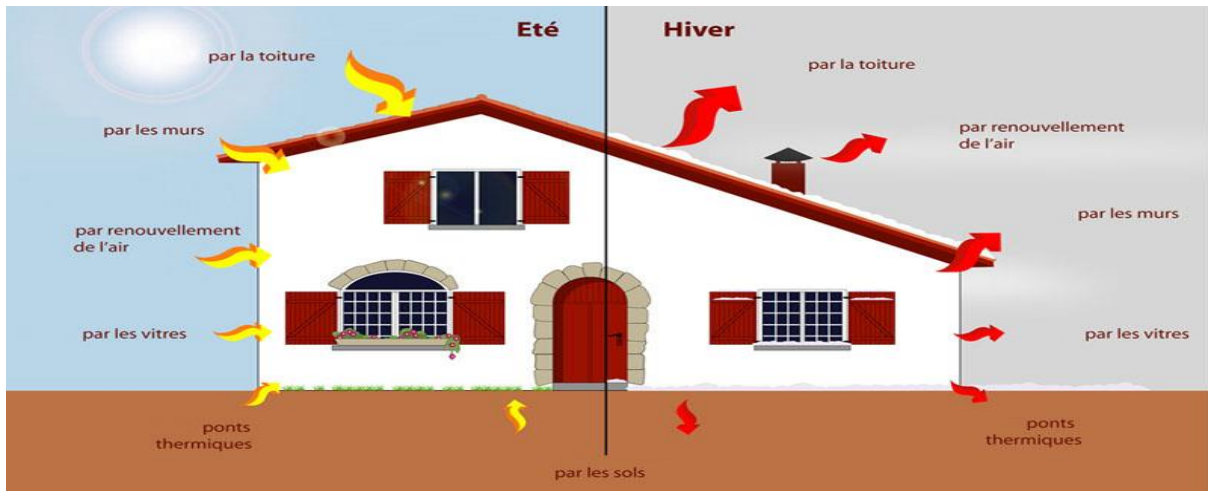


Figure 12: Sources de déperditions thermiques dans la réglementation thermique algérienne

8 Les systèmes de chauffage et de climatisation

8.1 Les systèmes de chauffage

Les systèmes de chauffage sont des dispositifs ou des équipements employés pour produire de la chaleur dans les bâtiments ou les espaces clos, dans le but de maintenir une température agréable pendant les périodes de froid [28]. Ces systèmes peuvent être classés en plusieurs types en fonction de leur mode de fonctionnement et de la source d'énergie utilisée.

8.1.1 Le chauffage central

Un système de chauffage central est un dispositif permettant de chauffer l'ensemble d'un bâtiment à partir d'une source de chaleur unique. Cette source de chaleur, qui peut être une chaudière, une pompe à chaleur ou un autre appareil, chauffe un fluide caloporteur (souvent de l'eau) qui est ensuite distribué à travers le bâtiment via un réseau de tuyauteries et de radiateurs ou de planchers chauffants [29] (Figure 13).

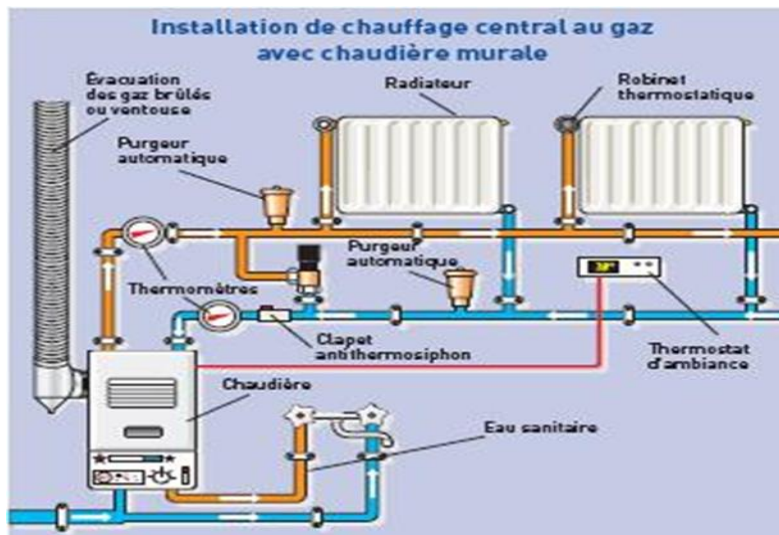


Figure 13: Installation de chauffage central au gaz avec chaudière murale

8.1.2 Le chauffage électrique

Il s'agit d'un système de chauffage qui utilise l'électricité pour générer de la chaleur. Les radiateurs électriques sont les dispositifs de chauffage les plus couramment utilisés dans ce type de système [30]. (Figure 14)



Figure 14: Chauffage électrique

8.1.3 Le chauffage au gaz

Il s'agit d'un système de chauffage qui utilise du gaz naturel ou du propane pour générer de la chaleur. Les chaudières à gaz et les radiateurs au gaz sont les dispositifs les plus couramment utilisés dans ce type de système [31] (Figure 15).



Figure 15: Chauffage à gaz

8.1.4 Le chauffage à air pulsé

C'est un système de chauffage utilisant un ventilateur pour pousser de l'air chaud à travers des conduites dans toute la maison. Ce système peut être alimenté par différentes sources d'énergies (le gaz naturel, l'électricité, des sources d'énergies renouvelables) [32] (Figure16).

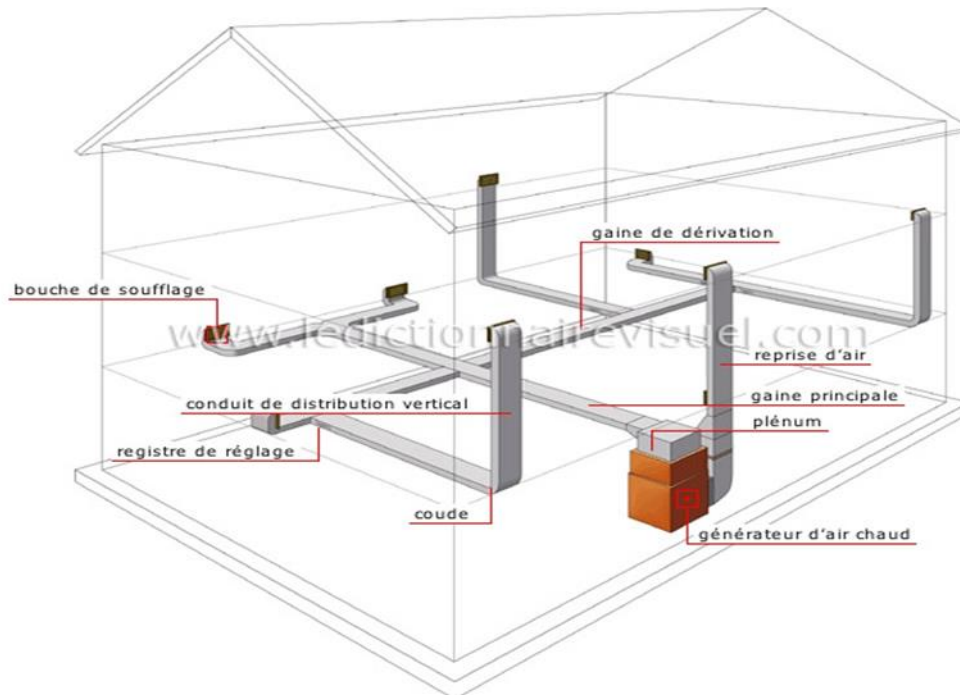


Figure 16: Chauffage à air pulsé

8.1.5 Le chauffage radiant

Il s'agit d'un système de chauffage qui utilise des panneaux radiants pour émettre de la chaleur infrarouge, qui est ensuite absorbée par les objets et les surfaces dans la pièce. Les panneaux radiants peuvent être alimentés par l'électricité, le gaz naturel ou d'autres sources d'énergie [33] (Figure 17).



Figure 17: Le chauffage radiant

8.1.6 Le chauffage par le sol

Ce type de système utilise un réseau de tuyaux placés sous le plancher pour chauffer une pièce ou une maison entière. Il peut être alimenté par différentes sources d'énergies tels que l'électricité, le gaz naturel, la biomasse ou l'énergie solaire [34] (Figure 18)

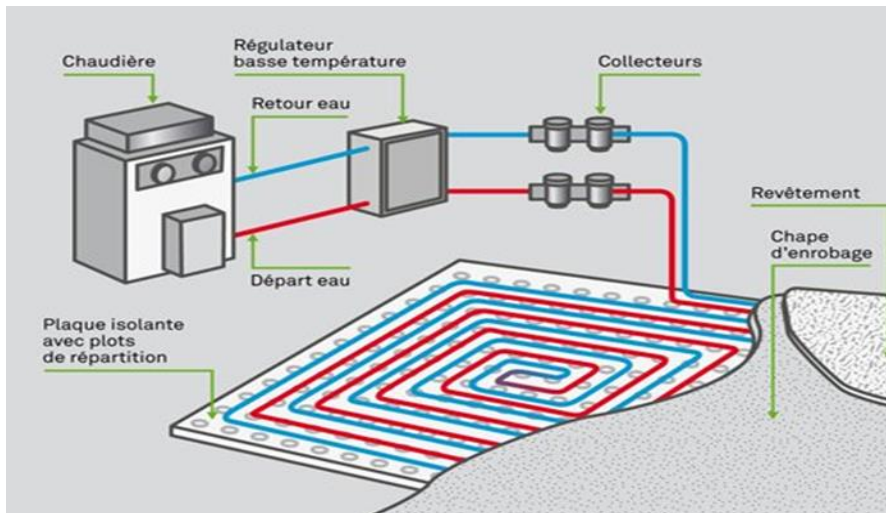


Figure 18: Le chauffage par le sol

8.1.7 Le chauffage solaire

Ce type de système utilise des capteurs solaires pour absorber la chaleur du soleil et la convertir en énergie pour chauffer l'eau ou l'air qui est ensuite distribué dans la maison [35] (Figure 19).

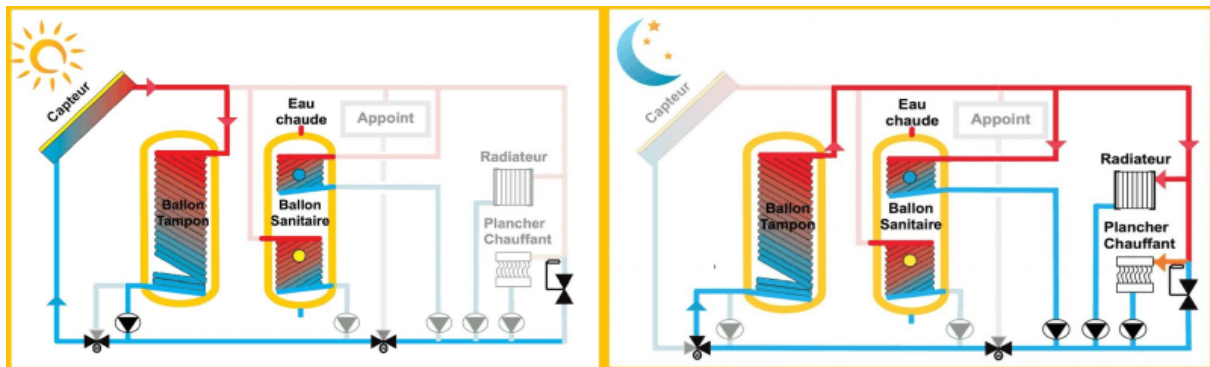


Figure 19: Chauffage solaire

8.1.8 La pompe à chaleur

Ce système utilise une technologie qui permet de transférer la chaleur de l'air extérieur à l'intérieur de la maison. Il peut être très efficace en termes d'énergie, mais il peut être plus coûteux à installer que certains autres systèmes [36] (Figure 20).

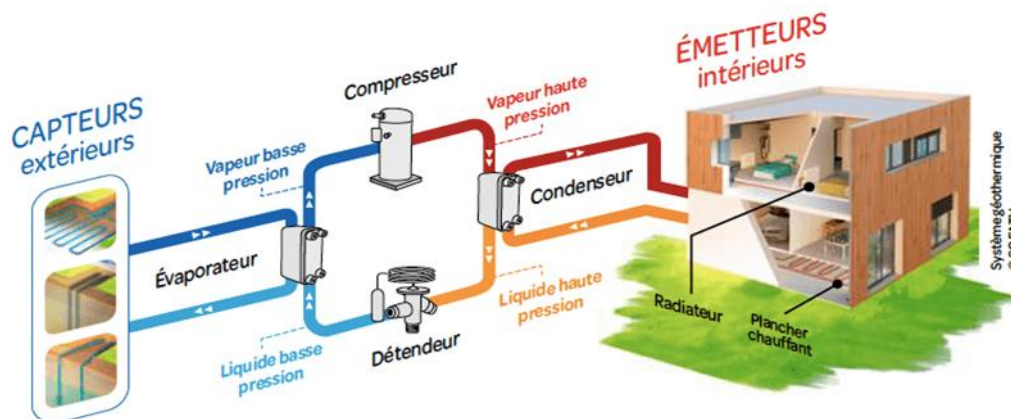


Figure 20: La pompe à chaleur

8.1.9 Cheminée a bois

Ce système utilise des bûches de bois pour chauffer la maison. Il peut être très efficace et économique, mais il peut être salissant et nécessite un espace de stockage pour le bois [37]. (Figure 21)

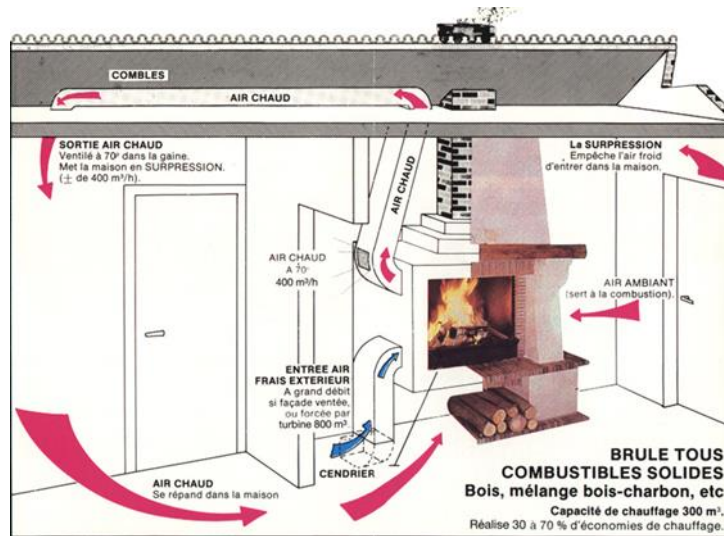


Figure 21: Cheminée à bois

Selon chaque foyer, il est possible qu'un système de chauffage spécifique soit plus adapté qu'un autre. Pour sélectionner le système de chauffage qui convient le mieux, il est essentiel de considérer divers éléments tels que le prix de l'installation et de l'entretien, la performance énergétique et l'impact environnemental.

8.2 Les systèmes de climatisation

Les systèmes de climatisation sont des équipements qui permettent de réguler la température, l'humidité et la qualité de l'air dans un espace fermé. Les climatiseurs fonctionnent en utilisant des principes de thermodynamique pour transférer la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur ou vice versa [38]. Il existe plusieurs types de systèmes de climatisation, tels que :

8.2.1 Les climatiseurs de fenêtre

Ces unités sont installées dans une ouverture de fenêtre et sont généralement utilisées pour refroidir de petits espaces, comme une chambre [39]. (Figure 22)

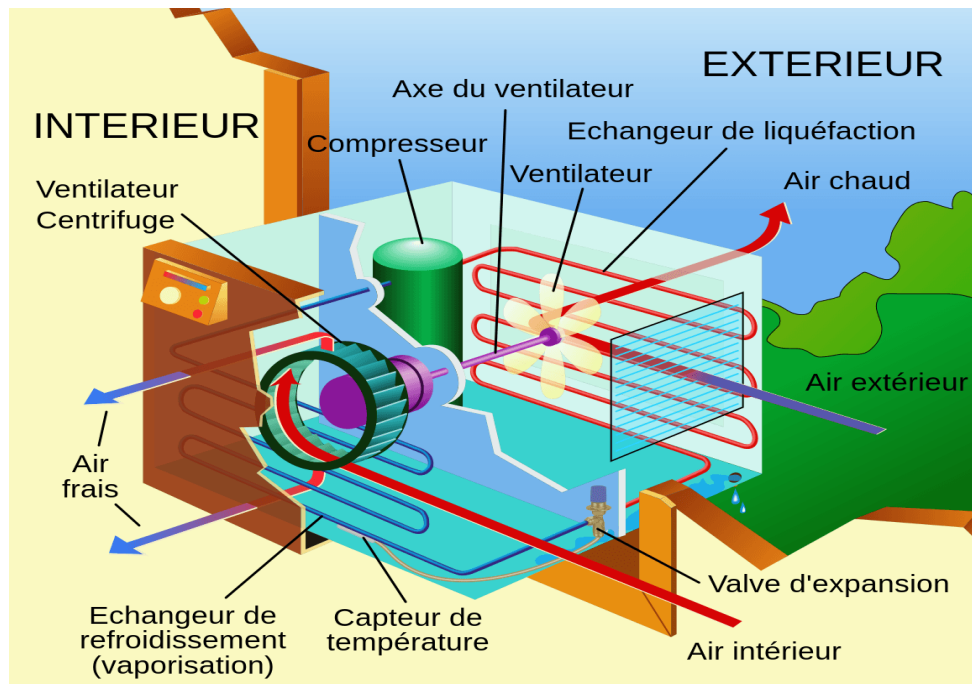


Figure 22: Climatiseurs de fenêtre

8.2.2 Les climatiseurs centraux

Ces systèmes sont installés dans des maisons et des bâtiments plus grands pour refroidir l'ensemble de l'espace. Ils fonctionnent en envoyant de l'air froid dans des conduits qui se trouvent dans les murs ou le plafond [40]. (Figure 23)

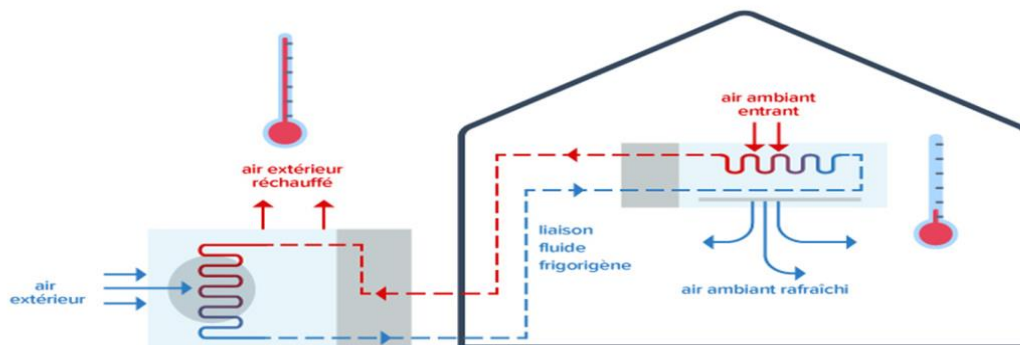


Figure 23: Climatiseur central

8.2.3 Les climatiseurs portables

Ces unités peuvent être déplacées facilement et sont souvent utilisées dans les espaces où l'installation d'un climatiseur permanent n'est pas possible [41]. (Figure 24)

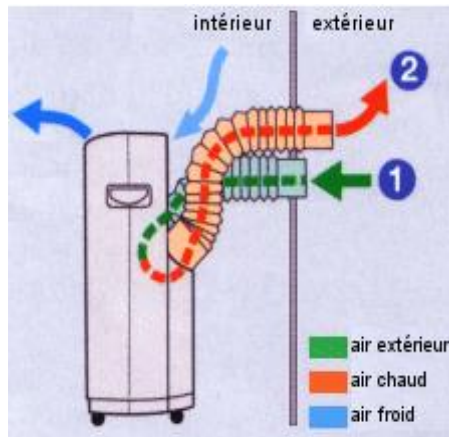


Figure 24: Climatiseur portable

8.2.4 Les climatiseurs à split

Ces systèmes sont composés d'une unité extérieure qui élimine la chaleur ou d'une ou plusieurs unités intérieures qui refroidissent l'air dans la pièce [42] (Figure 25)

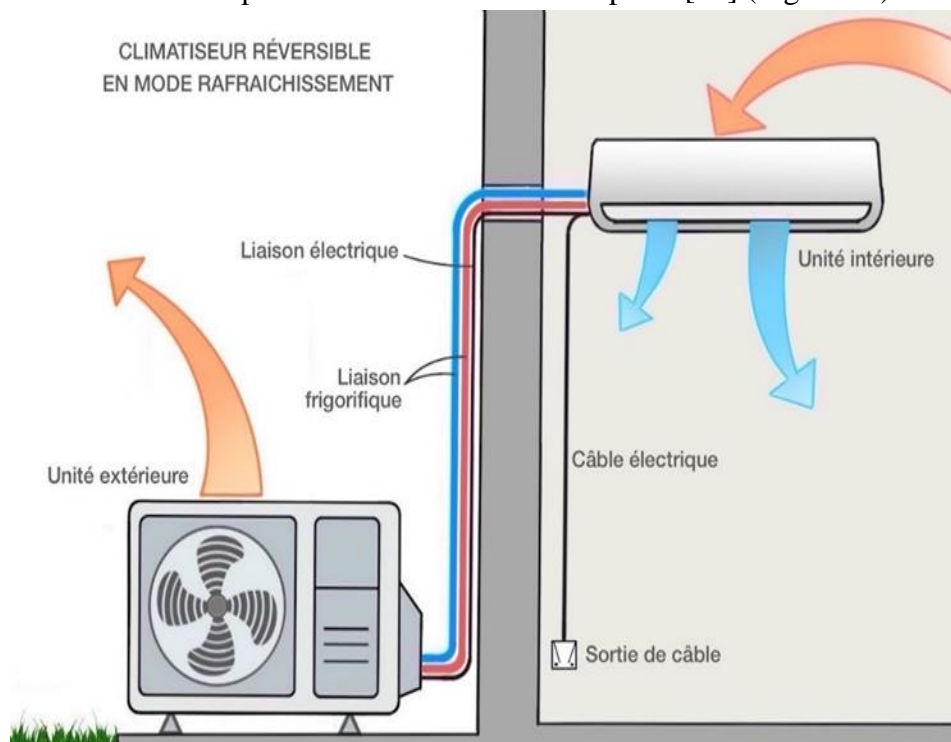


Figure 25: Climatiseur à split

8.2.5 Les climatiseurs à évaporation

Ces systèmes sont souvent utilisés dans des environnements secs et chauds pour humidifier l'air et abaisser la température [43] (Figure 26).

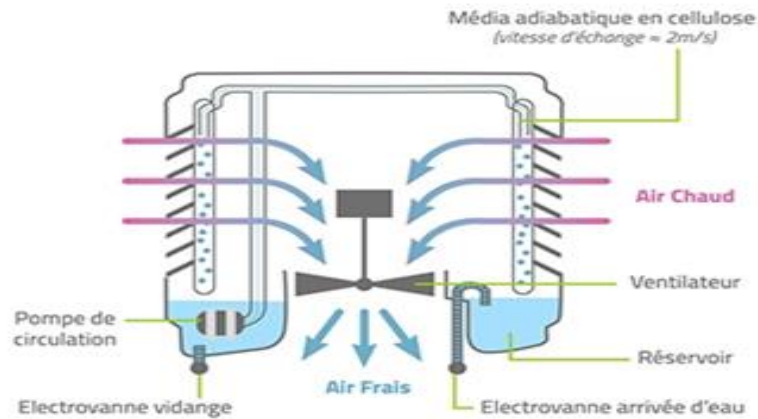


Figure 26: Système climatiseur à évaporation

8.2.6 Les climatiseurs géothermiques

Ces systèmes utilisent l'énergie thermique du sol pour chauffer ou refroidir un bâtiment. [44]. (Figure 27)

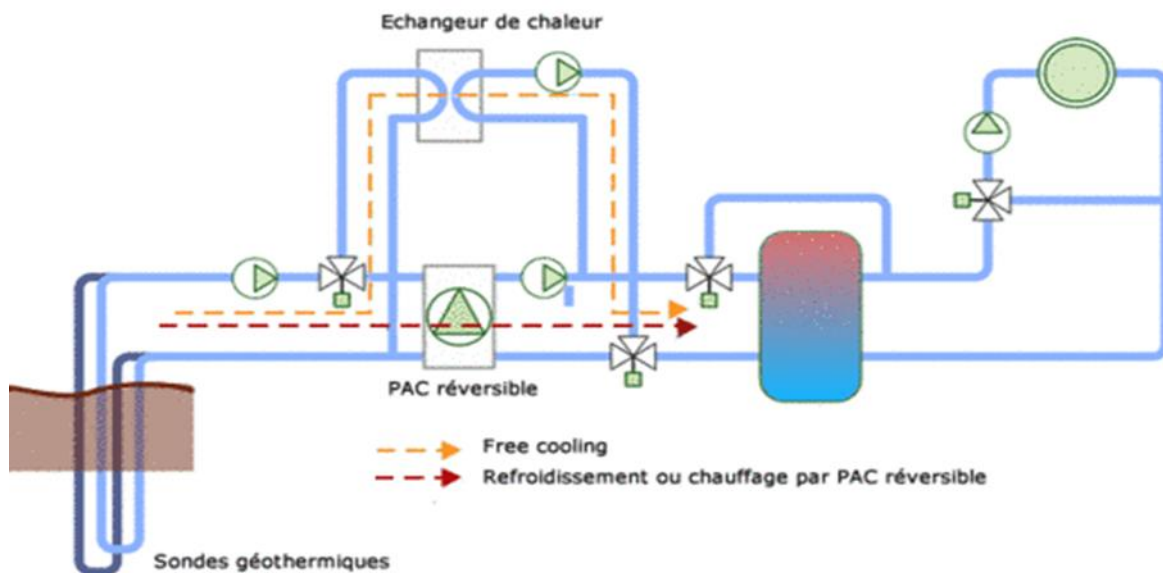


Figure 27: Les climatiseurs géothermiques

9 Conclusion

En conclusion, les systèmes de chauffage et de climatisation jouent un rôle essentiel dans le maintien du confort thermique et de la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments. Nous avons exploré une variété de systèmes de chauffage et de climatisation. Chaque système présente ses propres avantages et inconvénients, et le choix du système approprié dépend de nombreux facteurs, notamment la taille du bâtiment, les préférences des occupants, la disponibilité des ressources énergétiques et les considérations budgétaires.

Chapitre II :

Méthodes et outils

d'évaluation

1. Introduction

L'efficacité énergétique des bâtiments est devenue une préoccupation majeure dans le contexte actuel de lutte contre le changement climatique et de transition vers des modes de vie plus durables. Les bâtiments représentent une part significative de la consommation énergétique mondiale, et leur efficacité énergétique joue un rôle crucial dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre et dans la préservation des ressources naturelles. Pour évaluer et améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, il est essentiel de disposer de méthodes de calcul précises et de mesures appropriées. Dans ce chapitre, nous explorerons les différentes méthodes de calcul des besoins énergétiques du bâtiment, en mettant l'accent sur les principaux indicateurs utilisés pour évaluer sa performance énergétique.

2. Méthodes de calcul des besoins énergétiques du bâtiment

2.1 Méthode de calcul réglementaire

Cette méthode est utilisée pour évaluer la conformité d'un bâtiment aux normes et réglementations en vigueur en matière d'efficacité énergétique. Elle repose sur des formules et des coefficients définis par la réglementation pour estimer les besoins en chauffage, en refroidissement, en éclairage et en ventilation du bâtiment. Dans l'annexe 1 on présente le document technique réglementaire adopté en Algérie.

2.2 Simulation thermique dynamique (STD)

La simulation thermique dynamique (STD) représente une avancée majeure dans l'analyse des performances thermiques des bâtiments. Cette méthode utilise des logiciels spécialisés pour modéliser de manière détaillée le comportement thermique d'un bâtiment sur une période donnée, offrant ainsi une vision précise de ses performances thermiques dans le temps et dans l'espace. Pour commencer, la STD prend en compte une multitude de caractéristiques du bâtiment, allant de son isolation à son orientation en passant par son inertie thermique. Ces détails sont essentiels pour obtenir une représentation fidèle du comportement thermique du bâtiment. Par exemple, l'isolation joue un rôle crucial dans la rétention de la chaleur à l'intérieur du bâtiment, tandis que l'inertie thermique influence la capacité du bâtiment à absorber et à libérer de la chaleur au fil du temps. De plus, la simulation intègre des variables climatiques telles que les apports solaires et la ventilation. Les apports solaires peuvent avoir un impact significatif sur la température intérieure en fonction de l'orientation et de la conception des fenêtres, tandis que la ventilation influe sur le renouvellement de l'air et la circulation thermique à l'intérieur du bâtiment. Grâce à cette modélisation détaillée, la STD permet d'évaluer précisément les besoins énergétiques du bâtiment dans différentes conditions climatiques. Par exemple, elle peut prédire la quantité d'énergie nécessaire pour chauffer ou refroidir le bâtiment en fonction des saisons et des variations de température extérieure. De même, elle permet d'évaluer le confort thermique des occupants en prenant en compte des facteurs tels que la température, l'humidité et la circulation de l'air. [45]

En résumé, la simulation thermique dynamique représente un outil puissant pour les concepteurs et les propriétaires de bâtiments, car elle offre une vision détaillée et précise des performances thermiques d'un bâtiment. En comprenant mieux le comportement thermique du

bâtiment, il est possible d'optimiser sa conception et ses performances énergétiques, contribuant ainsi à réduire sa consommation d'énergie et à améliorer le confort des occupants. La figure 28 regroupe les logiciels de simulation thermique dynamique les plus utilisés :



Figure 28: Les logiciels de simulation thermique les plus connues

2.3 Analyse de cycle de vie (ACV)

Cette méthode représente une approche holistique essentielle dans l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments. Elle transcende l'évaluation traditionnelle centrée uniquement sur la phase d'utilisation pour englober l'ensemble du cycle de vie du bâtiment, depuis sa conception et sa construction jusqu'à sa démolition et même sa phase post-utilisation. En intégrant toutes ces phases, l'ACV offre une vision complète et éclairée des implications énergétiques de chaque étape du processus de construction et d'utilisation d'un bâtiment. La première étape de l'ACV consiste à évaluer l'impact énergétique de la fabrication des matériaux de construction. Cette phase comprend l'extraction, le traitement et le transport des matériaux, ainsi que la consommation d'énergie associée à leur fabrication. Identifier les matériaux les plus énergivores permet d'orienter les choix vers des alternatives plus durables et éco énergétiques. Ensuite, lors de la phase de construction, l'ACV évalue l'efficacité énergétique des processus de construction eux-mêmes, y compris l'énergie nécessaire au chantier, aux équipements de construction, et à l'utilisation de matériaux. Des méthodes de construction innovantes et des pratiques durables peuvent réduire significativement l'empreinte énergétique de cette phase. L'analyse se poursuit avec la phase d'utilisation, où l'ACV évalue la consommation d'énergie pendant la durée de vie opérationnelle du bâtiment. Cela inclut le chauffage, la climatisation, l'éclairage et d'autres besoins énergétiques liés à l'occupation quotidienne du bâtiment. Identifier les zones de gaspillage et optimiser l'efficacité énergétique des systèmes installés permet de réduire la consommation d'énergie tout au long de cette phase. Enfin, l'ACV considère également la phase de fin de vie du bâtiment, y compris le recyclage des matériaux, la démolition et l'élimination des déchets. Une conception orientée vers la durabilité permet de maximiser la récupération des matériaux et de minimiser l'impact environnemental de la démolition.

En résumé, l'ACV offre une approche globale et systématique pour évaluer et optimiser la performance énergétique des bâtiments tout au long de leur cycle de vie. En identifiant les points de friction et en favorisant des choix éclairés à chaque étape, elle contribue à la construction de bâtiments plus durables et écoénergétiques, répondant aux enjeux actuels de la transition énergétique et de la lutte contre le changement climatique. [46]

2.4 Analyse thermique détaillée

L'analyse thermique détaillée représente une approche approfondie pour évaluer la performance thermique de chaque composant d'un bâtiment. Cette méthode consiste à examiner minutieusement chaque élément de la structure, y compris les murs, la toiture, les fenêtres, les planchers, ainsi que les portes et les fondations, afin de comprendre leur impact sur la consommation d'énergie globale du bâtiment.

En examinant chaque composant individuellement, l'analyse thermique permet d'identifier les zones à risque de déperditions énergétiques. Par exemple, des murs mal isolés ou des fenêtres présentant des fuites d'air peuvent entraîner des pertes de chaleur importantes, ce qui augmente la consommation d'énergie nécessaire pour maintenir une température confortable à l'intérieur du bâtiment. De même, une toiture endommagée ou des planchers mal isolés peuvent également contribuer aux déperditions thermiques. Une fois les zones à risque identifiées, des solutions d'optimisation peuvent être proposées pour renforcer l'efficacité énergétique du bâtiment. Cela peut inclure des mesures telles que l'installation d'une isolation thermique supplémentaire, le remplacement des fenêtres par des modèles plus efficaces sur le plan énergétique, l'amélioration de l'étanchéité à l'air et la réparation des zones endommagées. De plus, des ajustements au niveau du design et de l'orientation du bâtiment peuvent également être envisagés pour maximiser les gains solaires et minimiser les pertes de chaleur. En intégrant ces solutions d'optimisation, il est possible d'améliorer significativement l'efficacité énergétique du bâtiment tout en réduisant sa consommation d'énergie et ses coûts associés. De plus, une meilleure performance thermique contribue également au confort des occupants en assurant des conditions intérieures plus stables et agréables tout au long de l'année.

En résumé, l'analyse thermique détaillée représente une étape essentielle dans le processus d'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments. En identifiant les zones à risque et en proposant des solutions d'optimisation adaptées, cette méthode permet de maximiser les économies d'énergie et de créer des environnements intérieurs plus durables et confortables pour les occupants. [47]

3. Explication des principaux indicateurs utilisés

3.1 Coefficient Bbio (Besoin bioclimatique)

Le coefficient Bbio, également connu sous le nom de Besoin Bioclimatique, constitue un élément crucial dans l'évaluation de la performance énergétique d'un bâtiment. Contrairement à d'autres mesures qui se concentrent sur la quantité d'énergie réellement consommée, le Bbio se penche sur les besoins intrinsèques du bâtiment en matière de chauffage, de refroidissement et d'éclairage naturel, en fonction de ses caractéristiques architecturales et de son usage prévu. Pour comprendre l'importance du Bbio, il est essentiel de reconnaître que chaque bâtiment est unique, avec ses propres défis et opportunités en termes de gestion de l'énergie. Le coefficient Bbio prend en compte une multitude de paramètres, notamment l'orientation du bâtiment par rapport au soleil, la qualité de son isolation, la perméabilité à l'air, la présence de dispositifs de protection solaire, et bien d'autres encore. L'orientation joue un rôle crucial dans la quantité de chaleur solaire reçue par le bâtiment. Un bon positionnement peut maximiser les apports solaires en hiver pour réduire les besoins de

chauffage, tout en minimisant les gains de chaleur en été pour limiter les besoins de refroidissement. L'isolation thermique, quant à elle, agit comme une barrière contre les pertes de chaleur en hiver et les gains de chaleur en été. Une isolation de haute qualité réduit la dépendance aux systèmes de chauffage et de climatisation, contribuant ainsi à des économies d'énergie substantielles. Les apports solaires, qui dépendent des caractéristiques des ouvertures et de la présence de dispositifs de protection solaire, influencent également les besoins énergétiques du bâtiment. Des fenêtres bien conçues et des protections solaires adéquates peuvent optimiser l'éclairage naturel tout en réduisant les charges thermiques. [48]

En intégrant tous ces facteurs, le coefficient Bbio offre une évaluation globale et précise des besoins énergétiques intrinsèques d'un bâtiment, ce qui permet aux concepteurs et aux professionnels du bâtiment de prendre des décisions éclairées pour optimiser sa performance énergétique. En identifiant les domaines où des améliorations peuvent être apportées, le Bbio contribue à la conception de bâtiments plus durables, économes en énergie et confortables pour leurs occupants.

3.2 Coefficient Cep (Consommation d'énergie primaire)

Le coefficient Cep, ou Consommation d'Énergie Primaire, revêt une importance capitale dans l'évaluation de l'empreinte énergétique globale d'un bâtiment. Contrairement à d'autres mesures qui se concentrent uniquement sur la consommation d'énergie finale, le Cep adopte une approche plus holistique en prenant en compte toutes les sources d'énergie utilisées dans le bâtiment, qu'il s'agisse d'électricité, de gaz, de fioul ou d'autres combustibles, et en les convertissant en équivalent d'énergie primaire. Cette conversion en énergie primaire est essentielle car elle reflète la quantité d'énergie réellement prélevée dans l'environnement pour produire l'énergie utilisée dans le bâtiment. Par exemple, la production d'électricité nécessite souvent des combustibles fossiles ou des sources d'énergie renouvelable pour générer de la chaleur ou du mouvement, et une partie de cette énergie est perdue sous forme de chaleur résiduelle. En prenant en compte cette inefficacité dans le système énergétique, le Cep offre une mesure plus précise de l'impact environnemental réel de la consommation d'énergie d'un bâtiment. En évaluant la consommation d'énergie totale sur une base annuelle, le coefficient Cep fournit une vision à long terme de la performance énergétique du bâtiment. Il permet de quantifier la quantité d'énergie utilisée pour le chauffage, la climatisation, l'éclairage, les équipements électroménagers et tout autre besoin énergétique du bâtiment, ce qui permet aux propriétaires et aux gestionnaires de mieux comprendre où l'énergie est utilisée et où des améliorations peuvent être apportées. De plus, le Cep offre un moyen de comparer la performance énergétique de différents bâtiments, qu'ils soient neufs ou existants, en prenant en compte non seulement leur consommation d'énergie absolue, mais aussi leur efficacité dans l'utilisation de cette énergie. Cela permet de mettre en évidence les bâtiments les plus économes en énergie et de promouvoir les meilleures pratiques en matière de conception, de construction et de gestion des bâtiments. [49]

En conclusion, le coefficient Cep constitue un outil essentiel pour évaluer et améliorer la performance énergétique des bâtiments, en fournissant une mesure précise de leur consommation d'énergie totale et de leur impact environnemental. En intégrant cette mesure dans les processus de conception, de construction et de gestion des bâtiments, il contribue à la transition vers un avenir plus durable et économe en énergie.

3.3 Indice de performance énergétique (IPE)

L'Indice de Performance Énergétique (IPE) représente une mesure fondamentale dans l'évaluation de l'efficacité énergétique globale d'un bâtiment. Son principe est de comparer la consommation d'énergie réelle d'un bâtiment à une référence standard établie, permettant ainsi de quantifier son efficacité énergétique relative. Pour comprendre l'IPE, il est important de saisir la notion de référence standard. Cette référence est généralement définie en fonction de critères spécifiques, tels que la taille du bâtiment, son type d'utilisation, son emplacement géographique, et d'autres facteurs pertinents. Elle constitue une base de comparaison permettant d'évaluer la performance énergétique d'un bâtiment par rapport à des normes ou des objectifs prédéfinis. En comparant la consommation d'énergie réelle d'un bâtiment à cette référence standard, l'IPE offre une mesure relative de son efficacité énergétique. Un indice inférieur à la référence standard indique une performance énergétique supérieure, tandis qu'un indice supérieur suggère une performance énergétique inférieure. L'IPE permet ainsi de classer les bâtiments en fonction de leur performance énergétique, offrant une vision comparative précieuse pour les propriétaires, les gestionnaires et les professionnels du secteur immobilier. En identifiant les bâtiments les plus économes en énergie et en mettant en évidence les opportunités d'amélioration pour les bâtiments moins performants, l'IPE favorise l'adoption de pratiques durables et la transition vers un parc immobilier plus écoénergétique. De plus, l'IPE peut servir de point de départ pour la mise en œuvre de mesures d'amélioration de la performance énergétique. En identifiant les bâtiments nécessitant une attention particulière et en ciblant les domaines spécifiques où des économies d'énergie peuvent être réalisées, il permet d'orienter les investissements et les efforts vers les actions les plus rentables et les plus bénéfiques sur le plan énergétique. [50]

En résumé, l'Indice de Performance Énergétique joue un rôle crucial dans l'évaluation et l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments. En fournissant une mesure comparative de leur efficacité énergétique, il contribue à promouvoir une utilisation plus responsable de l'énergie et à accélérer la transition vers des pratiques de construction et de gestion plus durables.

3.4 Indice d'étanchéité à l'air

L'Indice d'Étanchéité à l'Air représente un élément essentiel dans l'évaluation de la performance énergétique d'un bâtiment. Cet indicateur mesure la capacité des parois du bâtiment à limiter les fuites d'air indésirables à travers l'enveloppe du bâtiment, en évaluant le débit de fuite d'air à travers les différents éléments de construction tels que les murs, les planchers, les plafonds, et les fenêtres. Une bonne étanchéité à l'air est cruciale pour plusieurs raisons. Tout d'abord, elle contribue à réduire les pertes de chaleur en empêchant l'air chaud de s'échapper du bâtiment pendant les mois froids, ce qui permet de diminuer la quantité d'énergie nécessaire pour chauffer l'espace intérieur. Ensuite, elle aide également à améliorer le confort des occupants en éliminant les courants d'air froid et en assurant une température intérieure plus constante et uniforme. De plus, une bonne étanchéité à l'air peut également contribuer à réduire les risques de condensation et de formation de moisissures à l'intérieur des parois, en limitant la migration de l'humidité. Pour évaluer l'étanchéité à l'air d'un bâtiment, des tests spécifiques, tels que le test de porte soufflante ou le test de blower door, sont souvent réalisés. Ces tests mesurent le débit d'air qui traverse l'enveloppe du bâtiment à

une pression donnée, permettant ainsi de quantifier l'étanchéité à l'air du bâtiment et d'identifier les zones présentant des fuites d'air excessives. Une fois que les zones de fuite d'air ont été identifiées, des mesures correctives peuvent être mises en œuvre pour améliorer l'étanchéité à l'air du bâtiment. Cela peut inclure l'installation de matériaux d'étanchéité, le calfeutrage des fissures et des joints, l'amélioration de l'isolation, ou encore la modification de la conception pour réduire les zones de pression différentielle. [51]

En résumé, l'Indice d'Étanchéité à l'Air joue un rôle crucial dans l'amélioration de la performance énergétique et du confort des bâtiments. En réduisant les pertes de chaleur et en améliorant l'efficacité énergétique, il contribue à la réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre, tout en créant des espaces intérieurs plus confortables et plus sains pour les occupants.

3.5 Indice d'occupation des locaux

L'Indice d'Occupation des Locaux représente un aspect crucial de la qualité de l'air intérieur d'un bâtiment. Cet indicateur évalue le taux de renouvellement de l'air à l'intérieur des locaux, en mesurant le nombre de fois où le volume d'air de l'espace intérieur est entièrement renouvelé par heure. La qualité de l'air intérieur est d'une importance capitale pour la santé et le bien-être des occupants d'un bâtiment. Un renouvellement suffisant de l'air permet de diluer les polluants présents dans l'air intérieur, tels que les COV (composés organiques volatils), les particules fines, les allergènes et autres contaminants, contribuant ainsi à maintenir un environnement intérieur sain et confortable. Un indice d'occupation des locaux élevé, c'est-à-dire un taux élevé de renouvellement de l'air, permet de garantir une qualité de l'air intérieur optimale. Cela peut être particulièrement important dans les espaces où la concentration de personnes est élevée, comme les bureaux, les écoles, les hôpitaux, les centres commerciaux, et autres lieux publics. Une bonne ventilation et un système de circulation d'air efficace sont essentiels pour atteindre un indice d'occupation des locaux satisfaisant. Cela peut être réalisé à l'aide de systèmes de ventilation mécanique, de ventilateurs, de conduits d'air, de grilles de ventilation, et d'autres équipements de ventilation. Des stratégies de conception appropriées, telles que la disposition judicieuse des ouvertures, des fenêtres, et des portes, peuvent également contribuer à optimiser le renouvellement de l'air à l'intérieur des locaux. En garantissant un indice d'occupation des locaux adéquat, on minimise les risques de pollution de l'air intérieur, de confinement et d'inconfort pour les occupants du bâtiment. Cela peut également avoir un impact positif sur la productivité, la concentration, et la santé des personnes qui passent du temps à l'intérieur du bâtiment. [52]

En résumé, l'Indice d'Occupation des Locaux constitue un outil précieux pour évaluer et améliorer la qualité de l'air intérieur d'un bâtiment. En garantissant un renouvellement suffisant de l'air, il contribue à créer des environnements intérieurs sains, sûrs, et confortables pour les occupants

3.6 Indice de confort thermique

L'Indice de Confort Thermique représente un aspect crucial de l'expérience des occupants à l'intérieur d'un bâtiment. Cet indicateur vise à évaluer et à quantifier le niveau de confort thermique ressenti par les occupants, en prenant en compte plusieurs paramètres tels que la température, l'humidité relative, la vitesse de l'air et d'autres facteurs environnementaux

pertinents. Le confort thermique est une composante essentielle du bien-être des occupants d'un bâtiment. Des conditions thermiques inadéquates peuvent entraîner un inconfort, une distraction, une diminution de la productivité et même des problèmes de santé tels que l'hypothermie ou la surchauffe. Par conséquent, évaluer et maintenir un niveau de confort thermique optimal est crucial pour assurer le bien-être et la satisfaction des occupants.

L'Indice de Confort Thermique permet de vérifier si les conditions intérieures du bâtiment sont conformes aux normes de confort établies, telles que celles définies par les normes ISO, les réglementations locales ou les recommandations de confort thermique. Ces normes peuvent varier en fonction du type de bâtiment, de son emplacement géographique, de son usage et d'autres facteurs spécifiques. Pour évaluer le confort thermique, des mesures précises des paramètres environnementaux sont souvent réalisées à l'aide de capteurs et d'instruments spécialisés. Ces mesures permettent de quantifier la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse de l'air et d'autres variables pertinentes, puis de comparer ces données aux critères de confort établis. Si les résultats de l'évaluation révèlent des conditions thermiques insatisfaisantes, des mesures correctives peuvent être mises en œuvre pour améliorer le confort des occupants. Cela peut inclure l'ajustement des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC), l'optimisation de la distribution de l'air, l'installation de dispositifs de contrôle de l'humidité, ou encore la modification de la conception du bâtiment pour favoriser une meilleure circulation de l'air. [53]

En résumé, l'Indice de Confort Thermique constitue un outil essentiel pour évaluer et améliorer le confort des occupants à l'intérieur des bâtiments. En s'assurant que les conditions thermiques sont conformes aux normes de confort établies, il contribue à créer des environnements intérieurs agréables, sains et productifs pour les occupants.

4. Indicateurs d'efficacité énergétique

4.1 Définition

Un indicateur d'efficacité énergétique dans le bâtiment est une mesure ou une métrique utilisée pour évaluer la performance énergétique d'un bâtiment. Ces indicateurs permettent de quantifier la consommation d'énergie du bâtiment, d'identifier les domaines où des améliorations peuvent être apportées et de suivre les progrès réalisés dans le temps. [54]

4.2 Exemples d'indicateurs d'efficacité énergétique couramment utilisés dans le bâtiment

Voici quelques exemples d'indicateurs d'efficacité énergétique couramment utilisés dans le bâtiment :

- **Consommation d'énergie totale** : Cet indicateur mesure la quantité totale d'énergie consommée par le bâtiment sur une période donnée, généralement exprimée en kilowattheures (kWh) ou en unités équivalentes. [55]
- **Consommation d'énergie par mètre carré** : Cet indicateur normalise la consommation d'énergie en la divisant par la surface du bâtiment, ce qui permet de comparer la performance énergétique de bâtiments de tailles différentes. [56]
- **Indice de performance énergétique (IPE)** : Comme mentionné précédemment, l'IPE compare la consommation d'énergie réelle d'un bâtiment à une référence standard,

permettant ainsi de classer les bâtiments en fonction de leur performance énergétique relative. [50]

- **Ratio de consommation énergétique** : Ce ratio compare la consommation d'énergie d'un bâtiment à une référence spécifique, telle que la consommation moyenne pour des bâtiments similaires dans la même région ou le même secteur. [57]
- **Taux de renouvellement d'air** : Cet indicateur évalue le renouvellement de l'air à l'intérieur des locaux du bâtiment, comme mentionné précédemment, en mesurant le nombre de renouvellements d'air par heure. [58]
- **Indice de confort thermique** : Cet indicateur évalue le confort thermique des occupants du bâtiment en tenant compte de la température, de l'humidité, de la vitesse de l'air, et d'autres facteurs environnementaux. [59]

Ces indicateurs sont utilisés par les propriétaires, les gestionnaires de bâtiments, les ingénieurs en efficacité énergétique et d'autres professionnels du secteur pour évaluer la performance énergétique des bâtiments, identifier les opportunités d'amélioration et mettre en œuvre des mesures visant à réduire la consommation d'énergie et les coûts associés, tout en améliorant le confort des occupants.

5. Conclusion

En conclusion, les méthodes de calcul des besoins énergétiques du bâtiment sont essentielles pour une approche moderne et efficace de la conception et de la gestion des bâtiments. Ils permettent une analyse précise et détaillée des besoins énergétiques, contribuant à la réalisation de bâtiments plus durables, économes en énergie, et conformes aux normes environnementales. L'amélioration de l'efficacité énergétique dans les bâtiments est une étape essentielle vers un avenir plus durable et résilient. Les méthodes mentionnées précédemment dans ce chapitre offrent un large éventail d'options pour réduire la consommation d'énergie, diminuer les émissions de gaz à effet de serre et optimiser les ressources disponibles. En mettant en œuvre ces méthodes, les avantages vont bien au-delà de la simple réduction des coûts énergétiques. Elles contribuent également à améliorer le confort des occupants, à promouvoir la santé et le bien-être, à renforcer la résilience aux changements climatiques, et à favoriser la création d'emplois dans le secteur des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique.

Chapitre III :

Méthodologie

1. Introduction

Le présent chapitre, est dédié à la présentation du bâtiment étudié, des systèmes de chauffage et de climatisation choisis pour ce bâtiment, ainsi que de la méthodologie employée pour notre analyse.

2. Présentation du bâtiment étudié

Le bâtiment considéré dans notre étude est l'école primaire REZIGUI Boucif. Cette école est une institution éducative située à la ferme de Khoualed ABDELHAKEM, commune de Sidi Ben Adda, wilaya d'Ain Temouchent. Elle accueille environ 110 élèves répartis en 6 classes. L'école emploie également 20 membres du personnel, comprenant des enseignants et du personnel administratif.

En plus des six classes, on dispose de trois (3) bureaux de direction, une cuisine, un restaurant et les des sanitaires. Sur la figure 29, on présente une vue de face de l'école. La figure 30 présente une vue satellite du village en question ainsi que l'emplacement de l'école primaire faisant l'objet de notre étude [60]. La figure 31 présente les dimensions des salles de cours considérées pour les calculs.



Figure 29: Façade de l'école

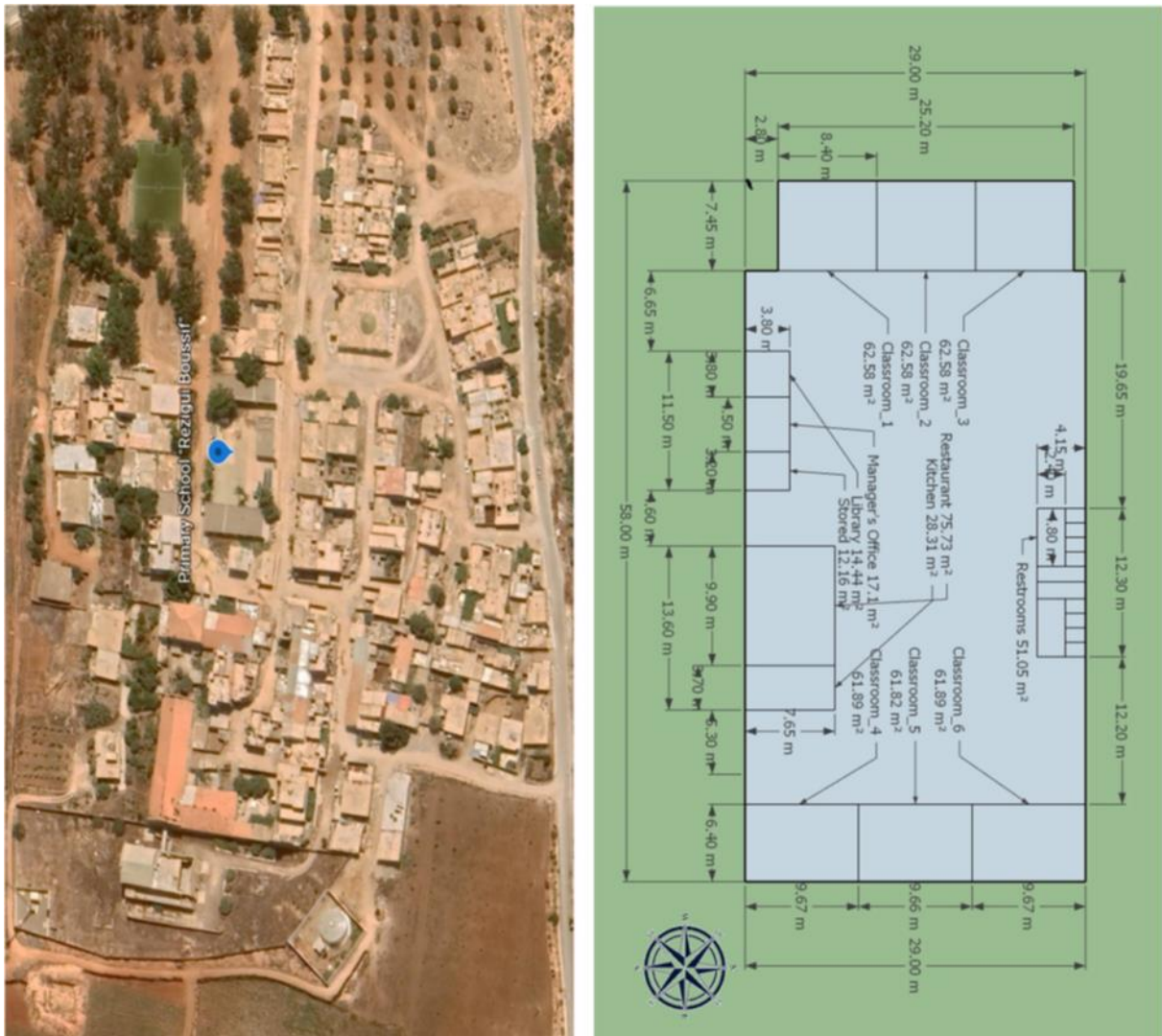


Figure 30: vue satellite du village en question ainsi que l'emplacement de l'école primaire REZIGUI Boucif [60].

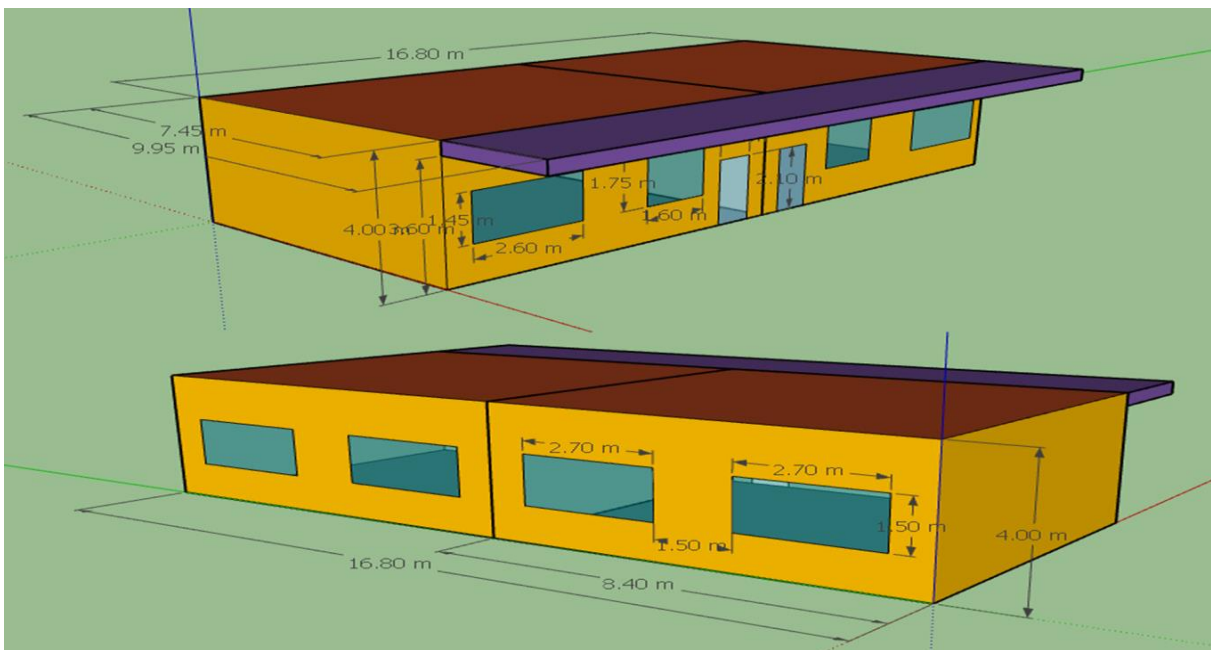


Figure 31: dimensions de salles de classe étudiées

3. Calcul technique des déperditions

Selon le DTR-2017(annexe 1), sur la base du dossier technique, le calcul des déperditions doit se faire en suivant les étapes suivantes :

- définir les volumes thermiques
- calculer pour chaque volume thermique les pertes par transmission et les pertes par renouvellement d'air
- vérifier que les déperditions par transmission du logement sont inférieures aux déperditions de référence
- calculer éventuellement les déperditions de base qui expriment les besoins de chauffage.

Le DTR-2017 met à la disposition des professionnels des méthodes d'évaluations thermiques des logements. L'exigence réglementaire sur laquelle s'appuie ce DTR consiste à limiter les déperditions calorifiques des logements en fixant un seuil à ne pas dépasser (appelé déperditions de référence). Le respect de ce seuil devrait permettre une économie de 20 à 30% sur la consommation d'énergie pour le chauffage des logements, sans pour autant se réaliser au détriment du confort des utilisateurs.

Les méthodes de calculs présentées dans ce DTR sont des méthodes simples, testées par ailleurs, suffisantes en principe pour trouver des solutions techniques admissibles. Bien entendu, il appartient au concepteur d'effectuer dans les cas limites des calculs plus précis (utilisation de logiciels de simulation).

4. Calcul numérique des besoins énergétiques sur TRANSYS

4.1 Description générale du logiciel TRNSYS

TRNSYS (prononcé « transis ») est un logiciel de simulation destiné principalement aux domaines des énergies renouvelables et du bâtiment. Il est un environnement logiciel graphique extrêmement flexible utilisé pour simuler le comportement des systèmes transitoires. Alors que la grande majorité des simulations se concentrent sur l'évaluation des performances des systèmes d'énergie thermique et électrique, TRNSYS peut également être utilisé pour modéliser d'autres systèmes dynamiques tels que les flux de trafic ou les processus biologiques.

TRNSYS est aujourd'hui une référence au niveau mondial dans le domaine de la simulation dynamique de bâtiments et de systèmes. Plusieurs centaines de composants TRNSYS sont disponibles couvrant un large spectre d'application (Energie solaire, éoliennes, Hydrauliques, photovoltaïques, piles à combustibles, cogénération, comportement des usagers, analyse et optimisation tarifaire, régulation, stockage d'énergie intersaison, thermique du bâtiment...) Ses bibliothèques peuvent être connectées pour effectuer des études pluridisciplinaires. Ses avantages sont :

- Approche modulaire, il est extrêmement flexible pour modéliser un ensemble de système thermique à différents niveaux de complexité (modules avec procédures de calcul plus ou moins élaborées)
- L'accès au code source permet aux utilisateurs de modifier ou d'ajouter des composants qui ne figurent pas dans la librairie d'origine

- Documentation vaste sur les sous-programmes y compris explications, usages usuels, équations de base
- Définition très souple de la période de simulation : choix du pas de temps, du début et de la fin de la simulation
- La version 16 se présente encore plus ouverte en termes de connexions vers d'autres outils et langages de programmations

4.2 Les outils de l'environnement TRNSYS

TRNSYS comporte plusieurs outils comme le SIMCAD, TRNFOW, FAVENT, METEONORM, TRNSED. Parmi les outils les plus utilisés, on a :

- le METENORM ; il permet de disposer pour TRNSYS, des données climatiques fiables chaque heure et durant une année. Si on ne dispose pas d'une station météorologique, METENORM peut calculer par interpolation entre différentes stations les conditions climatiques d'un lieu.
- Le TRNBUILD est un outil permettant d'introduire les caractéristiques d'un bâtiment multizone nécessaire à la simulation thermique de celui-ci. Ses propriétés sont introduites dans « TRNSYS Simulation Studio », Cette interface permet de décrire tous les composants d'un bâtiment multizones utilisant le Type 56. En fait, on spécifie la composition des murs, leurs orientations respectives, les surfaces vitrées et les types de vitrages utilisés. Il est nécessaire aussi de définir les conditions initiales de la zone étudiée (la température intérieure et l'humidité relative), Les caractéristiques des murs, fenêtres, portes, planchers et plafonds (dimensions, matériaux, orientation, etc.) dans chaque zone sont obtenues à partir des dessins d'architecture. Le modèle de bâtiments multizones par le logiciel TRNSYS permet à l'utilisateur de construire des types de murs à partir de couches, les propriétés thermo physiques de chaque couche (conductivité thermique, densité, chaleur spécifique, épaisseur, etc.) sont entrées par l'utilisateur ou choisis à partir d'une bibliothèque existante.

4.3 Méthodologie

Pour réaliser un travail de simulation numérique sur TRNSYS (Transient System Simulation Tool), on suit les étapes suivantes :

1. Définition de l'objectif de la simulation : on doit définir clairement les objectifs de la simulation. Quel type de système ou de processus on souhaite modéliser et analyser ?
2. Préparation et collecte de données : on collecte toutes les données nécessaires pour votre simulation, telles que les caractéristiques du bâtiment, les propriétés des matériaux, les conditions climatiques, etc. Il faut préparer des fichiers de données spécifiques comme les fichiers météo requis pour la simulation.
3. Création du modèle : Cette opération comporte les étapes suivantes :
 - Création de la géométrie : on utilise TRNBuild pour créer la géométrie du bâtiment et définir les zones thermiques.
 - Définition des propriétés des Composants : on Définit les propriétés thermiques des murs, toits, fenêtres, etc.

- Insertion des composants : Dans l'interface de simulation TRNSYS (Simulation Studio), on insère les composants nécessaires comme les collecteurs solaires, les pompes, les échangeurs de chaleur, etc.
 - Connexion des composants : il faut connecter les composants entre eux pour créer un schéma fonctionnel du système à simuler.
4. Définition des conditions de simulation : A ce niveau, il faut définir les conditions suivantes :
 - Conditions Initiales et Limites : on définit les conditions initiales et les limites pour chaque composant.
 - Conditions Climatiques : il faut importer les données climatiques spécifiques au site d'étude.
 - Scénarios d'Utilisation : on définit les scénarios d'utilisation du bâtiment ou du système (occupations, horaires de fonctionnement, etc.).
 5. Simulation et analyse : en arrivant à ce stade, on exécute la simulation pour une période définie (heures, jours, mois, années). Une fois la simulation terminée, on analyse les résultats obtenus en utilisant les outils de post-traitement de TRNSYS pour visualiser les performances thermiques, énergétiques, etc.
 6. Validation du modèle : les résultats obtenus pourront être comparés avec des données réelles pour valider le modèle. Les paramètres du modèle pourront être ajustés si nécessaire pour améliorer la précision des résultats.

4.4 Les données de notre étude

Nom de site est école REZIGUI Boucif, commune de Sidi Ben Adda de la wilaya d'Ain Témouchent.

La situation géographique du site est:

-Latitude [°] = 35,3053

-Longitude [°] = -1,3

-Altitude [m] = 83m

Les données climatiques de la région d'Ain Témouchent sont déterminées par le logiciel METENORM 7 du fichier TMY2. La figure 32 présente un exemple de la variation annuelle de la température journalière (max et min) de la zone étudiée.

En analysant la figure on remarque dans les jours d'été que la température minimale est entre 20°C et 28°C, par contre la température maximale est entre 25°C et 35°C, pour le reste des mois de l'année la température minimale est entre 5°C et 20°C et la température maximale est entre 15°C et 25°C.

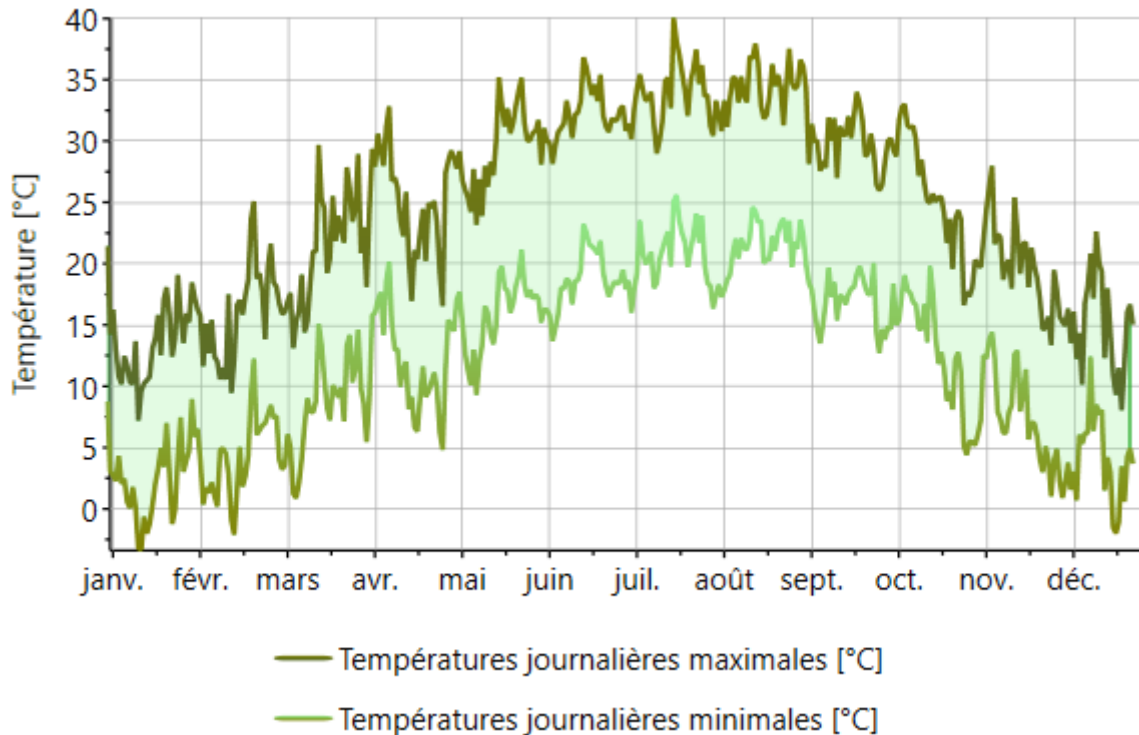


Figure 32: Exemple de la variation annuelle de la température journalière max et min de la zone étudiée.

4.5 Création du modèle sur TRNBUILD

On introduit les caractéristiques de l'école. Ses propriétés sont introduites dans « TRNSYS Simulation Studio », cette interface permet de décrire tous les composants d'un bâtiment multizones utilisant le Type 56. On spécifie la composition des murs, leurs orientations respectives, les surfaces vitrées et les types de vitrages utilisés.

La figure 33 présente une fenêtre de TRNBUILD présentant les zones de simulation avec leurs propriétés. Les caractéristiques des murs, fenêtres, portes, planchers et plafonds (dimensions, matériaux, orientation, etc.) dans chaque zone ont été obtenues à partir de l'étude de JAOUAF S. Le modèle de bâtiments multizones par le logiciel TRNSYS nous permet de construire des types de murs à partir de couches, les propriétés thermo physiques de chaque couche (conductivité thermique, densité, chaleur spécifique, épaisseur, etc.) sont entrées ou choisis à partir d'une bibliothèque existante. Il est noté que les conditions initiales de la zone étudiée (la température intérieure et l'humidité relative) sont aussi introduites.

Sur la figure 34, la représentation de notre projet s'affiche sous forme d'icônes reliés entre elles par des liens. Les icônes représentent le bâtiment et les facteurs intervenants.

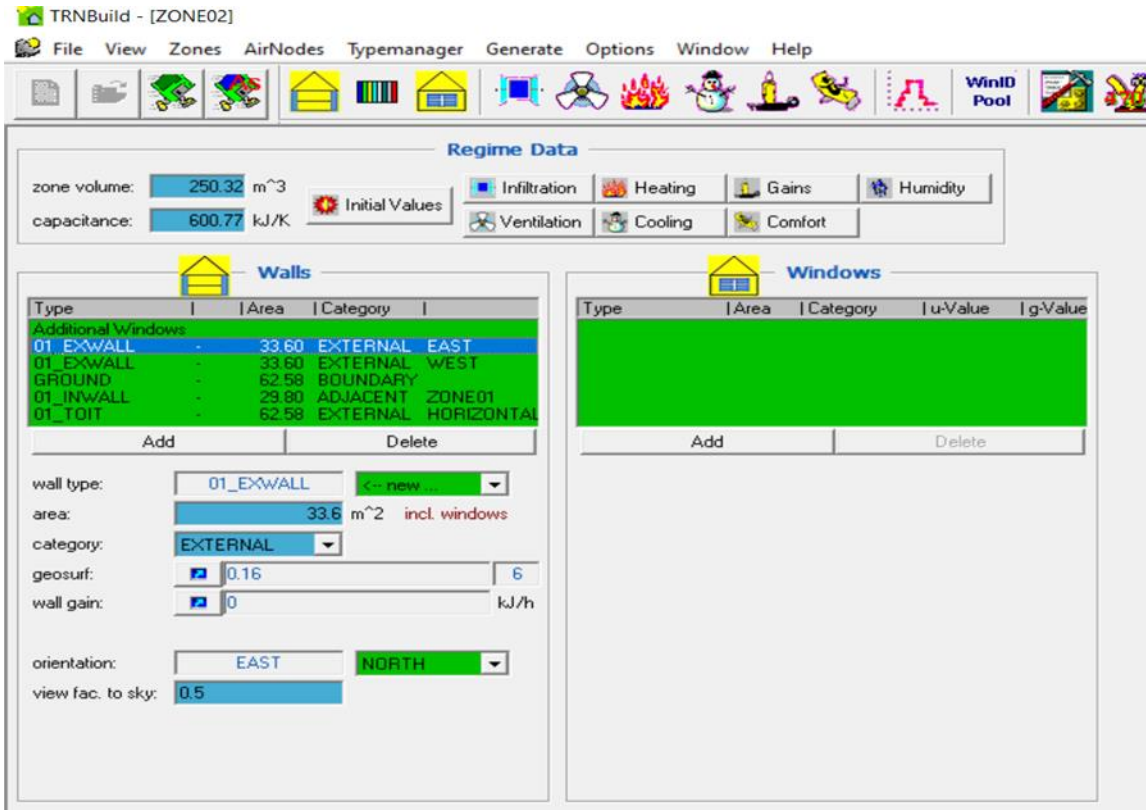


Figure 33: Fenêtre pour TRANBUILD

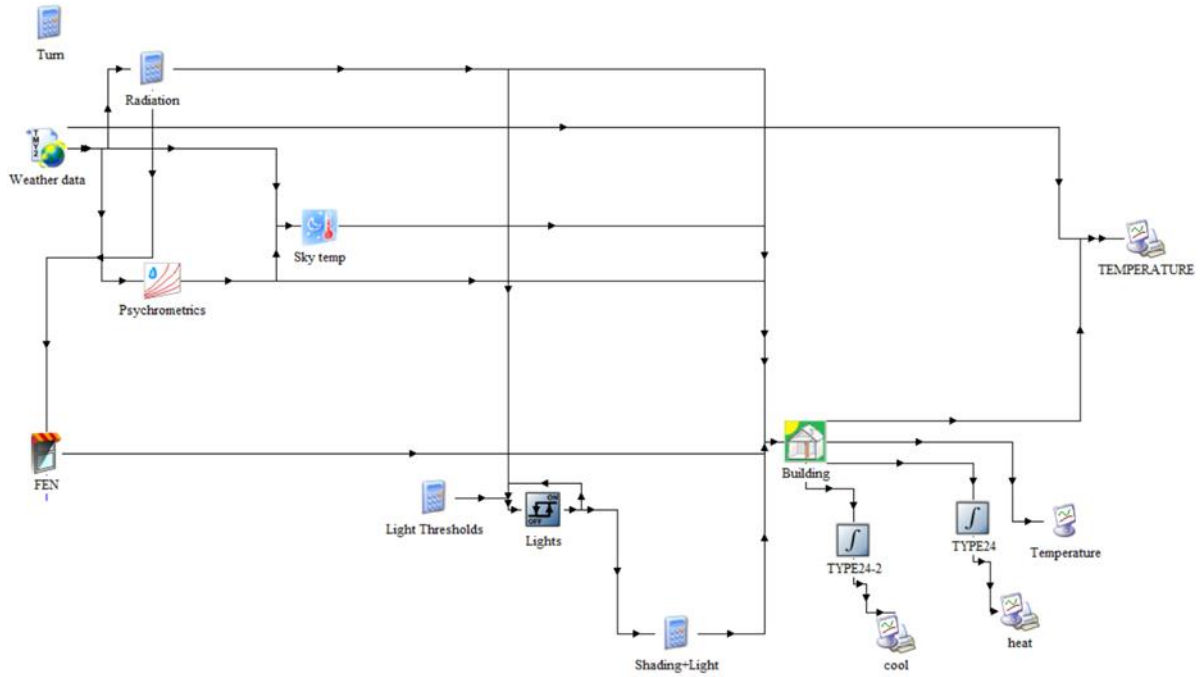


Figure 34: Schéma de simulation des zones

4.6 Les caractéristiques thermiques des matériaux)

Les caractéristiques thermiques des matériaux utilisés sont représentées dans le tableau 1 :

Mursextérieurs				
	Épaisseur [cm]	Conductivité thermique [W/m.K]	Capacité thermique [KJ/Kg.K]	Densité [Kg/m ³]
Plâtre	1	0.351	1	1500
Troud'air	10	0.778	1.227	1
Parpaing	10	1.113	0.65	1300
Mortier de ciment	2	1.15	1	1700
Béton	2	1.755	0.65	2100
Mursintérieurs				
Briquecreuse	10	1.15	0.878	1800
Mortier	2.5	1.15	0.84	2000
Toit				
Plâtre	1	0.351	1	1500
Bétonarmé	4	1.755	0.92	2300
Hourdis	16	1.23	0.65	1300
Mortier de ciment	10	1.15	1	1700

Table 1: Propriétés thermo-physiques des matériaux de construction

4.7 Conditions de temps (Heures d'activité ou temps de consommation)

Les heures d'activité et de repos doivent être définies afin de simuler la consommation annuelle dans chaque cas, ceci est exprimé dans le tableau 2 et les courbes des figures 35-37.

Sur le tableau 2 on présente la température (Ambiante) maximale et minimale pour chaque plage de périodes et sur le tableau 3 on présente les plages d'heures pour chaque saison

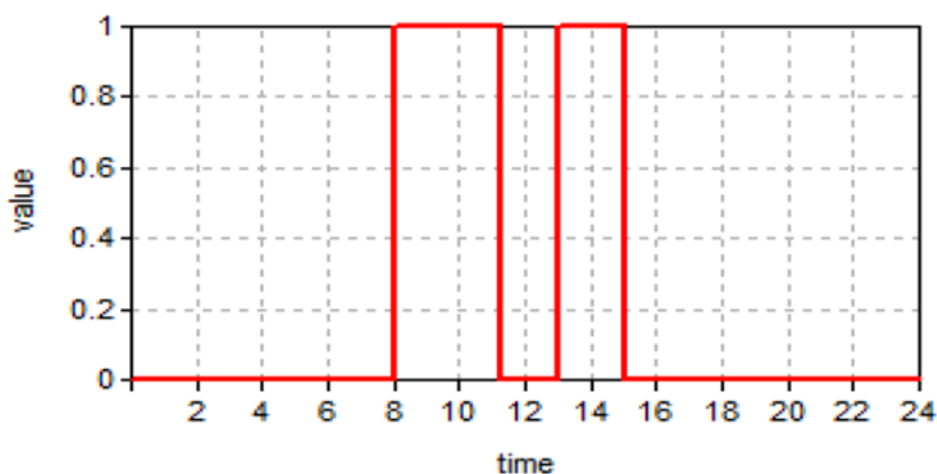


Figure 35: Heures d'activité par jour

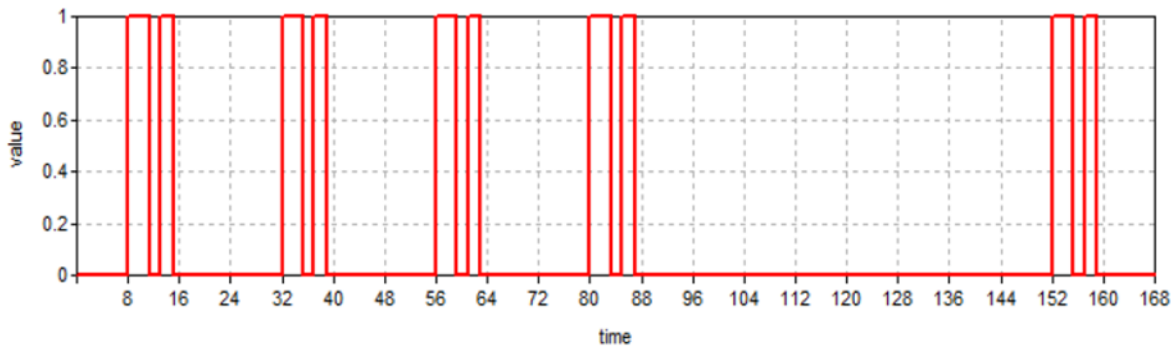


Figure 36: Heures d'activité par semaine

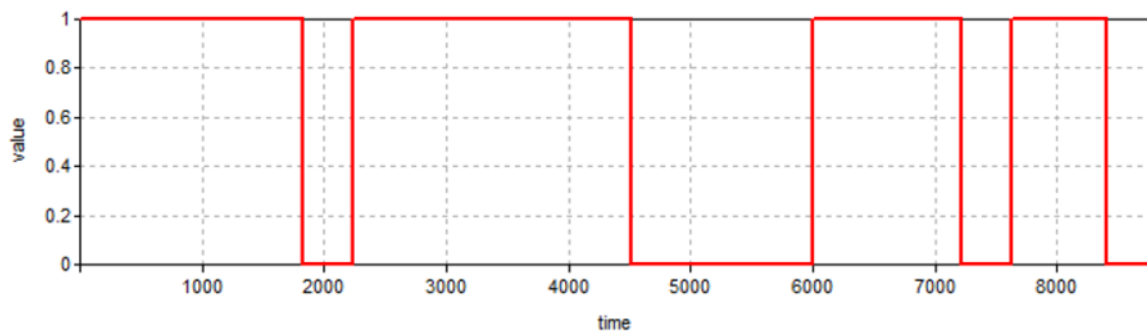


Figure 37: Heures d'activité par année.

	Temps	T maximale	Temps	T minimale
	[hr]	[°C]	[hr]	[°C]
Période d'automne	6017	29.30	7160	16.45
Période d'hiver	7744	25.35	8265	11.20
Période de printemps	1264	22.55	289	6.95
Période d'été	4073	31.70	2863	11.70

Table 2: Température (Ambiante) Maximale et Minimale pour chaque plage de périodes.

Période de printemps	[0-1800] h
Période d'hiver	[7608-8376]h
Période d'Automne	[5976-7200] h

Table 3 : Plage d'heures de chaque saison

5. Les systèmes choisis

Après avoir présenté plusieurs systèmes de chauffage, on a sélectionné deux options prometteuses : le chauffage central et le chauffage à gaz. Ces systèmes ont été choisis pour leur efficacité, leur fiabilité et leur adaptabilité à divers types d'installations. Voici un développement pour chaque option. Les critères de choix sont basés sur les avantages, les inconvénients et la durée de vie.

5.1 Chauffage central

Le système de chauffage central a été retenu pour ses nombreux avantages. Ce système permet une distribution uniforme de la chaleur dans l'ensemble du bâtiment, garantissant un

confort thermique homogène. De plus, le chauffage central peut être alimenté par différentes sources d'énergie, offrant une grande flexibilité en termes de choix de combustible.

Avantages

- **Confort uniforme:** Le chauffage central assure une distribution uniforme de la chaleur dans toutes les pièces, créant un environnement confortable et homogène.
- **Contrôle facile:** La température peut être réglée de manière centrale, souvent par un thermostat programmable, permettant de maintenir une température constante ou de la modifier selon les besoins.
- **Efficacité énergétique:** Les systèmes modernes de chauffage central, comme les chaudières à condensation ou les pompes à chaleur, sont très efficaces et peuvent réduire les coûts énergétiques.
- **Esthétique et espace:** Comme les composants principaux sont souvent dissimulés, il y a moins d'encombrement visuel par rapport à des chauffages d'appoint dans chaque pièce.

Inconvénients

- **Coût d'installation:** La mise en place d'un système de chauffage central peut être coûteuse, surtout si des modifications structurelles sont nécessaires.
- **Entretien régulier:** Pour assurer un fonctionnement optimal et sécurisé, un entretien régulier par des professionnels est nécessaire, ce qui peut entraîner des coûts supplémentaires.
- **Dépendance à une source unique:** Si la chaudière ou la pompe à chaleur tombe en panne, l'ensemble du système de chauffage est affecté, ce qui peut causer des désagréments.
- **Inertie thermique:** Les systèmes de chauffage central peuvent avoir une inertie thermique plus importante, ce qui signifie qu'ils mettent plus de temps à atteindre la température souhaitée après avoir été allumés.

Durée de vie

En moyenne, une chaudière à condensation a une durée de vie de 15 à 20 ans

5.2 Chauffage à gaz

Le chauffage à gaz est une autre option intéressante grâce à son efficacité énergétique et son coût relativement bas.

Avantages

- **Efficacité énergétique:** Les systèmes de chauffage à gaz modernes, comme les chaudières à condensation, sont très efficaces et peuvent convertir une grande partie de l'énergie contenue dans le gaz en chaleur utile.
- **Coût du carburant:** Le gaz naturel est souvent moins coûteux que l'électricité et le fioul, ce qui peut réduire les factures de chauffage.
- **Chauffage rapide:** Les systèmes de chauffage à gaz peuvent chauffer rapidement un bâtiment, offrant un confort immédiat.

- **Faible encombrement:** Les chaudières à gaz peuvent être compactes et murales, libérant de l'espace dans les locaux techniques.

Inconvénients

- **Dépendance au réseau de gaz:** Pour utiliser un système de chauffage à gaz, le bâtiment doit être raccordé au réseau de distribution de gaz naturel, ce qui n'est pas possible dans toutes les régions. Pour le propane, un réservoir doit être installé.
- **Risque de fuite:** Le gaz est inflammable et les fuites peuvent être dangereuses. Des détecteurs de gaz et des contrôles réguliers sont nécessaires pour garantir la sécurité.
- **Émissions de CO₂:** Le chauffage à gaz produit du dioxyde de carbone (CO₂), contribuant aux émissions de gaz à effet de serre. C'est moins écologique que certaines alternatives comme les pompes à chaleur.
- **Coût d'installation:** L'installation d'un système de chauffage à gaz, surtout s'il nécessite des conduites de gaz et des équipements de sécurité, peut être coûteuse.

Durée de vie

Un système de chauffage individuel à gaz a généralement une durée de vie de 10 à 15 ans.

5.3 Climatiseur à split

Après avoir comparé plusieurs systèmes de climatisation, on a choisi le climatiseur à split. Ce système a été sélectionné pour ses performances supérieures, son efficacité énergétique et sa capacité à s'adapter face à différentes configurations d'espaces.

Avantages

1. **Confort thermique :** Maintient une température agréable à l'intérieur, améliorant le confort des occupants.
2. **Qualité de l'air :** Filtre les particules, la poussière, les allergènes, et parfois les polluants, ce qui améliore la qualité de l'air intérieur.
3. **Humidité contrôlée :** Réduit l'humidité excessive, ce qui peut prévenir la formation de moisissures et d'autres problèmes d'humidité.
4. **Augmentation de la productivité :** Dans les environnements de travail, une température confortable peut améliorer la concentration et la productivité.
5. **Sécurité :** Permet de garder les fenêtres et portes fermées, ce qui augmente la sécurité des bâtiments.

Inconvénients

1. **Coût énergétique :** Les climatiseurs consomment beaucoup d'énergie, ce qui peut augmenter considérablement les factures d'électricité.
2. **Impact environnemental :** L'utilisation de climatiseurs contribue aux émissions de gaz à effet de serre, surtout si l'électricité provient de sources non renouvelables.
3. **Coût d'installation et d'entretien :** Les coûts initiaux pour l'installation peuvent être élevés, et un entretien régulier est nécessaire pour assurer un fonctionnement optimal.

4. **Problèmes de santé** : Un mauvais entretien peut entraîner la prolifération de moisissures et de bactéries dans les filtres, ce qui peut affecter la santé des occupants.
5. **Dépendance** : Une utilisation excessive peut rendre les personnes moins tolérantes à la chaleur naturelle est dépendantes du système de climatisation.

Durée de vie

Durée de vie moyenne de 10 à 15 ans.

6. Description de la méthodologie pour une étude technico-économique

6.1 Pour le chauffage central

On a réalisé une étude technico-économique pour un système de chauffage central en impliquant une analyse détaillée des aspects techniques et financiers afin de déterminer la faisabilité, l'efficacité et la rentabilité de ce dernier. Voici les étapes typiques de cette méthodologie :

6.1.1 Analyse des besoins et du contexte

Évaluation des besoins en chauffage: Calculer la demande énergétique du bâtiment en fonction de sa taille, de son isolation, de l'occupation, et des conditions climatiques locales.

Identification des contraintes: Prendre en compte les contraintes techniques, réglementaires et environnementales spécifiques au site d'après le DTR C3.2.

6.1.2 Étude des solutions techniques

Recensement des options: Identifier les différentes technologies de chauffage central possibles (chaudière à gaz, pompe à chaleur, chaudière biomasse, etc.) ainsi que le choix des radiateurs.

Analyse comparative: Comparer les performances énergétiques, la durabilité, l'impact environnemental, et la complexité d'installation de chaque option.

Sélection préliminaire: Sélectionner les solutions les plus adaptées en fonction des critères établis.

6.1.3 Dimensionnement et conception

Calcul des capacités: Dimensionner les équipements nécessaires (chaudière, radiateurs, tuyauteries, coudes, vannes) pour répondre aux besoins en chauffage.

Schéma de distribution: Concevoir le réseau de distribution de chaleur dans le bâtiment, y compris les points de contrôle et de régulation.

Plan d'implémentation: Développer un plan détaillé pour l'installation, incluant les étapes, les délais et les ressources nécessaires.

6.1.4 Analyse économique

Estimation des coûts d'installation: Calculer les coûts initiaux, incluant l'achat des équipements, la main-d'œuvre, et les matériaux.

Évaluation des coûts d'exploitation: Estimer les coûts opérationnels annuels, incluant la consommation énergétique, l'entretien, et les réparations éventuelles.

6.1.5 Étude de sensibilité et de risques

Identification des risques: Recenser les risques techniques, financiers, et environnementaux.

6.1.6 Recommandations et conclusion

Synthèse des résultats: Présenter les résultats de l'étude technique et économique de manière claire et structurée.

Recommandations: Fournir des recommandations sur la solution de chauffage central la plus adaptée, en tenant compte des aspects techniques, économiques, et environnementaux.

Cette méthodologie permet d'assurer une approche rigoureuse et complète pour l'évaluation et la sélection du système de chauffage central le plus adapté à un projet donné.

6.2 Pour le chauffage à gaz

On a réalisé une étude technico-économique pour un système de chauffage à gaz en impliquant une analyse détaillée des aspects techniques et financiers afin de déterminer la faisabilité, l'efficacité et la rentabilité du projet. Voici les étapes typiques de cette méthodologie :

6.2.1 Identification des besoins

- Déterminer les besoins en chauffage du bâtiment (surface, volume, isolation, etc.).
- Évaluer les préférences des utilisateurs (température souhaitée, flexibilité, etc.).

6.2.2 Analyse des options technologiques

Inventorier les différents types de systèmes de chauffage à gaz disponibles (chaudières à condensation, chaudières standard, systèmes hybrides, etc.).

Étudier les caractéristiques techniques de chaque option (rendement, puissance, émissions, etc.).

6.2.3 Étude technique

6.2.3.1. Dimensionnement du système

- Calculer les déperditions thermiques du bâtiment.
- Déterminer la puissance nécessaire pour couvrir ces déperditions.
- Sélectionner le(s) équipement(s) de chauffage approprié(s) en fonction des calculs.

6.2.3.2. Analyse des contraintes techniques

- Vérifier la compatibilité du système de chauffage avec les installations existantes (réseau de gaz, cheminées, espace disponible pour les équipements, etc.).
- Évaluer les besoins en infrastructure supplémentaire (ventilation, approvisionnement en gaz, évacuation des fumées, etc.).

6.2.4 Étude économique et estimation des coûts

6.2.4.1 Coûts d'investissement

- Achat des équipements.
- Installation (main d'œuvre, matériel, etc.).
- Modifications ou améliorations des infrastructures existantes.

6.2.4.2 Coûts d'exploitation

- Consommation de gaz (estimation basée sur les besoins énergétiques calculés).
- Entretien et maintenance.

6.3 Pour le climatiseur

6.3.1 Déterminer la surface à climatiser

Il est crucial de commencer par calculer la superficie des pièces à climatiser en mètres carrés (m²). La précision de cette étape garantit une estimation correcte de la capacité requise, évitant ainsi les problèmes de sous-dimensionnement ou de surdimensionnement du système de climatisation.

6.3.2 Calculer le volume de l'espace à climatiser

Calculez le volume de chaque pièce en multipliant la surface par la hauteur du plafond. Additionnez ensuite les volumes des pièces pour obtenir le volume total en mètres cubes (m³).

6.3.3 Calcul final

Le calcul se fait selon la formule suivante :

$$BTU \text{ d'une pièce} = \text{surface} \times \text{hauteur} \times 100 [1]$$

Si la pièce comporte des fenêtres, On ajoute 1000 BTU par fenêtre. et on divise les BTU par 3,415 pour avoir l'équivalent en Watts.

6.4 Étude de marché et choix de climatiseur

Avant de procéder au choix définitif du climatiseur pour notre projet, nous avons mené une étude approfondie du marché algérien. Cette analyse nous a permis de comparer les options disponibles et de sélectionner la marque qui répond le mieux à nos exigences en termes de qualité, performance et coût. Voici une description détaillée de notre méthodologie et de nos conclusions.

6.4.1 Recherche des marques disponibles

Dans un premier temps, nous avons identifié les principales marques de climatiseurs produites localement en Algérie. Notre objectif était de concentrer notre analyse sur les produits fabriqués localement afin de soutenir l'industrie nationale et de bénéficier des avantages logistiques et économiques liés à la production locale.

6.4.2 Critères de sélection

Nous avons établi plusieurs critères de sélection pour évaluer les différentes marques de climatiseurs. Ces critères incluaient :

- **Efficacité énergétique** : Évaluation de la consommation d'énergie et des certifications énergétiques.
- **Performance** : Capacité de refroidissement (en BTU), vitesse de refroidissement et uniformité de la température.
- **Fiabilité et durabilité** : Analyse des matériaux utilisés, de la qualité de fabrication et des avis des consommateurs.
- **Coût** : Comparaison des prix d'achat, des coûts d'installation et des frais d'entretien.

- **Service après-vente** : Disponibilité des pièces détachées, qualité du service client et garanties offertes.
- **Caractéristiques techniques** : Fonctions supplémentaires telles que la déshumidification, les filtres à air, et les options de contrôle à distance.

6.4.3 Collecte des données

Nous avons recueilli des informations détaillées à partir de plusieurs sources :

- **Catalogues et fiches techniques** : Documentation fournie par les fabricants.
- **Avis des consommateurs** : Témoignages et évaluations des utilisateurs sur des plateformes de commerce électronique (Le site Oued Knisse et Marketplace Facebook).
- **Visites des magasins** : Observations directes des produits en magasin et discussions avec les vendeurs pour obtenir des informations supplémentaires.

7. Conclusion

Le bâtiment, avec ses caractéristiques spécifiques, a permis d'illustrer les choix technologiques adaptés à ses besoins en confort thermique et en efficacité énergétique. Les systèmes choisis ont été évalués selon des critères rigoureux pour garantir leur pertinence et leur performance. La méthodologie employée, basée sur des évaluations quantitatives et qualitatives, a permis de comparer les performances énergétiques, les coûts d'exploitation, et l'impact environnemental des solutions retenues. Les résultats obtenus constituent une base solide pour le chapitre suivant, où une analyse plus approfondie de ces systèmes sera réalisée.

Chapitre IV : Calcul et étude technico- économique

1. Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différentes étapes du calcul et de l'analyse technico-économique, afin de faire le choix des systèmes appropriés.

2. Dimensions des salles de classe

Le tableau 04 ci-dessous montre les dimensions de deux salles de classes. Il affiche la longueur, la largeur et la hauteur de chaque salle ainsi que leur surface respective calculée en mètres carrés. Les données permettent une visualisation rapide et efficace des tailles des salles.

Salles de classes	Longueur	Largeur	Hauteur	Dimensions [m]	Surface [m ²]
Salle 01	7.86	6.75	3.6	7.86 × 6.75	53.05
Salle 02	7.86	6.75	3.6	7.86 × 6.75	53.05

Table 4: Dimensions des salles de classe

3. Dimensions des fenêtres

Le tableau 5 ci-dessous représente les dimensions des fenêtres de deux classes calculées en mètres carrés, ainsi que le nombre de fenêtres dans chaque classe, leur orientation, leur position, et le type de cadre. Les informations fournissent une vue d'ensemble détaillée des caractéristiques des fenêtres dans chaque classe.

Classes	Nombre des fenêtres	Orientation	Dimensions [m]	Position [m]	Cadre
1 et 2	4	Ouest	1.50 x 2.70	1.1	Aluminium
1 et 2	2	Est	2.60 x 1.45	1.1	Bois
1 et 2	2	Est	1.75 x 1.60	1.1	Bois

Table 5: Tableau regroupant l'orientation les dimensions et la position des fenêtres.

4. Données météorologiques internes

Le tableau 6 ci-dessous représente les données météorologiques internes inclut les données sur l'infiltration d'air, la plage de réglage de la température, le point de consigne de chauffage, et le point de consigne de refroidissement. Ces informations permettent de comprendre les conditions et les réglages thermiques de l'école.

Données météorologiques internes		
Paramètre	Valeur	Unité
Infiltration	0.6	[ACH]
Plage de réglage de la température	L'hiver 20.3-24.3	[°C]
	Été 24.3-26.7	[°C]
Point de consigne de chauffage	20.3	[°C]

Point de consigne de refroidissement	26.7	[°C]
---	------	------

Table 6: Données météorologiques internes

5. Données de l'occupant

Le tableau 7 contient les données relatives aux occupants. Il inclut le nombre de personnes, leur activité, le gain de chaleur par personne, le facteur vestimentaire, et le taux métabolique. Ces informations sont essentielles pour analyser l'impact des occupants sur les conditions thermiques et énergétiques de l'espace.

Données de l'occupant	
Nombre de personnes	25 personnes
Activité	Assis - Travail léger
Gain de chaleur par personne	120 W
Facteur vestimentaire	0.6 Clo
Taux métabolique	1.2

Table 7: Données de l'occupant

6. Données des murs extérieurs et intérieurs

Le tableau 8 ci-dessous contient les données des murs extérieurs et intérieurs ainsi qu'au toit. Il inclut l'épaisseur, la conductivité thermique, la capacité thermique, et la densité des matériaux.

Les portes				
Hauteur [m]		Largeur [m]		
2.1		0.9		
Position de la fenêtre (l'espace entre eux)				
côté ouest		1.50 [m]		
côté est		1.70 [m]		
Murs extérieurs				
	Épaisseur [cm]	Conductivité thermique [W/m.K]	Capacité thermique [KJ/Kg.K]	Densité [Kg/m3]
Plâtre	1	0.351	1	1500
Mortier de ciment	1	1.15	1	1700
Parpaing	10	1.113	0.65	1300
Lame d'air	10	0.1/0.16= 0.625	1.227	1
Parpaing	10	1.113	0.65	1300
Mortier de ciment	2	1.755	0.65	2100
Plâtre	1	0.351	1	1500
Murs intérieurs				
Mortier	2.5	1.15	0.84	2000
Brique creuse	10	1.15	0.878	1800
Mortier	2.5	1.15	0.84	2000
Toit				
Plâtre	1	0.351	1	1500

Béton armé	9	1.755	0.92	2300
Hourdis	16	1.23	0.65	1300
Béton renforcé	4	1.755	0.92	2300
Mortier de ciment	10	1.15	1	1700

Table 8: Propriétés thermo-physiques des matériaux de construction

7. Vérification et déperditions de référence

7.1 Vérification réglementaire

Les déperditions par transmission D_T du logement doivent vérifier:

$$D_T \leq 1,05 \times D_{réf} [W/°C] \quad [2]$$

Où :

- D_T (en $W/°C$) représente les déperditions par transmission.
- $D_{réf}$ (en $W/°C$) représente les déperditions de référence.

7.2 Calcul des déperditions de référence

Les déperditions de référence $D_{réf}$ sont calculées par la formule citée dans le (DTR 2017) [3.2 page 15]

$$D_{réf} = a \times S_1 + b \times S_2 + c \times S_3 + d \times S_4 + e \times S_5 [W/°C] \quad [3]$$

D'où: les S_i (en m^2) représentent les surfaces des parois en contact avec l'extérieur. On a :

S_1 : la toiture, S_2 : le plancher, S_3 : les murs en contact avec l'extérieur, S_4 : les portes, S_5 : les fenêtres.

les coefficients a , b , c , d et e , (en $W/m^2.°C$), dépendent de la nature du logement et de la zone climatique citée dans le DTR 2017 3.2 page 15. Dans notre cas c'est la zone A et les coefficients seront comme suivant :

$$a = 1,10, b = 2,40, c = 1,40, d = 3,50, e = 4,50$$

On obtient

$$a \times S_1 = 1.10 \times 53.05 = 58.35$$

$$b \times S_2 = 2.40 \times 53.05 = 127.32$$

$$c \times S_3 = 1.40 \times (\text{La surface total des murs}) = 1.40 \times (19 + 19.23 + 24.3) = 87.54$$

7.2.1 La surface des murs

$$S_1 = L \times h = 7.86 \times 3.60 = 28.29$$

$$\begin{aligned} S1_{Mur1} &= 28.29 - (2F_{bois} + P + C_{F_{bois}} + C_{Porte}) \\ &= 28.29 - (2.60 \times 1.45) + (1.75 \times 1.60) + (0.47) + (0.39) + (2.1 \times 0.9) \\ &= 19 \end{aligned}$$

$$S_2 Mur_2 = 28.29 - (2F_{alm} + C_{alm}) = 28.29 - ((1.50 \times 2.70) \times 2) + (0.48 \times 2) = 19.23$$

$$S_3 Mur_3 = 6.75 \times 3.60 = 24.3$$

$$d \times S_4 = 3.50 \times (0.9 \times 2.1) = 6.61$$

$$e \times S_5 = 4.50 \times ((1.50 \times 2.70) \times 2) + (2.60 \times 1.45) + (1.75 \times 1.60) = 66.015$$

$$\text{Donc : } D_{réf} = 58.35 + 127.32 + 87.54 + 6.61 + 66.01 = 445,99 [W/°C]$$

8. Déperditions par renouvellement d'air d'un volume

Les déperditions par renouvellement d'air sont données par la formule suivante :

$$(D_R)i = (D_{Rv})i + (D_{Rs})i [W/°C] [4]$$

Où :

- (DRv)i : Déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation ;
- (DRs)i : Déperditions supplémentaires dues au vent.

Avec: $DR = 0,34 \times (QV + QS)$

Où :

- 0,34 (en Wh/m³.°C) est la chaleur volumique de l'air;
- Qv (en m³/h) est le débit spécifique de ventilation ;
- Qs (en m³/h) est le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent ;
- $0,34 \times Qv$ (en W/°C) représente les déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation, notées DRv ;
- $0,34 \times Qs$ (en W/°C) représente les déperditions supplémentaires dues au vent, notées DRs.

8.1 Calcul du débit spécifique de ventilation Qv

Le débit spécifique de ventilation Qv est donné par la formule suivante :

$$QV = \max \{ 0.6 \times Vh ; Qv \text{ ref } \}$$

Avec Vh est le volume habitable. Le débit extrait de référence Qvref est déterminé en considérant que la ventilation est générale et permanente, il est donné par :

$$Qv \text{ ref} = \frac{5 Qv \text{ min} + Qv \text{ max}}{6} [m^3 / h] [5]$$

Où :

- Qv max est le débit extrait maximal de référence ;
- Qv min est le débit extrait minimal de référence

Dans notre cas d'étude il n'y a pas de ventilation, donc $Qv = 0$

8.2 Calcul du débit supplémentaire par infiltration due au vent Qs

Le débit supplémentaire par infiltration due au vent est donné par la formule suivante :

$$Qs = \Sigma Ppi + evi [m^3 / h] [6]$$

Où :

- Ppi : est la perméabilité à l'air de la paroi i.
- evi (sans dimension) est le coefficient d'exposition au vent affecté à la paroi i.

La perméabilité d'une paroi P_{pi} est donnée par la formule suivante :

$$P_{pi} = \sum P_{oj} \times A_j [7]$$

Où :

- P_{oj} (en $m^3/h.m^2$) est la perméabilité surfacique à l'air de l'ouvrant j
- A_j (en m^2) est la surface de l'ouvrant j.

On Calcule le P_{pi} :

$$P_{pi} = (6 \times 1,89) + (4 \times 3,77) + (4 \times 2,8) + (4 \times 4,05) = 11,34 + 15,08 + 11,2 + 32,4 \\ = 70,02 \text{ m}^3 / h$$

On calcule aussi le Q_s :

$$Q_s = (11,34 + 2,73) + (15,08 + 2,73) + (11,2 + 2,75) + (32,4 + 2,73) = 83,94 \text{ m}^3 / h$$

Après le calcul, on trouve : $Q_s = 83,94 \text{ m}^3 / h$

Alors le calcul des déperditions par renouvellement d'air DR donne :

$$DR = 0,34 \times 83,9 = 28,52 [W/^\circ C]$$

Donc : $DR = 28,52 [W/^\circ C]$

9. Calcul des déperditions surfaciques

9.1 Pour le mur 1

Le tableau 09 ci-dessous regroupe les résultats trouvés dans l'annexe pour le mur 1

	Surface [m ²]	K [W/m ² C]	Kmoyen[W/m ² C]	Déperditions surfaciques [W/m ²]
Mur 1	28.29	1.86	2.67	75.53
Fenêtre 1 bois	3.77			
Cadre en bois	0.48	2.27		
Vitre	3.29	5.74		
Fenêtre 2 bois	3.77			
Cadre en bois	0.48	2.27		
Vitre	3.29	5.74		
Porte	1.89	2.27		

Table 9: Résultats de la surface , coefficient d'échange K , K moyen et les déperditions surfaciques pour le mur 1

9.2 Pour le mur 2

Le tableau 10 ci-dessous regroupe le résultat trouvé dans l'annexe pour le mur 2

	Surface [m ²]	K [W/m ² C]	Kmoyen[W/m ² C]	Déperditions surfaciques [W/m ²]
Mur 2	28.29	1.86	2.83	80.06
Fenêtre 1 Al	4.04			
Cadre en Al	0.49	2.27		
Vitre	3.56	5.74		
Fenêtre 2 Al	4.04			
Cadre en Al	0.49	2.27		
Vitre	3.56	5.74		

Table 10: Résultats de la surface, coefficient d'échange K , K moyen et les déperditions surfaciques pour le mur 2

9.3 Pour le mur 3 et 4, le sol et le toit

Le tableau 11 ci-dessous regroupe le résultat trouvé dans l'annexe pour les murs 3 et 4, le sol et le toit

	Surface [m ²]	K [W/m ² C]	Déperditions surfaciques [W/m ²]
Mur 3	24.3	1.86	45.19
Mur 4	24.3	1.86	0
Toit	53.05	2.02	107.16
Sol	53.05	1.75 (W/mC)	51.135

Table 11: Résultats de la surface , coefficient d'échange K , K moyen et les déperditions surfaciques pour les murs 3 et 4 , le sol et le toit

10 Calcul des déperditions par liaison

10.1 Liaison entre deux parois extérieures

Les liaisons entre deux parois extérieures sont données par la formule suivante :

$$D_i = l \times K_i \text{ [8]}$$

- Après le calcul on trouve :

$$K_l = 0,45 \times e = (0,45 \times 0,35) = 0.315 \text{ (W/}^\circ\text{mC)}$$

- La hauteur de la poutre = 3,6m donc :

$$D_l = (0,45 \times 0,35) \times 3,6 = 1,134 \text{ (W/}^\circ\text{C)}$$

- **Pour deux liaisons**

$$D_l = (1,134 \times 2) = 2,268 \text{ (W/}^\circ\text{C)}$$

- **Calcul de coefficient d'échange**

$$K_l = 0,45 \times e = 0,45 \times \frac{(35 + 40)}{2} = 0,1687 \text{ (W/m}^\circ\text{C)}$$

10.2 Déperditions par les liaisons entre le mur extérieur et le toit

- $Di = l \times Ki$
 - L=la longueur de la liaison entre le toit et le mur extérieur
- $$Dli_l = [(7,8 \times 2) + (6,75)] \times 0,1687 = 27,37 \times 0,1687 = 3,77 \text{ (W/°C)}$$

10.3 Calcul de la déperdition par les liaisons entre les parois et le sol

D'après le DTR, le calcul des déperditions par ponts thermiques n'intègre pas les déperditions par les parois en contact avec le sol, Donc Kl pour le sol est nulle.

10.4 Calcul des déperditions par la liaison entre mur intermédiaire et mur extérieur

Pour les murs comportant une lame d'air (double paroi), deux cas sont possibles :

- Si la lame d'air ne contient pas d'isolant thermique, le mur est à isolation répartie.
- Si la paroi extérieure est à isolation répartie, ou si la cloison ne coupe pas l'isolation éventuelle du mur extérieur, $k_l = 0$, les extérieure de l'école contient une lame d'aire alors ils sont considéré comme mure isolation répartie.

10.5 Calcul déperdition par liaison entre un mur et une menuiserie

Le coefficient d'échange est donné par la formule : $K_l = 0,9 \times e$

- Calcul de coefficient d'échange :
- $$K_l = 0,9 \times e = 0,9 \times 0,75 = 0,315 \text{ (W/m}^2\text{°C)}$$
- Calcul des périmètres de la fenêtre en aluminium :
- $$P_{alm} = 2 \times (1,5 + 2,7) = 8,4 \text{ m}$$
- **Calcul la déperdition entre le mur et la fenêtre en aluminium**
- $$Dli_{al} = (8,4 \times 0,315) \times 2 = 5,294 \text{ (W/°C)}$$

10.6 Calcul la déperdition pour la fenêtre en bois

- Calcul du coefficient d'échange k bois :
- $$K = 0,9 \times e$$

e: est définie dans le tableau 4,1 page 28 de DTR

$$K_{bois1} = 0,9 \times 0,35 = 0,315 \text{ (W/m}^2\text{. °C)}$$

- Calcul du périmètre de la fenêtre de bois :
- $$P_{bois1} = (1,75 + 1,6) \times 2 = 6,7 \text{ m}$$
- Calcul des déperditions par liaison entre la fenêtre et le mur
- $$Dl = 6,7 \times 0,315 = 2,11 \text{ (W/°C)}$$

10.7 Calcul de la déperdition pour la fenêtre en bois 2

- Calcul de coefficient d'échange pour la deuxième fenêtre en bois
- $$K_{bois2} = 0,9 \times e = 0,315 \text{ (W/m}^2\text{°C)}$$
- Calcul de périmètre pour la deuxième fenêtre on bois
- $$P_{bois} = 2(2,6 \times 1,45) = 8,1 \text{ m}$$
- Calcul de déperdition par liaison entre la deuxième fenêtre et le mur :
- $$Dl = 0,315 \times 8,1 = 2,55 \text{ (W/°C)}$$
- Le coefficient d'échange K_{bois} = le coefficient d'échange de fenêtre en bois

10.8 Calcul du périmètre de la porte

$$P_{porte} = (2,1 + 0,9) \times 2 = 6 \text{ m}$$

- Calcul des déperditions par liaison entre la porte et le mur
- $$Dl = 0,315 \times 6 = 1,89 \text{ (W/. °C)}$$

10.9 Calcul des déperditions totales par liaison

$$DLi_{Total} = 2,268 + 3,77 + 5,294 + 2,11 + 2,55 + 1,89 = 17,882(W/^{\circ}C)$$

11 Calcul des déperditions par transmission

Les déperditions par transmission $(D_T)_i$ d'un volume i sont données par le (DTR 2017) [2.3 page 14]

$$D = \sum D_i [W/^{\circ}C] [9]$$

Où D_i (en $W/^{\circ}C$) représente les déperditions totales du volume i .

Les déperditions par transmission $(DT)_i$ d'un volume i sont données par :

$$(DT)_i = (Ds)_i + (Dli)_i + (Dsol)_i + (Dlnc)_i [W/^{\circ}C] [10]$$

- Calcul des déperditions par transmission :

$$D_T = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + D_6$$

En remplaçant les valeurs des différentes déperditions calculées auparavant :

$$D_T = 75,53 + 80,06 + 0 + 45,19 + 107,16 + 51,135 + 17,882$$

$$D_T = 376,95 W/^{\circ}C$$

- Calcul de Q :

$$Q = DT \times \Delta T \quad \Delta T = 15^{\circ}C$$

$$Q = 376,95 \times 15$$

$$Q = 5654,25 W$$

12 Vérification réglementaire

La valeur des déperditions totales par transmission doit vérifier la condition :

$$DT \leq 1,05 \times D_{réf} [11]$$

On a $D_T = 376,95 [W/^{\circ}C]$ et $D_{réf} = 445,99 [W/^{\circ}C]$ Alors la condition est vérifiée.

Déperditions de base pour un volume

Les déperditions de base pour un volume thermique $(DB)_i$ ont pour expression :

$$(D_B)_i = D_i \times (t_{bi} - t_{be}) [W] [12]$$

Où :

- D_i (en $W/^{\circ}C$) représente les déperditions totales du volume thermique :

$$D_i = DT + DR [13]$$

- t_{bi} (en $^{\circ}C$) est la température intérieure de base du volume considéré = $21^{\circ}C$
- t_{be} (en $^{\circ}C$) est la température extérieure de base du lieu d'implantation de la construction considéré = $6^{\circ}C$

On a $D_T = 376,95 [W/^{\circ}C]$ et $D_R = 28,52 [W/^{\circ}C]$.

$$D_B = (376,95 + 28,52) \times (21 - 6) = 6082,05 W$$

12.1 Comparaison entre les résultats de simulation et les calculs de DTR

Les résultats de la simulation donnent : une puissance de chauffage 1580,07 KWh/an .On rappelle que le chauffage doit fonctionner pendant 14 semaines, 5 jours par semaine et 7h par jour. C'est la période allant de la deuxième semaine d'octobre jusqu'à la deuxième semaine de février ce qui fait 490 heures de fonctionnement par an. Alors ça donne une puissance de

chauffe de 3224,6W on note que, d'après le DTR, les besoins de chauffage calculer sont : 6082,155 W. sachant que le nombre des occupants de la classe est de 25 personnes est que chaque personne dégage une puissance métabolique de 120 W, la puissance totale dégagé par les occupant est de 3000 W. Alors de ce fait le besoin énergétique restant à couvrir est de 3082,05 W (d'après le DTR).

En conclusion l'écart relatif entre les deux puissances calculé par le DTR est déterminée par la simulation numérique TRNSYS par rapport à la valeur calculer par le DTR est de 7,28%.

13. Calcul de puissance de chauffage

La puissance de chauffage Q nécessaire pour un logement est donnée par Le (DTR2017) [5.2.1 page 18]

$$Q = [t_{bi} - t_{be}] \times [[1 + \text{Max}(cr; cin)]DT] + [(1 + cr) \times DR][W] \quad [14]$$

Où :

- t_{bi} (en °C) représente la température intérieure de base,
- t_{be} (en °C) représente la température extérieure de base,
- DT (en W/°C) représente les déperditions par transmission du logement,
- DR (en W/°C) représente les déperditions par renouvellement d'air du logement,
- cr (sans dimension) est un ratio estimé des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel,
- cin (sans dimension) représente un coefficient de surpuissance.
- Calcul Δt_b :

$$t_{be} - t_{bi} = 21 - 6 = 15C$$

- Cin en cas de chauffage discontinu :

$$Cin = 0,2$$

- Cr pour les installations de type chauffage central :

$$Cr = 0,05$$

- Valeur max (Cr ; Cin) :

$$\text{Max}(Cr ; Cin) = 0,2$$

- Déperdition par transmission : $D_T = 474,64 \text{ W}/^\circ C$
- Déperditions par renouvellement d'air : $D_R = 28,52 \text{ [W}/^\circ C]$

Alors la puissance de chauffage Q nécessaire pour un logement est :

$$Q = 15 \times 1 [1 + 0,2 \times 474,64] + [(1 + 0,05) \times 28,52]$$

$$Q = 8543,52 \text{ W} = 8,543 \text{ Kw}$$

14. Étude pour une installation de chauffage central

14.1 Vue générale

Un système de chauffage central est un dispositif permettant de chauffer l'ensemble d'un bâtiment à partir d'une source de chaleur unique. Cette source de chaleur, qui peut être une

chaudière, une pompe à chaleur ou un autre appareil, chauffe un fluide caloporteur (souvent de l'eau) qui est ensuite distribué à travers le bâtiment via un réseau de tuyauteries et de radiateurs ou de planchers chauffants.

Il est à préciser que nous avons déjà calculé, selon le DTR, la puissance de chauffage nécessaire pour chauffer notre école. Nous avons choisi de comparer cette puissance avec sa valeur obtenue en utilisant la méthode des chauffagistes [61].

On note que, d'après les chauffagistes, la valeur estimée de la puissance d'un radiateur requise pour fournir suffisamment de chaleur varie pour plusieurs raisons, telle que :

- Le volume : La puissance d'un radiateur requise pour fournir suffisamment de chaleur dépend du volume de la pièce qui s'exprime en mètres cubes. Les pièces ayant une même surface au sol mais une hauteur sous plafond différente ne nécessitent en pas la même puissance de chauffage. Il existe une puissance moyenne de chauffe calculée sur la base d'une hauteur standard de 2,5 mètres sous plafond. Elle est comprise entre 70 et 100 watts par mètre carré. Il s'agit en effet d'une estimation sur le tableau 12 on présente des puissances de radiateur selon le nombre de mètre carré en surface :

Surface à chauffer en mètres carrés *sur la base d'une hauteur sous plafond moyenne de 2,5 m et sans prendre en compte le degré d'isolation	Puissance requise moyenne
15 m ²	1050 W / 1500 W
20 m ²	1400 W / 2000 W
30 m ²	2100 W / 3000 W
40 m ²	2800 W / 4000 W

Table 12: Des puissances de radiateurs selon le nombre de m² : 15m², 20m², 30m², 40m²...

- La qualité de l'isolation : L'estimation de la puissance de chauffage requise dépend de l'isolation de la pièce et du logement. Moins une maison est isolée, plus la puissance du radiateur doit être forte afin de chauffer une pièce. Avec une mauvaise isolation thermique, le logement est plus énergivore car la puissance des radiateurs doit être augmentée.
- La localisation géographique du logement, Il est indispensable de choisir quelle puissance il faut en fonction de la zone géographique du logement. Altitude, montagne, zone humide, températures extérieures douces ou tempérées, exposition nord ou sud..., d'une région à l'autre ces critères varient et ont un rôle déterminant dans le choix de la puissance requise. Le tableau 13 présente une estimation des valeurs des puissances du radiateur moyennes selon la région et l'isolation de votre maison mais également les préférences en matière de chauffage.

Climat/Qualité d'isolation	Faible	Moyenne	Bonne
Climat doux	40 W/m ³	35 W/m ³	30 W/m ³
Climat tempéré	50 W/m ³	40 W/m ³	35 W/m ³
Climat froid	60 W/m ³	50 W/m ³	40 W/m ³

Table 13: Des puissances du radiateur moyennes selon la région et l'isolation de la maison

14.2 Etude de l'installation de chauffage central

La première étape consiste à déterminer le volume de la pièce à chauffer afin de déterminer la puissance du chauffage nécessaire. Dans la deuxième étape on détermine la puissance nécessaire pour chauffer la pièce. Comme la hauteur des salles de classes dépasse 2m50cm (3m60cm) alors on procède

à l'estimation de la puissance de chauffe en fonction du volume de la salle de classe. Un calcul de la puissance de chauffe basé sur la surface de la classe est réalisé à titre de vérification. Les valeurs des puissances de chauffe estimées seront comparées avec les valeurs déterminées par le DTR-2017.

14.2.1 Calcul du volume de la pièce

La puissance de chauffage d'un radiateur requise pour fournir suffisamment de chaleur dépend du volume de la pièce qui s'exprime en mètres cubes ou m^3 [62]. Pour cela on doit tout d'abord calculer le volume de la pièce.

Le volume s'exprime en m^3 .

$$V = L \times l \times h = 7,86 \times 6,75 \times 3,6 = 190,99 \approx 191 \text{ m}^3 \text{ [15]}$$

14.2.2 Calcul de la puissance de chauffage à partir du volume de la pièce

Après avoir déterminé le volume et selon le tableau 10, on détermine la puissance de chauffe. Dans notre cas d'étude le climat est tempéré et on estime que la qualité de l'isolation est faible (le cas le plus défavorable). Après avoir calculé le volume de la pièce et d'après le tableau 10 le calcul de la puissance du chauffage se fait comme suivant :

$$P = V \times Q = 50 \times 191 = 9550 \text{ [W] [16]}$$

14.2.3 Calcul de la puissance nécessaire par mètre carré

La puissance de chauffage est généralement comprise entre 70 et 100 watts par m^2 pour une pièce de 2,5 mètres de hauteur sous plafond. Ce qui veut dire que pour une pièce de $15m^2$ avec une hauteur de 2,5 m, un radiateur avec une puissance entre 1050 W et 1500 W convient à chauffer la pièce. Le tableau suivant montre la puissance de chauffage sur la base d'une hauteur sous plafond moyenne de 2,5 m et sans prendre en compte le degré d'isolation. [62]

Surface à chauffer en mètres carrés	Puissance requise moyenne
15 m ²	1050 W/1500 W
20 m ²	1400 W/2000 W
30 m ²	2100 W/3000 W
40 m ²	2800 W/4000 W

Table 14: La puissance de chauffage nécessaire par mètre carré

Dans le calcul approximatif de la puissance de chauffage d'un radiateur et selon le tableau 14 il est donné que pour chauffer une surface de 15 m^2 il faut une puissance de chauffe de 1050 W [64]. Pour une surface de $53,05 \text{ m}^2$ on obtient :

$$\text{La puissance nécessaire} = \frac{(53,05 \times 1050)}{15} = 3713,5 \text{ [W] [17]}$$

14.3 Comparaison

On rappelle que la puissance de chauffage nécessaire du radiateur :

- estimée à partir du volume de la pièce est de 9550W
- estimée à partir de la surface de la pièce est de 3713,5 W
- déterminée par le DTR-2017 est de 8543,52W

On déduit que la valeur estimée en fonction du volume de la pièce est la plus proche à la puissance de chauffage déterminée par le DTR2017. La méthode basée sur la surface de la pièce sous-estime la puissance de chauffe [5.2.1 page 18].

14.4 Étude du marché et choix des radiateurs

Pour installer un système de chauffage central il faut s'orienter vers un radiateur à eau chaude. Il existe plusieurs modèles tels que les radiateurs hautes température, basse température, en fonte, en acier ou encore en fonte d'aluminium. Le tableau 15 ci-dessous montre la comparaison entre eux :

XXX	Capacité d'inertie	Avantages	Inconvénients	Prix sur le marché en DA
Radiateur fonte	Très bonne	Grande capacité de stockage, solide, durable et convient aux maisons mal isolées	Long à monter en température, cher, lourd, volumineux et donc difficile à installer	[30000,00-145000,00]
Radiateur acier	Faible	Montée rapide en température, peu cher, peu encombrant et design moderne	Faible capacité de stockage et convient aux pièces mal isolées ou peu occupées	[30000 ,00-43000,00]
Radiateur aluminium	Bonne	Montée rapidement en température, léger et prix abordable	Risques de corrosion et convient aux maisons bien isolées	[14630,00-43890,00]

Table 15: Comparaison des trois types de radiateurs

Après une analyse comparative des radiateurs en fonte, en acier, et en aluminium, le radiateur en aluminium a été retenu pour plusieurs raisons déterminantes. Tout d'abord, le radiateur en aluminium offre une bonne capacité d'inertie, ce qui signifie qu'il est capable de conserver et de diffuser la chaleur de manière efficace et prolongée. Cela permet de maintenir une température agréable dans la pièce même après l'arrêt du chauffage. Ensuite, l'aluminium se distingue par sa rapidité de montée en température. Il chauffe rapidement, ce qui est particulièrement avantageux pour obtenir un confort thermique immédiat, surtout dans des situations où l'on souhaite réchauffer rapidement une pièce froide, Donc il reste qu'à faire le choix de type.

14.4.1 Comparaison entre deux types de radiateur en aluminium et choix final

Après avoir choisi le radiateur en aluminium pour ses nombreux avantages, la prochaine étape consistera à comparer deux types spécifiques de radiateurs en aluminium : le radiateur à colonnes en aluminium et le radiateur à panneaux en aluminium. Cette comparaison détaillée permettra de déterminer lequel de ces deux types répondra le mieux aux exigences de notre système de chauffage central, tant en termes de performance que de praticité.

14.4.2 Radiateur à colonnes

Un radiateur à colonnes est un type de radiateur traditionnel et élégant utilisé pour chauffer des espaces intérieurs. Il est constitué de tubes verticaux (ou colonnes) qui créent des passages pour l'eau chaude, permettant une émission de chaleur efficace [63]. (Figure 38).



Figure 38: Radiateur à colonnes

Caractéristiques principales

1. Construction

- **Colonnes** : Composé de colonnes verticales en fonte, en acier ou en aluminium.
- **Sections** : Les radiateurs à colonnes sont modulaires et peuvent être composés de plusieurs sections selon la puissance nécessaire.

2. Types

- **2 colonnes** : Plus étroit, pour des espaces restreints.
- **3 colonnes** : Offre un bon compromis entre largeur et puissance.
- **4 colonnes** : Plus large, adapté pour des pièces nécessitant plus de chaleur.
- **5 colonnes et plus** : Pour des pièces très grandes ou mal isolées.

3. Efficacité thermique

- Très bonne inertie thermique grâce à la masse du matériau, ce qui permet de conserver la chaleur plus longtemps.
- Bonne distribution de la chaleur par convection naturelle.

4. Esthétique

- Style rétro ou classique, souvent utilisé dans des intérieurs traditionnels ou pour ajouter une touche vintage à des décors modernes.

- Disponibles en plusieurs hauteurs, largeurs, et finitions.

5. Installation

- Fixés au mur ou posés sur le sol avec des pieds.
- Compatibles avec les systèmes de chauffage central à eau chaude.

Avantages

- **Grande inertie thermique** : Conserve et diffuse la chaleur plus longtemps même après l'arrêt du chauffage.
- **Esthétique classique** : Apporte une touche d'élégance et de charme aux intérieurs.
- **Modularité** : Peut être ajusté en ajoutant ou en enlevant des sections pour obtenir la puissance nécessaire.
- **Durabilité** : Les radiateurs en fonte sont extrêmement durables et peuvent durer plusieurs décennies.

Inconvénients

- **Chauffage lent** : Met plus de temps à chauffer en raison de sa grande inertie thermique.
- **Poids** : Les radiateurs en fonte peuvent être très lourds, ce qui complique l'installation.
- **Encombrement** : Les radiateurs à colonnes peuvent être plus volumineux que les radiateurs à panneaux, prenant plus de place dans la pièce.

14.4.3 Radiateur à panneaux

C'est un type de radiateur moderne utilisé pour chauffer des espaces intérieurs. Il est constitué de panneaux plats et fins qui émettent de la chaleur par convection et radiation [64]. (Figure 39)



Figure 39: Radiateur à panneaux

Caractéristiques principales

1. Construction

- **Panneaux** : Un ou plusieurs panneaux plats en acier.
- **Ailettes** : Souvent équipés d'ailettes pour augmenter la surface d'échange thermique.

2. Types

- **Type 10** : Simple panneau, sans ailettes.
- **Type 11** : Simple panneau avec une rangée d'ailettes.
- **Type 21** : Double panneau avec une seule rangée d'ailettes entre les panneaux.
- **Type 22** : Double panneau avec deux rangées d'ailettes, une entre chaque panneau.
- **Type 33** : Triple panneau avec trois rangées d'ailettes.

3. Efficacité thermique

- Les radiateurs à panneaux sont connus pour leur efficacité énergétique, car ils chauffent rapidement et distribuent la chaleur de manière uniforme.

4. Esthétique

- Design moderne et discret.
- Disponibles en plusieurs tailles, couleurs, et finitions pour s'adapter à différents styles d'intérieur.

5. Installation

- Faciles à installer, souvent fixés au mur.
- Compatibles avec les systèmes de chauffage central à eau chaude.

Avantages

- **Chauffage rapide** : Grâce à leur conception, ils peuvent chauffer rapidement une pièce.
- **Efficacité énergétique** : Moins de consommation d'énergie comparé à certains autres types de radiateurs.
- **Design varié** : S'intègrent facilement dans différents décors intérieurs grâce à leur design plat et discret.
- **Facilité d'entretien** : Généralement faciles à nettoyer et à entretenir.

Inconvénients

- 12 **Chaleur localisée** : Principalement autour du radiateur, bien que cela soit mitigé par l'utilisation d'ailettes.
- 13 **Dimension fixe** : Peut nécessiter plusieurs unités pour chauffer de grandes pièces efficacement.

14.4.4 Choix final

Entre le radiateur à colonnes en aluminium et le radiateur à panneaux en aluminium, le choix dépend des priorités spécifiques de l'installation. Cependant, pour une recommandation générale le radiateur à panneaux en aluminium est souvent le meilleur choix

14.5 La tuyauterie

Le coût de la tuyauterie pour notre système de chauffage central dépend de plusieurs facteurs, y compris la taille de l'école, la complexité de l'installation, le type de tuyaux utilisés, et les tarifs de la main-d'œuvre. Voici un aperçu des éléments à considérer pour estimer le coût de la tuyauterie pour le chauffage central :

Il existe plusieurs types de tuyaux pour réaliser l'installation d'un système de chauffage central, dans le but de faire notre choix on a comparé trois types de tuyaux les plus couramment utilisés dans notre pays.

14.5.1 Cuivre

Un matériau traditionnel dans la plomberie, est apprécié pour sa robustesse, sa résistance à la corrosion et sa longévité. Il est particulièrement efficace pour les installations qui nécessitent des raccords soudés et peut supporter des températures et des pressions élevées. Cependant, son coût relativement élevé et sa susceptibilité à la dilatation thermique peuvent poser des défis. (Figure 40). Le prix moyen de ce type de tuyaux varie entre 1500,00 Da et 2000,00 Da par mètre linéaire (matériau uniquement).



Figure 40: Installation en tube de cuivre

14.5.2 PER (Polyéthylène réticulé)

C'est une solution plus moderne et économique. Ce matériau flexible est facile à installer et ne nécessite pas de soudure, ce qui réduit le temps et les coûts de main-d'œuvre. De plus, le PER est résistant à la corrosion et aux dépôts calcaires, ce qui en fait un choix durable. Toutefois, il peut être moins adapté pour les applications à haute température et pression. (Figure 41). Le prix moyen de ce type de tuyaux varie entre 150,00 Da et 700,00 Da par mètre linéaire (matériau uniquement).



Figure 41: Installation en tube PER

14.5.3 Multicouche

Les tuyaux multicouches combinent les avantages du métal et du plastique. Constitués d'une couche d'aluminium prise en sandwich entre deux couches de plastique, ces tuyaux offrent une excellente résistance à la pression et à la température tout en restant flexibles et faciles à manipuler. Ils sont également moins susceptibles de se dilater sous l'effet de la chaleur et sont compatibles avec une large gamme de raccords. (Figure 42). Le prix moyen de ce type de tuyaux varie entre 290,00 Da et 1170,00 Da par mètre linéaire (matériau uniquement).



Figure 42: Installation en tube multicouche

14.5.4 Conclusion

On conclusion, le coût total de la tuyauterie pour un système de chauffage central dépend largement du type de tuyaux choisis et des tarifs de la main-d'œuvre locale. Le choix entre le cuivre, le PER et les tuyaux multicouches dépendra des spécificités de chaque installation, des contraintes budgétaires et des préférences en matière de durabilité et de maintenance. Chacun de ces matériaux présente des caractéristiques uniques qui peuvent répondre aux divers besoins d'un système de chauffage central performant et fiable.

Néanmoins pour la plupart des utilisateurs, les tuyaux multicouches offrent le meilleur compromis entre coût, facilité d'installation et performance, faisant d'eux le choix recommandé pour les installations de chauffage central.

14.6 Les coudes et les vannes

Dans le but de compléter l'installation et après avoir fait la comparaison des divers types de tuyaux, viendra le tour au choix des coudes et des vannes. Ce sont des composants essentiels dans l'installation d'un système de chauffage central, car ils permettent de diriger et de contrôler le flux de l'eau à travers le réseau de tuyauterie. Voici un aperçu des types et des coûts associés à ces composants :

Il existe plusieurs types de coudes et vannes qui peuvent attribuer à l'installation du chauffage central, tout d'abord on commence par les coudes :

14.6.1 Types de coudes et leurs utilisations

- **Coudes à 90 degrés** : Utilisés pour changer la direction de la tuyauterie.
- **Coudes à 45 degrés** : Utilisés pour des changements de direction plus graduels.

14.6.2 Types de vannes et leurs utilisations :

- **Vannes d'arrêt** : Permettent de couper l'eau dans une section spécifique du système

- **Vannes thermostatiques** : Installées sur les radiateurs pour réguler la température de chaque pièce.
- **Vannes de purge** : Utilisées pour évacuer l'air du système de chauffage

14.7 Estimation des coûts

Les tableaux 16 et 17 résument les coûts des coudes et des vannes dans le marché algérien :

Coudes	Type	Prix en Da par unité
90 degrés	Cuivre	290,00-700,00
45 degrés	PER/Multicouche	72,00-290,00

Table 16 : estimations de coûts pour trois types de coude

Vannes	Type	Prix
Vannes d'arrêt	Cuivre	730,00-2200,00
	PER/Multicouche	440,00-1460,00
Vannes thermostatiques	Standard	2930,00-7330,00
	Programmables	7300,00-14000,00
Vannes de purge	Manuel	145,00-73,00
	Automatique	700,00-2200,00

Table 17: Comparaison entre trois types de vannes

14.8 Avis et discussion après l'étude du marché

Après avoir fait les calculs et l'étude du marché algérien, la proposition d'une installation de chauffage central (figure 43) semble être plutôt appropriée et peu coûteuse pour notre bâtiment en question. Ce point de vue reste à vérifier après avoir comparé ces résultats avec le système de chauffage à gaz



Figure 43: Installation de chauffage central

L'idéal serait de placer le chauffage central de manière à ce que la chaleur soit répartie de manière équitable dans toutes les salles de classe, évitant ainsi les zones froides ou chaudes excessives. Le lieu choisi doit être facilement accessible pour l'entretien et la maintenance du

système de chauffage, Il est préférable de placer le chauffage central à une distance raisonnable des zones sensibles telles que le restaurant pour éviter toute interférence avec leur fonctionnement.

En tenant compte de ces considérations, une zone commune telle que la cour de l'école, pourrait être optimal pour assurer une distribution uniforme de la chaleur dans toutes les salles de classe. (Figure 44)

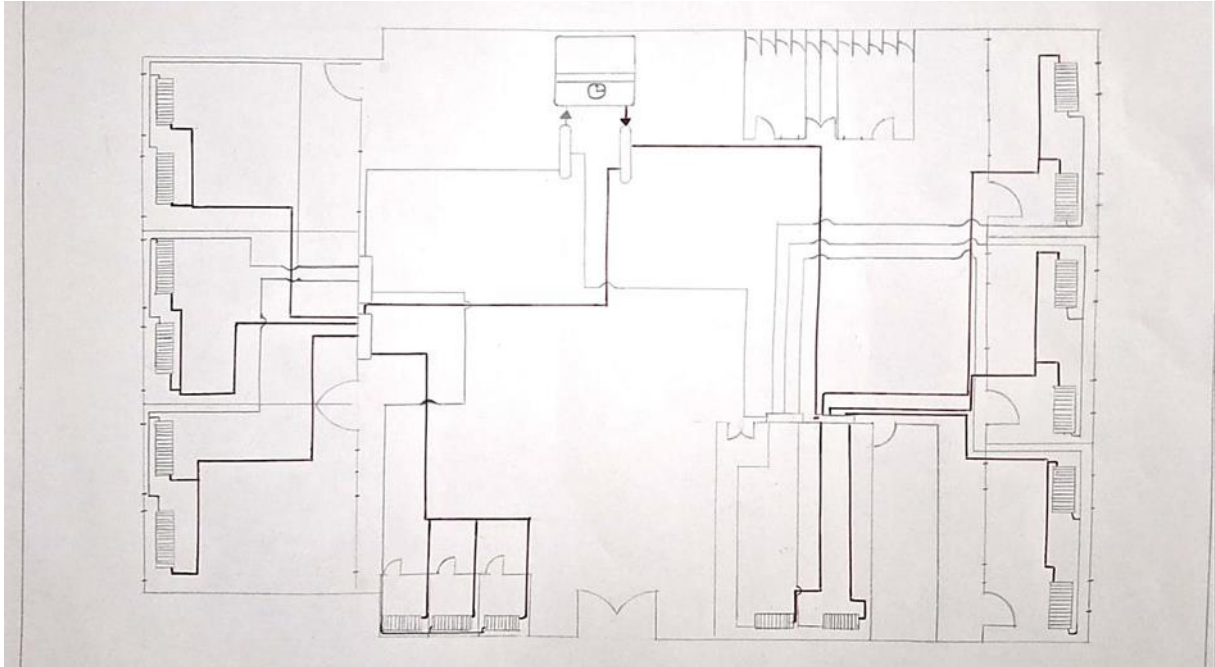


Figure 44: Plan de l'emplacement de chauffage central

15. Calcul de la puissance du chauffage à gaz

Le volume de la pièce à chauffer reste le même ($V = 191 \text{ m}^3$), donc il nous reste plus qu'à calculer la puissance de chauffage à gaz nécessaire.

15.1 Le calcul de puissance chauffage à gaz nécessaire

La puissance de chauffage Q nécessaire pour un logement est donnée par le DTR2017 [5.2.1 page 18]

$$Q = [t_{bi} - t_{be}] \times [[1 + \text{Max}(cr; cin)]DT] + [(1 + cr) \times DR][W] \quad [18]$$

Où :

- cin (sans dimension) représente un coefficient de surpuissance.

$$\Delta_t = t_{be} - t_{bi} = 21 - 6 = 15C$$

$$Cin = 0,2$$

$$Cr = 0$$

$$\text{Max}(Cr; Cin) = 0,2$$

$$D_T = 474,64 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

$$D_R = 28,52 [W/^{\circ}C]$$

$$Q = 15 \times 1 [1 + 0,2 \times 474,64] + [(1) \times 28,52]$$

$$Q = 8543,52 W = 8,543 Kw$$

Donc on a besoin d'un chauffage à gaz d'une puissance de 9 Kw.

15.2 Étude du marché

Après avoir calculé la puissance du chauffage à gaz nécessaire, on a effectué une étude générale du marché algérien afin de trouver le chauffage à gaz qui répond à nos besoins tout en tenant compte du rapport qualité/prix. On a choisi celui de la marque Sonaric (Figure 45), qui est une marque assez connue par les algériens. Le choix a tenu en compte la solution efficace et économique pour chauffer les espaces intérieurs, ainsi que son fonctionnement au gaz naturel qui le rend adapté à une variété d'applications résidentielles et commerciales seulement à 25000 Da



Figure 45: Chauffage à gaz SONARIC 9KW inclus un détecteur CO gratuit – Alger-OuedKniss.com

15.3 Coûts de base

Le tableau 18 représente les couts d'installation de la marque du chauffage proposé. Il inclut la chaudière standard, l'installation, le thermostat et les contrôles, ainsi que l'évacuation et la ventilation. Ces informations fournissent une vue d'ensemble des éléments clés nécessaires pour la mise en place et le fonctionnement efficace.

	Type	Coûts en Dinar Algérien
Chaudière standard	Standard	[145700,00-437100,00]
	Chaudière à condensation (plus efficace)	[291000,00-728000,00]
Installation	Main-d'œuvre	[14500,00-430000,00]
	Conduites de gaz et de raccordement	[72800,00-291000,00]
Thermostat et contrôles	Thermostat standard	[7200,00-29000,00]
	Thermostat programmable	[29100,00-72800,00]
Évacuation et ventilation :	Conduit de fumée	[42000,00-145000,00]
	Ventilation supplémentaire (Si nécessaire)	[28000,00-116500,00]

Table 18: Tableau regroupant les coûts de base d'une installation pour chauffage à gaz

15.4 Avis et discussion après l'étude du marché

Dans un premier instant en remarque que l'installation du chauffage à gaz coûts moins cher que celle du chauffage central.

16 Calcul de la puissance de climatisation

Pour déterminer la puissance de climatisation nécessaire dans notre cas, nous allons utiliser le BTU (british thermal unit). Formule de calcul puissance climatisation :

$$BTU \text{ d'une pièce} = \text{surface} \times \text{hauteur} \times 100. [19]$$

Si la pièce comporte des fenêtres, ajoutez 1000 BTU par fenêtre. Divisiez les BTU par 3,415 pour avoir l'équivalent en Watts.

$$BTU \text{ d'une salle} = 53,05 \times 3.6 \times 100 + 3000 = 22098 \text{ BTU}$$

$$\frac{22098}{3.415} = 6470.86W \approx 6,5Kw$$

D'après le tableau de conversion BTU/kW selon la surface en m² la puissance nécessaire exacte est de 6470,86W.

On a 12 000 à 18 000 BTU soit 3 500 à 5 250 W pour 25 à 50 m² ; et 24 000 BTU soit 7 000 W pour 50 à 70 m². dans notre cas la surface est 53,05 m², 50 < 53,05 < 70. Donc on prend celui de 24000 BTU. Néanmoins, si on néglige les déperditions par fenêtres on pourra prendre celui de 18000 BTU.

16.1 Étude du marché

Après avoir connaître la puissance du climatiseur nécessaire et dans le but de choisir une marque qui assure cette puissance tout en tenant compte du rapport qualité-prix on a effectué une étude générale du marché algérien afin de fournir le meilleur choix qui existe.

Le tableau 19 présente une comparaison entre deux marques de climatiseur produit local le premier de la marque Condor et le deuxième de la marque Midea :

	Fiche Technique Climatiseur Condor CSHR24-GCM1T3	Fiche Technique Climatiseur Midea MFGA- 24ARN 1
Capacité de chauffage	24000 Btu	24000 Btu
Capacité de refroidissement	24000 Btu	24000 Btu
Niveau sonore	43 dB	43 dB
Débit d'air	2200 m ³ / h	2100 m ³ / h
Alimentation électrique	380	380
Classe énergétique	A	A
Consommation d'énergie	6570/6900 W	7000/7200 W
Courant nominal	10,5 A	10 A
Largeur	100 cm	50 cm
Hauteur	31,5 cm	170 cm
Profondeur	21,9 cm	29 cm
Prix	139900 DA	150000 DA

Table 19 Comparaison entre deux climats produit local

16.2 Avis et discussion après l'étude du marché

Il en ressort que le climatiseur Condor (Figure 46) est supérieur dans plusieurs aspects clés. En termes de prix, le modèle Condor se révèle plus économique. Il consomme également moins d'énergie, ce qui est bénéfique pour réduire les coûts de fonctionnement à long terme. De plus, le débit d'air du climatiseur Condor est supérieur, garantissant une meilleure circulation de l'air dans la pièce. Enfin, il a une performance globale améliorée par rapport au modèle Midea.



Figure 46: Climatiseurs Condor CS24-AL44T3-I

17. Analyse technico-économique des trois systèmes

Après avoir détaillés chaque systèmes en passant du calcul de puissance jusqu'à l'étude du marché, les tableaux 20, 21, 22 et 23 représentant une analyse technico-économique selon quartes critères:

17.1. Critères techniques

Le tableau 20 ci-dessous présente une comparaison entre le chauffage central, le chauffage à gaz et un climatiseur à split selon plusieurs critères. Il inclut l'efficacité énergétique, la durée de vie, la maintenance, la flexibilité, et l'impact environnemental. On remarque que le climatiseur split est le plus efficace pour le refroidissement et reste performant pour le chauffage, surpassant souvent les systèmes à gaz en termes d'efficacité énergétique. Ainsi que le chauffage central offrant une meilleure efficacité énergétique, et une durée de vie plus longue ce qui en fait un investissement plus durable.

Critère	Chauffage Central (Chaudière à Gaz)	Chauffage à Gaz (Radiateurs à Gaz)	Climatiseur (Split- Système)
Efficacité énergétique	85-95% de rendement	70-85% de rendement	COP de 3-5, SEER de 14-22
Durée de vie	15-20 ans	10-15 ans	10-15 ans
Maintenance	Entretien annuel nécessaire	Entretien régulier nécessaire	Nettoyage des filtres, réfrigérant
Flexibilité	Système centralisé, nécessite des conduits	Installation plus flexible	Système décentralisé, unité intérieure/extérieure
Impact environnemental	Émissions de CO2	Émissions de CO2	Moins de CO2, mais utilisation de réfrigérants

Table 20: Critères techniques de la comparaison

17.2. Critères de confort et d'usage

Le tableau 21 présente une comparaison entre le chauffage central, le chauffage à gaz et un climatiseur à split selon le confort thermique, le niveau de bruit, et la facilité d'utilisation. D'après le tableau on remarque que pour le confort thermique le chauffage central est idéal pour une répartition uniforme de la chaleur. Au niveau de bruit le chauffage central à chaudière à gaz est préférable en raison de son fonctionnement silencieux. Néanmoins pour la facilité d'utilisation le climatiseur split excelle avec ses options de contrôle avancées et programmables.

Critère	Chauffage Central (Chaudière à Gaz)	Chauffage à Gaz (Radiateurs à Gaz)	Climatiseur (Split- Système)
Confort Thermique	Excellente répartition de la chaleur	Chaleur localisée	Refroidissement rapide et efficace
Niveau de Bruit	Silencieux	Bruit modéré	Peut être bruyant (unité extérieure)
Facilité d'Utilisation	Facile à utiliser	Facile à utiliser	Contrôle par télécommande, programmable

Table 21: Critères de confort et d'usage de la comparaison

17.3. Critères environnementaux et réglementaires

Le tableau 22 présente une comparaison entre le chauffage central, le chauffage à gaz et un climatiseur à split selon les critères de conformité réglementaire et de durabilité. D'après le tableau on remarque qu'en tenant compte de ces critères environnementaux et réglementaires, tous les systèmes sont conformes aux normes actuelles, mais le climatiseur split offre un avantage supplémentaire en termes de durabilité grâce à l'utilisation de réfrigérants modernes moins nocifs

Critère	Chauffage Central (Chaudière à Gaz)	Chauffage à Gaz (Radiateurs à Gaz)	Climatiseur (Split-Système)
Conformité Réglementaire	Respecte les normes actuelles	Respecte les normes actuelles	Respecte les normes actuelles
Durabilité	Matériaux recyclables	Matériaux recyclables	Utilisation de réfrigérants modernes (moins nocifs)

Table 22: Critères environnementaux et réglementaires

17.4. Critères économiques

Le tableau 23 présente une comparaison entre le chauffage central, le chauffage à gaz et un climatiseur à split selon plusieurs critères financiers. Il inclut le coût d'acquisition, le coût d'exploitation, le coût de maintenance, les subventions disponibles, et le retour sur investissement. En fonction de ces critères économiques, le chauffage à gaz offre généralement le meilleur compromis entre coût d'acquisition, d'exploitation et de maintenance, tandis que le climatiseur split-système peut être plus avantageux à long terme en termes de dépenses d'exploitation et de maintenance. Pour ce qui concerne les incitations financières potentielles le chauffage central peut être avantageux en raison de sa possibilité de subventionnement et de crédits d'impôt.

Critère	Chauffage Central (Chaudière à Gaz)	Chauffage à Gaz (Radiateurs à Gaz)	Climatiseur (Split-Système)
Coût d'Acquisition	Élevé (437500,00-102100,00Da)	Modéré (72900-291700,00 Da)	Modéré à élevé (145000,00-729000,00Da)
Coût d'Exploitation	Moyen (10-14,59 Da/kWh)	Élevé (14,59-21,88Da/kWh)	Bas à moyen (5,80-10,20Da/kWh)
Coût de Maintenance	Moyen à élevé (14500,00-43750,00 Da/an)	Moyen (7200,00-109300,00 Da/an)	Bas à moyen (7290,00-29100,00Da/an)
Subventions	Éligible à des subventions et crédits d'impôt	Rarement subventionné	Parfois éligible (selon l'efficacité)
ROI	5-10 ans	3-5 ans	5-10 ans

Table 23: Tableau des critères économiques

18. Conclusion

Après analyses des résultats on trouve que :

- Le chauffage central offre une excellente efficacité énergétique et un confort thermique supérieur avec une répartition homogène de la chaleur. Toutefois, il a un coût d'acquisition et d'installation plus élevé, mais il bénéficie de subventions et crédits d'impôt. La maintenance est régulière et il a une longue durée de vie.
- Le chauffage à gaz est moins coûteux à l'achat et à l'installation, il est néanmoins moins efficace énergétiquement et coûte plus cher à exploiter sur le long terme. Il nécessite également un entretien régulier et a une durée de vie plus courte que le chauffage central.
- Le climatiseur (Split-système) est idéal pour le refroidissement avec un bon COP, il est également utilisable en mode chauffage. Son coût d'exploitation est généralement plus bas, mais il peut être bruyant et nécessite une maintenance régulière des filtres et du réfrigérant. Il peut bénéficier de certaines subventions pour les systèmes énergétiquement efficaces.

Conclusion

Générale

En conclusion, cette étude comparative a évalué plusieurs systèmes de chauffage et de climatisation afin de déterminer lequel serait le plus abordable pour l'école primaire en question. Les systèmes étudiés comprennent des solutions courantes ainsi que des technologies plus avancées. Après une analyse détaillée, nous avons sélectionné trois systèmes pour une comparaison approfondie : le chauffage central, le chauffage à gaz et le climatiseur à split. Nous avons effectué une analyse thermique pour chaque classe de l'école, calculant les déperditions thermiques et les puissances nécessaires pour chaque système. Cette étape cruciale nous a permis de déterminer les exigences spécifiques en matière de chauffage et de climatisation pour maintenir un confort optimal dans les classes. Nous avons ensuite évalué les coûts nécessaires pour l'installation de chaque système, en prenant en compte les frais de matériel, de main-d'œuvre, et les éventuelles modifications structurelles requises. Sur la base de cette étude, nous avons pu identifier le système le plus rentable pour l'école primaire en termes de coûts d'installation et de performances énergétiques. Après une évaluation complète des coûts initiaux et des performances énergétiques, le chauffage central apparaît comme la solution la plus rentable sur le long terme, malgré un investissement initial plus élevé. Ce système permettrait à l'école de réaliser des économies substantielles en matière de consommation énergétique, tout en garantissant un environnement confortable pour les élèves et le personnel. En conclusion, bien que le coût initial soit un facteur important, il est essentiel de considérer les économies potentielles à long terme et l'impact environnemental des systèmes de chauffage et de climatisation. Le chauffage central, avec sa meilleure performance énergétique, offre une solution durable et économiquement viable pour l'école primaire

Références

Bibliographiques

- [1] <https://www.beroccagamme.fr/>
- [2] <https://www.academie-sciences.fr>
- [3] : Mémoire de master option : architecture et efficacité énergétique d'Atba Khadidja et BERBES Amina sur l'efficacité énergétique dans l'habitat université Ferhat Abbas Setif 1
- [4] : Mise en application de la nouvelle réglementation thermique algérienne du bâtiment Sahnoune Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER B.P. 62, Route de l'Observatoire, 16340 Bouzaréah, Alger, Algérie [K. Imessad, R. Kharchi, S. Bouchaib, A. Chenak, S. Hakem A. Hamidat, S. Larbi-youcef, S. Sami et F.]
- [5] : <https://www.eqinov.com/equilibreblogenergie/efficacite-energetique-definition-enjeux-champs-d-application/>
- [6] : Mémoire de fin d'étude sur l'effet de l'isolation sur le comportement thermique de l'habitat [MENAD SARAH]
- [7] : <https://fastercapital.com/fr/sujet/strat%C3%A9gies-pour-am%C3%A9liorer-l'efficacit%C3%A9-%C3%A9nerg%C3%A9tique-des-b%C3%A2timents.html>
- [8] : <https://fastercapital.com/fr/sujet/strat%C3%A9gies-pour-am%C3%A9liorer-l'efficacit%C3%A9-%C3%A9nerg%C3%A9tique-des-b%C3%A2timents.html>
- [9] : <https://iris-fenêtres.com/les-normes-de-securite-a-respecter-pour-les-menuiseries-en-bois/>
- [10] : <https://www.storespergolas.com/blog/quels-sont-les-avantages-et-inconvenients-des-fenêtres-en-aluminium/>
- [11] : <https://www.of-charrinoises.com/les-avantages-des-fenêtres-en-pvc-par-rapport-a-celles-en-aluminium/>
- [12] : <https://www.siram.fr/conseils-actualites/fenêtres/les-avantages-de-la-fenêtre-en-fibre-de-verre/>
- [13] : <https://www.1000tyservices.fr/fenêtres-composite/#:~:text=Les%20avantages%20des%20fen%C3%AAtres%20en%20composite&text=K%20pour%20un%20double%20vitrage,et%20d'%C3%A9viter%20les%20d%C3%A9for%20mations.>
- [14] : <https://www.bable-smartcities.eu/fr/explorer/solutions/solution/energy-efficient-retrofitting-of-buildings.html>
- [15] : https://www.lighting.philips.be/fr/consumer/ampoules-led/led-a-economique-d-energie#:~:text=Les%20lampes%20LED%20consomment%2090,par%20lampe%20et%20par%20an*.
- [16] : <https://www.leds-boutique.fr/blog/14-les-detecteurs-de-mouvement-presence#:~:text=Le%20d%C3%A9tecteur%20de%20mouvement%20allume,ou%201%C3%A0%20pendant%20des%20heures.>
- [17] : <https://energieplus-lesite.be/concevoir/fenêtres2/position-et-la-dimension-fenetre/choisir-la-fenetre-comme-captur-de-lumiere-naturelle-d1/>
- [18] : <https://connectedinventions.com/fr/indoor-air-quality-monitoring/>
- [19] : <https://www.ecohabitation.com/guides/2573/le-ventilateur-recuperateur-de-chaleur-vrc-une-solution-optimale/>
- [20] : <https://energieplus-lesite.be/concevoir/ventilation/choisir-les-composants/choisir-le-mode-de-gestion-des-debits/>

- [21] : Les guide Bio-Tech ventilation naturelle et mécanique [arène ile de france expertise et ressources pour un développement durable]
- [22] : <https://www.pei-france.com/article/systeme-de-mesure-et-de-contrôle-de-lenergie/>
- [23] : <https://www.climate-chance.org/cas-etude/batiment-efficacite-production-energies-renouvelables-surfaces-commerciales-transition-bas-carbone/>
- [24] : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-thermique#:~:text=Un%20capteur%20solaire%20thermique%20est,bien%20encore%20chauffer%20des%20locaux.>
- [25] : <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeux-et-prospective/decryptages/energies-renouvelables/energie-eolienne-transformer-vent-en-electricite#:~:text=L'%C3%89NERGIE%20%C3%89OLIENNE%20EN%20QUELQUES%20D%C3%89FINITIONS&text=Une%20%C3%A9olienne%20est%20une%20machine,%C2%AB%20ferme%20%C2%BB%20d'%C3%A9oliennes.>
- [26] : <https://www.ubigreen.com/2021/11/22/mobiliser-les-occupants-decret-tertiaire/>
- [27] : MEMOIRE DE MASTER EN ARCHITECTURE SUR L'EFFICACITÉ ENERGITIQUE DANS LE BATIMENT CAS D'UN BATIMENT TERTIAIRE A BOUMERDES UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU [Nabila Ait Ahmed]
- [28] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Chauffage>
- [29] : <https://particulier.hellio.com/blog/conseils/chauffage-central#:~:text=Le%20chauffage%20central%20est%20une,'%C3%A0%20l'habitat%20collectif.>
- [30] : <https://www.nussbaum.ch/fr/t/applications-et-solutions/eau-chaude/chauffe-eau/243-27.html>
- [31] : Notice d'utilisation chaudière gaz murale à haut rendement [GMR 1024 CS Condens]
- [32] : <https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/le-chauffage/a-air-pulse#:~:text=Centralis%C3%A9%20ou%20d%C3%A9centralis%C3%A9%20le%20chauffage,d'assainir%20l'atmosph%C3%A8re.>
- [33] : <https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/radiateur-electrique-inertie/radiateur-radiant>
- [34] : <https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/le-chauffage/au-sol>
- [35] : <https://conseils-thermiques.org/contenu/chauffage-solaire.php>
- [36] : <https://www.edibon.com/fr/thermodynamique-et-thermotechnique/pompes-a-chaleur>
- [37] : <https://www.climamaison.com/lexique/cheminee.htm>
- [38] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Climatisation>
- [39] : <https://www.climatisationreversible.net/choisir-et-installer-des-climatiseurs-de-fenetres.htm#:~:text=Le%20climatiseur%20pour%20fen%C3%AAtre%20est,d'un%20kit%20de%20calfeutrage>
- [40] : <https://excelclimatisation.com/types/climatisation-et-chauffage/climatiseur-central/#:~:text=Les%20climatiseurs%20centraux%20offrent%20une,%20pr%C3%A9servant%20l'esth%C3%A9tique%20int%C3%A9rieure.>
- [41] : <https://www.garanka.fr/2022/08/17/climatisation-mobile-tout-savoir/#:~:text=La%20climatisation%20mobile%20%3A%20d%C3%A9finition,->

Le climatiseur mobile&text=On parle d'un syst%C3%A8me, plus petit %20et%20plus%20%C3%A9ger.

[42] : <https://www.engie-homeservices.fr/dossiers/quest-ce-quun-climatiseur-split>

[43] : <https://www.metmann.com/fr/quest-ce-que-la-climatisation-par-evaporation/>

[44] : https://www.xpair.com/lexique/definition/climatisation_geothermique.htm

[45] : <https://www.calculcee.fr/article/simulation-thermique-dynamique-std/>

[46] : <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/innovation-et-industrie/nos-expertises/climat-environnement-et-economie-circulaire/analyse-cycle-vie->

[acv#:~:text=L'Analyse%20de%20cycle%20de,ou%20services%20le%20plus%20performant.](#)

[47] : Méthodologie d'analyse thermique multi niveaux de systèmes électroniques par des modèles compacts [Olivier Martins- Université de Grenoble, 2010. Français.]

[48] : <https://www.actergie.fr/coefficient-bbio-facteur-explication-decriptif/#:~:text=Le%20Bbio%20est%20un%20indice,chauffage%20ou%20de%20refroidissement%20retenue.>

[49] : [https://www.e-rt2012.fr/explications/travaux/definition-cep-rt-2012/#:~:text=Le%20Cep%20est%20l'une,auxiliaires%20\(pompes%20et%20ventilateurs\).](https://www.e-rt2012.fr/explications/travaux/definition-cep-rt-2012/#:~:text=Le%20Cep%20est%20l'une,auxiliaires%20(pompes%20et%20ventilateurs).)

[50] : <https://www.eqinov.com/faq/quest-quun->

[ipe/#:~:text=Un%20indicateur%20de%20performance%20%C3%A9nerg%C3%A9tique,%C3%A9nerg%C3%A9tiques%20auxquels%20elle%20est%20associ%C3%A9e.](#)

[51] : <https://energieplus-lesite.be/evaluer/etancheite-a-l-air3/evaluer-l-etancheite-a-l-air/#:~:text=%C3%89tanch%C3%A9it%C3%A9%20globale&text=Par%20contre%2C%20la%20norme%20europ%C3%A9enne,h%20pour%20les%20b%C3%A2timents%20bas.>

[52] : <https://www.deskare.io/lexique/taux->

[doccupation#:~:text=Calcul%20du%20taux%20d'occupation,100%20pour%20obtenir%20un%20pourcentage.](#)

[53] : <https://climate-adapt.eea.europa.eu/fr/metadata/indicators/thermal-comfort-indices-universal-thermal-climate-index-1979-2019>

[54] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Indicateur_d%27efficacit%C3%A9_%C3%A9nerg%C3%A9tique#:~:text=Cet%20indicateur%20est%20calcul%C3%A9%20en,%3A%20chaleur%2C%20%C3%A9lectrit%C3%A9%20etc.

[55] : [https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1705#:~:text=La%20consommation%20d'%C3%A9nergie%20primaire,%2C%20lubrifiants...\)](https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1705#:~:text=La%20consommation%20d'%C3%A9nergie%20primaire,%2C%20lubrifiants...)

[56] : <http://www.alpha-combles.com/evaluez-classement-energetique/#:~:text=ep%2Fm%C2%B2%2Fan%20est%20l,%C3%A9lectrit%C3%A9%20jusqu'%C3%A0%20chez%20vous.>

[57] : <https://www.lenergiesoutcompris.fr/actualites-conseils/tout-comprendre-sur-sa-consommation-d-energie-48738>

[58] : <https://www.securimed.fr/reglementation-taux-renouveaulement-air-co2.html>

[59] : <https://beswic.be/fr/themes/agents-physiques/ambiances-thermiques/indices-de-confort-et-de-contrainte-thermique/indice-pmv-ppd-de-confort-thermique#:~:text=Le%20confort%20thermique%2C%20c'est,d%C3%A9pend%20donc%20des%20perceptions%20individuelles.>

[60] : [article scientifique de Jaouaf Salaheddine]

[61] : <https://particuliers.engie.fr/depannages-services/conseils-equipements-chauffage/conseils-radiateurs/quelle-puissance-radiateur-par-m2.html>

[62] : <https://boutique.cstb.fr/detail/logiciels/transition-environnementale-et-energetique/trnsys>

[63] : <https://www.radiateur-acier.ch/radiateur-fonte-eau-chaude-2483.htm>

[64] : <https://www.radiator-outlet.nl/fr/blogs/uitleg/qu-est-ce-qu-un-panneau-radiateur/>

Références des figures

FIGURE 1 : <https://isolation-thermique.org/>

FIGURE 2: <https://guidebatimentdurable.brussels/isolation-dun-sol/>

FIGURE 3: <https://www.travaux.com/fenetre-porte/articles/double-vitrage-vitrage-a-isolation-renforcee-v-i-r>

FIGURE 4: <https://domofen.ch/actualite/346-10-avantages-des-fenetres-pvc-par-rapport-au-bois-ou-au-metal>

FIGURE 5: <https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/eclairage-led/>

FIGURE 6: <https://ressources-naturelles.canada.ca/efficacite-energetique/>

FIGURE 7: <https://energieplus-lesite.be/techniques/climatisation8/systemes-d-emission-de-froid/systemes-sur-l-air/debit-d-air-variable>

FIGURE 8: <https://www.azenco.fr/larchitecture-bioclimatique>

FIGURE 9: <https://www.inputkit.io/fr/etude-de-cas/groupe-securite-alarma/>

FIGURE 10: <https://www.cder.dz/spip.php?article4016>

FIGURE 11: <https://www.el-massa.com/dz/المجتمع/حماية-البيئة-مرونة-بالاتقصاد-في-الطاقة/>

FIGURE 12: <https://blogmaison.co/2018/07/09/isolant-thermique/>

FIGURE 13: <https://www.leguideducauffage.com/chauffage-central/>

FIGURE 14: <https://www.netatmo.com/ja-jp/comfort-guide/electric-heating>

FIGURE 15: <https://www.prixalgerie.com/etiquette-produit/chauffage/>

FIGURE 16: <https://www.ikonet.com/fr/ledictionnairevisuel/maison/chauffage/installation-a-air-chaud-pulse>

FIGURE 17: <https://www.totalenergies.fr/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/chauffage-et-climatisation/le-chauffage-radiant-dans-quel-cas-est-ce-pertinent>

FIGURE 18: <https://www.garonablog.fr/2020/01/30/plancher-chauffant/>

FIGURE 19: <https://conseils-thermiques.org/contenu/chauffage-solaire.php>

FIGURE 20: <https://www.xpair.com/lexique/definition/energie-geothermique.htm>

FIGURE 21: https://arts-et-cheminees.com/020_tech.html

FIGURE 22: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Air_conditioning_unit-fr.svg?uselang=fr

FIGURE 23: <https://www.acfluide.fr/climatisation/climatisation/>

FIGURE 24: <https://www.climatiseurportable.com/>

FIGURE 25: <https://reussite-immo.com/quel-cout-pour-linstallation-dune-climatisation/>

FIGURE 26: https://conseils.xpair.com/consulter_savoir_faire/rafraichissement-naturel-batiments-solutions-adiabatiques/principe-rafraichissement-adiabatique-evaporat

FIGURE 27: <https://energieplus-lesite.be/techniques/climatisation8/production-de-froid/geothermie-et-geocooling/>

FIGURE 28: LES LOGICIELS DE SIMULATION THERMIQUE LES PLUS CONNUES

FIGURE 29: FAÇADE DE L'ÉCOLE

FIGURE 30: [ARTICLE SCIENTIFIQUE DE JAOUAF SALAHEDDINE].

FIGURE 31: [ARTICLE SCIENTIFIQUE DE JAOUAF SALAHEDDINE].

FIGURE 32: Logiciel Transys

FIGURE 33: FENETRE POUR TRANBUILD

FIGURE 34: SCHEMA DE SIMULATION DES ZONES

FIGURE 35: HEURES D'ACTIVITE PAR JOUR

FIGURE 36: HEURES D'ACTIVITE PAR SEMAINE

FIGURE 37: HEURES D'ACTIVITE PAR ANNEE.

FIGURE 38: VARIATION DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE DE CLIMATISATION PENDANTS L'ANNEE

FIGURE 39: PLAN DE L'EMPLACEMENT DE CHAUFFAGE CENTRAL

FIGURE 40: <https://benbelkacem-dz.com/produit/radiateur-aluminium/>

FIGURE 41: <https://www.radson.com/fr/produits/radiateurs-a-panneaux.htm>

FIGURE 41: <https://lachouetteechoppe.fr/combien-de-temps-pour-faire-la-plomberie-maison/>

FIGURE 42: <https://blogs.plombiers-reunis.com/reseaux/installation-de-plomberie-et-chauffage-avec-tuyaux-per.html/attachment/liaison-per-radiateur>

FIGURE 43: <https://coexpert.aalberts-hfc.com/fr-fr/installation/normes-multicouche-certification/>

FIGURE 44: <https://bricodari.tn/produit/installation-chauffage-central/>

FIGURE 45: <https://www.ouedkniss.com/chauffage-climatisation-sonaric-9kw-detecteur-co2-gratuit-alger-centre-algerie-d37786043>

FIGURE 46: <https://webstar-electro.com/climatiseurs/achat-vente-climatiseurs-condor-cs24-al44t3-i-algerie-12540-13625921.html>

Annexe : Calcul des déperditions par transmission

Pour le mur 1 :

- Calcul de la surface total du mur 1 :

$$S_1 = \text{Longueur} \times \text{hauteur}$$

$$S_1 = 7.86 \times 3.6$$

$$S_1 = 28.29m^2$$

- Calcul de la surface de la première fenêtre type bois :

$$S_{f\text{ bois}} = 2.60 \times 1.45 = 3,77m^2$$

- Surface du verre de la première fenêtre :

$$S' = 3,29 m^2$$

- Surface du cadre de la première fenêtre type bois :

$$S_{cf1} = S_{f1} - S' = 3.77 - 3.29 = 0.48m^2$$

- Surface de la deuxième fenêtre type bois :

$$S_{f\text{ bois}2} = 1.60 \times 1.75 = 2.8m^2$$

- Surface du verre de la deuxième fenêtre type bois :

$$S' = 2,41m^2$$

- Surface du cadre de la deuxième fenêtre type bois :

$$S_{fc2} = S_{f2} - S' = 0.39m^2$$

- Surface de la porte:

$$S_p = 2.1 \times 0.9 = 1.89m^2$$

- Calcul du coefficient d'échange K :

$$\text{On a: } \frac{1}{K} = R_{eq} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} [\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}]$$

R_{eq} est la résistance du mur par conduction.

On prend en considération les modes de transmission de chaleur suivants :

- Convection interne et externe : $R=1/h$
- Conduction à travers les différentes couches composant le mur $R_i = e_i/\lambda_i$. Avec e_i est l'épaisseur de la couche et λ_i est la conductivité du matériau. $R_{eq} = \sum R$

D'après le DTR, la résistance de la lame d'air vaut 0,16 m². °C/W. Alors la résistance du mur :

$$R_{eq} = \left[\left(\frac{0,01}{0,351} \right) + \left(\frac{0,01}{1,15} \right) + \left(\frac{0,1}{1,113} \right) + (0.16) + \left(\frac{0,1}{1,113} \right) + \left(\frac{0,02}{1,775} \right) + \left(\frac{0,01}{0,351} \right) \right]$$
$$= 0,416$$

Donc :

$$K_{mur\ 1} = \frac{1}{R_{eq} + 0,17} = 1,70 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

- Pour le cadre de la fenêtre en bois :

$$K_{bois} = 2,27 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

- Pour le cadre en verre :

$$K_{verre} = 5,74 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

- Calcul du coefficient $K_{moyenne}$:

$$K_{moyenne} = \frac{\sum K_i \cdot S_i}{\sum S_i}$$

$$K_{moyenne} = \frac{(1,7 \times 19,83) + (3,29 \times 5,74) + (2,41 \times 5,74) + (0,48 \times 2,27) + (0,39 \times 2,27) + (1,89 \times 2,27)}{28,29}$$

$$K_{moyenne} = 2,57 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

- Calcul des déperditions surfaciques :

$$D_{s1} = K \times A = 72,69 \text{ W/°C}$$

Pour le mur 2 :

- Calcul de la surface totale du mur 2 :

$$S_2 = 7,86 \times 3,60 = 28,29 \text{ m}^2$$

- Calcul de la surface des fenêtres type aluminium :

$$S_{f1\ atm} = S_{f2\ atm} = 1,50 \times 2,70 = 4,05 \text{ m}^2$$

- Surface du verre de la fenêtre type aluminium :

$$S' = 3,56 \text{ m}^2$$

- Calcul de la surface du cadre des fenêtres en aluminium :

$$S_{f\ c1\ atm} = S_{f\ c2\ atm} = 4,05 - 3,56 = 0,49 \text{ m}^2$$

- Calcul du coefficient K :

$$\text{On a: } \frac{1}{K} = R_{eq} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \text{ [m}^2\text{°C/W]}$$

$$R_{eq} = \left[\left(\frac{0,01}{0,351} \right) + \left(\frac{0,01}{1,15} \right) + \left(\frac{0,1}{1,113} \right) + (0,16) + \left(\frac{0,1}{1,113} \right) + \left(\frac{0,02}{1,775} \right) + \left(\frac{0,01}{0,351} \right) \right] \\ = 0,416$$

Donc :

$$K_{mur\ 2} = \frac{1}{R_{eq} + 0,17} = 1,70 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

- Pour le cadre de la fenêtre en aluminium :

$$K_{cadre} = 2 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

- Pour le cadre en verre :

$$K_{\text{verre}} = 5,74 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

- Calcul du coefficient K_{moyenne} :

$$K_{\text{moyenne}} = \frac{\sum K_i \cdot S_i}{\sum S_i}$$

$$K_{\text{moyenne}} = \frac{(1,7 \times 19,83) + (3,29 \times 5,74) + (2,41 \times 5,74) + (0,48 \times 2,27) + (0,39 \times 2,27) + (1,89 \times 2,27)}{28,29}$$

$$K_{\text{moyenne}} = 2,57 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

- Calcul des déperditions surfaciques :

$$D_{s2} = 72,69 \text{ W/°C}$$

- Calcul des déperditions à travers les liaisons

$$D_{li2} = 16,01 \text{ W/°C}$$

Pour le mur 3 :

- Calcul de la surface totale du mur 3 :

$$S_3 = 6,75 \times 3,60 = 24,3 \text{ m}^2$$

- Calcul du coefficient K :

$$\text{On a : } \frac{1}{K} = R_{eq} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \text{ [m}^2\text{°C/W]}$$

$$R_{eq} = \left[\left(\frac{0,01}{0,351} \right) + \left(\frac{0,01}{1,15} \right) + \left(\frac{0,1}{1,113} \right) + (0,16) + \left(\frac{0,1}{1,113} \right) + \left(\frac{0,02}{1,775} \right) + \left(\frac{0,01}{0,351} \right) \right] = 0,416$$

Donc :

$$K_{\text{mur 3}} = \frac{1}{R_{eq} + 0,17} = 1,70 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

- Calcul des déperditions surfaciques :

$$D_{s3} = K \times S = 24,3 \times 1,70$$

$$D_{s3} = 41,31 \text{ W/°C}$$

- Calcul des déperditions à travers les liaisons :

$$D_{li3} = D_{s3} \times 0,2$$

$$D_{li3} = 8,26 \text{ W/°C}$$

Pour le mur 4 :

D'après le DTR page 21 (1.2) dans le cas où une paroi sépare deux ambiances chauffées à la même température, les déperditions par transmission à travers cette paroi sont considérées nulles. Le mur 4 est commun entre les deux salles étudiées, alors les déperditions sont nulles.

- Calcul du coefficient K :

$$\text{On a : } \frac{1}{K} = R_{eq} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \text{ [m}^2\text{°C/W]}$$

$$R_{eq} = \left[\left(\frac{0,01}{0,351} \right) + \left(\frac{0,01}{1,15} \right) + \left(\frac{0,1}{1,113} \right) + (0,16) + \left(\frac{0,1}{1,113} \right) + \left(\frac{0,02}{1,775} \right) + \left(\frac{0,01}{0,351} \right) \right] = 0,416$$

Donc :

$$K_{mur\ 4} = \frac{1}{R_{eq} + 0,17} = 1,70 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

Pour le toit :

- Calcul de la surface totale du mur 5 :

$$S_5 = 7,86 \times 6,75 = 53,05 \text{ m}^2$$

- Calcul du coefficient K :

- On a : $K = \frac{1}{R_{eq}}$

$$R_{eq} = \left[\left(\frac{0,01}{0,351} \right) + \left(\frac{0,09}{1,755} \right) + \left(\frac{0,16}{1,23} \right) + \left(\frac{0,04}{1,755} \right) + \left(\frac{0,1}{1,15} \right) \right] = 0,319$$

Donc :

$$K_{toit} = \frac{1}{R_{eq} + 0,17} = 2,02 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

- Calcul des déperditions surfaciques :

$$D_{s5} = K \times S_5$$

$$D_{s5} = 107,16 \text{ W/°C}$$

- Calcul des déperditions à travers les liaisons :

$$D_{li5} = D_{s5} \times 0,2$$

$$D_{li5} = 21,43 \text{ W/°C}$$

Pour le sol :

- Calcul de la surface totale du sol :

$$S_6 = 7,86 \times 6,75 = 53,05 \text{ m}^2$$

- Calcul des déperditions Dsol :

D'après le DTR 2017 2.2 tableau 5.1 et le tableau 5.2 page 38

$$D_{sol} = K_s \times P$$

$$- k_s = 1,75 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

- p (en m) est la longueur de la paroi définie au chapitre 1, paragraphe 1.3. [DTR 2017 2.2 P 39].

$$D_{sol} = K_s \times P = 1,75 \times 22,27 = 51,135 \text{ [W/°C]}$$

- Calcul du coefficient K :

D'après le DTR page 37 (5.2) le calcul du coefficient K pour un plancher haut enterré est donné par :

$$\frac{1}{k} = 0,14 + R_p + \frac{e}{1,9} \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$$

Donc :

$$R_p = \frac{0,3}{1,45} = 0,20$$

$$K = \frac{1}{[0,20 + 0,14 + (\frac{0,30}{1,9 + 0,17})]} = 1,75 \text{ (W/mC)}$$