

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

UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ de Bouira



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'études

Présenté par :

Ladjal hanane

Lamri laila

En vue de l'obtention du diplôme de Master 2 en :

Filière : Génie Civil

Spécialité : Structures

Thème :

Étude de la consommation énergétique des
bâtiments d'habitation en
Algérie – État des lieux de la ville de Bouira

Devant le jury composé de :

M. Boumaiza Malika
Mr. Moussaoui Fahem
M. Saoudi Nacira

MAA
MCB
MCB

UAMOB
UAMOB
UAMOB

Présidente
Encadreur
Examinatrice

Année Universitaire 2020/2021

Remerciements

On remercie, avant tout, Dieu de nous avoir donné la patience et le courage et de nous avoir facilité le chemin pour achever ce fruit de nos années d'études.

On tient à exprimer nos sincères remerciements à notre encadreur **Mr Moussaoui F** pour tout le temps qu'il nous a consacré, sa directive précieuse, et pour leur disponibilité durant

Toute la période de travail.

Un grand merci aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font pour juger et examiner notre travail. Et à tous nos enseignants du département de Génie civil Bouira qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet.

Nous remercions aussi toutes les personnes, enseignants comme étudiants, qui au courant de ces cinq années, qui furent les plus belles de notre vie, nous ont apporté conseils, expériences, conversations passionnées et avec qui nous avons pu partager notre intérêt pour

L'architecture, car c'est avant tout de cette immatérialité, de ces merveilleux échanges que naissent les plus grandes inspirations artistiques.

Enfin, c'est avec une profonde gratitude et honneur, que nous dédions ce travail à nos chers parents, nos frères et sœurs, pour leur soutien. Ainsi qu'à l'ensemble de notre famille et nos amis.

Laila & Hanane

Dédicace

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers,

À MA CHERE MERE

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon instruction et mon bien-être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices. Puise Dieu, le très haut, vous accordez santé, bonheur et langue virent.

À MON CHER PERE

Ce travail est dédié à mon père, qui ma toujours poussé et motivé dans mes études.

À mes très chers frères et mes belles sœurs qui n'ont pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leur la chance et le bonheur.

À tous les cousins, voisins et les amis que je connus jusqu'à maintenant.

Sans oublier mon binôme « Lamri Laila » pour leur soutien moral, sa patience et sa compréhension tout long de ce travail.

Hanane Ladjal

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études. Que Dieu leur procure bonne santé et longue vie.

À ma chère sœur, pour leur appui et leur encouragement durant toute ma recherche.

À toute ma famille qui compte beaucoup pour moi.

À mon binôme et copine Hanane.

À tous mes amis et collègues sans exception.

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail. Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien, Merci

D'être toujours là pour moi.

Laila Lamri

Sommaire

Remerciement	i
Dédicace	ii
Sommaire	vi
Liste des figures	xii
Liste des tableaux	xvi
Liste des abréviations	xviii
Résumé	xxiii
Introduction générale	1
Chapitre I : L'énergie et ses utilisations dans le bâtiment – Contexte bibliographique	
I.1. Introduction	4
I.2. Généralités sur l'énergie.....	4
I.2.1. Définition de l'énergie.....	4
I.2.2. Evolution de l'énergie à travers l'histoire.....	4
I.2.2.1.L'énergie humaine.....	5
I.2.2.2.L'énergie de l'animale.....	5
I.2.2.3.L'énergie de vent.....	6
I.2.2.4.L'énergie de l'eau.....	6
I.2.2.5. Le charbon de bois.....	7
I.2.2.6.Watt et la machine à vapeur.....	7
I.2.2.7. Les sources fossiles d'énergie.....	7
I.2.2.8.Les sources renouvelables d'énergie	8
I.2.3. Domaines d'utilisation de l'énergie.....	8
I.2.3.1. Le secteur industriel	8
I.2.3.2. Le secteur des transports	8
I.2.3.3. Le secteur résidentiel et tertiaire	8
I.2.3.4. Le secteur de l'agriculture	8
I.2.4. Types d'énergies – Sources énergétiques.....	9
I.2.4.1. Les énergies non renouvelables.....	9
I.2.4.2. Les énergies renouvelables.....	11

I.3. Consommation des énergies dans le monde en 2019.....	13
I.3.1. Consommation mondiale d'énergie.....	13
I.3.2. Consommation mondiale d'énergie par grande zone géographique.....	14
I.3.3. Chiffres clés du pétrole et du gaz naturel en 2019.....	15
I.4. L'énergie dans le secteur résidentiel.....	16
I.4.1. Besoin d'énergie dans le bâtiment.....	16
I.4.2. Types d'énergies renouvelables utilisées dans les bâtiments.....	17
I.4.2.1. L'énergie du soleil.....	17
I.4.2.2. L'énergie du vent (l'éolien).....	19
I.4.2.3. L'énergie de la terre (la géothermie).....	19
I.4.3. Consommation énergétique mondiale du secteur résidentiel	20
I.5. Conclusion.....	21
 Chapitre II : La thermique de bâtiment – Notions de calcul et notions d'isolation	
II.1. Introduction.....	22
II.2. Rappels de physique du bâtiment.....	2Error! Bookmark not defined.
II.2.1. La température.....	22
II.2.1.1. Champ de température $\overrightarrow{\text{grad}} (T)$	22
II.2.1.2. Le gradient de température	22
II.2.2. La chaleur.....	23
II.2.3. La quantité de chaleur.....	23
II.2.4. Le flux thermique.....	23
II.2.4.1. Densité de flux – flux surfacique.....	23
II.3. Notion de déperditions thermiques.....	2Error! Bookmark not defined.
II.3.1. Apports énergétiques dans le bâtiment.....	24
II.3.2. Pertes de chaleur.....	24
II.3.3. Ponts thermiques.....	25
II.3.4. Parois froides.....	25
II.3.5. Condensation.....	26
II.4. Modes de transfert de chaleur.....	26
II.4.1. Transfert de chaleur par conduction.....	27
II.4.1.1. Définition	27

II.4.1.2. Exemple	28
II.4.1.3. Expression du flux de chaleur par conduction – Loi de Fourier.....	28
II.4.1.4. La conductivité thermique.....	28
II.4.1.5. Propriétés de la conductivité thermique.....	28
II.4.1.6. Conduction en régime permanent.....	29
II.4.1.7. Cas d'un mur simple homogène.....	29
II.4.1.8. Cas d'un mur composé de plusieurs matériaux (mur multicouche).....	30
II.4.2. Transfert de chaleur par convection.....	32
II.4.2.1. Définition	32
II.4.2.2. Expression du flux de chaleur par convection – Loi de Newton.....	32
II.4.2.3. Résistance thermique de convection	33
II.4.2.4. Transfert de chaleur conduction – convection.....	33
II.4.3. Transfert de chaleur par rayonnement.....	35
II.4.3.1. Définition	35
II.4.3.2. Expression du flux de chaleur par rayonnement – Loi de Stefan.....	36
II.4.3.3. Echange de chaleur par rayonnement entre deux surfaces.....	36
II.4.3.4. Expression du flux de chaleur par rayonnement.....	36
II.5. Isolation thermique dans le bâtiment.....	Error! Bookmark not defined. 7
II.5.1. Définition.....	37
II.5.1.1. Isolant thermique	37
II.5.1.2. Isolation thermique	37
II.5.2. Importance de l'isolation thermique.....	37
II.5.3. Rôle de l'isolation thermique.....	37
II.5.4. Types d'isolations thermiques.....	38
II.5.4.1. Isolation par l'intérieur.....	38
II.5.4.2. Isolation thermique par l'extérieur	38
II.5.4.3. Isolation thermique intégrée.....	39
II.5.5. Matériaux isolants utilisés dans le bâtiment.....	40
II.5.5.1. Les différents matériaux isolants.....	40
II.5.6. Isolation par vitrage.....	44

II.5.6.1. vitrage isolant.....	44
II.5.6.2. Type de vitrage pour une bonne isolation des fenêtres	44
II.5.7. Caractéristiques principales du vitrage.....	48
II.5.7.1. Le coefficient de transmission thermique U_g	48
II.5.7.2. La transmission lumineuse T_L	48
II.5.7.3. Le facteur solaire g	49
II.5.8. Propriétés thermique.....	49.
II.5.8.1. La chaleur spécifique (C_p exprimée en J/kg.K).....	49
II.5.8.2. Le coefficient de dilatation α	49
II.5.8.3. La conductibilité thermique κ (W/m.K).....	49
II.6. Conclusion.....	50
Chapitre III : L'énergie en Algérie et part du secteur résidentiel – État des lieux	
III.1. Introduction.....	51
III.2.Réserves énergétiques de l'Algérie.....	51
III.2.1. Réserves des énergies primaires.....	51
III.2.1.1. Réserves de pétrole.....	52
III.2.1.2. Réserves de Gaz.....	53
III.2.2. Réserves des énergies renouvelables.....	54
III.2.2.1. Potentiel solaire.....	54
III.2.2.2. Potentiel Eolien.....	55
III.2.2.3. Potentiel de l'Energie Géothermique.....	56
III.2.2.4. Potentiel Hydraulique.....	56
III.3. Production des énergies en Algérie (Electricité et gaz).....	57
III.3.1. Production d'électricité.....	57
III.3.1.1. Parc de Production National.....	57
III.3.1.2. Distribution de l'électricité.....	59
III.3.2. Distribution public de gaz naturel.....	59
III.3.2.1. Les réalisations.....	59
III.4. Les énergies dans le secteur résidentiel en Algérie – Chiffres et indicateurs.....	61
III.4.1. La consommation finale du secteur résidentiel.....	61
III.4.2. Quelques données utiles.....	61
III.4.3. Répartition de la consommation de secteur résidentiel par type d'énergie et par type de	

logements.....	62
III.4.4. Principaux indicateur.....	63
III.5. Programme de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique du gouvernement.....	63
III.5.1. Energie nouvelle et renouvelable.....	63
III.5.1.1. Programme de développement des énergies renouvelables.....	63
III.5.1.2. Bilan des réalisations.....	65
III.5.1.3. Nouvelle stratégie nationale pour le développement des énergies renouvelables pour la production de l'électricité raccordées au réseau.....	67
III.5.2. Efficacité énergétique du gouvernement.....	68
III.5.2.1. Programme national d'efficacité énergétique du gouvernement.....	68
III.5.2.2. Plan d'Action en Matière d'Efficacité Energétique.....	68
I.6. Conclusion.....	71
Chapitre IV : Etude comparative pour une maison individuelle avant et après l'isolation de polystyrène expansé – Cas de lieux de BOUIRA	
VI.1. Introduction.....	74
VI.2. Présentation générale de la région d'étude.....	74
VI.2.1. La situation géographique de la wilaya de Bouira.....	74
VI.2.2. Données climatiques.....	76
VI.2.2.1. Climat d'Algérie.....	76
VI.2.2.2. Climat de bouira.....	77
VI.3. Présentation du projet.....	78
VI.3.1. Caractéristiques géométriques.....	78
VI.3.2. Description surfacique.....	79
VI.3.3. Implantation de projet.....	79
VI.3.4. Présentation des différents éléments constructifs de la maison sans isolation.....	80
VI.3.5. Les plans.....	81
VI.4. Calcul des déperditions thermiques.....	83
VI.4.2. Calcule des déperditions thermiques pour la maison avant l'isolation.....	84
VI.4.3. Amélioration de la maison par le polystyrène EPS.....	89
VI.4.3.1. Les murs.....	89
VI.4.3.2. La toiture.....	90

VI.4.3.3. Les fenêtres	90
VI.4.4. Calcule des déperditions thermiques pour la maison après l'isolation.....	90
VI.4.4.1. Discussion des résultats.....	93
VI.5. Calcul des besoins énergétiques.....	93
VI.5.1 Température de confort.....	93
VI.5.2. Notions du degré jours pour le chauffage et/ou le refroidissement.....	93
VI.5.2.1. Degré jour de chauffage.....	93
VI.5.2.2. Degré jour de refroidissement.....	94
VI.5.2.3. Un exemple de calcule.....	95
VI.5.3. Besoin de chauffage /climatisation.....	97
VI.5.3.1. Un exemple de calcule.....	98
VI.6. Analyse des résultats de l'énergie consommée.....	99
VI.7. Conclusion.....	102
Conclusion générale	103
Bibliographie	105

Liste des figures

Chapitre I : L'énergie et ses utilisations dans le bâtiment – Contexte bibliographique

Figure I.1. Transport à dos d'homme au Népal, 2015.....	05
Figure I.2. Attelage de bœufs en France.....	05
Figure I.3. Moulin à vent de Daudet.....	06
Figure I.4. Moulin à eau, Mabry Mill, virginie.....	06
Figure I. 5. Production de chaleur par combustion de charbon de bois.....	07
Figure I.6. Machines à vapeur.....	07
Figure I.7. Les quatre différents secteurs d'utilisation d'énergie (transport, agriculture, résidentiel, industriel).....	09
Figure I.8. Les trois combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel et charbon).....	10
Figure I.9. L'énergie nucléaire.....	11
Figure I.10. Les cinq énergies renouvelable (solaire, hydraulique, éolienne, géothermique et biomasse).....	12
Figure I.11. Evolution de la consommation d'énergie et des émissions du CO2 en 2019 (BP, 2021)	13
Figure I.12. Consommation d'énergie totale et production d'électricité en 2019 (BP, 2021)..	14
Figure I.13. Consommation d'énergie par zone en 2019 (BP, 2021).....	14
Figure I.14. Consommation d'énergie par habitant en 2019 (BP, 2021).....	15
Figure I.15. Chiffres clés du pétrole et du gaz naturel en 2019 (BP, 2021).....	16
Figure I.16. Besoins d'énergies dans le cas du chauffage domestique.....	17
Figure I.17. Le Solaire Photovoltaïque.....	18
Figure I.18. Solaire thermique.....	19
Figure I.19. La production d'électricité par énergie du vent	19

Figure I.20. Schéma d'une installation-type de géothermie	20
Figure I.21. Consommation d'énergie finale globale par secteur (IEA, 2017).....	20
Figure I.22. Emissions mondiales de CO2 liées à l'énergie par secteur (IEA, 2017	

Chapitre II : La thermique de bâtiment – Notions de calcul et notions d'isolation

Figure II.1. Apports énergétiques (intérieurs et extérieur).....	24
Figure II.2. Déperditions thermiques dans un bâtiment.....	25
Figure II.3. Exemple sur les ponts thermiques (en orange).....	25
Figure II.4. Exemple sur les parois froides.....	26
Figure II.5. Exemple sur la condensation.....	26
Figure II.6. Différence de température et transfert de chaleur (Morel et Sounou, 2008).....	27
Figure II.7. Le transfert de chaleur par conduction	27
Figure II.8. Un exemple sur la conduction thermique.....	28
Figure II.9. Mur simple homogène.....	30
Figure II.10. Mur composé (multicouche).....	31
Figure II.11. Le transfert de chaleur par convection.....	32
Figure II.12. Le flux de chaleur par convection.....	32
Figure II.13. Mur simple en contact avec deux fluides	34
Figure II.14. Mur multicouche en contact avec deux fluides avec son Schéma électrique équivalent	34
Figure II.15. Le transfert de chaleur par rayonnement.....	35
Figure II.16. Les différents types Isolation intérieur.....	38
Figure II.17. Les différents types d'isolation extérieure.....	39
Figure II.18. Exemple sur l'isolation intégrée.....	39
Figure II.19. Isolation par vitrage.....	44
Figure II.20. Isolation d'une fenêtre a double vitrage.....	45
Figure II.21. vitrage à isolation renforcée.....	45
Figure II.22. Le triple vitrage d'une fenêtre.....	46

Figure II.23. Double vitrages à gain solaire élevé.....	47
Figure II.24. Double vitrages à gain solaire faible.....	47
Figure II.25. Le coefficient de transmission thermique Ug.....	48
Figure II.26. La transmission lumineuse TL.....	48
Figure II.27. Le facteur solaire g.....	49

Chapitre III : L'énergie en Algérie et part du secteur résidentiel – État des lieux

Figure III.1. Carte des régions pétrolières d'Afrique du nord.....	51
Figure III.2. Carte des bassins sédimentaires de l'Algérie.....	52
Figure III.3. Réserve de pétrole de l'Algérie (millions de barils).....	53
Figure III.4. Gaz naturel – production et exportations (Mtep).....	53
Figure III.5. Carte de l'Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011).....	54
Figure III.6. Carte de l'Irradiation Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011).....	55
Figure III.7. Carte du vent annuel moyen à 50m (Période 2001-2010).....	56
Figure III.8. Puissance installée par producteur à fin 2017.....	58
Figure III.9. Puissance installée par type d'équipement à fin 2017.....	58
Figure III.10. Evolution de la longueur du réseau de distribution électrique 2005- 2017...	59
Figure III.11. Evolution de la longueur du réseau de distribution gaz 2005- 2017.....	60
Figure III.12. Evolution de la longueur du réseau de distribution gaz 2005- 2017	61
Figure III.13. Répartition de la consommation du secteur résidentiel par type d'énergie ...	62
Figure III.14. Répartition de la consommation du secteur résidentiel par type de logement	62
Figure III.15. La répartition des énergies renouvelables sur la période 2015-2030, répartie par filière.....	64
Figure III.16. Centrale Hybride Solaire-Gaz de 150 MW	65
Figure III.17. Ferme éolienne 10MW.....	66
Figure III.18. Centrale Pilote Photovoltaïque d'Oued N'Chou 1,1 MWc.....	66
Figure III.19. Projet de 343 MWc en centrales photovoltaïques	67

Figure III.20. L'efficacité énergétique dans le bâtiment (isolation thermique, Chauffe -eau solaire, Lampe basse consommation, Eclairage public.....	70
Figure III.21. La consommation intérieure brute d'énergie primaire en Algérie par source (Mtep).....	71
Figure III.22. Les consommations (en Mtep) de charbon, pétrole, gaz et total fossiles l'hydraulique, biomasse, solaire et total EnR en fonction des années	72
Figure III.23. Les consommations (en %) de charbon, pétrole, gaz et total fossiles l'hydraulique, biomasse, solaire et total EnR en fonction des années.....	72

Chapitre IV : Etude comparative pour une maison individuelle avant et après l'isolation de polystyrène expansé – Cas de lieux de BOUIRA

Figure VI.1. Carte interactive de la wilaya de BOUIRA.....	75
Figure VI.2. La zone d'étude par Google earth.....	75
Figure VI.3. Classification de climat en Algérie.....	76
Figure VI.4. Plan de situation de cas d'étude	79
Figure VI.5. Composition de mur de la maison étudié	80
Figure VI.6. Plan de la façade principale.....	81
Figure VI.7. Plan de la coupe A-A.....	81
Figure VI.8. Plan de fondation	82
Figure VI.9. Plan de Rée de chaussé.....	82
Figure VI.10. Plan de terrasse.....	83
Figure VI.11. Composition du mur après l'isolation	88
Figure VI.12. Carte de température	94
Figure VI.13. Les degrés jours de chauffage et de climatisation durant l'année.....	95
Figure VI.14. Comparaison entre les besoins des deux maisons	98

Liste des tableaux

Chapitre II : La thermique de bâtiment – Notions de calcul et notions d’isolation

Tableau II.1. La conductivité thermique des quelques matériaux.....	29
Tableau II.2. Les coefficients des transmissions thermiques.....	33
Tableau II.3. Les facteurs d’émission des matériaux.....	36
Tableau II.4. Les avantages et les inconvénients de l’isolation thermique.....	40
Tableau II.5. Quelques matériaux isolants d’origine végétale et animale.....	41
Tableau II.6. Quelques matériaux isolants minéraux.....	42
Tableau II.7. Quelques matériaux isolants synthétiques.....	43

Chapitre IV : Etude comparative pour une maison individuelle avant et après l’isolation de polystyrène expansé – Cas de lieux de BOUIRA

Tableau VI.1. Les groupes de communes pour la wilaya de bouira.....	78
Tableau VI.2. Les caractéristiques géométriques de maison.....	78
Tableau VI.3. La distribution surfacique de la maison.....	79
Tableau VI.4. Les résistances thermiques d’échanges superficiels intérieures et extérieures.....	84
Tableau VI.5. Caractéristiques thermo-physique de Mur double parois de l’intérieur vers l’extérieur.....	85
Tableau VI.6. Caractéristique thermo-physique du plancher bas.....	86
Tableau VI.7. Les coefficients de transmission (k) des portes et fenêtres.....	86
Tableaux VI.8. Enveloppe de la maison avant l’isolation de polystyrène EPS.....	88
Tableau VI.9. Caractéristiques thermo-physique des Murs double paroi de l’extérieur vers l’intérieur après l’isolation de polystyrène EPS.....	90
Tableaux VI.10. Caractéristiques thermo-physique de plancher haut après l’isolation de	

polystyrène EPS.....	91
Tableau VI.11. Enveloppe de maison après l'isolation de polyester EPS.....	92
Tableau VI.12. Calcul du nombre de degrés jours mensuels (Dj).....	94
Tableau VI.13. Les besoins énergétiques en chauffage (sans et avec isolation).....	97
Tableau VI.14. Les besoins énergétiques en climatisation (sans et avec isolation).....	98
Tableau VI.15. Les besoins annuels en chauffage/climatisation Totale pour la maison sans et avec isolation (comparaison).....	100

Liste des abréviations

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

AIE : Agence internationale de l'énergie

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

ASAL : Agence Spatiale Algérienne

BP : British Petroleum

CDER : Centre de développement des énergies renouvelables

CES : Gaz à Effet de Serre

CHSG : Centrale Hybride Solaire-Gaz

CNERIB : centre national d'étude et de recherche intégré du bâtiment

CO : Oxyde de carbone

CO2 : Dioxyde de carbone

CPP : Centrale Pilote Photovoltaïque

CREG : Commission de régulation de l'Electricité et du Gaz

DTR : Documents Techniques Réglementaires

EnR : énergies renouvelables

EPS : Expansé

GN : Gaz Naturel

GNC : gaz naturel comprimé

GPL : Gaz Naturel Liquéfié

GPLC : Gaz Naturel Liquéfié Carburant

GREO : gazoduc Rocade est – Ouest

GRTG : la Société Algérienne de gestion du réseau de transport du gaz

HTF: Heat Transfers Fluid

IGCE : Industries grosses consommatrices d'énergie

ISCC: integrated solar Combined Cycle

MEM : Ministère de l'Energie et des Mines

ONM : l'Office National de météorologie

OPEP: organisation des pays exportateurs de pétrole

PENREE : Le programme algérien de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique

PENREE : programme algérien de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique

PIV: panneaux isolants sous vide

PV : photovoltaïque

SKB: Shariket Kahraba Berrouaghia

SKD: Shariket Kahraba de Koudiet Edraouch

SKH : Shariket Kahraba Hadjret Ennouss

SKS: Shariket Kahraba Skikda

SKT: Shariket Kahraba Terga

SKTM: Shariket Kahraba WA Taket Moutadjadida

SP: Société Algérienne de production de l'électricité

SPPI: solaire power plant one

TCAM : taux de croissance annuel moyen

TL : La transmission lumineuse

Liste des symboles

R_{cond} : Résistance thermique de conduction.(K/W).

R_{conv} : Résistance thermique de convection (K/W).

\vec{n} :Vecteur unitaire de la normale

ΔT : l'écart de température

C : chaleur spécifique (J/Kg.K)

c : la chaleur massique de corps (J.kg⁻¹.K⁻¹) ;

C_p : chaleur spécifique (J/kg.K)

DJ : Degré nombre de jours

Ds : Déperditions surfaciques (w / °C)

dS : surface d'échange élémentaire (m²).

dt : intervalle de temps élémentaire (s).

Dt: Déperditions totale (w)

e : épaisseur du mur (m).

G : Coefficient de déperdition volumique

g : facteur solaire

hc : Coefficient de transfert de chaleur par convection (W m⁻² °C⁻¹)

he : Coefficient extérieur d'échanges superficiels

hi : Coefficient intérieur d'échanges superficiels

K : Coefficients de transmissions surfaciques (w/m²°c)

m : la masse du corps (kg)

Q: énergie échangée sous forme de chaleur en Joule (J)

R : résistance thermique (K/W).

S : Aire de la surface de contact solide/fluide (m²)
 t : durée du transfert thermique en (s)
 T : température (K) ou (°C).
 $T1$: température la plus chaude en °C ;
 $T2$: température la plus froide en °C ;
 Ta : température ambiante en Kelvin (K) ;
 Tc : Température de confort (°C)
 Te : Température extérieure (°C)
 Ti : Température intérieure (°C)
 TL : transmission lumineuse
 Tm : Température moyenne (°C)
 TS : température de la surface du mur en Kelvin (K) ;
 U : Coefficient de Transmission (m²°C/w)
 Ug : Coefficient de transmission thermique du vitrage (W.m⁻².K⁻¹)
 V_h : Volume habitable du local ou hors œuvre (m³)
 α : coefficient de dilatation
 β : Coefficient fonction du matériau
 κ : conductibilité thermique (W/m.K)
 λ : conductivité thermique (en W.m-1.K-1)
 λ_0 : Conductivité thermique à T = 20°C ;
 σ : constante de Stefan-Boltzmann
 ϕ : densité de flux thermique (en Wm-2)
 Φ : Flux de chaleur transmis par convection (W)
 φ : Flux thermique en (W)
 Ψ : Humidité relative du milieu (en %).
 \mathcal{E} : facteur d'émission ou émissivité du matériau

Les Unités

(J): joule

C: Le degré Celsius

J/kg.K : joule par kilogram kelvin

J/kg ° C: joule par kilogramme celsius

K: Kelvin

Kcal/kg: kilo calorie par kilogramme

Kcal/kg ° C: kilo calorie par kilogramme celsius

Kg: kilogram

Ktep: Tilo tonnes équivalent pétrole

KWh: kilowatt heure

M²: Mètre carré

M³: Mètre cube

Mtep: Million tonnes équivalent pétrole

s:seconde

Tep: Tonnes équivalent pétrole

W : Watt

W. m-2: watt par mètre carré

W/m.°C : watt par mètre celsius

W/mK : watt par mètre kelvin

Résumé

En Algérie, les constructions sont très peu économes en énergie et par conséquent, elles restent un grand secteur de consommation de l'énergie.

cette étude consiste à mesurer l'impact de l'isolation thermique sur les déperditions de chaleur sur l'extérieur, pour cela nous avons pris un cas d'étude qui est un logement sur lequel nous avons comparé les besoins énergétiques et les déperditions de chaleur une fois isolée et une fois non isolée, l'isolation utilisée c'est le polystyrène expansé .dans le but de savoir l'importance de l'isolation thermique dans la diminution de la consommation d'énergie et agir pour améliorer l'efficacité énergétique dans les bâtiments.

Mots clés : Economies – Consommation – les besoins énergétiques – le polystyrène expansé – isolation – déperditions – l'efficacité énergétique

Abstract

In Algeria, buildings are very energy efficient and therefore they remain a large sector of energy consumption. this study consists in measuring the impact of thermal insulation on heat loss on the outside, for this we have presented a case study which is a housing on which we have compared energy needs and heat losses once insulated and once not insulated, the insulation use is expanded polystyrene .in order to know the importance of thermal insulation in the reduction of energy consumption and act to improve Energy efficiency in buildings.

Keywords: Savings – Consumption – energy needs – expanded polystyrene – insulation – losses – energy efficiency

ملخص

في الجزائر، المباني ذات كفاءة كبيرة في استخدام الطاقة، وبالتالي فهي لا تزال قطاعا كبيرا من استهلاك الطاقة. تتكون هذه الدراسة في قياس تأثير العزل الحراري على فقدان الحرارة من الخارج، لهذا قدمنا دراسة حالة وهو السكن الذي قارنا احتياجات الطاقة وخسائر الحرارة مرة واحدة معزولة ومرة واحدة غير معزولة، يتم توسيع استخدام العزل البوليسترين من أجل معرفة أهمية العزل الحراري في الحد من استهلاك الطاقة والعمل على تحسين كفاءة استخدام الطاقة في المبا

الكلمات الرئيسية: التوفير – الاستهلاك – احتياجات الطاقة – البوليسترين الموسع – العزل – الخسائر – كفاءة الطاقة

Introduction générale

Introduction générale

Le monde est confronté à une augmentation de la consommation énergétique d'une façon accrue depuis plusieurs décennies. Cette augmentation remet fondamentalement en cause le modèle économique qui est tributaire pour son développement d'une quantité colossale d'énergie. Le secteur du bâtiment est, parmi les secteurs économiques, le plus gros consommateur en énergie au niveau mondial, vu que la cause de ce résultat est due à la forte demande de logement qui résulte d'une grande augmentation démographique. À l'échelle planétaire, le secteur du bâtiment est très énergivore, en 2019 s'élevait à 43% (AIE, 2019).

En Algérie, le secteur résidentiel et tertiaire se trouve parmi les secteurs les plus énergétivores, avec une consommation de 41% de l'énergie finale (APRUE, 2019). Le niveau de consommation de ce secteur constitue l'un des soucis majeurs exprimés dans le cadre du modèle de consommation énergétique algérienne.

Dans les années 1990, l'Algérie avait développé plusieurs dispositifs réglementaires quant à l'efficacité énergétique dans l'habitat. Suite à une réflexion sur la consommation des logements neufs initiés en 1995, le ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme met en place des documents techniques réglementaires (DTR) en 1997. Ceux-ci déterminent notamment les valeurs de référence relatives aux déperditions et aux apports calorifiques des bâtiments neufs à usage d'habitation et tertiaire, les méthodes de calcul des déperditions et des apports calorifiques pour les différentes zones climatiques.

L'ensemble des parties d'un bâtiment sont soumises aux transferts thermiques, qui sont des échanges de chaleur entre le milieu chaud et le milieu froid. La connaissance et la maîtrise de ces transferts permettent une gestion de la facture énergétique d'un bâtiment. La diminution de ces échanges thermiques permet de maintenir une température tempérée à l'intérieur du bâtiment en y apportant le moins d'énergie possible.

L'isolation thermique est l'un des points-clés pour agir sur d'atteindre l'objectif de réduire les déperditions calorifiques et la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment. Pour cela l'isolation se trouve au cœur des bouquets de solutions retenues pour réaliser les futures économies d'énergie. En agissant sur les déperditions thermiques, l'isolation permet en effet de moins chauffer l'hiver et d'éviter de recourir à la climatisation l'été.

Contexte de la recherche

L'État algérien s'est attelé, de 1975 à aujourd'hui, à développer à travers toutes les villes un important programme de logements sociaux, du type collectif, représentant aujourd'hui plus de 8,5 millions d'unités. Cependant, et à cause de la politique de définition des programmes de logements ainsi que leur mise en œuvre (une politique de production de logements purement quantitative) plusieurs problèmes sont apparus (par exemple les dégradations structurelles et environnementales, la dégradation du comportement social, les pertes d'énergie importantes, etc.) et ont fait que le secteur de l'habitat en Algérie est un secteur en crise.

Le bâtiment d'aujourd'hui évolue, et il évoluera encore plus vite dans le futur, et ce sont les économies, voire les créations des énergies qui seront le facteur important de cette dynamique d'évolution.

Aujourd'hui, en Algérie, le parc immobilier est une source de perte d'énergie importante. En effet, ce secteur représente à lui seul une source de gaspillage d'énergie de plus de 41% de la consommation nationale totale.

Objectifs et problématique de la recherche

Cette recherche consiste à mesurer l'impact de l'isolation thermique sur les besoins énergétiques et déperdition de chaleur, pour cela nous avons étudié un logement sur laquelle nous avons comparé les besoins énergétiques et la déperdition de chaleur une fois isolée et une fois non isolée, le matériau isolant que nous avons utilisé est le polystyrène expansé.

Pour mener à bien cette démarche, plusieurs contraintes et problématiques doivent être surmontées, à savoir :

- vaincre de gaspillage sur l'utilisation de l'énergie, en particulier dans le logement
- La difficulté de proposer des méthodes de calcul adéquates des besoins énergétiques pour le chauffage et/ou le refroidissement à satisfaire
- Respecter les règles de document technique réglementaire DTR C 3-2 pour calculer les déperditions de chaleur d'une maison.
- Utiliser des matériaux isolants performants pour obtenir un bâtiment bien isolé pour minimiser les déperditions.

Structure du mémoire

Ce mémoire est composé de quatre chapitres, de la présente introduction à la conclusion générale. Le premier chapitre est une recherche bibliographique sur l'énergie et ses utilisations dans le bâtiment. Nous essayerons de présenter les évolutions de l'énergie à travers l'histoire, nous évoquerons le domaine d'utilisation d'énergie et les types d'énergies sources énergétiques, nous les définirons puis nous présenterons la consommation mondiale d'énergie par grande zone géographique puis en parler sur l'énergie dans le secteur résidentiel.

Le deuxième chapitre : est divisé en deux parties. Dans la première partie nous avons présentés quelques notions sur la thermique du bâtiment et les modes des transfères thermiques. Dans la deuxième partie nous avons présenté la notion d'isolation, l'importance et le rôle d'isolation thermique et les différents matériaux isolants.

Le troisième chapitre : sera entièrement consacré à la présentation de L'énergie en Algérie et part du secteur résidentiel, nous présenterons dans ce chapitre les réserves énergétiques de l'Algérie et la production des énergies (Électricité et gaz), en parlant aussi sur la nouvelle stratégie nationale pour le développement des énergies renouvelables pour la production de l'électricité raccordées au réseau puis la présentation de Programme national d'efficacité énergétique du gouvernement.

Le quatrième chapitre : sera consacré au calculs des déperditions calorifiques suivant les DTR C3-2 « Règlement thermique des bâtiments d'habitation nous présentera des résultats obtenus par l'étude comparative pour une maison individuelle avant et après l'isolation de polystyrène expansé dans la wilaya de bouira en détail les différentes étapes de calculs les résultats obtenus seront présentés puis discutés et puis Nous allons proposer des solutions pour améliorer le confort thermique et réduire les déperditions les conclusions tirées seront regroupées dans la conclusion générale qui clôturera ce mémoire.

L'énergie et ses utilisations dans le bâtiment – Contexte bibliographique

Résumé

*L'*énergie est un produit vital et une source très importante car elle est exploitée par presque de toutes les activités humaines pour assurer le développement économique et social.

L'énergie était développée au cours de l'histoire à partir de l'énergie humaine et animale, du vent, et de l'eau, du bois aux énergies fossiles et renouvelables .l'énergie a plusieurs utilisations selon les différents secteurs (transport, résidentiel, agricole, industrie).l'énergie se divise en deux types: l'énergie renouvelable (l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique, biomasse) et l'énergie fossile (pétrole, gaz, charbon). La consommation mondiale d'énergie primaire a augmenté de 1,3% en 2019, les émissions mondiales de CO2 liées à la consommation d'énergie ont pour leur part augmenté de 0,5% en 2019.

Le secteur résidentiel est le plus consommateur d'énergie après l'industrie, cette énergie a de nombreux usages dans le résidentiel (cuisine, éclairage, chauffage, refroidissement ...) et ce afin de maintenir un climat approprié dans le bâtiment.

I.1. Introduction

L'énergie est un facteur déterminant pour la survie des sociétés et elle est indispensable à la satisfaction des besoins quotidiens, parce qu'elle est exploitée presque par toutes les activités humaines pour assurer le développement économique et social. En effet, cette énergie est majoritairement basée sur les combustibles fossiles (gaz, pétrole et charbon), ces énergies ne sont pas renouvelables et sont appelées à s'épuiser à moyen terme. Les énergies renouvelables (énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique, biomasse..), en général est comme une alternative intéressante pour préserver à la fois le confort des êtres humains et la qualité de l'environnement.

Dans ce chapitre nous essayerons d'élaborer un bilan sur la consommation énergétique mondiale en 2019 par zone géographique et par habitant on constate que le pétrole reste la principale source d'énergie consommée dans le monde (33,1% de la consommation mondiale d'énergie primaire en 2019), devant le charbon (27%). Le secteur du bâtiment est parmi les secteurs le plus grand consommateur d'énergie suivant le secteur industriel et émetteur de gaz à effet de serre. L'énergie est nécessaire pour le chauffage et le refroidissement des locaux dans les bâtiments est la plus grande de tous.

I.2. Généralités sur l'énergie

I.2.1. Définition de l'énergie

Le mot « énergie » est d'origine latine, « energia » qui veut dire « puissance physique qui permet d'agir et de réagir ». L'énergie est capable de produire soit du travail, soit de la chaleur, soit tous les deux, qui sont fondamentaux pour notre vie.

La définition de l'énergie est vague, à une acception large suivant les différents domaines ou on se trouve ([Donald et Curran, 1981](#)).

- Par rapport aux physiciens et naturalistes : l'énergie est la puissance matérielle du travail ;
- Par rapport aux économistes : c'est la quantité de l'énergie mécanique commercialisée.

En science physique

L'énergie, mesurée en joules dans le système international, est une mesure de la capacité d'un système à modifier un état, à produire un travail entraînant un mouvement, un rayonnement électromagnétique ou de la chaleur

I.2.2. Evolution de l'énergie à travers l'histoire

Les sources d'énergie exploitées au 21ème siècle commencent à être bien connues, des sources fossiles aux sources renouvelables en passant par l'énergie nucléaire. Mais derrière elles, en quoi consiste réellement l'énergie ? Quelle est sa réalité physique ? Comment les hommes se la sont-ils appropriée pour satisfaire leurs besoins ([Soutif, 2015](#))

On présente ci-après les types d'énergies à travers l'histoire :

I.2.2.1. L'énergie humaine

Le transport à dos d'homme, avec une hotte tenue par un bandeau frontal reste de rigueur en pays très accidenté, tel l'Himalaya, Les Chinois ont inventé la palanche, pièce de bois portée sur l'épaule et chargée en équilibre aux deux extrémités (Figure I.1). Ils ont également inventé la brouette à roue centrale qui permet à un homme d'en déplacer plusieurs (Soutif, 2015).



Figure I.1. Transport à dos d'homme au Népal, 2015

I.2.2.2. L'énergie de l'animale

Outre quelques animaux de trait tels que l'âne, le bœuf (Figure I.2), ou le chameau, l'éléphant, une domestication essentielle a été faite par les Indo-européens vers – 2000, celle du cheval. Initialement, cet animal n'avait pas été sélectionné pour sa force mais pour sa rapidité. Très mal attelé, par une bride autour du cou, il s'étranglait dès qu'il devait tirer, alors qu'attelé à un char léger, il apporta aux Indo-européens une arme irrésistible.

À partir de –200 environ, les Chinois améliorèrent l'attelage en utilisant la bricole de poitrail, puis, vers 800 colliers qui permettent à l'animal d'exercer toute sa force à partir de ses épaules (Soutif, 2015).



Figure I.2. Attelage de bœufs en France

I.2.2.3. L'énergie de vent

Le premier système mû par le vent est un gadget construit par Héron d'Alexandrie. Il commandait une pompe qui actionnait des instruments de musique. Le plan de la roue est devenu vertical et son axe peut être orienté face au vent grâce à une rotation de tout le moulin ou seulement du toit. Les ailes, rigides ou non, ont une orientation de l'ordre de 15 degrés sur le plan de la roue (Figure I.3). Mais pour actionner une meule horizontale, il est nécessaire d'avoir un renvoi à 90 degrés grâce à un engrenage généralement en bois, ce qui crée une perte notable d'énergie (Soutif, 2015).



Figure I.3. Moulin à vent de Daudet

I.2.2.4. L'énergie de l'eau

Où a été inventée la roue à aubes mue par un courant d'eau ? La question reste entière car ce dispositif apparaît pour la première fois dans les références disponibles à peu près au même moment tant à l'Ouest qu'à l'Est (Figure I.4)

L'ingénieur Gao développa de nombreuses applications de l'énergie hydraulique afin d'accéder aux hautes températures. Ce remplacement de l'énergie humaine par de l'énergie mécanique a certainement beaucoup comté dans l'avance de longue durée acquise par la Chine (Soutif, 2015).



Figure I.4. Moulin à eau, Mabry mill, virginie

I.2.2.5. Charbon de bois

La source de chaleur est d'abord le bois frais ou sec, puis le charbon de bois (Figure I.5) qui est obtenu par chauffage en vase clos du bois que l'on veut débarrasser des substances incombustibles. Ce produit sera essentiel jusqu'au 19^{ème} siècle. Il s'agit d'un squelette rigide de carbone pur qui permet d'atteindre des températures dépassant 1 000°C dans les fours à céramique (Soutif, 2015).

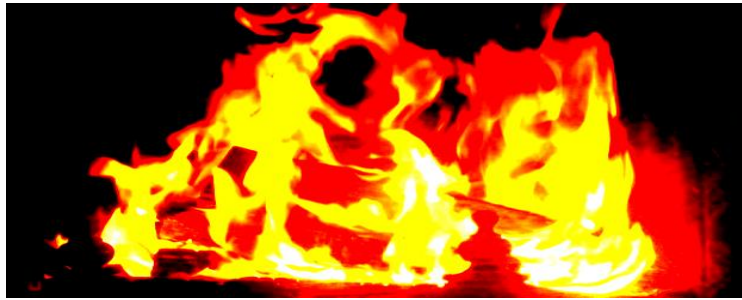


Figure I.5. Production de chaleur par combustion de charbon de bois

I.2.2.6. Watt et la machine à vapeur

Les wagonnets sur rails étant très utilisés dans les mines anglaises, George Stephenson (1781-1848) eut l'idée d'employer une machine à vapeur pour tirer des voitures sur une voie ferrée (Figure I.6), d'où la locomotive rocket mise en service en 1829 puis le chemin de fer de Liverpool à Manchester en 1830 (Soutif, 2015).



Figure I.6. Machines à vapeur

I.2.2.7. Les sources fossiles d'énergie

L'énergie dont nous disposons à l'heure actuelle sur la planète provient presque exclusivement du soleil. Seule l'énergie nucléaire trouve son origine dans la nucléosynthèse des gigantesques explosions des supernovae. La quantité des sources fossiles étant limitée et finie, elle ne manquera pas de s'épuiser puisque la synthèse du charbon et des hydrocarbures a

demandé des millions d'années. Même l'énergie nucléaire utilisée dans des réacteurs surgénérateurs finira par s'épuiser (Soutif, 2015).

I.2.2.8. Les sources renouvelables d'énergie

Ces sources proviennent du rayonnement solaire, soit directement, soit indirectement, sous la forme du vent et de la pluie. Elles ont l'immense avantage d'être inépuisables, mais deux inconvénients majeurs : celui d'être réparties à faible densité et celui d'être intermittentes... De même pour le vent, Il s'agit donc des sources complémentaires, très utiles, un avantage important des sources renouvelables est d'être aussi non polluantes (Soutif, 2015).

I.2.3. Domaine d'utilisation d'énergie

Un secteur d'utilisation de l'énergie est un regroupement conventionnel de consommateurs d'énergie pouvant servir de référence dans une analyse de la consommation énergétique. La couverture sectorielle d'un secteur peut varier d'une étude à l'autre.

Les secteurs d'utilisation de l'énergie couramment renseignés par l'Agence internationale de l'énergie sont (Figure I.7)

I.2.3.1. Le secteur industriel : la consommation énergétique de ce secteur a un taux de croissance annuel moyen de 5.86% entre 2000 et 2005 pour atteindre 3.2 million de TEP qui est augmenté à 8.0 million de TEP en 2010 (APRUE, 2007)

I.2.3.2. Le secteur des transports : le taux de croissance annuel moyen de la consommation finale de ce secteur entre 2000 et 2005 est de 4.49% pour atteindre 5.5 million TEP. En 2010 la consommation est élevée jusqu'à 11.2 million TEP (APRUE, 2007).

I.2.3.3. Le secteur résidentiel et tertiaire : la consommation énergétique est augmentée de 31.4% entre 2000 et 2005 pour atteindre 7 million TEP. Cette consommation a atteint 12.4 million TEP en 2010. Ce qui est expliqué par les efforts d'électrification et amélioration du confort des ménages en matière d'équipement et d'appareils (APRUE, 2007).

I.2.3.4. Le secteur de l'agriculture : en moyenne, les exploitations consomment 21% de fioul domestique, 19% d'électricité et irrigation, 19% d'achats d'aliments du bétail, 15% de fertilisation et 9% d'amortissement énergétique du matériel, les autres postes représentant encore 19% de l'énergie totale (ADEME, 2006).



Figure I.7. Les quatre différents secteurs d'utilisation d'énergie (transport, agriculture, résidentiel, industriel)

I.2.4. Types d'énergies – Sources énergétiques

Les énergies sont multiples et diversifiées, des énergies fossiles aux énergies renouvelables, un véritable défi énergétique et environnemental à mener par tous les pays développés et ceux en voie de développement. Les ressources énergétiques peuvent globalement être classées en deux catégories à savoir les énergies non renouvelables et renouvelables (Angioletti et Despretz, 2004).

I.2.4.1. Les énergies non renouvelables

Une énergie non renouvelable est une source d'énergie qui n'est pas inépuisable (pour l'homme), et qui ne se renouvelle pas ou qui se renouvelle mais pas en quantité suffisante. Les énergies non renouvelables peuvent être divisées en deux catégories : les énergies fossiles et l'énergie nucléaire.

A. Les énergies fossiles

Les combustibles fossiles se consomment plus vite que la nature ne les produit. Les gisements connus de ces formes d'énergies sont voués à disparaître plus ou moins rapidement. En effet, l'énergie fossile se renouvelle très lentement et est très consommée. Elle est composée principalement de :

- **Pétrole** : le pétrole, du latin *petra* et *oleum*, soit « huile de pierre » est une huile minérale naturelle utilisée comme source d'énergie.
L'exploitation du pétrole comme source d'énergie, dit fossile, est l'un des piliers de l'économie industrielle contemporaine. Dense, facilement stockable et transportable,

le pétrole fournit la quasi-totalité des carburants liquides ([Connaissance des énergies, 2021](#)).

Gaz naturel : le gaz naturel est un combustible fossile présent naturellement sous forme gazeuse dans les roches poreuses du sous-sol. Utilisé comme source d'énergie, Il est généré à partir de la sédimentation de matière organique vieille de plusieurs millions d'années ([Connaissance des énergies, 2021](#)).

Charbon : le charbon est un combustible fossile d'origine organique. Il est le résultat de la transformation de biomasse (résidus de forêts notamment) enfouie dans le sol au cours des temps géologiques .Par enfouissement, sous l'effet des pressions et des températures croissantes avec la profondeur, les végétaux ensevelis sont en effet décomposés puis transformés en une matière solide et combustible à haute teneur en carbone ([Connaissance des énergies, 2021](#)).

Le pétrole, le charbon et le gaz naturel ([Figure I.8](#)), trois énergies polluantes et non renouvelables, fournissent plus de 80 % de la consommation quotidienne mondiale d'énergie. Aujourd'hui la communauté scientifique reconnaît la responsabilité de cette consommation sur le réchauffement climatique qui risque d'avoir des effets dramatiques sur les équilibres physiques, économiques, sociaux et politiques de notre planète.



Figure I.8. Les trois combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel et charbon)

B. L'énergie nucléaire

L'énergie de fission nucléaire ([Figure I.9](#)) est un cas particulier : les gisements exploitables connus seront épuisés dans, suivant les estimations et le développement de la consommation des pays orientaux (notamment en tenant compte des futures centrales qui seront construites en Chine et en Inde), 50 ans à un siècle, ce qui classe cette énergie dans la catégorie « non renouvelable » ([Bouhdjar, 2012](#)).



Figure I.9. L'énergie nucléaire

I.2.4.2. Les énergies renouvelables

Une énergie renouvelable est une source énergétique se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humain. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le soleil (rayonnement), mais aussi la lune (marée) et la terre (énergie géothermique). Ces énergies sont alors issues de phénomènes naturels, réguliers ou constants qui les rendent inépuisables.

Soulignons que le caractère renouvelable d'une énergie dépend non seulement de la vitesse à laquelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est consommée. Le comportement des consommateurs d'énergie est donc un facteur à prendre en compte dans cette définition. Les énergies renouvelables sont également plus « propres » (moins d'émissions de CO₂, moins de pollution) que les énergies issues de sources fossiles (Robert, 2008).

Le bilan carbone des énergies renouvelables est par conséquent très faible et elles sont, contrairement aux énergies fossiles, un atout pour la transition énergétique et la lutte contre le changement climatique (ADEME, 2010).

Les principales énergies renouvelables sont (Figure I.10) :

L'énergie solaire : l'énergie solaire est l'énergie diffusée par le rayonnement du Soleil. L'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou l'énergie thermique obtenue à partir de la source énergétique primaire qu'est le rayonnement solaire (Connaissance des énergies, 2021).

Actuellement, il existe deux voies principales d'exploitation de l'énergie solaire :

- le solaire photovoltaïque qui transforme directement le rayonnement solaire en électricité.
- Le solaire thermique qui transforme directement le rayonnement en chaleur.
- **L'énergie hydraulique** : L'énergie hydraulique utilise l'énergie des cours d'eau ou des chutes pour transformer la force motrice de l'eau en électricité. L'eau, par son poids et sa vitesse, actionne une turbine et transforme l'énergie hydraulique en énergie

mécanique. La turbine entraîne à son tour une génératrice qui transforme l'énergie mécanique en électricité (Grégory, 2013).

- **L'énergie éolienne** : L'énergie éolienne est une source d'énergie qui dépend du vent. Le soleil chauffe inégalement la Terre, ce qui crée des zones de température et de pression atmosphérique différentes tout autour du globe. De ces différences de pression naissent des mouvements d'air, appelés vents. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité dans des éoliennes, appelées aussi aérogénérateurs, grâce à la force du vent (Edf, 2021).
- **L'énergie géothermique** : la géothermie utilise la chaleur naturelle émanant des nappes aquifères présentes dans le sol pour fournir un système durable de chauffage pour les bâtiments (habitations, commerces si cette énergie géothermique peut être à l'origine de chaleur, elle permet également de produire de l'électricité, moyennant l'utilisation de turbines (Grégory, 2013)

L'énergie de biomasse : la biomasse désigne l'ensemble des matières organiques pouvant se transformer en énergie. La biomasse est une réserve d'énergie considérable née de l'action du soleil grâce à la photosynthèse. Elle existe sous forme de carbone organique. Sa valorisation se fait par des procédés spécifiques selon le type de constituant (Connaissance des énergies, 2021).



Figure I.10. Les cinq énergies renouvelable (solaire, hydraulique, éolienne, géothermique et biomasse)

I.3. Consommation des énergies dans le monde en 2019

La major BP (British Petr oléum) a publié le 17 juin 2019 sa publication annuelle sur les grandes données de l'énergie dans le monde. Présentation sous forme d'infographies de quelques chiffres clés à retenir, portant sur l'année 2019(BP, 2021).

I.3.1. Consommation mondiale d'énergie

La consommation mondiale d'énergie primaire (Figure I.11) a augmenté de 1,3% en 2019 (contre 2,8% en 2018). Cette hausse de la consommation a concerné « pour les trois quarts les énergies renouvelables et le gaz naturel », indique BP. Toutefois, le pétrole reste de loin la principale source d'énergie consommée dans le monde (33,1% de la consommation mondiale d'énergie primaire en 2019), devant le charbon (27%).

Les émissions mondiales de CO₂ liées à la consommation d'énergie (Figure I.11) ont pour leur part augmenté de 0,5% en 2019 (contre 1,1% par an en moyenne au cours de la dernière décennie).

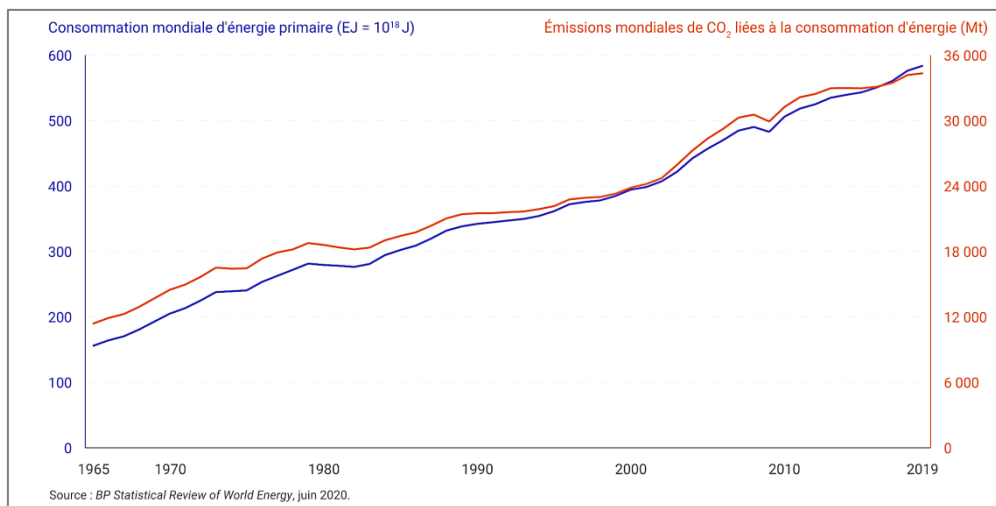


Figure I.11. Evolution de la consommation d'énergie et des émissions du CO₂ en 2019 (BP, 2021)

Au total, les énergies fossiles ont encore compté pour 84,3% du mix énergétique mondial en 2019 (contre 84,7% en 2018).

Pour que l'électrification puisse contribuer à la transition énergétique « bas carbone » au niveau mondial, la production électrique doit naturellement être elle-même décarbonée. Or, le charbon est toujours de très loin la principale source d'électricité dans le monde malgré un recul de 2,8% de la production des centrales à charbon l'an dernier : ce combustible a compté pour 36,4% de la production mondiale d'électricité en 2019.

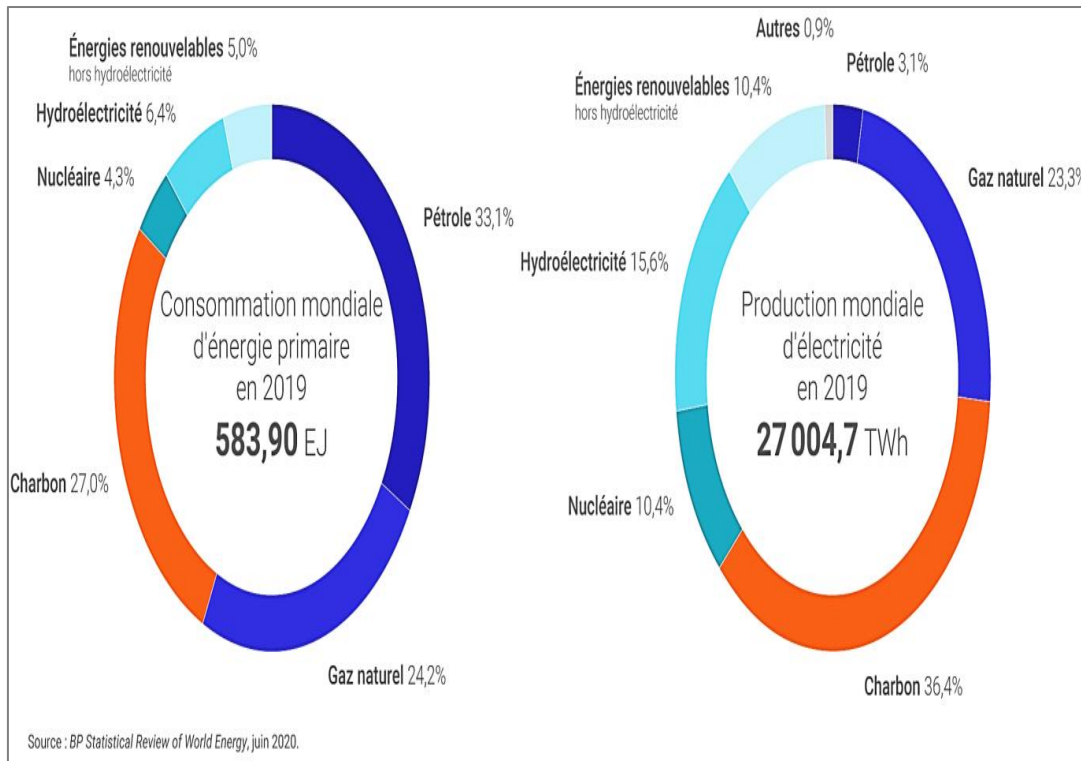


Figure I.12. Consommation d'énergie totale et production d'électricité en 2019 (BP, 2021)

I.3.2. Consommation mondiale d'énergie par grande zone géographique

Les énergies fossiles sont majoritaires dans le mix de toutes les grandes régions du monde mais il apparaît d'importantes différences d'une zone à une autre : pétrole, gaz naturel et charbon comptent par exemple pour 67,4% du mix énergétique de l'Amérique centrale et du Sud (où l'hydroélectricité a compté pour 22,3% de la consommation d'énergie primaire en 2019), 73,6% en Europe, 81,7% en Amérique du Nord et 98,8% au Moyen-Orient.

Signalons entre autres l'importance du charbon dans la zone Asie-Pacifique dont 47,5% de la consommation d'énergie primaire a reposée sur ce combustible en 2019 (contre 13,5% en Europe par exemple).

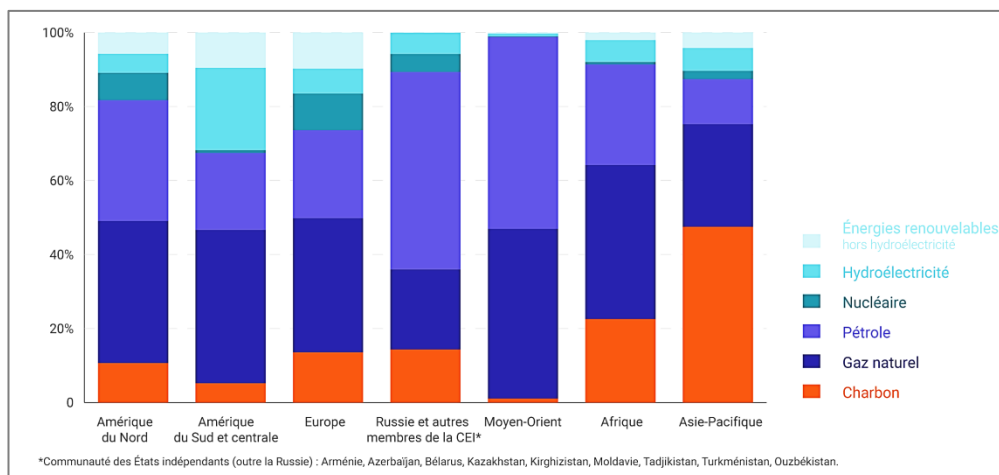


Figure I.13. Consommation d'énergie par zone en 2019 (BP, 2021)

En 2019, un Français a en moyenne consommé 30 fois plus d'énergie qu'un habitant d'Afrique de l'Est ([Connaissance des énergies, d'après BP Statistical review of World Energy](#)). Ci-dessous la consommation d'énergie par habitant en 2019.

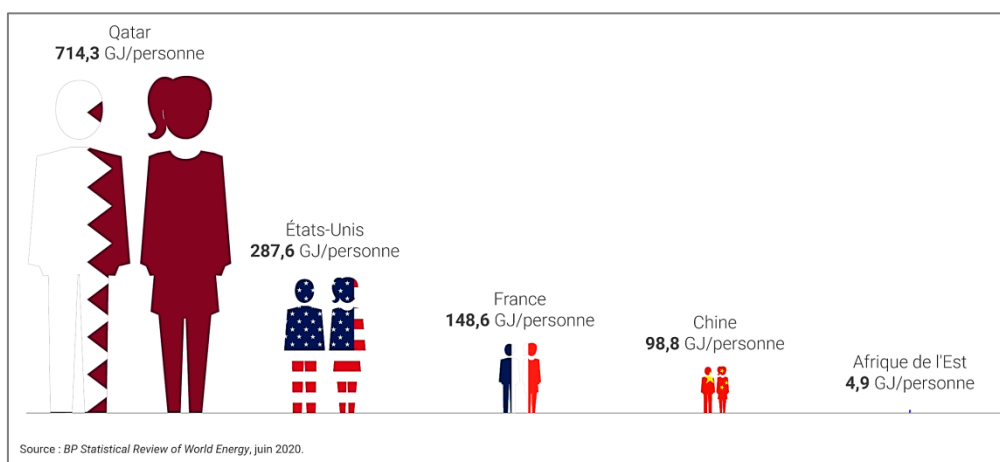


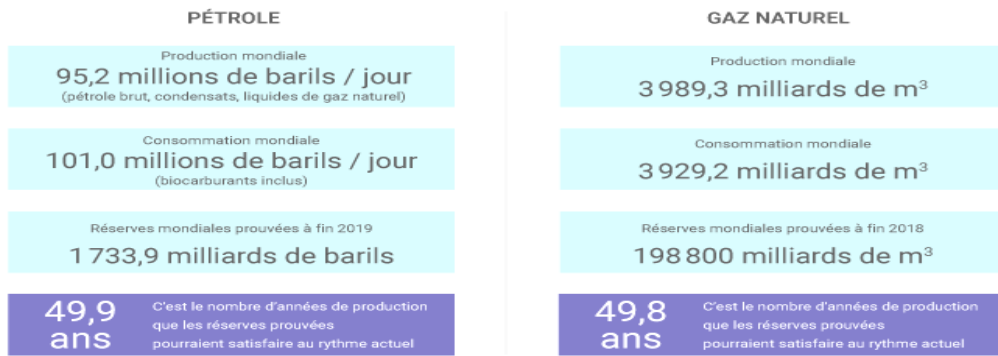
Figure I.14. Consommation d'énergie par habitant en 2019 (BP, 2021)

I.3.3. Chiffres clés du pétrole et du gaz naturel en 2019

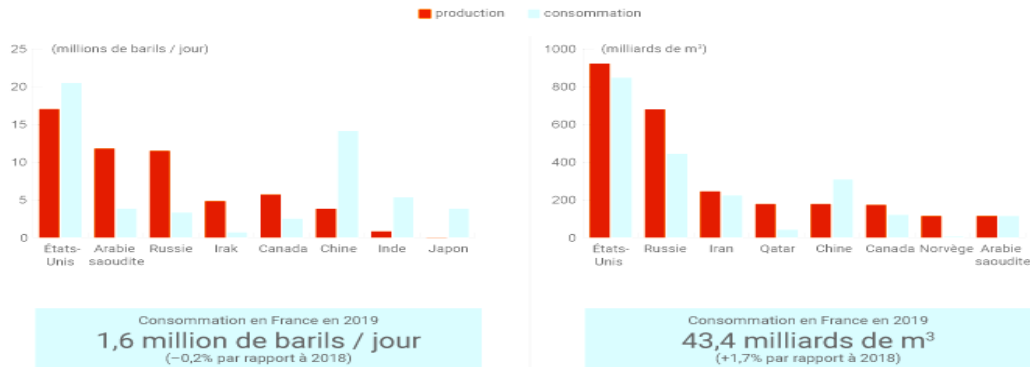
La major BP a historiquement diffusé des données particulièrement détaillées sur les hydrocarbures. Nous vous restituons ci-après les chiffres clés sur le pétrole et le gaz naturel en 2019.

Précisons par ailleurs que le BP Statistical review contient désormais également des données sur la production et la consommation d'énergies renouvelables, ainsi que sur la production des grandes ressources minérales nécessaires dans le cadre de la transition énergétique.

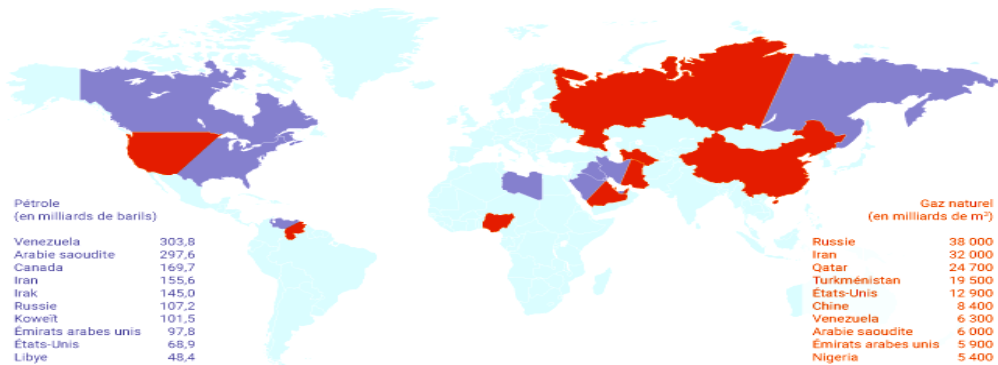
Pétrole et gaz naturel Les chiffres clés en 2019



Les principaux pays producteurs et consommateurs



Les 10 pays disposant des plus importantes réserves prouvées en pétrole et en gaz à fin 2019



© 2020 – connaissance des énergies

Source : BP Statistical Review of World Energy, juin 2020.

Figure I.15. Chiffres clés du pétrole et du gaz naturel en 2019 (BP, 2021)

I.4. L'énergie dans le secteur résidentiel

I.4.1. Besoin d'énergie dans le bâtiment

Le besoin brut du bâtiment est la quantité d'énergie nécessaire pour maintenir, pendant une période de temps donné, un climat intérieur convenable et satisfaire les prestations du bâtiment (eau chaude, cuisson, éclairage, chauffage, climatisation ...). Elle se caractérise par les différentes formes, c'est pourquoi elle est appelée « protéiforme ».

Dans le bâtiment, le maintien d'un confort thermique agréable semble s'opposer aux recherches d'économie d'énergie. D'où, on ne pourra répondre à cette apparente contradiction que par une conception "globaliste" du bâtiment. Pour ce faire, il faut posséder de bonnes notions sur les paramètres climatiques, l'inertie thermique des bâtiments et leur localisation.

Cette approche du besoin d'énergie de chauffage et de climatisation renvoie trois facteurs explicatifs (Chatrand et Lappilonne, 1977) :

- Le besoin en température ; est un besoin de climat intérieur, caractérisé par la température intérieure moyenne (qui explique principalement de façon quantitative le besoin d'énergie de chauffage ou climatisation) ce besoin en température est, un besoin « social » ;
- Les caractéristiques physiques du logement qui interviennent de façon prépondérante dans la création du besoin d'énergie sont le volume et le degré d'isolation. D'autres caractéristiques importantes telles que l'exposition au soleil, au vent, le vitrage qu'on doit prendre en considération dès la conception et l'implantation ;
- Le climat du site, qui détermine la période du besoin.

Le besoin d'énergie se traduit par la demande d'énergie finale, par exemple les besoins de chaleur pour le chauffage d'une maison donnent naissance à une demande d'électricité, du fuel-oil ou de gaz cette demande est schématisée dans (Figure I.16) :

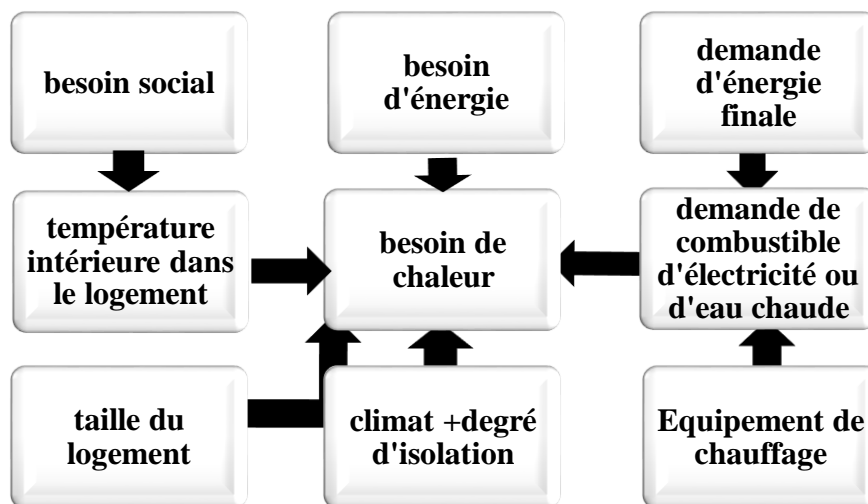


Figure I.16. Besoins d'énergies dans le cas du chauffage domestique

I.4.2. Types d'énergies renouvelables utilisées dans les bâtiments

Le renouvelable se décline en plusieurs familles telles que le solaire, l'éolien et la géothermie :

I.4.2.1. L'énergie du soleil

Les bâtiments peuvent être conçus pour tirer profit de l'action de chauffage et d'éclairage du soleil de manière à réduire la consommation d'énergie. Les techniques "passives" visent ainsi

à exploiter l'énergie solaire au moyen de grandes fenêtres, placés côtés sud dans les régions nordiques, et des murs qui stockent la chaleur.

L'énergie solaire est beaucoup utilisée pour chauffer l'eau, surtout dans les régions méditerranéennes. Un chauffe-eau solaire consiste en un panneau à travers lequel l'eau se réchauffe en circulant. Un tel système peut fournir de l'eau chaude sanitaire ou alimenter un circuit de chauffage central. À plus grande échelle, le solaire thermique a été mis en œuvre dans des réseaux de chauffage urbain. (Connaissance des énergies, 2014).

I.4.2.1.1. Le Solaire Photovoltaïque : L'énergie photovoltaïque utilise également le rayonnement solaire, mais le transforme directement en électricité. La lumière du soleil peut directement être transformée en électricité par des panneaux photovoltaïques (Figure I.17) (Connaissance des énergies, 2014).

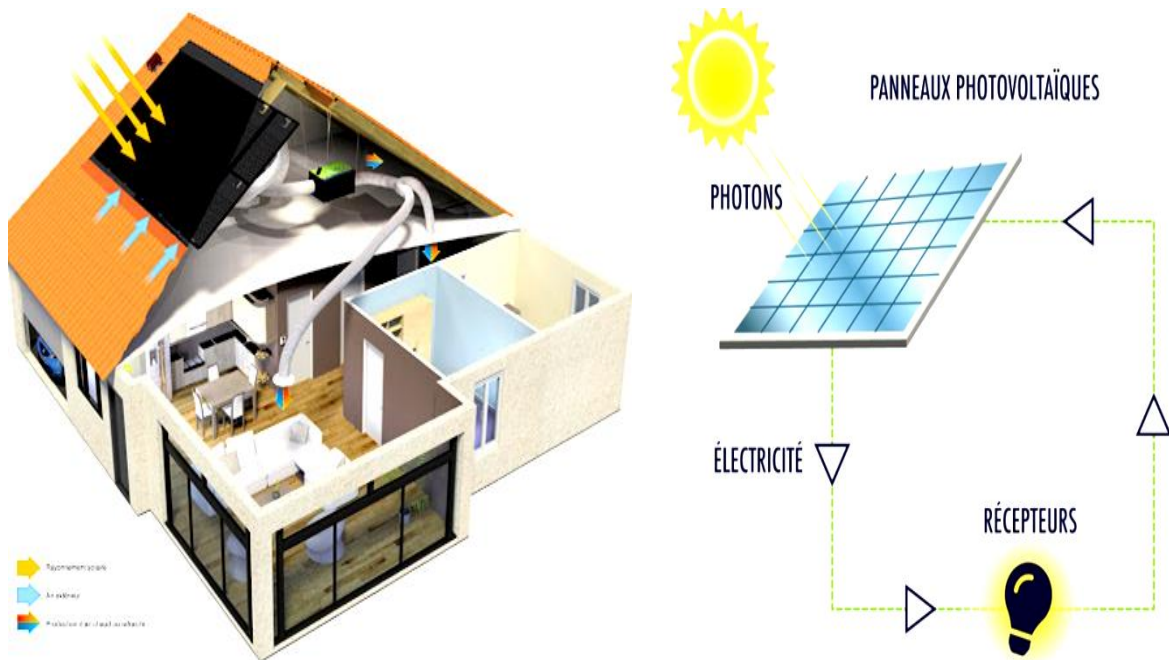


Figure I.17. Le Solaire Photovoltaïque

I.4.2.1.2. Le Solaire Thermique

L'énergie solaire thermique consiste à capter le rayonnement solaire pour élever la température d'un objet. L'emploi de l'énergie solaire thermique s'effectue directement pour chauffer de l'eau sanitaire par exemple, avec un chauffe-eau solaire, ou encore des fours solaires (Figure I.18). Les applications les plus répandues sont celles concernant le bâtiment comme la production d'eau chaude sanitaire. La conversion du rayonnement solaire en chaleur se fait grâce au capteur solaire thermique. (Connaissance des énergies, 2014).

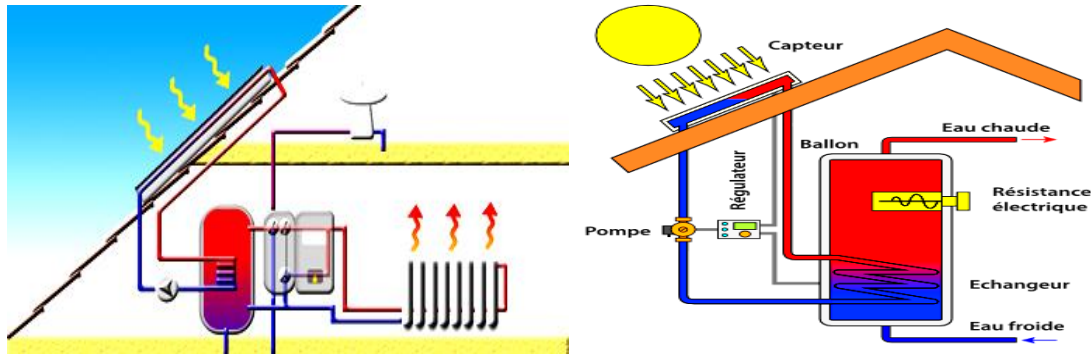


Figure I.18. Solaire thermique

I .4.2.2. L'énergie du vent (l'éolien)

Le principe de L'énergie éolienne est d'utilisation de l'énergie mécanique produite par les mouvements des différentes masses d'air et vent. Cette énergie transforme l'énergie mécanique en électricité, ou autres énergies. Des champs d'éoliennes fonctionnant comme une petite centrale (Figure I.19). Ils produisent de l'électricité qui sera consommée sur place (Connaissance des énergies, 2014).



Figure I.19. La production d'électricité par énergie du vent

I .4.2.3. L'énergie de la terre (la géothermie)

Le principe de La géothermie est d'utiliser la chaleur naturelle provenant des nappes aquifères présentes dans le sol pour fournir un système durable de chauffage pour les bâtiments (Figure I.20). Si cette énergie géothermique peut être à l'origine de chaleur, elle permet également de produire de l'électricité, moyennant l'utilisation de turbines (Connaissance des énergies ,2014)

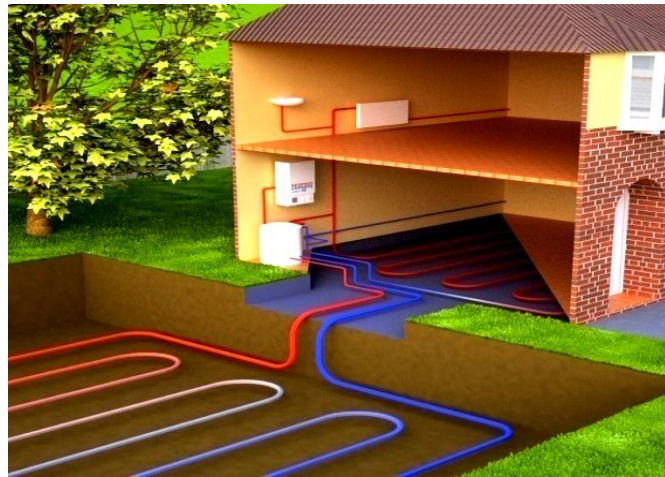


Figure I.20. Schéma d'une installation-type de géothermie

I.4.3. Consommation énergétique mondiale du secteur résidentiel :

Selon le rapport de la situation mondiale de 2017, le secteur mondial des bâtiments a consommé près de 125 EJS1 en 2016, soit 30% de la consommation totale d'énergie finale (Figure I.21), qui comprend la consommation d'énergie pour le chauffage et le refroidissement des locaux, le chauffage de l'eau, l'éclairage, la cuisson, les appareils ménagers et autres charges. (Itani et al, 2011; Gong et al, 2012; Taleb et al, 2014; Al-Khateeb et al, 2017).

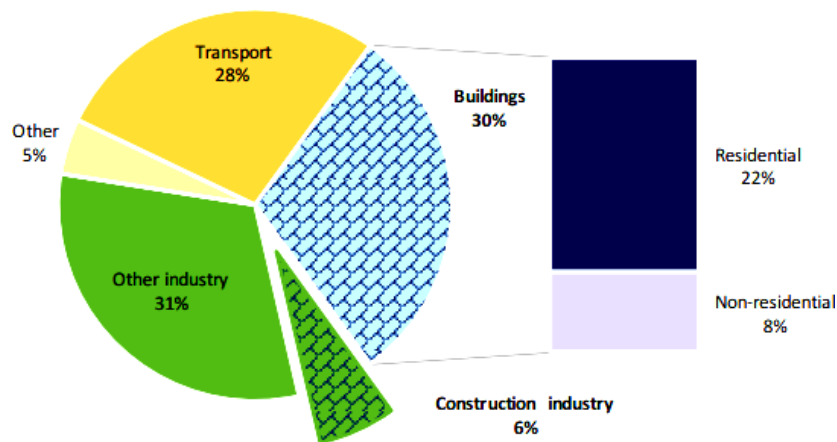


Figure I.21. Consommation d'énergie finale globale par secteur (IEA, 2017)

Compte tenu de la production d'électricité en amont, les bâtiments représentaient 28% des émissions mondiales de CO₂ liées à l'énergie (Figure I.22), les émissions directes dans les bâtiments provenant du combustible fossile représentant environ un tiers du total. La construction de bâtiments a représenté 11% des émissions de CO₂ du secteur énergétique (Itani et al, 2011; Gong et al, 2012; Taleb et al, 2014; Al-Khateeb et al, 2017).

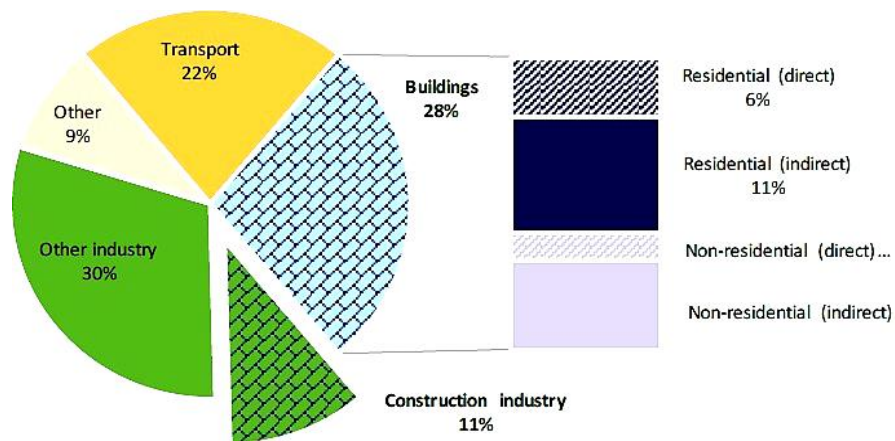


Figure I.22. Emissions mondiales de CO₂ liées à l'énergie par secteur (IEA, 2017)

I.5. Conclusion

Nous avons vu à travers ce chapitre que l'énergie est un produit vital pour toutes les activités humaines. Actuellement, le pétrole, le charbon et le gaz naturel, trois énergies polluantes et non renouvelables, fournissent la plupart de la consommation quotidienne mondiale d'énergie.

Le secteur des bâtiments est parmi les secteurs les plus grands consommateurs d'énergie il présente 28% de la consommation finale dans le monde, en conséquence, cette énergie est l'objet de nombreux usages (usages chauffage et/ou le refroidissement l'éclairage des communications ...).

Dans le deuxième chapitre nous traitons quelque notion sur la physique du bâtiment et ses déperditions thermiques ensuite les modes de transfert de chaleur dans le bâtiment, à la fin on parle sur quelques notions d'isolation thermique dans le bâtiment et son pour réduire les pertes de chaleur. Ainsi, les besoins énergétiques du foyer qui diminuent et entraînent une réduction des factures d'énergie et de la pollution due au chauffage.

Chapitre II

La thermique de bâtiment – Notions de calcul et notions d'isolation

Résumé

*D*ans ce chapitre nous avons présenté le concept de transfert de chaleur ou transfert thermique, à chaleur se propage du chaud vers le froid entre deux corps mis en contact jusqu'à atteindre un état d'équilibre. On distingue trois modes de transfert de chaleur qui peuvent être présents séparément ou ensemble tous les trois dans un phénomène donné: la conduction ou (diffusion thermique), le rayonnement thermique, la convection.

On présentait aussi le concept d'isolation thermique et leur but de réduire, voire supprimé, les échanges thermiques entre deux corps de températures différentes. Pour éliminer des déperditions de chaleur il doit utiliser des isolations thermiques afin de fournir le confort thermique.

II.1. Introduction

La thermique du bâtiment est une discipline de la thermique visant à étudier les besoins énergétiques des bâtiments. Elle aborde essentiellement les notions d’isolation thermique et de ventilation pour limiter les échanges thermiques avec l’extérieur, de fourniture d’énergie pour le chauffage et de production d’eau chaude sanitaire.

De la facture énergétique d’un bâtiment. La diminution de ces échanges thermiques sert à maintenir une température tempérée à l’intérieur du bâtiment en y apportant le moins d’énergie envisageable.

II.2. Rappels de physique du bâtiment

II.2.1. La température

La température est une grandeur physique mesurable. Elle est liée aux sensations de degré de la chaleur et de froideur (Draoui et Arradj, 2018). La température traduite à l’agitation moléculaire, conséquences des chocs entre les molécules.

L’unité de température utilisée dans la vie courante est le degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$), mais l’unité nationale est le kelvin (K), ou $T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$ (Delmas, 2007).

II.2.1.1. Champ de température $\overrightarrow{\text{grad}}(T)$

Les transferts d’énergie sont déterminés à partir de l’évolution dans l’espace et dans le temps de La température : $T = f(x, y, z, t)$. La valeur instantanée de la température en tout point de l’espace est un scalaire appelé champ de température (Yves Jannot, 2012).

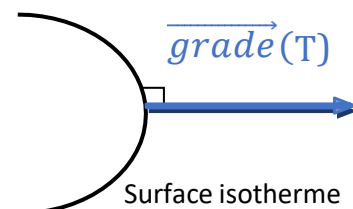
Nous distinguerons deux cas :

- Champ de température indépendante du temps : le régime est dit permanent ou stationnaire
- Évolution du champ de température avec le temps : le régime est dit variable ou transitoire (Yves Jannot, 2012).

II.2.1.2. Le gradient de température

Tous les points de l’espace qui ont la même température, définissent une surface dite surface isotherme. La variation de la température par unité de longueur est maximale le long de la normale à la surface isotherme. Cette variation est caractérisée par le gradient de température

$$\overrightarrow{\text{grad}} T = \frac{\partial n}{\partial t} \vec{n} \text{ (Yves Jannot, 2012).}$$



II.2.2. La chaleur

La chaleur (Q) = énergie cinétique d’agitation microscopique de la matière, qui est due à une agitation désordonnée de ses molécules et de ses atomes. Cette forme d’énergie se nomme énergie cinétique interne. Pour quantifier cette quantité de mouvement / cette énergie / cette quantité de chaleur, le Joule (J) est utilisé (unité dérivée du SI) (Touati ,2012).

II.2.3. La quantité de chaleur

La quantité de chaleur (Q) absorbée ou fournie par un corps passant d’une température T1 à une température T2 est donnée par la relation :

$$Q = m c (T2 - T1)$$

II.2.3.1. Chaleur massique

C’est une caractéristique physique du matériau exprimant la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de 1 kg d’un corps de 1°C, la chaleur massique est exprimée en [J/kg° C] ou [kcal/kg° C].

Quelques valeurs de C :

- Eau 4185 J/kg° C ou 1 kcal/kg° C-
- Matériaux inorganique 0.20 à 0.25 kcal/kg° C: verre, béton, brique etc. ...
- Matériaux organique 0.50 à 0.60 kcal/kg° C: bois, liège etc.
- Métaux 0.10 à 0.20 kcal/kg° C-Air 0.234 kcal/kg° C ou 1000 J/kg° C
- Vapeur d’eau 1900 J/kg° C

II.2.4. Le flux thermique

On appelle flux thermique ϕ , la puissance fournie à un système par transfert thermique. C'est la quantité d'énergie qui traverse une surface S par unité de temps (Touati ,2012).

$$\Delta = \phi \times \Delta t \quad \text{ou} \quad \phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (\text{Watts})$$

II.2.4.1. Densité de flux – flux surfacique

Le flux thermique au travers d’une surface S d’un même matériau s’exprime en fonction du flux surfacique φ . Exprimé en watt par mètre carré [W. m-2] et de la surface S exprimée en mètre carré [m²] (Touati ,2012).

$$\phi = \varphi \times S$$

II.3. Notion de déperditions thermiques

Un bâtiment mal isolé laisse s’échapper la chaleur en hiver et perd rapidement sa fraîcheur en été. Une mauvaise isolation thermique des murs peut faire perdre jusqu’à 25% de la chaleur du logement. Grâce à une isolation performante, les factures de chauffage ou de climatisation liées à ces déperditions thermiques baissent drastiquement. Ainsi, effectuer des travaux d’isolation thermique permet de réduire jusqu’à 80% les consommations d’énergie liées au chauffage (Jdidi et Benjeddou, 2016).

II.3.1. Apports énergétiques dans le bâtiment

- a) **Apports intérieurs** : le chauffage est une source importante des apports intérieurs, on prendra un soin tout particulier au rendement énergétique du système de chauffage. La respiration et le rayonnement humains, l’électroménager et le multimédia sont aussi des sources potentielles d’apport énergétique (Jdidi et Benjeddou, 2016).
- b) **Apport extérieur**: le rayonnement solaire est une source importante d’apport énergétique. Les choix de l’orientation et des menuiseries deviennent primordiaux dans la dynamique énergétique .il existe différents types d’apports solaires :
- **Les apports solaires directs** : il s’agit des rayonnements solaires qui proviennent des bords vitrés ou des fenêtres. Ceux –ci constituent une charge thermique très importante : 1, 5 m² de surface au soleil équivalant à un radiateur. Pour se prémunir de ces risques, une seule solution (les protections solaires). : (Jdidi et Benjeddou, 2016).
 - **Les apports solaires indirects** : ils correspondent les apports solaires indirects aux rayonnements qui pénètrent par les murs extérieurs et par les autres éléments constructifs du logement (pont thermique notamment) (Jdidi et Benjeddou, 2016).



Figure II.1. Apports énergétiques (intérieurs et extérieur)

II.3.2. Pertes de chaleur

Les pertes de chaleur d’un bâtiment sont en majorité due à une enveloppe inadaptée. L’enveloppe comprend les murs, les sols, le toit, les portes et les fenêtres (Figure II.2). Ces déperditions sont fonction des caractéristiques de la structure, des matériaux, de l’environnement du bâtiment (climat, effet de masque, orientation, ...). Ces déperditions sont importantes dans les bâtiments non ou mal isolés. Les déperditions thermiques possibles pour une structure passent :

- par la toiture en contact avec l'extérieur ;
- à travers les murs ;
- par le plancher bas ;
- à travers les portes et les fenêtres, par renouvellement d'air et les fuites ;
- au niveau des ponts thermiques.

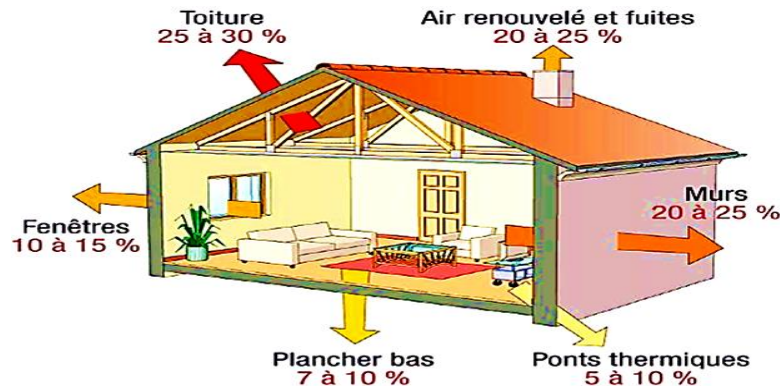


Figure II.2. Déperditions thermiques dans un bâtiment

II.3.3. Ponts thermiques

Un pont thermique est un défaut d’isolation où il existe une discontinuité de l’enveloppe isolante continue entraînant d’importantes pertes thermiques. Il représente les jonctions entre murs, mur-plancher, mur-fenêtre, poutres etc.... (Figure II.3). Un raccordement plancher-mur extérieur, une gaine de ventilation ou un cadre de fenêtre mal isolés sont des exemples à vérifier et rectifier par des techniques spécifiques de traitement. (Mansouri, 2018).

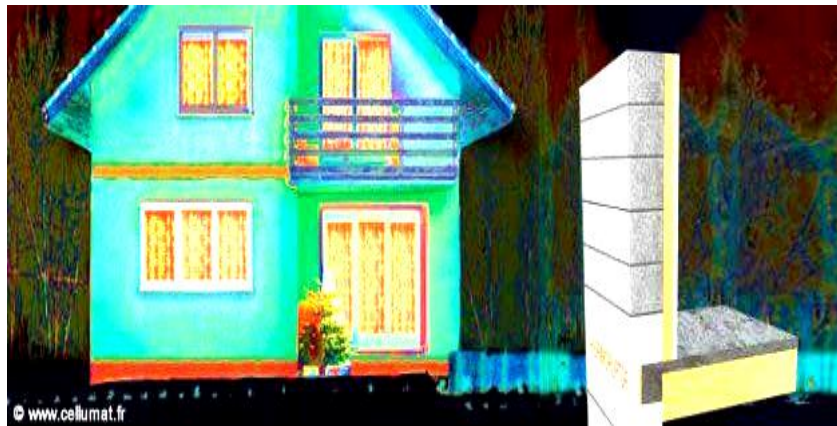


Figure II.3. Exemple sur les ponts thermiques (en orange)

II.3.4. Parois froides

Au sein d’une pièce, la température ressentie par un corps humain correspond à la moyenne entre la température de l’air de la pièce et la température de surface des parois l’entourant (Figure II.4). Si par exemple, l’air dans une pièce est en moyenne à 21°C et les parois sont à une température de 13°C, la température résultante ressentie sera de 17°C. Cela provoque une forte sensation d’inconfort thermique, l’usager procèdera systématiquement à l’augmentation des apports en chauffage pour compenser ce déséquilibre. Par contre si on isole bien les murs au contact de l’extérieur, cette température à la paroi sera plus proche de la température de l’air. Cela représentera, un gain d’énergie et un gain en facture. (Mansouri, 2018).

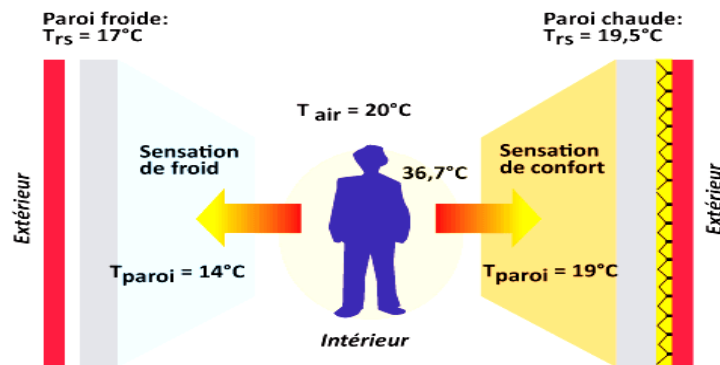


Figure II.4. Exemple sur les parois froides

II.3.5. Condensation

Qui n'a pas déjà vu de la buée sur une vitre, spécialement quand la température à l'extérieur est basse et que l'air intérieur est chauffé ?

C'est la vapeur d'eau contenue dans l'air qui se condense au contact d'une paroi à partir d'une certaine température pour un taux d'humidité donné. Si le taux d'humidité d'une pièce à 25°C est de 50% et que la température de la paroi est à 14°C, alors l'humidité va se condenser en surface sur le mur (Figure II.5). Cette condensation est déconseillée car elle dégrade les matériaux de la paroi et cause les moisissures et problèmes d'humidité qui sont dangereux pour la santé, si la paroi avait été à 20°C, il n'y aurait pas eu d'apparition de condensation (Mansouri, 2018).



Figure II.5. Exemple sur la condensation

II.4. Modes de transfert de chaleur

Il est évident que la chaleur passe toujours d'un lieu plus chaud à un lieu plus froid. La chaleur a toujours tendance, en hiver, à se déplacer des espaces de vie chauffée vers l'extérieur de la maison et vers des espaces mitoyens non chauffés, tels que les greniers, les

garages ou les sous-sols (tout espace dont la température est plus basse). En été au contraire, la chaleur se dirige de l’extérieur vers l’intérieur de la maison (Figure II.6).



Figure II.6. Différence de température et transfert de chaleur (Morel et Sounou, 2008)

Pour maintenir un certain niveau de confort, la perte de chaleur en hiver doit être compensée par un système de chauffage, tandis que la chaleur accumulée en été doit être évacuée par un système de climatisation. Une grande quantité d’énergie est ainsi gaspillée dans la majorité des bâtiments.

Les systèmes de chauffage fonctionnent généralement au gaz naturel ou à l’électricité, et la plupart des systèmes de climatisation fonctionnent à l’électricité.

La demande de chauffage des bâtiments d’habitation durant les périodes froides est ce qui consomme le plus d’énergie. Si l’on réduit la demande de chauffage grâce à une meilleure isolation, à la récupération de chaleur, à l’installation de vitrages performants, à l’utilisation d’énergie solaire passive et à d’autres mesures, le système de chauffage peut être petit à petit simplifié, et non seulement les besoins en énergie pour chauffer les bâtiments en sont alors réduits, mais la facture de chauffage et les émissions de CO₂ également (García Beltrán, et al. 2010).

II.4.1. Transfert de chaleur par conduction

C’est un mode de transfert thermique qui s’effectue par une simple interaction de molécules sans déplacement de matière (Figure II.7). En présence d’une forte température, les molécules présentes dans la zone la plus chaude vibrent et se heurtent vivement entre elles. Elles transmettent alors leur énergie aux molécules voisines qui à leur tour retransmettent cette énergie ; la chaleur est transmise.

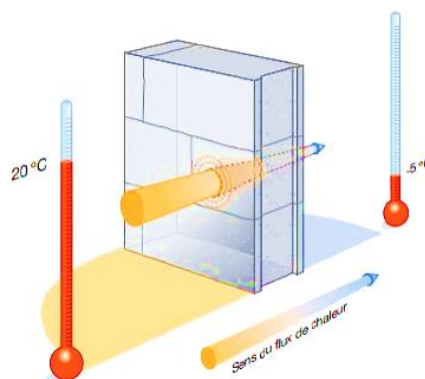


Figure II.7. Le transfert de chaleur par conduction

II.4.1.1. Définition

La conduction est un mode de transfert thermique dû à une différence de températures entre deux surfaces. La conduction s’effectue sans transfert de matières et est irréversible. Elle est

spécifique aux solides. Elle s'effectue lorsque deux systèmes de température différente sont en contact direct ou indirect (par l'intermédiaire d'un mur qui les sépare) (Abdul, 2017).

II.4.1.2. Exemple

Un barreau métallique dont l'une des extrémités est exposée à une flamme, s'échauffe progressivement (Figure II.8). La chaleur se propage de proche en proche à l'intérieur du métal. Le barreau métallique a conduit de la chaleur : cette propriété s'appelle la conduction thermique. (Chaabane ,2010)

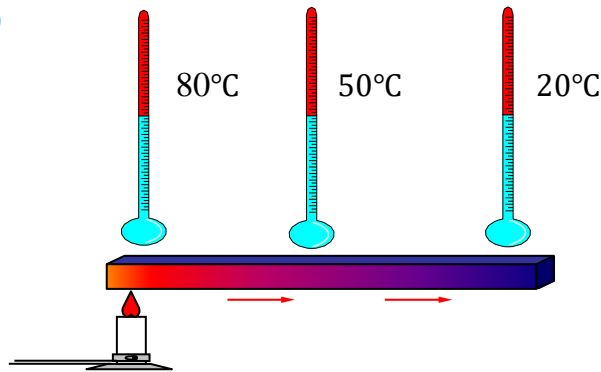


Figure II.8. Un exemple sur la conduction thermique

II.4.1.3. Expression du flux de chaleur par conduction – Loi de Fourier

La conduction thermique est un transfert thermique spontané d'une région de température élevée vers une région de température plus basse, et est décrite par la loi dite de Fourier.

$$\varphi_{cond} = -\lambda \overrightarrow{grad} T = -\lambda \nabla T = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} \quad (II.1)$$

Le flux surfacique se dirige vers le sens de décroissement de la température (circulation naturelle de la chaleur de $T \rightarrow T - \Delta T$). C'est la raison pour laquelle un signe (-) apparaît dans la relation sus-citée ;

II.4.1.4. La conductivité thermique

Le comportement des corps face à la propagation de la chaleur par conduction est caractérisé par la conductivité thermique (λ). Par définition, λ est le flux de chaleur qui traverse une paroi d'épaisseur 1m pour un écart de température entre les deux faces de celle-ci de 1°C (Moussaoui, 2019).

A partir de la loi de Fourier on peut écrire :

$$\overrightarrow{\varphi}_{cond} = -\lambda \cdot \overrightarrow{\nabla} T \Rightarrow \lambda \frac{|\varphi|}{\overrightarrow{\nabla} T} \quad (W/m.K \text{ ou bien } W/m.^{\circ}C) \quad (II.2)$$

Le signe - montre bien que la chaleur se déplace du milieu le plus chaud vers le plus froid

II.4.1.5. Propriétés de la conductivité thermique

La conductivité thermique (λ) dépend principalement de la température et de l'humidité. λ Dépend aussi de la densité c.à.d. plus un matériau est léger plus il est isolant (Moussaoui, 2019).

Ci-dessous quelques exemples de la conductivité thermique

Tableau II.1. La conductivité thermique des quelques matériaux

Matériau	λ (W.m ⁻¹ .°C ⁻¹)	Matériau	λ (W.m ⁻¹ .°C ⁻¹)
Argent	419	Amiante	0.16
Cuivre	368	Bois (feuillu-résineux)	0.12-0.23
Aluminium	204	Liège	0.044-0.049
Acier doux	45	Laine de roche	0.038-0.041
Acier inox	15	Laine de verre	0.035-0.051
Glace	1,88	Polystyrène expansé	0.036-0.047
Béton	1.4	Polyuréthane (mousse)	0.030-0.045

A. Influence de la température

Plus un matériau est à température élevée plus il devient conducteur. Généralement pour un corps solide et homogène la relation est linéaire : (Moussaoui, 2019).

$$\lambda = \lambda_0 (1 + \beta T) \quad (II.3)$$

- λ_0 : Conductivité thermique à T = 20°C ;
- β : Coefficient fonction des matériaux.

B. L’humidité (teneur en eau)

Plus un matériau est humide plus il est conducteur. Généralement la relation recommandée pour les matériaux de construction est : (Moussaoui, 2019).

$$\lambda = \lambda_0 . e^{0.08 \psi} \quad (II.4)$$

- λ_0 : Conductivité thermique du matériau à l’état sec ;
- ψ : Humidité relative du milieu (en %).

II.4.1.6. Conduction en régime permanent

En régime permanent, sans source de chaleur, isotrope et homogène :

La loi de Fourier s’écrit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dT}{dt} = 0 \\ \lambda_x = \lambda_y = \lambda_z = \lambda \\ \lambda = c^{st} \\ q = 0 \end{array} \right.$$

$$\text{Donc : } \varphi_{cond} = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx} \text{ et } \varphi_{cond} = -\lambda \cdot S \frac{dt}{dx} \quad (II.5)$$

II.4.1.7. Cas d’un mur simple homogène

A. Expression du flux thermique par conduction

On considère un mur plan homogène de section S et d’épaisseur e composé d’un matériau de conductivité thermique λ (Figure II.9). Les températures de part et d’autre du mur sont : Ti et Te avec Ti > Te (Moussaoui, 2019).

L’équation de la température en fonction de x peut s’écrire sous la forme

$$Tx = ax + B$$

Pour $x = 0 \Rightarrow T(0) = b = T_{si}$

Pour $x = e \Rightarrow T_e = a_e + T_{si} \Rightarrow T_{se} \Rightarrow a = \frac{T_{se} - T_{si}}{e}$

On remplace dans l’équation de la loi de Fourier

On obtient le flux thermique par conduction pour notre cas est égal :

$$\varphi_{cond} = \frac{\lambda}{e} (T_{se} - T_{si}) \quad \text{Et} \quad \varphi_{cond} = \frac{\lambda}{e} s (T_{se} - T_{si}) \quad (\text{II.6})$$

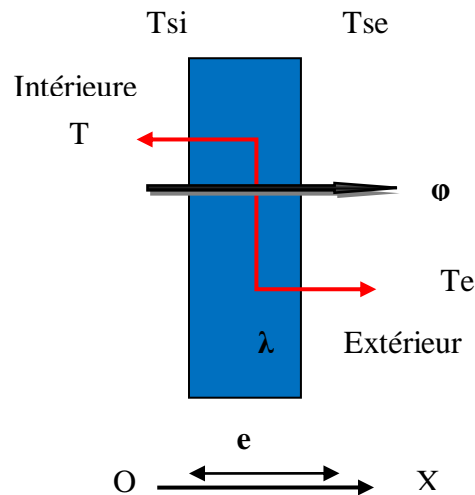


Figure II.9. Mur simple homogène

B.Expression de la résistance thermique de conduction

La résistance thermique de conduction (R_{cond}) d’un mur plan homogène est égale au rapport de la différence de la température et le flux :

$$R_{cond} = \frac{T_{si} - T_{se}}{\varphi_{cond}} = \frac{e}{\lambda} \quad \text{Ou} \quad R_{cond} = \frac{T_{si} - T_{se}}{\varphi_{cond}} = \frac{e}{\lambda} s \quad (\text{II.7})$$

II.4.1.8. Cas d’un mur composé de plusieurs matériaux (mur multicouche)

A. Expression du flux thermique par conduction

Soient λ_1, λ_2 et λ_3 les conductivités thermiques des Différents matériaux dont les épaisseurs sont respectivement e_1, e_2 et e_3 (Figure II.10) Le flux thermique par conduction à travers les quatre parois s’écrit : (Moussaoui, 2019).

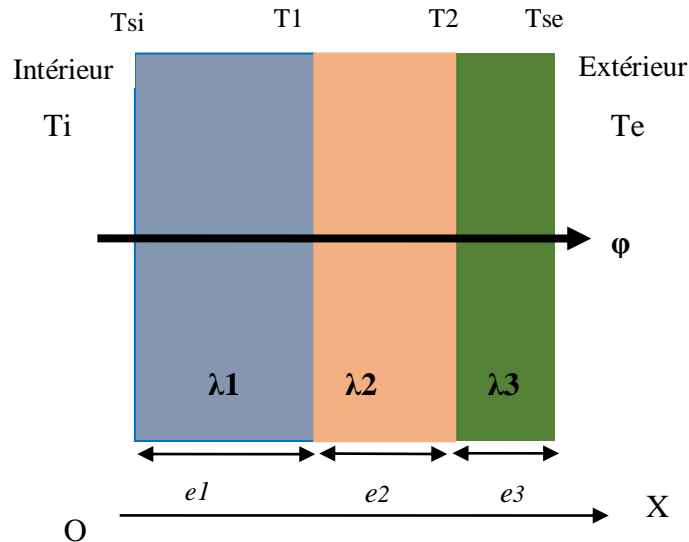


Figure II.10. Mur composé (multicouche)

Le 1^{ère} couche ($\lambda_1; e_1; T_{si}; T_1$) : $\varphi_{cond} = -\frac{\lambda}{e_1} (T_{si} - T_1) = \frac{T_{si}-T_1}{\frac{e_1}{\lambda_1}}$

Le 2^{ème} couche ($\lambda_2; e_2; T_1; T_2$) : $\varphi_{cond} = -\frac{\lambda}{e_2} (T_1 - T_2) = \frac{T_1-T_2}{\frac{e_2}{\lambda_2}}$

Le 3^{ème} couche ($\lambda_3; e_3; T_2; T_{se}$) : $\varphi_{cond} = -\frac{\lambda}{e_3} (T_2 - T_{se}) = \frac{T_2-T_{se}}{\frac{e_3}{\lambda_3}}$

Sachant que le flux de chaleur (thermique) est constant :

$$\varphi_{cond-1} = \varphi_{cond-2} = \varphi_{cond-3} = \varphi_{cond} \implies \varphi_{cond} = \frac{T_{si}-T_1}{\frac{e_1}{\lambda_1}} + \frac{T_1-T_2}{\frac{e_2}{\lambda_2}} + \frac{T_2-T_{se}}{\frac{e_3}{\lambda_3}}$$

Alors :

$$\varphi_{cond} = \frac{\frac{T_{si}-T_1}{\frac{e_1}{\lambda_1}}}{\frac{1}{e_1}} (T_{si} - T_{se}) \quad \text{et} \quad \varphi_{cond} = \frac{\frac{T_{si}-T_1}{\frac{e_1}{\lambda_1}}}{\frac{1}{e_1}} s (T_{si} - T_{se}) \quad (\text{II.8})$$

B. Expression de la résistance thermique de conduction

D’après l’expression précédente du flux, on peut écrire que :

$$\varphi_{cond} = \frac{T_{si} - T_{se}}{\frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_n}{\lambda_n}} = \left[\frac{1}{\frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_n}{\lambda_n}} \right] (T_{si} - T_{se}) = \frac{1}{R_{cond-1} + R_{cond-2} + R_{cond-n}} (T_{si} - T_{se})$$

$$\implies \varphi_{cond} = \left[\frac{1}{R_{cond-T}} \right] (T_{si} - T_{se}) \quad \text{Et} \quad \varphi_{cond} = \left[\frac{1}{R_{cond-T}} \right] s (T_{si} - T_{se}) \quad (\text{II.9})$$

Puisque les résistances sont placées en série, la résistance totale du mur :

$$R_{cond-T} = R_{cond-1} + R_{cond-2} + R_{cond-3} + R_{cond-n}$$

II.4.2. Transfert de chaleur par convection

On définit la convection comme un déplacement de chaleur au sein d'un fluide (eau et/ou air) via un déplacement d'ensemble de molécules d'un point à un autre (Figure II.11). Il y a, alors, convection lorsque les molécules se déplacent d'un endroit à un autre et échangeant la chaleur qu'elle contient. En effet, quand un fluide est chauffé, il se dilate, devient plus léger et monte. Ce fluide est alors remplacé par un fluide plus froid qui est à son tour réchauffé : une convection naturelle se met alors en place. Si un apport extérieur permet d'accélérer cette transmission de chaleur, on parle alors de convection forcée.

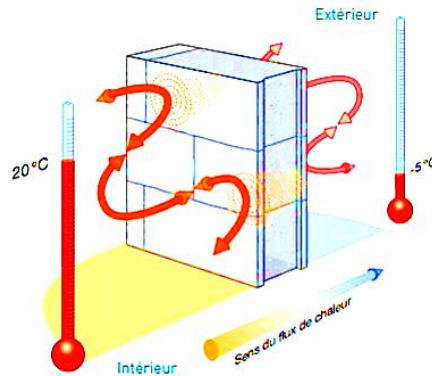


Figure II.11. Le transfert de chaleur par convection

II.4.2.1. Définition

La convection est un mode de transfert de chaleur qui met en jeu, le mouvement macroscopique de la matière. Ce phénomène se produit au sein des milieux fluides en écoulement ou entre une paroi solide et un fluide en mouvement (Sophie, 2019).

On distingue deux types de convection:

- **Convection naturelle** : dilatation par chauffage
- **Convection forcée** : ventilateur, pompe, circulateur

II.4.2.2. Expression du flux de chaleur par convection – Loi de Newton

Le flux de chaleur par convection est donné par la loi de Newton par la relation :

$$\varphi_{conv} = h_c (T_1 - T_2) \quad \text{et} \quad \varphi_{conv} = h_c \cdot S (T_1 - T_2) \quad (\text{II.10})$$

Dans le cas d'une paroi d'une construction, il existe deux coefficients de transmission thermique par Convection (Figure II.12) :

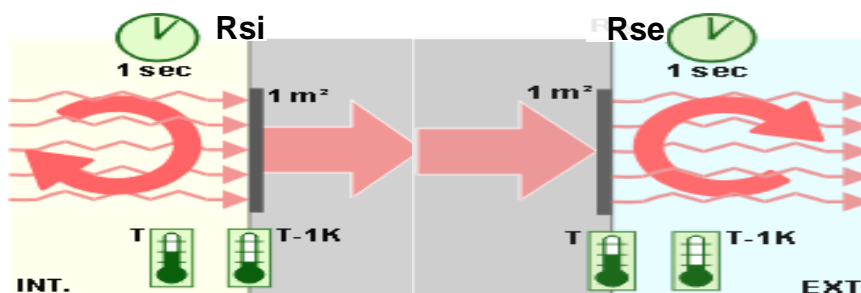


Figure II.12. Le flux de chaleur par convection

II.4.2.3. Résistance thermique de convection

On définit ainsi la résistance thermique d’échange superficiel intérieur exprimé en (m².K/W m².°C/W, (Moussaoui, 2019).

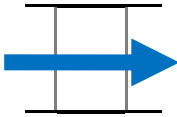
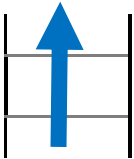
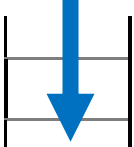
$$R_{conv-si} = \frac{1}{h_i} \quad (II.11)$$

On définit ainsi la résistance thermique d’échange superficiel extérieure exprimé en (m².K/W m².°C/W)

$$R_{conv-se} = \frac{1}{h_e} \quad (II.12)$$

On présente dans le tableau ci-dessous les coefficients des transmissions thermiques

Tableau II.2. Les coefficients des transmissions thermiques

	Paroi en contact avec l’extérieur, un passage ouvert et un local ouvert		Paroi en contact avec un autre local chauffé ou non chauffé, un comble ou un vide sanitaire	
	1/h _i	1/h _e	1/h _i	1/h _e
Paroi vertical (inclinaison ≥ 60°) Flux horizontal 	0.13	0.04	0.11	0.11
Paroi horizontal (inclinaison ≤ 60°) Flux ascendant 	0.10	0.04	0.09	0.09
Paroi horizontale (inclinaison ≤ 60°) Flux descendant 	0.17	0.04	0.17	0.17

II.4.3. Transfert de chaleur conduction – convection

A. Mur simple en contact avec deux fluides

On considère un mur en contact avec deux fluides aux températures constantes (T1 et T2) avec (T1 > T2). Entre les parois du mur et les deux fluides se produisent des échanges Thermiques par convection. Les températures niveau des surfaces de la paroi du mur sont

(Ts1 et Ts2) (Figure II.13).

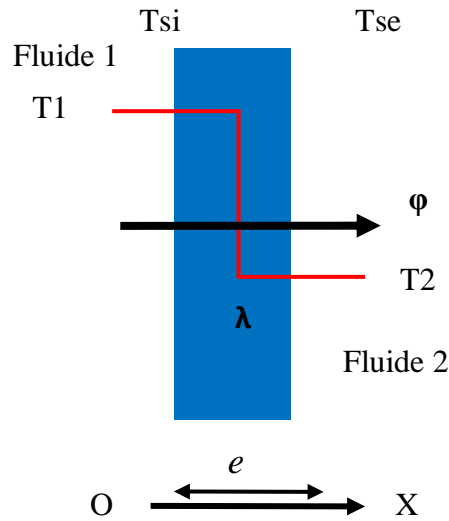


Figure II.13. Mur simple en contact avec deux fluides

Nous avons :

$$\begin{cases} \varphi_{conv-1} = h_{c1}(T_1 - T_{si}) \\ \varphi_{conv-2} = h_{c2}(T_{se} - T_2) \\ \varphi_{cond} = \frac{\lambda}{e}(T_{si} - T_{se}) \end{cases}$$

Sachant que le flux de chaleur (thermique) est constant :

$$\varphi_{conv-1} = \varphi_{conv-2} = \varphi_{cond} \Rightarrow \varphi \begin{cases} T_1 - T_{si} = \frac{1}{h_{c1}} \cdot \varphi \\ T_{si} - T_{se} = \frac{\lambda}{e} \cdot \varphi \Rightarrow T_1 - T_2 = \varphi \cdot \left[\frac{1}{h_{c1}} + \frac{\lambda}{e} + \frac{1}{h_{c2}} \right] \\ T_{se} - T_2 = \frac{1}{h_{c2}} \cdot \varphi \end{cases}$$

Ainsi : $\varphi = \frac{1}{\frac{1}{h_{c1}} + \frac{\lambda}{e} + \frac{1}{h_{c2}}} (T_1 - T_2)$ ou $\varphi = \frac{1}{R_{conv-1} + R_{cond-3} + R_{conv-2}} (T_1 - T_2)$

Et :

$$\varphi = \frac{1}{\frac{1}{h_{c1}} + \frac{\lambda}{e} + \frac{1}{h_{c2}}} s (T_1 - T_2) \quad \text{ou} \quad \varphi = \frac{1}{R_{conv-1} + R_{cond-3} + R_{conv-2}} s (T_1 - T_2) \quad (II.13)$$

B. Mur multicouche en contact avec deux fluides

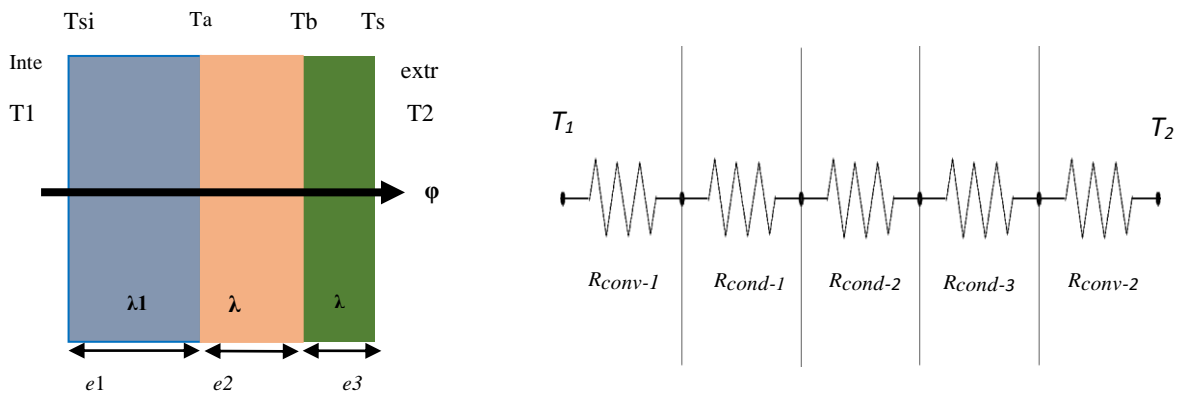


Figure II.14. Mur multicouche en contact avec deux fluides avec son Schéma électrique équivalent

En procédant avec le même raisonnement précédent on obtient :

$$\varphi = \frac{1}{\frac{1}{h_{c1}} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} + \frac{1}{h_{c2}}} (T_1 - T_2) \text{ Ou } \varphi = \frac{1}{R_{conv-1} + R_{cond-1-i} + R_{conv-3} + R_{conv-2}} (T_1 - T_2)$$

Et :

$$\varphi = \frac{1}{\frac{1}{h_{c1}} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} + \frac{1}{h_{c2}}} s (T_1 - T_2) \text{ Ou } \varphi = \frac{1}{R_{conv-1} + R_{cond-1-i} + R_{conv-3} + R_{conv-2}} s (T_1 - T_2)$$

Cas général, pour un mur à n couches

$$\varphi = \frac{1}{R_{conv-1} + \Sigma R_{cond-i} + R_{conv-2}} (T_1 - T_2) \text{ Ou } \varphi = \frac{1}{R_{conv-1} + \Sigma R_{cond-i} + R_{conv-2}} s (T_1 - T_2) \text{ (II.14)}$$

II.4.3. Transfert de chaleur par rayonnement

Ce processus de transmission d’énergie s’effectue via l’émission de rayonnements de la part d’un corps ou d’un objet en direction de son environnement (Figure II.15). En d’autres termes, le rayonnement thermique est la transmission d’énergie thermique de surface à surface par onde électromagnétiques. Tout corps d’une température supérieure au zéro absolu émet de tels rayons qui se propagent dans l’espace, y compris dans le vide. Ce transfert s’effectue entre deux surfaces séparées par de l’air ou du vide sans déplacement de molécules.

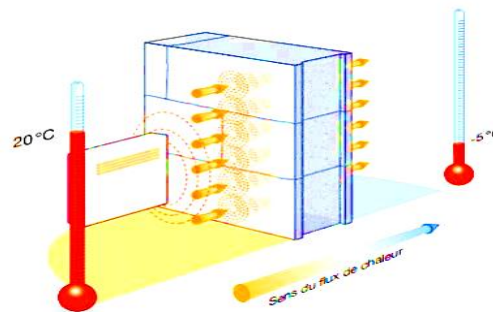


Figure II.15. Le transfert de chaleur par rayonnement

II.4.3.1. Définition

Transfert de chaleur par rayonnement entre deux corps à des températures différentes séparées par du vide ou un milieu semi-transparent se produit par l’intermédiaire d’ondes électromagnétiques, donc sans support matériel (Moussaoui, 2019).

L’échange thermique par rayonnement se fait suivant le processus :

- **émission**: il y a conversion de l’énergie fournie à la source en énergie électromagnétique ;
- **transmission** : la transmission de cette énergie électromagnétique se fait par propagation des ondes avec éventuellement absorption par le milieu traversé ;
- **réception** : à la réception, il y a conversion du rayonnement électromagnétique incident en énergie thermique (absorption).

Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Stefan.

II.4.3.2. Expression du flux de chaleur par rayonnement – Loi de Stefan

$$\varphi_{r=} \varepsilon \sigma S(T_s^4 - T_a^4) \quad \text{et} \quad \varphi_{r=} \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_a^4) \quad (\text{II.15})$$

Le tableau ci- dessous donne quelques valeurs du facteur d’émission de quelques matériaux

Tableau II.3. Les facteurs d’émission des matériaux

Matériau	Facteur d’émission (ε)
Acier inox	0.25
ciment	0.96
brique	0.75
béton	0.93
pierre	0.93
Peinture à l’huile	0.95
Peinture à aluminium	0.94
liège	0.93

II.4.3.3. Echange de chaleur par rayonnement entre deux surfaces

A. Corps noir

Un corps noir est défini comme étant une surface idéale qui absorbe tout le rayonnement qu’elle reçoit. Le soleil peut être considéré comme un corps noir dont la température de surface est proche de 5 800 K (Moussaoui, 2019).

Le facteur d’émission pour un corps noir $\varepsilon = 1$

B. Corps réel ou gris

L’émission d’un corps réel ou gris est toujours inférieure à celle du corps noir (Moussaoui, 2019).

II.4.3.4. Expression du flux de chaleur par rayonnement

Le flux transmis par rayonnement peut être calculé en introduisant un coefficient de transmission thermique par la relation suivante :

$$\varphi_r = h_r (T_1 - T_2) \quad \text{et} \quad \varphi_r = h_r S (T_1 - T_2) \quad (\text{II.16})$$

- h_r : coefficient de transmission thermique par rayonnement exprimé en (W/m².°C) et déterminé par la relation suivante :

$$h_r = 4\varepsilon\sigma T_m^3 \quad \text{et} \quad T_m = \frac{(T_1 + T_2)}{2}$$

II.5. Isolation thermique dans le bâtiment

II.5.1. Définition

II.5.1.1. Isolant thermique

Un isolant thermique est un matériau qui permet d'empêcher la chaleur ou le froid de s'échapper d'une enceinte close (Djenidi, 2016).

II.5.1.2. Isolation thermique

L’isolation thermique est une « barrière à chaleur ». Il existe des produits d’isolation adaptés à chaque situation : pour les murs, les planchers ou les plafonds, pour les fenêtres, pour l’intérieur ou l’extérieur. Elle vise à conserver la chaleur (ou la fraîcheur) à l’intérieur des espaces de vie : l’hiver, elle empêche la chaleur de s’évacuer des logements chauffés ; l’été, elle l’empêche de pénétrer à l’intérieur. Une bonne isolation augmente donc le confort, hiver comme été, et permet de faire des économies importantes de chauffage ou de climatisation (Djenidi, 2016).

II.5.2. Importance de l’isolation thermique

Un bâtiment perd une certaine quantité de la chaleur à travers son enveloppe. Ce qui oblige les usagers à consommer de l’énergie achetée pour répondre aux besoins en chauffage et en climatisation. Les pertes de chaleur par transmission sont influencées par les murs et leur composition. À cet effet le choix des matériaux de construction est très important. On choisit un isolant pour deux paramètres essentiels : (Bocquet, 2013).

- Son coefficient d’isolation (faible conductivité thermique).
- Son déphasage thermique : c’est-à-dire la capacité des matériaux de construction à ralentir les changements de température, c’est ce qu’on appelle inertie thermique utile, c’est la capacité d’un bâtiment à absorber puis à restituer la chaleur de manière diffuse. Plus l’inertie est importante, plus le matériau stockera d’énergie (Bocquet, 2013).

L’isolation thermique à trois fonctions principales dans un logement. La première consiste à augmenter le confort thermique en hiver comme en été. La deuxième est de minimiser la consommation énergétique pour le chauffage et / ou la climatisation. Alors que la troisième est de rendre l’habitat plus écologique en diminuant les pollutions liées au rejet des gaz à effet de serre dans l’atmosphère (Ferradji, 2017).

II.5.3. Rôle de l’isolation thermique

L’isolation thermique a un triple but :

- diminuer le coût du chauffage: les pertes de chaleur d'une maison sans isolation est nombreuses et importantes suivant les endroits. Il en résulte que plus votre isolation sera performante, moins élevée sera votre note de chauffage.
- Augmenter votre confort: le niveau de confort thermique d'une habitation est déterminé par la température de surface des parois et la température de l'air.
- Protéger votre patrimoine: une meilleure isolation protège en effet d'une part votre habitation neuve ou existante, contre les effets pervers des chocs thermiques successifs; et

d'autre part votre environnement grâce à la limitation de consommation d'énergie ainsi permise (J. D. Balcomb et al ,1982).

II.5.4. Types d’isolations thermiques

II.5.4.1. Isolation par l’intérieur

L’isolation thermique par l’intérieur est une technique utilisée pour renforcer la performance énergétique des murs, de la toiture (isolation des combles perdus et des combles habitables) et des planchers.

L’isolant est installé sous forme de plaques posées du côté intérieur du mur. L’isolation par l’intérieur est facile à placer, moins chère que l’isolation par extérieur. On peut faire cette technique par plusieurs isolants comme la laine minérale (Figure II.16) qui est une solution performante et économique. Cette technique est utilisée pour des travaux de rénovation, renforcement de l’isolation mais présente l’inconvénient de réduire l’espace de vie (Mansouri, 2018).



Figure II.16. Les différents types Isolation intérieure

II.5.4.2. Isolation thermique par l’extérieur

L’isolation par l’extérieur convient également pour isoler les toits, les combles et les murs. Mais c’est une solution coûteuse qui nécessite des travaux importants. L’isolation par l’extérieur est conseillée pour à la réfection des toitures ou les ravalements de façades. L’avantage principal de l’isolation par l’extérieur est de bien envelopper le bâtiment et éliminer ainsi les ponts thermiques linéiques existants notamment autour des portes, fenêtres, balcons.

Une large gamme d’isolants pour l’extérieur est disponible sur le marché (Figure II.17). Les matériaux les moins chers sont la laine de verre et la laine de roche. Par contre, les matériaux sous forme de panneaux isolants sous vide (PIV) et le verre cellulaire sont plus onéreux (Mansouri, 2018).



Figure II.17. Les différents types d’isolation extérieure

II.5.4.3. Isolation thermique intégrée

L’isolation intégrée est une isolation des murs dans leur épaisseur (Figure II.18). Elle n’est possible que pour les nouvelles constructions dès le début des travaux ou lors d’une opération de rénovation lourde, comme une extension ou une surélévation. Cette technique d’isolation permet de gagner du temps et réduire les coûts. Parmi ses autres avantages, elle permet de limiter les risques de ponts thermiques et reste une solution de construction durable puisque l’isolant n’est pas exposé aux agressions externes. Elle a la même durée de vie que les murs porteurs (Mansouri, 2018).

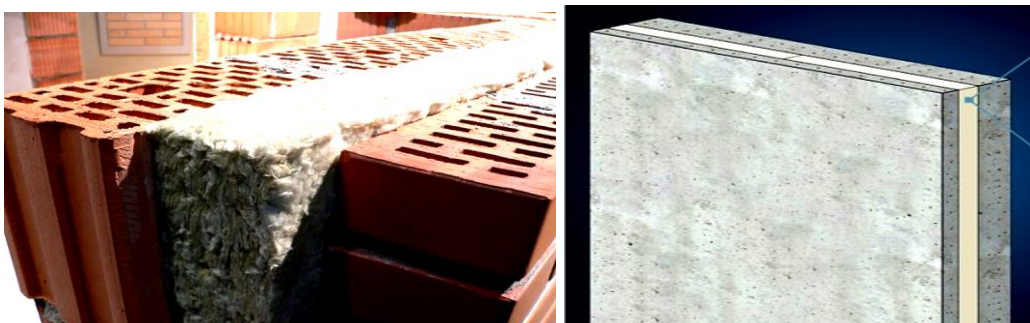


Figure II.18. Exemple sur l’isolation intégrée

Tableau II.4. Les avantages et les inconvénients de l’isolation thermique

Avantages de l’isolation thermique	Inconvénients de l’isolation thermique
L’isolation réduit les déperditions à travers les parois.	Augmente le coefficient d’occupation au sol sur le terrain
Les besoins en chauffage sont diminués	Modifie l’aspect de la maison (façades, toiture et ouvertures).
En été, l’isolation fait barrière à la chaleur et au rayonnement solaire extérieur.	Le pont thermique entre les combles et la façade reste malgré tout important.
Une bonne isolation supprime « l’effet paroi froide » en hiver. Les espaces à proximité des parois deviennent « utilisables	Ne peut pas être appliquée sur tous les bâtiments à rénover ou restaurer.
À température égale, un bâtiment isolé offre un plus grand confort.	bâtiments à rénover ou restaurer.

II.5.5. Matériaux isolants utilisés dans le bâtiment

II.5.5.1. Les différents matériaux isolants, 4 grandes familles

- **Les isolants minéraux :**(les laines minérales), Ils sont composés de matériaux recyclés et fabriqués à partir de fibres minérales liées entre elles par collage. Ces produits sont commercialisés sous forme de matelassés et panneaux.
- **Les isolants synthétiques :** le polystyrène (expansé ou extrudé) et le polyuréthane. Ces matériaux sont défavorables, ils contiennent des substances qui peuvent appauvrir la couche d’ozone et émettent des gaz toxiques en cas de combustion. Ils se présentent sous forme de panneaux.
- **Les isolants d’origine végétale et animale :** cette catégorie d’isolants sont généralement issus de sources renouvelables et un mode de production qui a une grande énergie. Il existe de nombreux isolants d’origine végétale (chanvre, Lin, coton, paille ou laine de bois), ou animale (laine de mouton, plumes de canard) plus ou moins utilisés dans l’isolation du bâtiment.

Nous avons présenté 3 familles des matériaux isolants (d’origine végétale et animale

D’origine synthétique, d’origine minérale)

Tableau II.5. Quelques matériaux isolants d’origine végétale et animale

Isolants	Les conductivités (W.m-1.°C-1)	Présentations
<p>La fibre de bois</p> 	<p>$\lambda = 0,037-0,049$</p>	<p>Disponible en : Panneaux rigides, Panneaux semi-rigides, Vrac</p> <p>Convient aux : toitures ; Dalles et planchers ; Murs ; Cloisons</p>
<p>Ouate de cellulose</p> 	<p>$\lambda = 0,038-0,043$</p>	<p>Disponible en : Panneaux, Granulés</p> <p>Convient aux : Combles perdus, Planchers- Cloisons, Faux plafonds-Ossatures bois</p>
<p>Laine de mouton</p> 	<p>$\lambda = 0,035-0,042$</p>	<p>Disponible en : Vrac, Feutre rouleaux</p>
<p>Chanvre</p> 	<p>$\lambda = 0,040-0,046$</p>	<p>Disponible en : Panneau, Rouleaux, Matelas</p> <p>Convient aux : Murs, Cloisons, Combles</p>
<p>Laine de coton</p> 	<p>$\lambda = 0,037-0,042$</p>	<p>Disponible en : Rouleaux, Plaques, Feutre, Vrac</p> <p>Convient aux : Sols, Toiture, Combles- Murs</p>

Tableau II.6. Quelques matériaux isolants minéraux



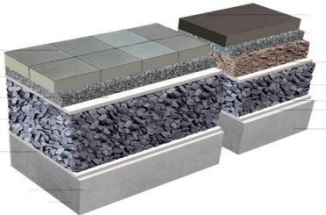


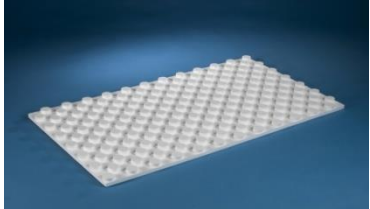


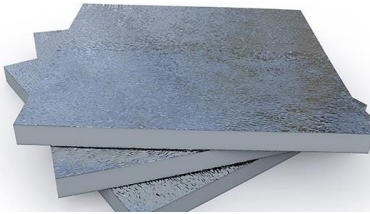

Isolants	Les conductivités (W.m-1.°C-1)	Présentations
<p>Laine de verre</p> 	<p>$\lambda = 0,030-0,040$</p>	<p>Disponible en : Panneaux, Flocons ; Rouleaux</p> <p>Convient aux : Toits, Combles, Plafonds, Murs, Cloisons</p>
<p>Laine de roche</p> 	<p>$\lambda = 0,032-0,040$</p>	<p>Disponible en : Panneaux, Flocons, Rouleaux</p> <p>Convient aux : Toits inclinés, Combles, Murs Dalles flottantes, Cloisons Ossatures métalliques</p>
<p>Verre cellulaire</p> 	<p>$\lambda = 0,038-0,055$</p>	<p>Disponible en : Panneau, Granulés, Plaques</p> <p>Convient aux : Toits plats, Murs Fondations, déconseillé pour surfaces irrégulières.</p>
<p>Perlite</p> 	<p>$\lambda = 0,060-0,080$</p>	<p>Disponible en : Panneau, Granules</p> <p>Convient aux : Plafonds, Toitures, Combles</p>
<p>Argile expansée</p> 	<p>$\lambda = 0,10-0,16$</p>	<p>Disponible en : Vrac (granulés) , Blocs de construction à base de billes</p>

Tableau II.7. Quelques matériaux isolants synthétiques

Isolants	Les conductivités (W.m-1.°C-1)	Présentations
<p>Polystyrène expansé</p> 	<p>$\lambda = 0,029-0,038$</p>	<p>Disponible en : Panneaux rigides (Vrac, Éléments découpés ou moulés)</p> <p>Convient aux : Murs (extérieur /intérieur), Sols, Toitures</p>
<p>Polystyrène extrudé</p> 	<p>$\lambda = 0,029-0,037$</p>	<p>Disponible en : Panneaux rigides</p> <p>Convient aux : Murs (extérieur/intérieur), Sols, Toitures</p>
<p>Polyuréthane</p> 	<p>$\lambda = 0,022-0,030$</p>	<p>Disponible en : Panneaux</p> <p>Convient aux : Toitures, Toit-terrasse, Sols, Murs</p>
<p>Mousse phénolique</p> 	<p>$\lambda = 0,018$ et $0,035$</p>	<p>Disponible en panneaux</p> <p>Convient aux : Toitures, Sols, Murs</p>
<p>Isolant mince</p> 	<p>$\lambda =$ En complément</p>	<p>Disponible en rouleaux</p> <p>Convient aux : Combles, Toitures</p>

II.5.6. Isolation par vitrage

II.5.6.1. Vitrage isolant

Le vitrage isolant est un vitrage thermique constitué au minimum de deux feuilles de verre simple, séparées par un espace étanche renfermant de l'air ou un autre gaz sec. L'épaisseur de cette couche d'air crée la résistance thermique du vitrage en assurant son isolation. (Murprotec, 2020).

II.5.6.2. Type de vitrage pour une bonne isolation des fenêtres

Dans une habitation mal isolée, les fenêtres sont un des premiers facteurs de perte d'énergie. Une mauvaise isolation des fenêtres peut provoquer des problèmes de condensation, une perte de chaleur, une dégradation de la qualité de l'air intérieur. L'isolation des fenêtres est donc essentielle pour éviter les problèmes d'humidité (Figure II.19) (Murprotec, 2020).



Figure II.19. Isolation par vitrage

Les différents types de vitrages :

il existe trois types de vitrage :

- Le double vitrage
- Le vitrage à isolation renforcée
- Le triple vitrage isolant

Différences entre les trois types de vitrage :

II.5.6.2.1. Le double vitrage

Le double vitrage (Figure II.20) : est un vitrage préfabriqué, généralement composé de deux vitres de 4 mm d'épaisseurs séparées de lames d'air de 12 mm ("4.12.4") (Figure II.14). En retenant l'air ou le gaz entre les deux vitres, ces dernières permettent de renforcer l'isolation thermique et/ou acoustique d'une fenêtre. Cette solution est moins performante qu'un triple vitrage mais est très efficace avec l'utilisation de vitrage à isolation renforcée (VIR) (fenetrealu, 2021).

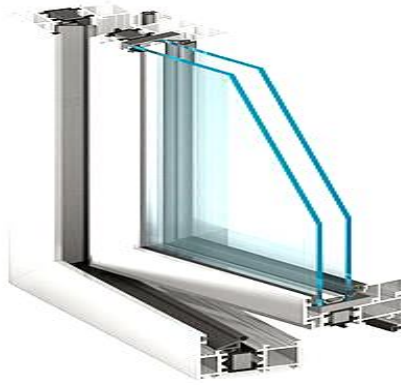


Figure II.20. Isolation d’une fenêtre a double vitrage

II.5.6.2.2. Le vitrage à isolation renforcée

Le vitrage à isolation renforcée : est un double vitrage dont l’une des faces est recouverte d’une fine couche transparente composée d’oxydes métalliques faiblement émissive (Figure II.21). Son faible coefficient de transmission thermique (U) permet à la face intérieure du vitrage d’avoir une température de surface proche de la température ambiante. Le VIR est 2 à 3 fois plus isolant qu’un double vitrage classique et 5 fois plus qu’un simple vitrage. Son autre bénéfice est de laisser rentrer la lumière. C’est le meilleur compromis pour isoler une fenêtre. (fenetrealu ,2021) .

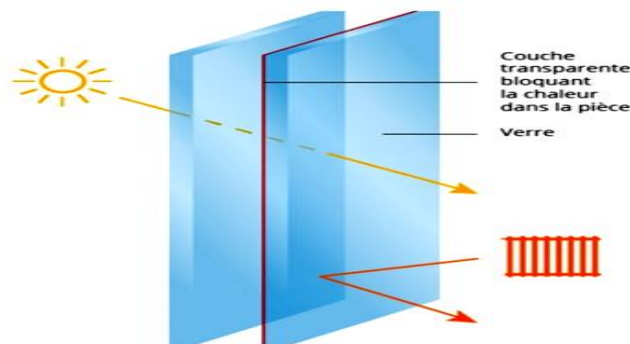


Figure II.21. vitrage à isolation renforcée

- La valeur U vous indique la quantité de chaleur que le vitrage laisse passer
- Afin de comparer au mieux les différents types de vitrage, vous devez prendre en compte la valeur U. Chaque vitrage laisse passer une certaine quantité de chaleur, la valeur U vous indique cette quantité. Plus la valeur U du vitrage est basse, plus l’isolation des fenêtres est bonne.

Les valeurs U (en moyenne) par vitrage :

- simple-vitrage : valeur U de 5,8
- double-vitrage : valeur U de 2,8
- vitrage super-isolant : valeur U de 1,1
- Triple-vitrage : valeur U de 0,6 (fenetrealu, 2021).

II.5.6.2.3. Le triple vitrage

Le triple vitrage (Figure II.22): est un bloc de trois vitres de 4 mm d'épaisseurs séparées par deux lames de 12 mm rempli de gaz argon ou krypton ("4/12/4/12/4"). Deux vitres sont recouvertes d'une couche dite "basse émissivité", proposant ainsi une solution d'isolation thermique très performante malgré un facteur solaire moins bon que celui d'un double vitrage. Pour cette raison, l'utilisation d'un triple vitrage est déconseillée dans les régions ensoleillées mais est préconisée pour une orientation nord. Des volets en aluminium seront beaucoup plus efficaces en matière de protection solaire, pour réduire les besoins de climatisation en été. (fenetreau, 2021).



Figure II.22. Le triple vitrage d'une fenêtre

II.5.6.2.4. Vitrage à haut rendement (verre HR)

Les fenêtres modernes peuvent posséder diverses caractéristiques visant à améliorer leur rendement énergétique. Ses caractéristiques comprennent un vitrage double, un intercalaire avec « bordures chaudes », présence de gaz entre les vitres (argon, krypton où mélangent des deux) et une variété d'enduits pouvant être appliqués sur le verre. Toutes ses caractéristiques ont pour but l'amélioration de la valeur U de la fenêtre et, donc, la réduction des déperditions de chaleur dues à la fenêtre. (Armstrong et al, 2008).

Le verre à haut rendement isole cinq fois mieux que le simple vitrage et de deux à trois fois mieux que le double vitrage. Résultat : moins de frais de chauffage, un plus grand confort, été comme hiver, et plus de sensation de froid à l'approche des fenêtres (Livios, 2017).

II.5.6.2.5. Enduits à faible émissivité

Un enduit à faible émissivité est une mince couche de métal appliquée sur la surface d'une vitre pour en améliorer le rendement énergétique. L'enduit réfléchit les rayons infrarouges (chaleur) à ondes larges du spectre, tout en laissant pénétrer le rayonnement solaire. De cette manière, la chaleur est réfléchiée vers l'intérieur de la maison pendant l'hiver (ou vers l'extérieur pendant l'été) et le verre demeure «transparent ». Seule une petite partie du spectre

solaire est composée de lumière visible et la manière dont les enduits à faible émissivité traitent la partie « invisible » du spectre solaire peut varier (Armstrong et al, 2008).

II.5.6.2.6. Vitrages à gain solaire élevé

Si l'on cherche à laisser passer la chaleur solaire, la couche basse émissivité sera placée sur le verre intérieur du double vitrage (en face 3). La chaleur absorbée par la vitre sera réémise vers l'intérieur (Figure II.23).

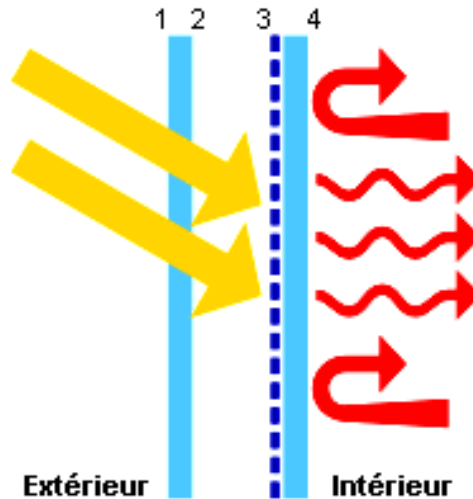


Figure II.23. Double vitrages à gain solaire élevé

II.5.6.2.7. Vitrages à gain solaire faible

Si l'on cherche au contraire à diminuer la chaleur solaire entrante, la couche basse émissivité sera placée en face 2, la chaleur absorbée par le vitrage étant alors essentiellement réémis vers l'extérieur (Figure II.24) (Armstrong et al, 2008).

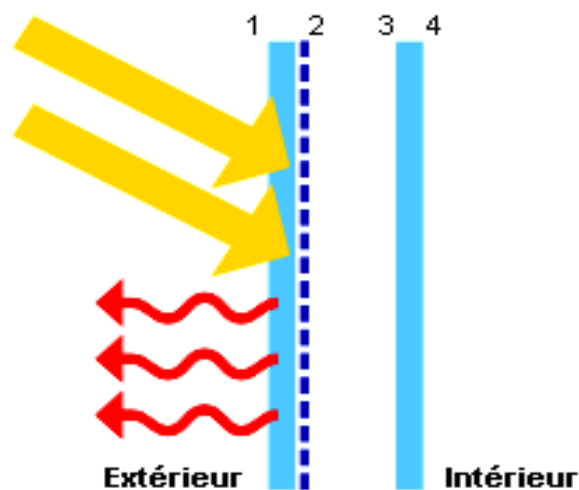


Figure II.24. Double vitrages à gain solaire faible

II.5.7. Caractéristiques principales du vitrage

Caractéristiques principales du vitrage dépendent de trois facteurs :

II.5.7.1. Le coefficient de transmission thermique U_g

La valeur U_g , exprimée en W/mK , est le coefficient de transmission thermique par conduction, par convection et par rayonnement au centre d’un vitrage r . Plus cette valeur est faible, plus l’isolation thermique du vitrage est performante et moins les besoins en chauffage sont importants (Figure II.25) (Aattache, 2018).

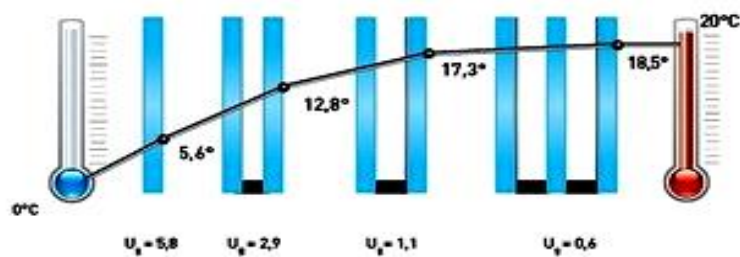


Figure II.25. Le coefficient de transmission thermique U_g

II.5.7.2. La transmission lumineuse TL

La transmission lumineuse TL, exprimée en %, correspond à la quantité de lumière naturelle qui pénètre au travers d’un vitrage (Figure II.26). Plus cette valeur est élevée, plus l’éclairage naturel est important et moins le recours à l’éclairage artificiel est nécessaire (Aattache, 2018).

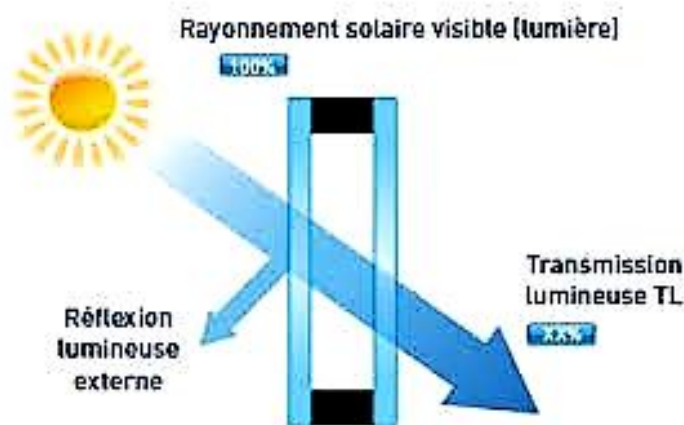


Figure II.26. La transmission lumineuse TL

II.5.7.3. Le facteur solaire g

Le facteur solaire g, exprimé en %, représente la transmission totale d’énergie solaire au travers d’un vitrage (Figure II.27). Il s’agit de la somme du rayonnement transmis directement et du rayonnement absorbé qui est réémis vers l’intérieur du bâtiment. Plus ce facteur est élevé, plus les apports solaires sont importants (Aattache, 2018).

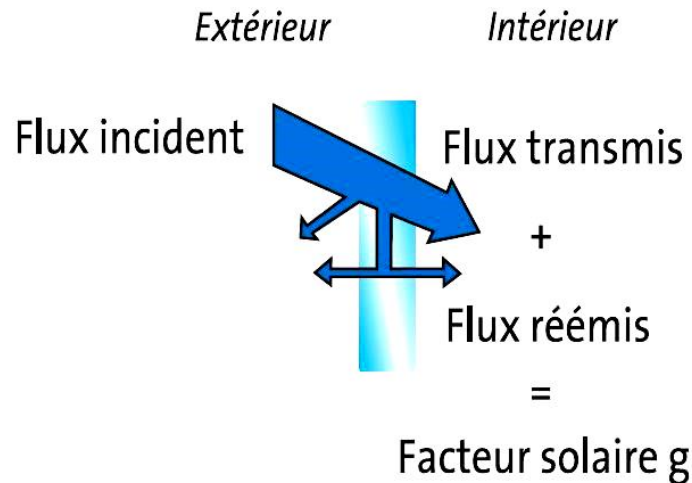


Figure II.27. Le facteur solaire g

II.5.8. Propriétés thermique

Les trois grandeurs qui caractérisent les principales propriétés du verre sont:

II.5.8.1. La chaleur spécifique (C_p exprimée en J/kg.K)

C’est la quantité de chaleur qu’il faut apporter à 1 kg de verre pour élever sa température T de 1 degré. La chaleur massique des verres dépend de la température. (Frédéric, 2007).

II.5.8.2. Le coefficient de dilatation α

Mesure l’allongement d’un échantillon de verre Pyrex: $\alpha = 3.10^{-6} \text{ K}^{-1}$, les plats en Pyrex peuvent changer de température rapidement (de 4°C à 200°C) sans que les contraintes thermiques ne les détériorent. (Frédéric, 2007).

II.5.8.3. La conductibilité thermique κ (W/m.K)

Lorsqu’un échantillon d’épaisseur L est placé entre deux surfaces de températures T1 et T2, le flux de puissance thermique entre ses bornes. (Frédéric, 2007).

Dans le verre la conduction de chaleur s’effectue principalement par la propagation de vibrations mécaniques des réseaux atomiques compris entre les deux surfaces (Frédéric, 2007).

II.6. Conclusion

D'après ce chapitre, nous avons vu quelque définition des modes de transférer thermique soit par la conduction, la convection, et par le rayonnement, et pour éviter les pertes de chaleur il doit utiliser l'isolation thermique qui est très importante pour assurer le confort thermique aussi présenter des types de matériaux isolants et leur rôle.

Les caractéristiques thermiques des matériaux se vont permettre d'augmenter ou de diminuer le flux de chaleur. L'isolation par Le vitrage est nécessaire pour emprisonner l'énergie solaire pour le chauffage en hiver et protéger l'intérieur des déperditions thermiques ou des chaleurs intensifs. L'amélioration de la qualité des vitres peut contribuer à augmenter le confort thermique.

Dans le chapitre suivant nous étudierons la consommation d'énergie en Algérie et l'énergie notamment dans le secteur résidentiel, nous examinerons quelques statistiques et les réserves d'énergies fossiles et renouvelables de l'Algérie.

Chapitre III

L'énergie en Algérie et part du secteur résidentiel – État des lieux

Résumé

*D*ans ce chapitre nous avons présenté la situation géographique sur les réserves énergétiques de l'Algérie (Réserves des énergies primaires, Réserves de pétrole, Réserves de Gaz), et potentiel les réserves des énergies renouvelables.

On présentait aussi la production des énergies en Algérie (la production d'électricité et production de gaz). Pour permettre le développement de l'utilisation du gaz naturel, plusieurs programmes ont été mis en œuvre par les pouvoirs publics à partir de 1969, qui ont permis l'alimentation de plusieurs localités.

Ces dernières années, la demande en électricité a connu une évolution importante et particulièrement en période estivale, atteignant des pics de consommation importants.

À partir de 2030, le pétrole s'épuisera pour cela le gouvernement à est également visé à organiser un programme de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique.

I.1. Introduction

L'Algérie, comme tous les pays du monde, consomme massivement de l'énergie, mais elle est dotée en ressources énergétiques conventionnelles (pétrole et gaz naturel) ou son économie dépend essentiellement de ces sources pour son développement cette partie nous permettrons, après l'analyse de la situation énergétique actuelle Algérienne et mondiale, de positionner l'Algérie dans la scène énergétique mondiale.

Notre pays développait en urgence un modèle de consommation énergétique, un modèle qui permettra de freiner la consommation d'énergies fossiles et optimisera celle des énergies renouvelables fortement disponibles dans notre pays. Elle doit passer d'une politique énergétique construite sur une énergie essentiellement fossile, polluante, abondante, et peu chère, à une politique où l'énergie est renouvelables, abondante, chère mais moins polluant, ayant pour objectif, le remplacement à terme des énergies de stock (pétrole et gaz) par les énergies de flux (éolien, solaire, hydraulique, géothermique et biomasse).

L'Algérie s'engage avec détermination sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions globales et durables aux défis environnementaux et aux problématiques de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile.

III.2. Réserves énergétiques de l'Algérie

III.2.1. Réserves des énergies primaires

L'Algérie est un pays membre de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP) et du Forum des pays exportateurs de gaz. Elle est la 3^e productrice de pétrole en Afrique derrière (Figure III.1) le Nigeria et l'Angola et le 11^e exportateur de pétrole à l'échelle mondiale et occupe la 15^e place mondiale en matière de réserves pétrolières et 18^e producteur mondial de pétrole. L'Algérie est également 1^{er} producteur africain de gaz (plus de 50 % de la production de gaz en Afrique) et classée 10^e producteur de gaz à l'échelle mondiale (AIE, 2019).

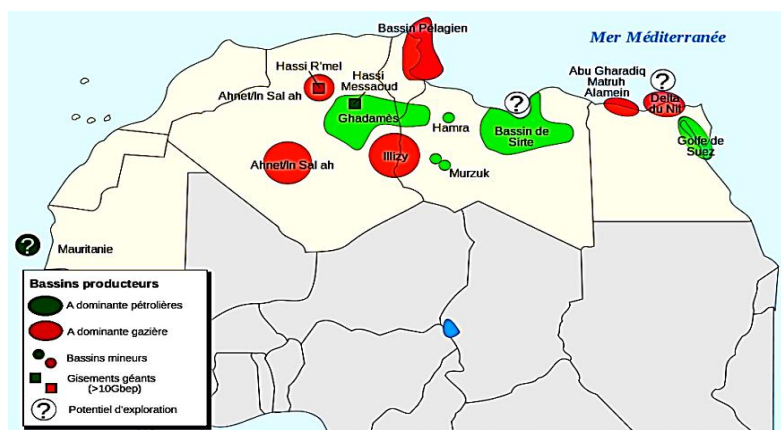


Figure III.1. Carte des régions pétrolières d'Afrique du nord

Les bassins les plus productifs d'hydrocarbures (Figure III.2) demeurent ceux de l'Oued Mya où se trouvent les gisements géants d'Hassi Messaoud et de Hassi r'mel, et de Berkine où se trouvent les gisements d'Ourhoud et Hassi Berkine Sud. Quant aux bassins du Sud-ouest, ils

Constituent un pôle d'exploration gazière relativement important, ainsi que de développement tout aussi important avec la mise en production des gisements gaziers de la région d'In Salah, et de la région d'Adrar (MEM, 2021).

Plus de deux cents gisements sont aujourd'hui reconnus. Les réservoirs sont gréseux dans leur quasi-totalité et se trouvent essentiellement dans les niveaux du Cambro-ordovicien, du Siluro-dévonien, du Carbonifère et du trias (MEM, 2021).

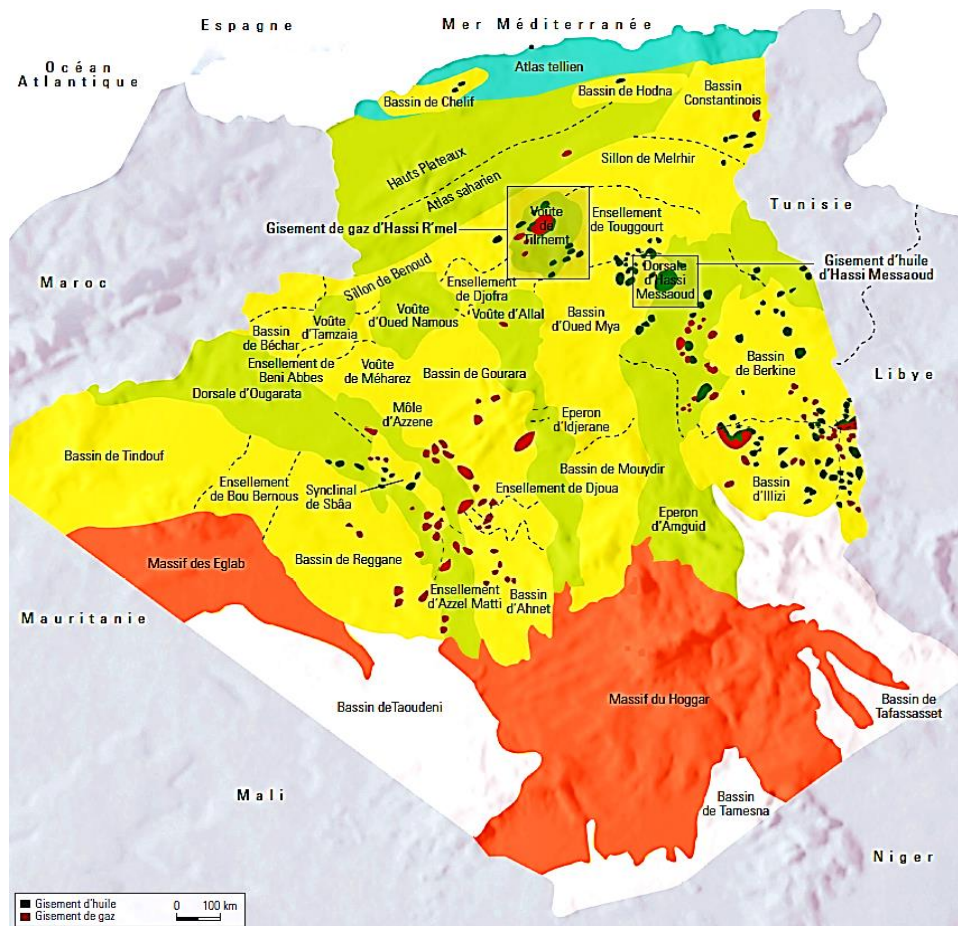


Figure III.2. Carte des bassins sédimentaires de l'Algérie

III.2.1.1. Réserves de pétrole

Les réserves prouvées de pétrole de l'Algérie (Figure III.3) étaient estimées par BP à 1,5 milliard de tonnes fin 2019 (12,2 milliards de barils), soit 22,5 années de production au rythme de 2019. Ces réserves classaient l'Algérie au 16^e rang mondial avec 0,7 % du total mondial, et au 3^e rang en Afrique derrière la Libye et le Nigeria (BP, 2019).

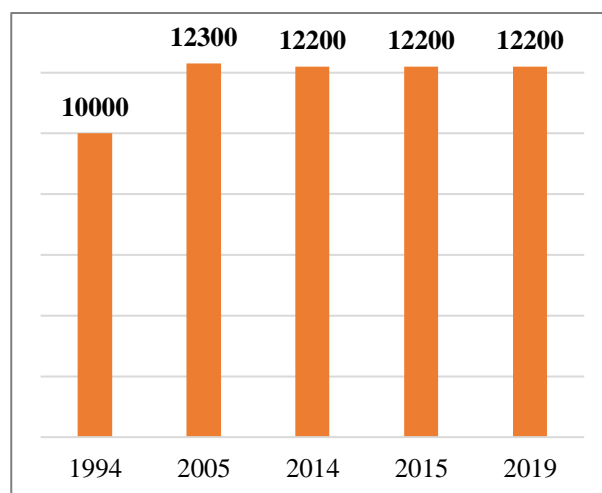


Figure III.3. Réserve de pétrole de l'Algérie (millions de barils)

En 2019, l'Algérie a produit 64,3 mt (millions de tonnes) de pétrole, soit 1,49 Mb/j (millions de barils par jour), en baisse de 1,6% en 2019 et de 17% depuis 2009. Elle se classe au 16^e rang mondial avec 1,4% de la production mondiale et au 3^e rang en Afrique derrière le Nigeria (2,3%) et l'Angola (1,5%) (BP, 2019).

III.2.1.2. Réserves de Gaz

L'Agence internationale de l'énergie (AIE, 2019) classait l'Algérie au 10^e rang mondial des producteurs de gaz naturel en 2018 avec 2,4% de la production mondiale et au 7^e rang mondial des exportateurs de gaz naturel avec 5,2% du total mondial.

Les réserves prouvées de gaz naturel de l'Algérie étaient estimées par BP à 4 300 milliards de m³ fin 2019 (153,1 trillions US de pieds cubes), soit 50 années de production au rythme de 2019. Ces réserves classaient l'Algérie au 11^e rang mondial avec 2,2 % du total mondial, et au 2^e rang en Afrique derrière le Nigeria (BP, 2019).

En 2019, l'Algérie a produit 86,2 milliards de m³ de gaz naturel, soit 3,10 EJ (exajoules), en baisse de 8,1% en 2019 mais en progression de 12% depuis 2009. Elle se classe au 10^e rang mondial avec 2,2% de la production mondiale et au 1^{er} rang en Afrique (BP, 2019).

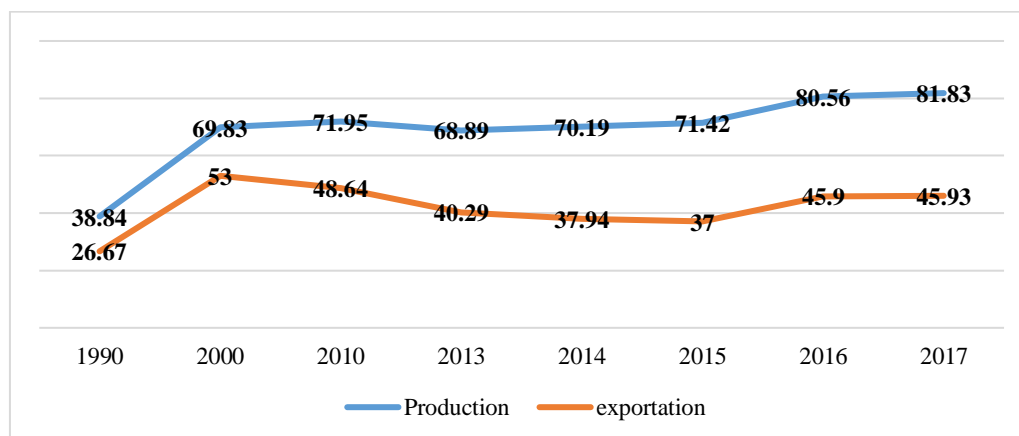


Figure III.4. Gaz naturel – production et exportations (Mtep)

III.2.2. Réserves des énergies renouvelables

III.2.2.1. Potentiel solaire

Vue de sa localisation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde (Figures III.5 et figures III.6). La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue annuellement sur une surface horizontale de 1m² soit près de 3 KWh/m² au nord et dépasse 5,6 KWh/m au Grand Sud (MEM, 2021).

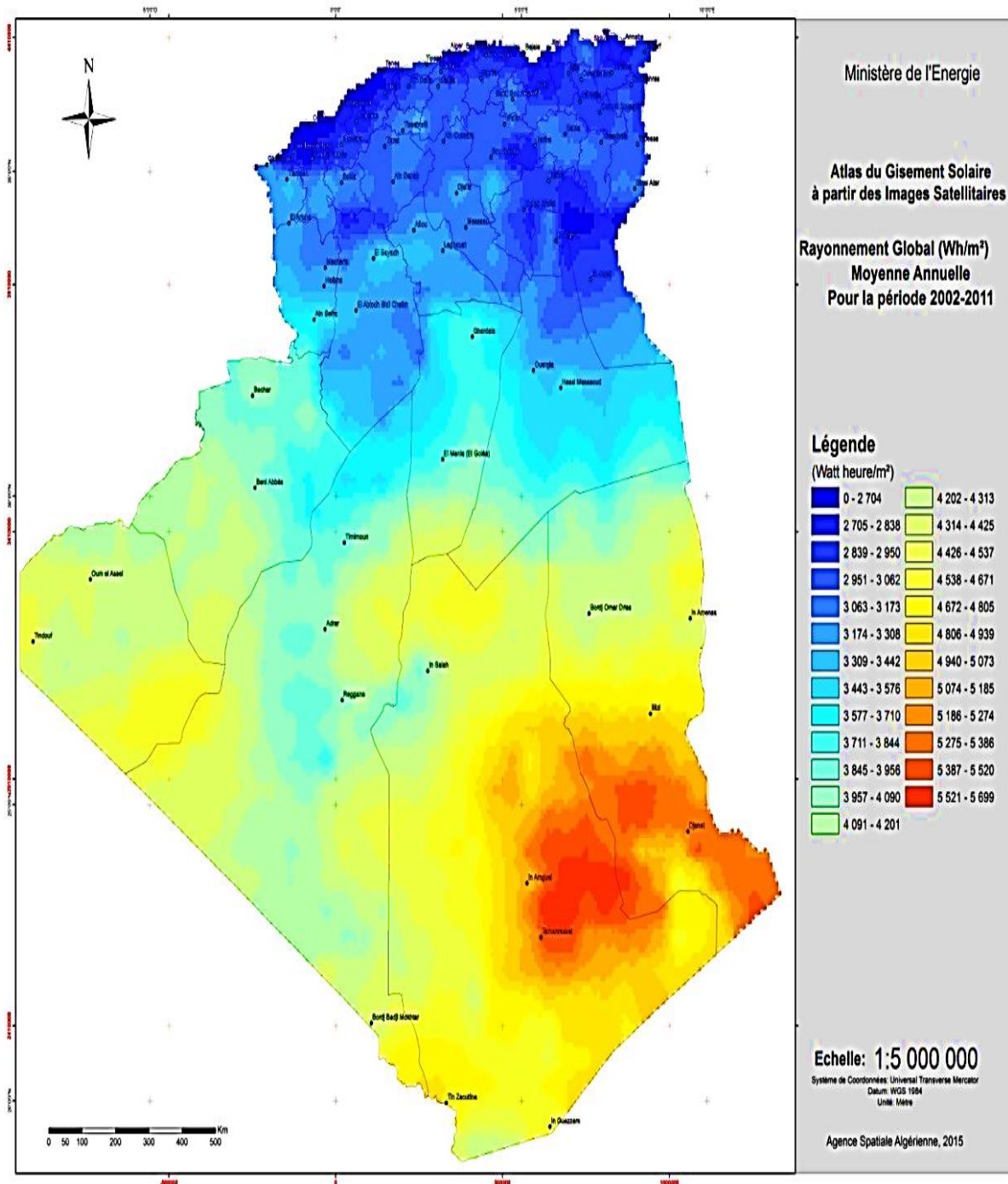


Figure III.5. Carte de l'Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011)

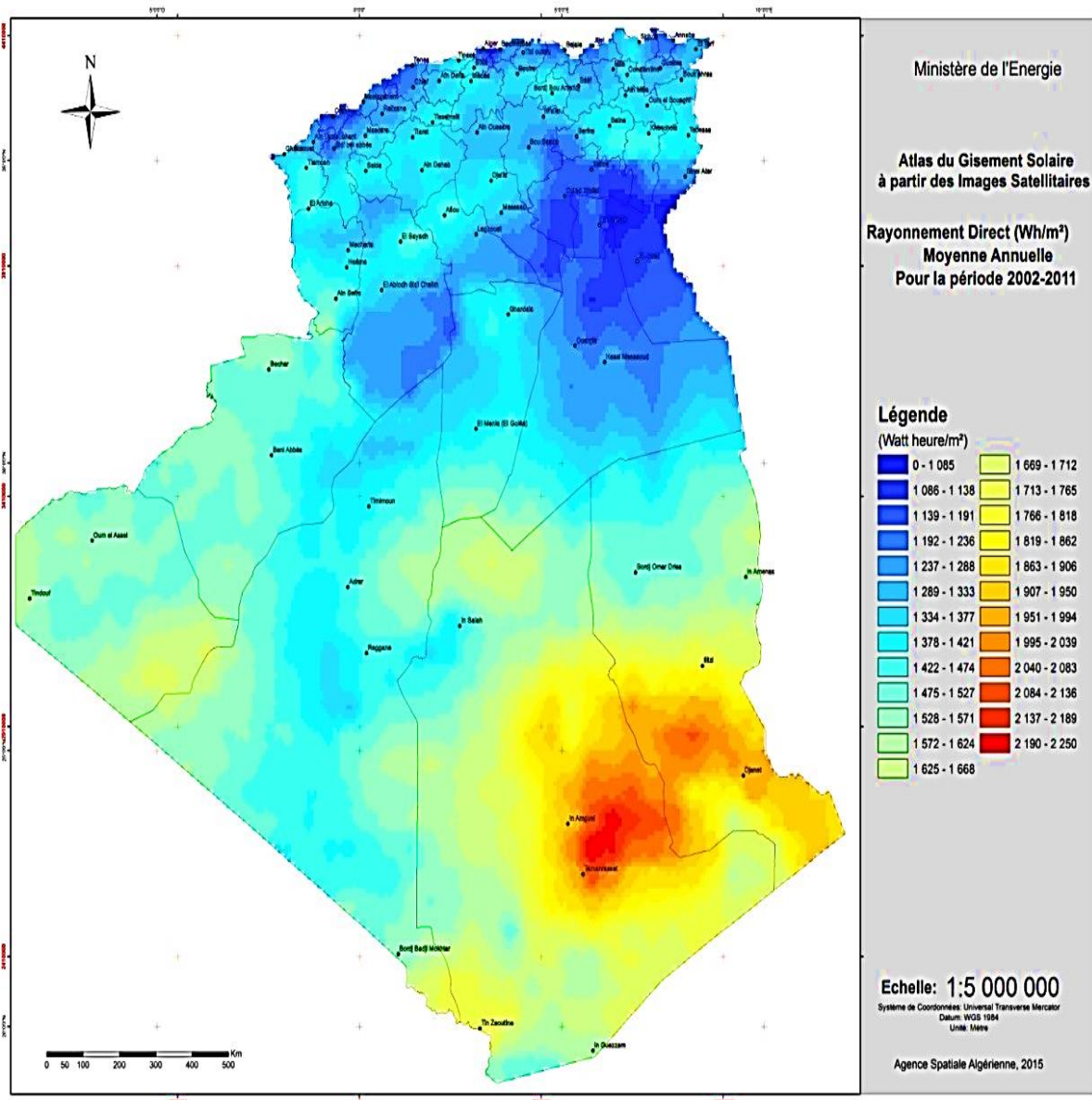


Figure III.6. Carte de l'Irradiation Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011)

III.2.2.2. Potentiel Eolien

La ressource éolienne en Algérie varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dû à une topographie et un climat très diversifiés. En effet, notre vaste pays, se subdivise en deux grandes zones géographiques distinctes. Le Nord méditerranéen qui est caractérisé, par un littoral de 1200 Km et un relief montagneux, représenté par les deux chaînes de l'Atlas tellien et l'Atlas saharien. Entre elles, s'intercalent des plaines et les hauts plateaux de climat continental. Le Sud, quant à lui, se caractérise par un climat saharien (MEM, 2021).

La carte représentée ci-dessous (Figure III.7) montre que le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement dans le sud-est, avec des vitesses supérieures à 7 m/s et qui dépasse la valeur de 8 m/s dans la région de Tamanrasset (in Amg Uel). Concernant le Nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée.

On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaia et Annaba, sur les hauts plateaux de Tébessa, Biskra, Msila et El bayadh (6 à 7 m/s) (MEM, 2021).

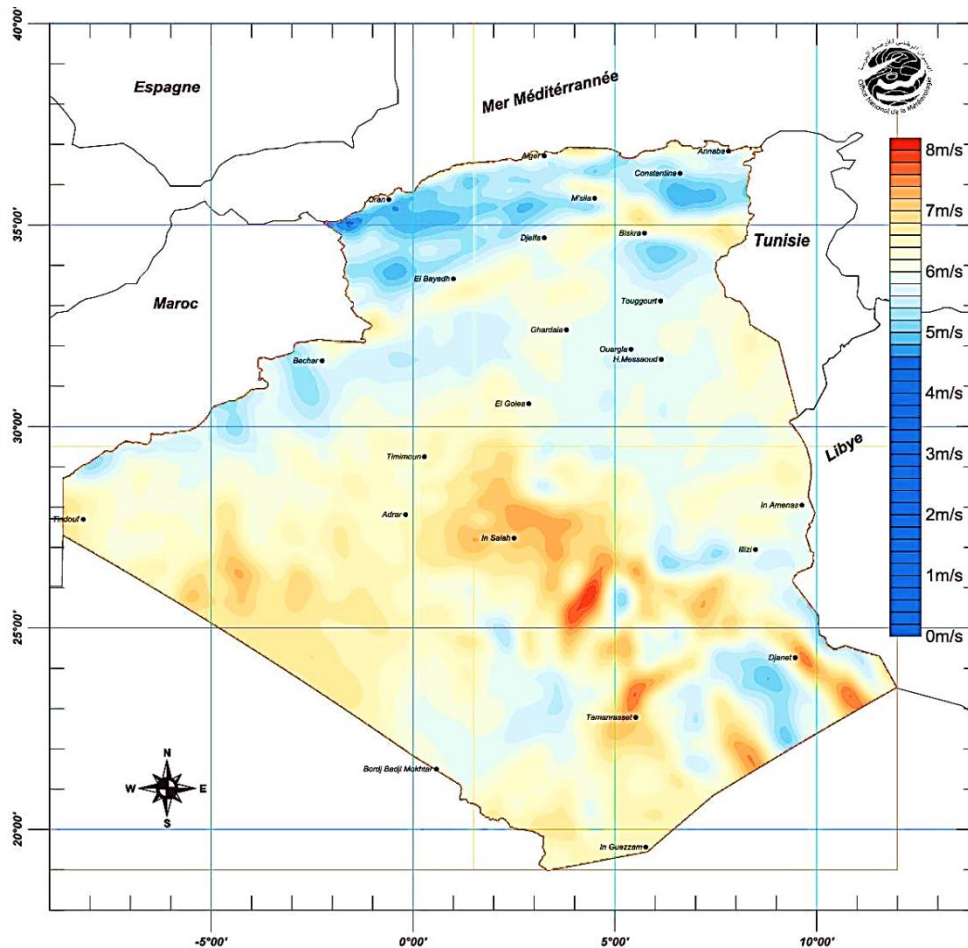


Figure III.7. Carte du vent annuel moyen à 50m (Période 2001-2010)

III.2.2.3. Potentiel de l'Énergie Géothermique

La compilation des données géologiques, géochimiques et géophysique a permis d'identifier plus de deux cents (200) sources chaudes qui ont été inventoriées dans la partie Nord du Pays. Un tiers environ (33%) d'entre elles a des températures supérieures à 45°C. Il existe des sources à hautes températures pouvant atteindre 118°C à Biskra.

Des études sur le gradient thermique ont permis d'identifier trois zones dont le gradient dépasse les 5°C/100m (MEM, 2021):

- Zone de Relizane et Mascara ;
- Zone d'Aine Boucif et Sidi Laissa ;
- Zone de Guelma et Djebel El Onk.

III.2.2.4. Potentiel Hydraulique

Les quantités globales tombant sur le territoire algérien sont importantes et estimées à 65 milliards de m³, mais finalement profitent peu au pays : nombre réduit de jours de

précipitation, concentration sur des espaces limités, forte évaporation, évacuation rapide vers la mer.

Schématiquement, les ressources de surface décroissent du nord au sud. On évalue actuellement les ressources utiles et renouvelables de l'ordre de 25 milliards de m³, dont environ 2/3 pour les ressources en surface (MEM, 2021).

III.3. Production des énergies en Algérie (Electricité et gaz)

Dans sa politique énergétique, l'Algérie a opté, dès son indépendance, pour le développement des infrastructures électriques et gazières, et l'accès de la population à l'électricité et au gaz naturel ; ces deux vecteurs constituant une priorité qui vise l'amélioration de la qualité de vie du citoyen d'une part, et de la situation économique du pays, d'autre part.

Conscient de cet enjeu, le secteur s'est fixé comme priorité de développer tous les axes permettant de garantir la couverture à long terme, des besoins en électricité et en gaz du pays, notamment par la diversification des sources d'énergie, le développement du parc de production électrique et des infrastructures de transport et de distribution de l'électricité et du gaz (MEM, 2021).

III.3.1. Production d'électricité

Ces dernières années, la demande en électricité a connu une évolution importante et particulièrement en période estivale, atteignant des pics de consommation importants. Cette forte augmentation de la demande est une conséquence directe du changement des habitudes du consommateur et l'amélioration de sa qualité de vie, ainsi que la pulsion donnée au secteur économique et industriel (MEM, 2021).

III.3.1.1. Parc de Production National

Les impératifs de préservation de l'environnement ont imposé l'utilisation du gaz naturel comme énergie primaire pour la production d'électricité, et exigent aussi de développer d'autres énergies dites propres et renouvelables comme l'énergie solaire et éolienne, dont les gisements sont disponibles et abondants dans tout le pays (MEM, 2021).

Le parc de production nationale est constitué des centrales électriques de la Société Algérienne de production de l'électricité (SPE), et de Shari ket Kahraba wa Taket Moutadjadida (SKTM), qui sont une filiale de Sonelgaz, ainsi que des sociétés en partenariat avec Sonelgaz, à savoir :

- kahrama Arzew entrée en service en 2005 ;
- Shari ket Kahraba Skikda « SKS » entrée en service en 2006 ;
- Shari ket Kahraba Berrouaghia « SKB » (Médéa) entrée en service en 2007 ;
- Shari ket Kahraba Hadjret Ennouch « SKH » entrée en service en 2009 ;
- SPP1 entrée en service en 2010 ;
- Shari ket Kahraba Terga « SKT » entrée en service en 2012 ;
- Shari ket Kahraba de Koudiet Edraouch « SKD » entrée en service en 2013 (MEM,

2021).

Le parc de production nationale est constitué des centrales électriques de la Société Algérienne de production de l'électricité (SPE), et de Shari ket Kahraba wa Taket Moutadjadida (SKTM), qui sont une filiale de Sonelgaz, ainsi que des sociétés en partenariat avec Sonelgaz, à savoir :

- **Puissance installée de production d'électricité**

Le renforcement des capacités de production, par Sonelgaz et ses sociétés filiales, a connu ces dernières années, une évolution conséquente de la puissance de production d'électricité installée, qui a atteint 19 586 MW en 2017 (MEM, 2021).

La répartition de la puissance installée par producteur et par type d'équipement pour l'année 2017 est illustrée dans les graphiques ci-après (Figure III.8) (Figure III.9) :

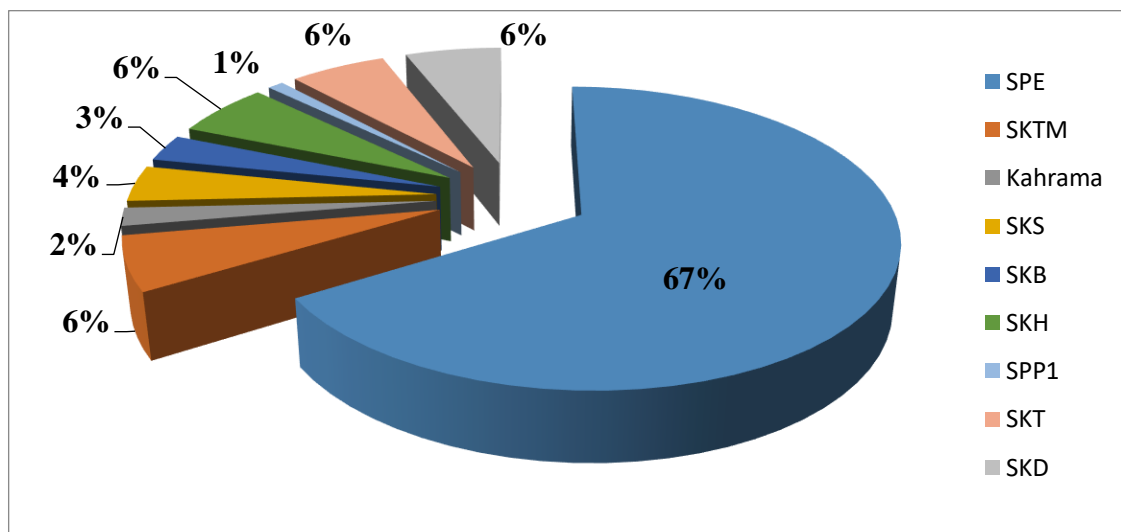


Figure III.8. Puissance installée par producteur à fin 2017

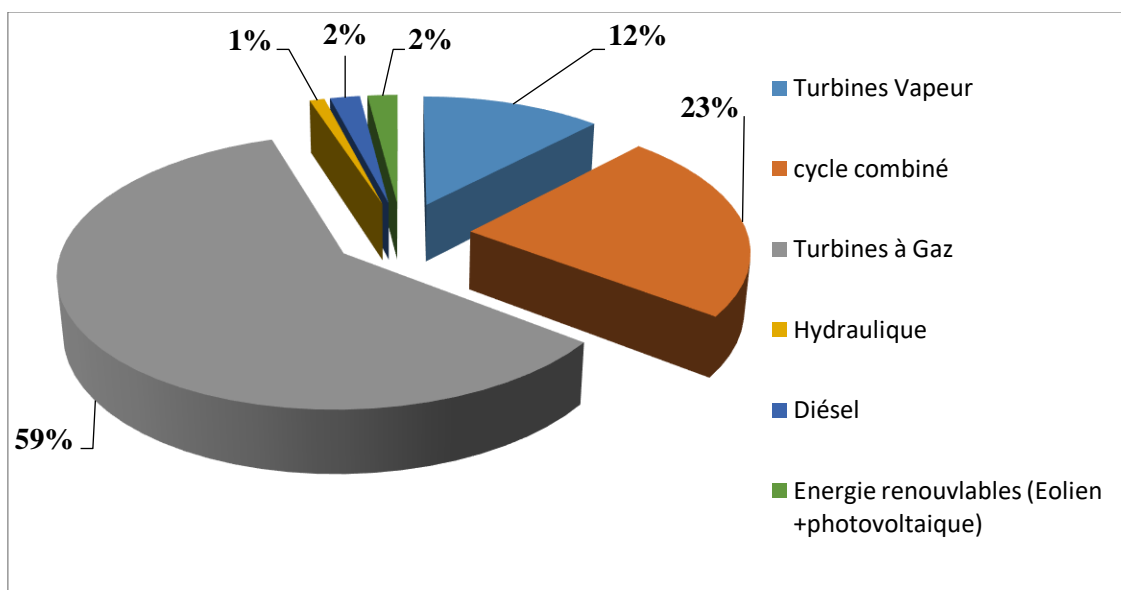


Figure III.9. Puissance installée par type d'équipement à fin 2017

III.3.1.2. Distribution de l'électricité

- **Infrastructures**

Le programme de développement en moyens de production et transport d'électricité est accompagné du renforcement du réseau de distribution (lignes MT/BT et postes), pour assurer la fiabilité de l'approvisionnement et de la distribution de l'énergie électrique et garantir une meilleure qualité de service pour les citoyens (MEM, 2021).

À fin 2017 la longueur totale du réseau national de distribution de l'électricité, a atteint 328 996 km (Figure III.10).

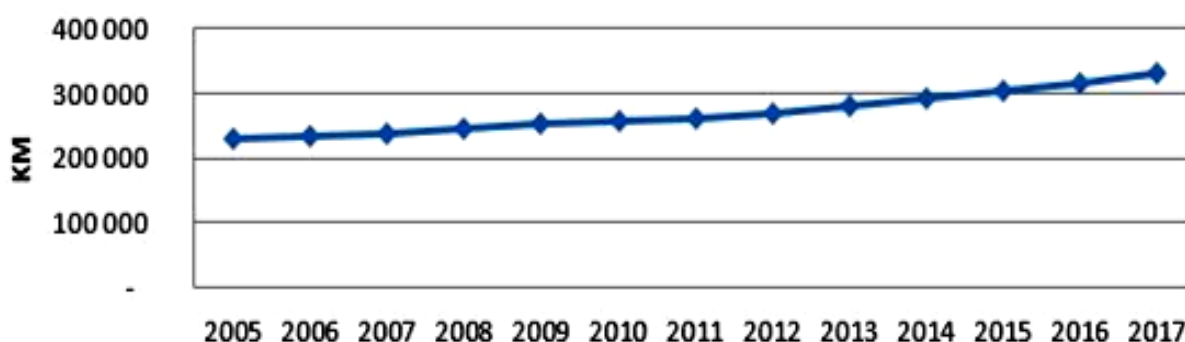


Figure III.10. Évolution de la longueur du réseau de distribution électrique 2005- 2017

III.3.2. Distribution public de gaz naturel

Pour permettre le développement de l'utilisation du gaz naturel, plusieurs programmes ont été mis en œuvre par les pouvoirs publics à partir de 1969, qui ont permis l'alimentation de plusieurs localités.

Dès l'année 1968, la distribution publique du gaz naturel a connu une croissance rapide et soutenue par des mesures volontaristes en conformité avec les décisions nationales de développement de l'économie qui visaient l'utilisation du gaz naturel dans le secteur de l'industrie et des ménages (MEM, 2021).

III.3.2.1. Les réalisations

L'abondance de cette ressource d'une part, et la politique de promotion de cette énergie d'autre part, ont favorisé la généralisation de l'utilisation du gaz (MEM, 2021).

- **Infrastructures gazières**

Les réalisations en matière d'infrastructures gazières se résument comme suit :

- **Réseau de transport gaz**

Evolution de la longueur du réseau de transport gaz

À partir de l'année 1968, l'entreprise nationale Sonatrach a développé un ensemble de conduite à grande capacité qui a permis entre autres, de concrétiser un grand programme d'alimentation du marché national en gaz naturel (MEM, 2021).

À partir de ce réseau l'entreprise Sonelgaz, chargée de la distribution du gaz sur le marché national, a développé un ensemble de canalisations de transport en haute pression pour alimenter les centrales électriques, les clients industriels haute pression et les distributions publiques en moyenne et basses pressions (MEM, 2021).

Le réseau de transport Sonelgaz a atteint 20 046 km de canalisations à fin 2017 (Figure III.11).

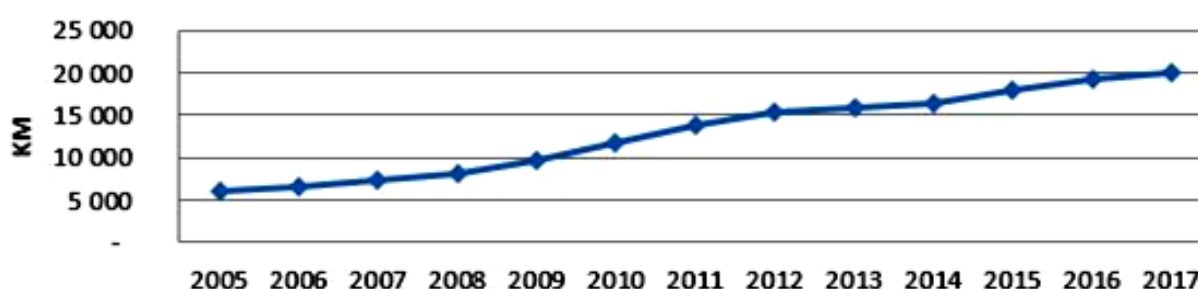


Figure III.11. Évolution de la longueur du réseau de distribution gaz 2005- 2017

A. Projets Structurants

- **Gazoduc Rocade Est - Ouest (GREO) :**

Il est important de signaler le projet de réalisation du gazoduc rocade est - Ouest (GREO), qui est un grand projet structurant (MEM, 2021).

- **Gazoducs "Illizi-Djanet" et "In Salah- Tamanrasset" :**

Deux autres ouvrages aussi importants, confiés à la Société Algérienne de gestion du réseau de transport du gaz /GRTG, filiale de Sonelgaz, ont été réalisés au niveau de la région du grand sud du pays ; ces ouvrages mis en service au mois d'avril 2018, relient respectivement Illizi à Djanet et In Salah à Tamanrasset. Il s'agit des deux ouvrages suivants :

- **Gazoduc "Illizi-Djanet" :**

La réalisation de ce projet de gazoduc, d'une longueur de 379 km en diamètre 10", est intervenue dans le cadre de l'approvisionnement en gaz naturel de la région sud-est du pays (localités situées sur l'axe Illizi – Djanet), notamment la ville de Djanet, à partir du gisement de gaz d'Asse kaifaf, situé au sud-est d'Illizi.

- **Gazoduc "In Salah - Tamanrasset" :**

La réalisation de ce projet de gazoduc "In Salah Tamanrasset", d'une longueur de 530 km en diamètre 16", est intervenue dans le cadre de l'approvisionnement en gaz naturel de la région extrême sud du pays (localités situées sur l'axe In Salah Tamanrasset), à partir du gisement

d'Akabli dans le sud-ouest. Ce gazoduc permet le raccordement en gaz naturel de la ville de Tamanrasset et des localités limitrophes (MEM, 2021).

B. Réseau de distribution publique

À fin 2017, la longueur de ce réseau a atteint 100 268 km à la faveur des programmes de distribution publique initiés par l'État (Figure III.12) (MEM, 2021).

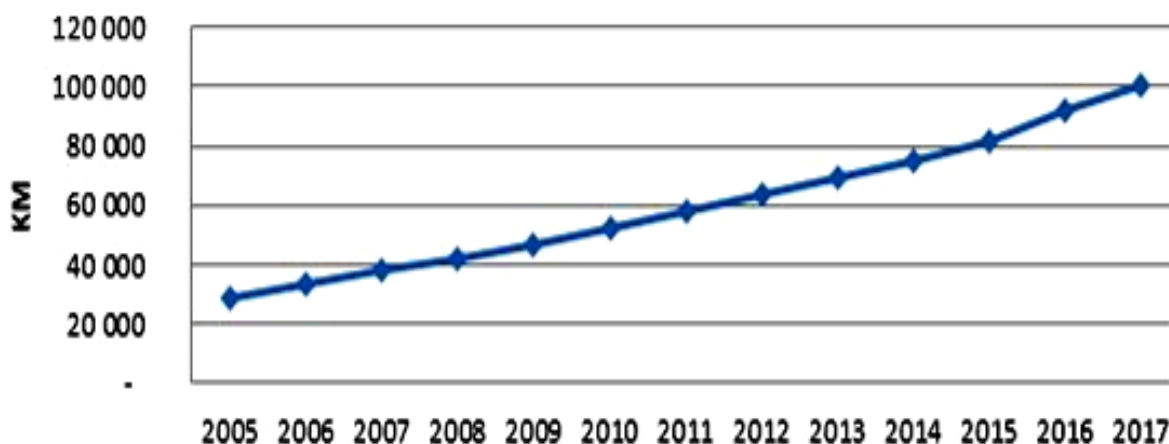


Figure III.12. Évolution de la longueur du réseau de distribution gaz 2005- 2017

III.4. Les énergies dans le secteur résidentiel en Algérie – Chiffres et indicateurs

III.4.1. La consommation finale du secteur résidentiel

La consommation électrique du secteur résidentiel a atteint 2139 k. tep. Elle représente %43 de la consommation totale d'électricité. Il a atteint 9417 k. tep en produits gazeux soit %60 de la consommation totale des produits gazeux. Il représente, de ce fait, le premier secteur grand consommateur d'énergie au niveau national soit %33.

Entre 2017-2007, la consommation d'énergie du secteur a progressé de %8.3/an. Ce sont les produits : l'électricité, le gaz naturel, le GPL, le fuel domestique qui ont contribué à cette croissance avec des TCAM respectifs de : %10.5/ans; %11/ans; %0.7-/ans; %14.3-/ans (APRUE, 2017).

III.4.2. Quelques données utiles

- Le parc construit est de 8.548.080 dont %70 urbain
- Le taux d'occupation TOL est en moyenne de 5 personnes par logement.
- Le taux d'équipement moyen d'un ménage est %75
- Le taux d'électrification nationale est de %99.
- Le taux de ménages raccordés au réseau gaz naturel est de %56

- La consommation énergétique moyenne annuelle d'un logement est 1,515 Tep/ménage; soit 3262KWh/ ménage; soit 12348 Thermie/ménage (APRUE, 2017).

III.4.3. Répartition de la consommation de secteur résidentiel par type d'énergie et par type de logements

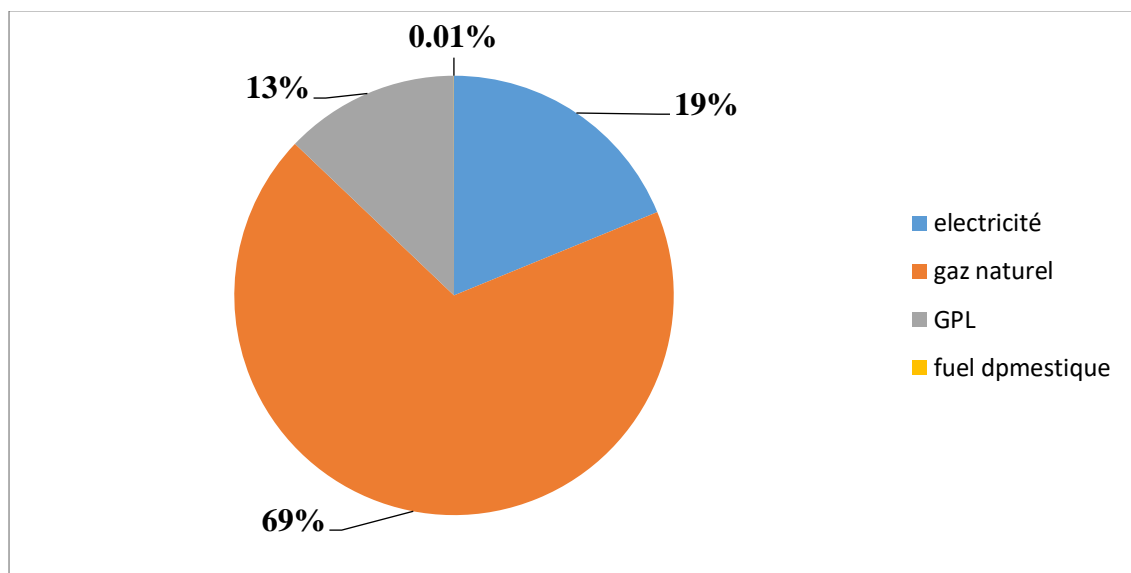


Figure III.13. Répartition de la consommation du secteur résidentiel par type d'énergie

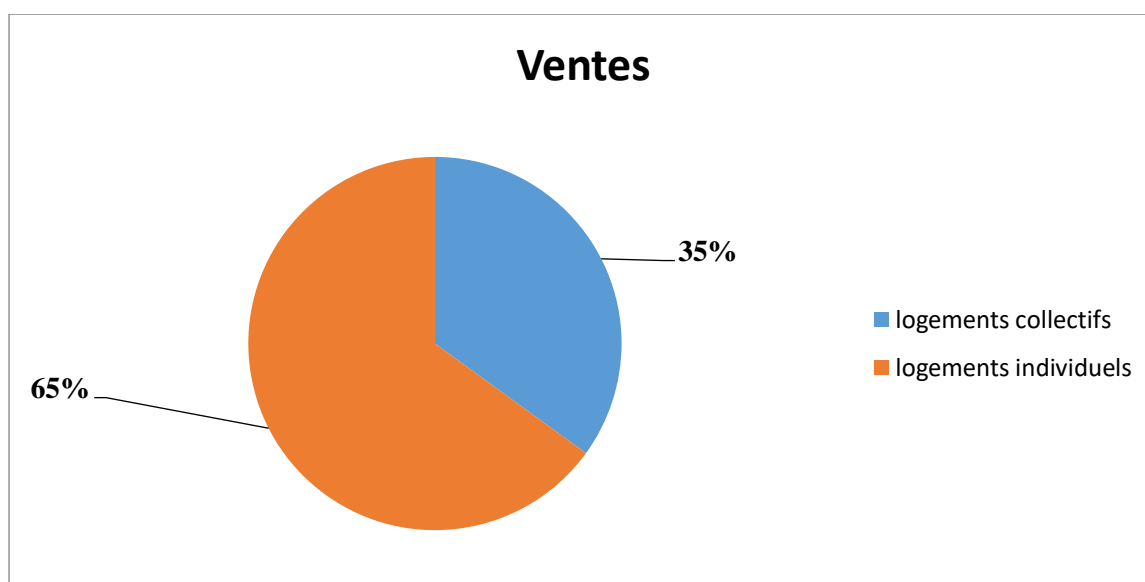


Figure III.14. Répartition de la consommation du secteur résidentiel par type de logement

III.4.4. Principaux indicateur

- A.** Les émissions directes dues à l'énergie finale consommée sont de 95 Millions de TCO₂ soit:
- un niveau d'émissions par habitant de 2.263 TCO₂
 - un niveau d'émissions par Tep consommée 2.7 TCO₂
 - un niveau d'émissions par MDA produit de 15 TCO₂ (APRUE, 2017)
- B.** Les émissions directes dues à l'énergie primaire consommée sont de 160 Millions de TCO₂ soit (APRUE, 2017):
- un niveau d'émissions par habitant de 4.236 TCO₂
 - un niveau d'émissions par Tep consommée 3.1 TCO₂
 - un niveau d'émissions par MDA produit de 24 TCO₂ (APRUE, 2017).

III.5. Programme de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique du gouvernement

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables (EnR) et d'efficacité énergétique. Cette vision du gouvernement algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain. Grâce à la combinaison des initiatives et des intelligences, l'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable (MEM, 2021).

III.5.1. Energie nouvelle et renouvelable

L'Algérie s'est engagée sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions globales et durables aux défis environnementaux et aux problématiques de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile à travers le lancement d'un programme ambitieux pour le développement des énergies renouvelables qui a été adopté par le gouvernement en février 2011, révisés en mai 2015 et placés au rang de priorité nationale en février 2016, par Monsieur le président de la République Mr Abdelaziz BOUTEFLIKA, lors du conseil Restreint gouvernement (MEM, 2021).

L'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable. Le programme des énergies renouvelables dans sa version actualisée, consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de l'ordre de 22 000 MW à l'horizon 2030 pour le marché national, avec le maintien de l'option de l'exportation comme objectif stratégique, si les conditions du marché le permettent (MEM, 2021).

III.5.1.1. Programme de développement des énergies renouvelables

À travers ce programme d'énergies renouvelables, l'Algérie compte se positionner comme un acteur majeur dans la production de l'électricité à partir des filières photovoltaïque et éolienne en intégrant la biomasse, la cogénération, la géothermie et au-delà de 2021, le solaire

thermique. Ces filières énergétiques seront les moteurs d'un développement économique durable à même d'impulser un nouveau modèle de croissance économique.

37 % de la capacité installée d'ici 2030 et 27 % de la production d'électricité destinée à la consommation nationale, seront d'origine renouvelable.

Les projets EnR de production de l'électricité dédiée au marché national seront menés en deux étapes (MEM, 2021):

- **Première phase 2015 - 2020** : cette phase verra la réalisation d'une puissance de 4010 MW, entre photovoltaïque et éolienne, ainsi que 515 MW, entre biomasses, cogénération et géothermie.
- **Deuxième phase 2021 - 2030** : le développement de l'interconnexion électrique entre le Nord et le Sahara (Adrar), permettons l'installation de grandes centrales d'énergies renouvelables dans les régions d'In Salah, Adrar, Timimoune et Béchar et leur intégration dans le système énergétique national. À cette échéance, le solaire thermique pourrait être économiquement viable (MEM, 2021).

A. Consistance du programme de développement des énergies renouvelables

La consistance du programme en énergie renouvelable à réaliser pour le marché national sur la période 2015-2030 est de 22 000 MW, réparties par filières (Figure III.15) (MEM, 2021).

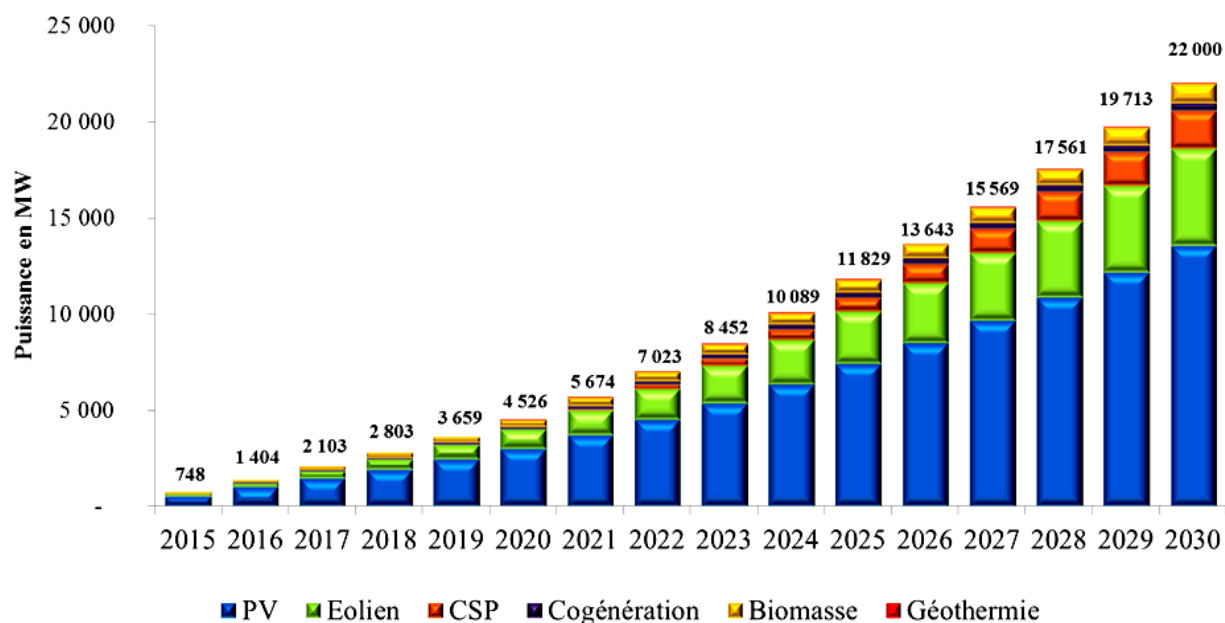


Figure III.15. La répartition des énergies renouvelables sur la période 2015-2030, répartie par filières

III.5.1.2. Bilan des réalisations

Projets et actions de la phase 2011-2014 du programme national des énergies renouvelable (2011-2014)

La phase d'expérimentation du programme (2011-2014) a connu la réalisation de plusieurs projets et actions (MEM, 2021):

A. Centrales

A.1 Centrale Hybride Solaire-Gaz de 150 MW

- Localité : Hassi r'mel (Laghouat)
- Capacité : 150 MW
- Technologie : Système ISCC (Integrated solar Combined Cycle), 120 MW cycle combiné, 30 MW Solaire Thermique (CSP parabolique) ;
- Système HTF (Heat Transfert Fluide) 393°C;
- Système de poursuite du soleil (Trackeur) ;
- Mise en service : juillet 2011(MEM, 2021).



Figure III.16. Centrale Hybride Solaire-Gaz de 150 MW

A.2. Ferme éolienne de 10MW de :

- Localité : Kabertène (ADRAR)
- Capacité : 10,2 MW
- Technologie : Gamesa 850 KW (12 x 850 KW)
- Mise en service : juin 2014(MEM, 2021).



Figure III.17. Ferme éolienne 10MW

A.3. Centrale Pilote Photovoltaïque d'Oued N'Chou 1,1 MWc

Localité : Oued N 'chou (Ghardaïa) ;

Capacité : 1 131 816 WC ;

Technologie: huit sous-champs des quatre technologies (Monocristallin, polycristallin, amorphe et couche mince Cd Te) montées sur des structures fixes et motorisées ;

Mise en service : juin 2014 (Figure III.18) (MEM, 2021).



Figure III.18. Centrale pilote Photovoltaïque d'Oued N'Chou 1,1 MWc

A.4. Projet de 343 Mwc en centrales photovoltaïques

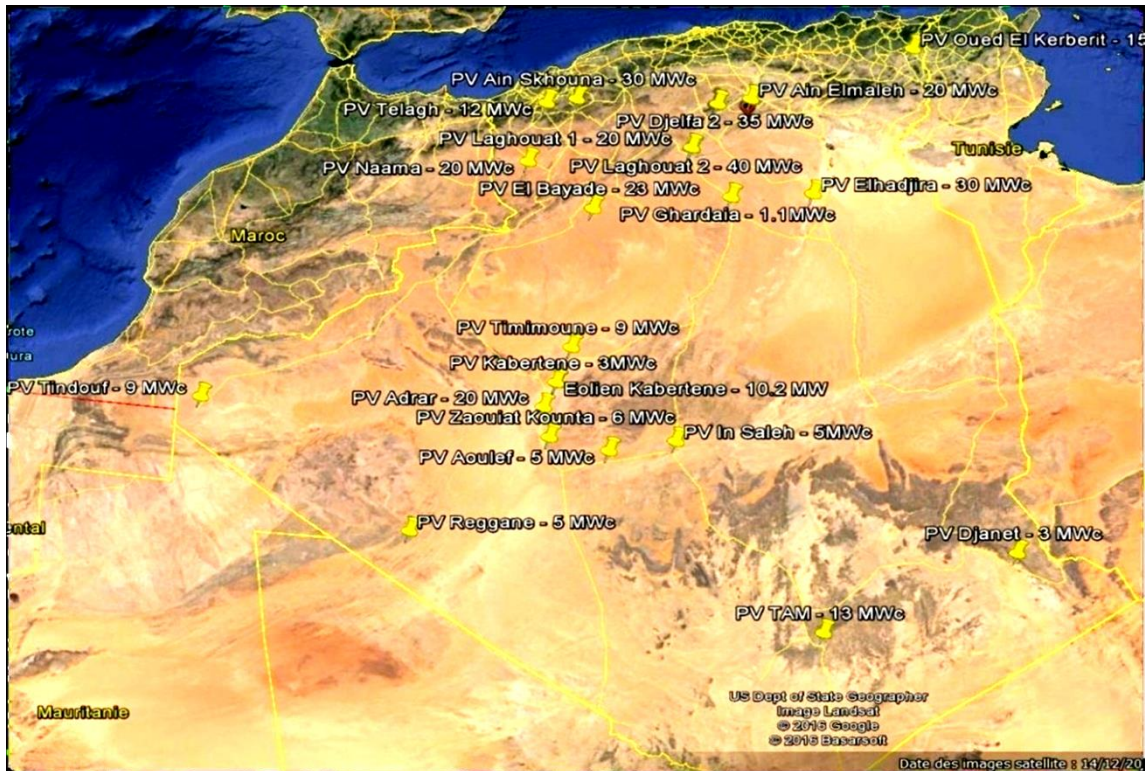


Figure III.19. Projet de 343 Mwc en centrales photovoltaïques

B. Etudes

- Actualisation de l'atlas éolien national, en collaboration avec l'Office National de météorologie (ONM) ;
- Identification des sites éligibles à l'implantation de fermes éoliennes dans la zone de Touggourt, Hassi Messaoud et Ghardaïa, en collaboration avec le Centre de développement des énergies renouvelables (CDER) ;
- Élaboration de l'Atlas Solaire de l'Algérie, en collaboration avec l'Agence Spatiale Algérienne (ASAL).
- Identification d'un ensemble de sites à haut potentiel solaire pouvant accueillir des centrales électriques solaires, en collaboration avec l'Agence Spatiale Algérienne (ASAL) ;
- Impact de l'intégration des énergies renouvelables sur le réseau électrique algérien, Sonelgaz en collaboration avec RES 4MED/CESI (MEM, 2021).

III.5.1.3. Nouvelle stratégie nationale pour le développement des énergies renouvelables pour la production de l'électricité raccordées au réseau

Afin d'accélérer la mise en œuvre du programme est vu la baisse des coûts des équipements sur le marché international et le recours de beaucoup de pays à la procédure d'appel d'offre, une nouvelle stratégie, basée sur la procédure d'appel d'offre, a été mise en place, par le Ministère de l'Énergie en 2016, pour le développement des énergies renouvelables, dont la mise en œuvre est régie par le décret exécutif n° 17-98 du 26 février 2017, définissant la procédure d'appel d'offres pour la production de l'électricité à partir de sources d'énergie renouvelable (MEM, 2021).

Les dispositions du décret susmentionné prévoient deux modes d'initiatives relatives aux appels d'offre, ils peuvent être aux investisseurs ou aux enchères.

A. S'agissant de l'appel d'offres à investisseurs

Celui-ci sera lancé, par le Ministère l'Énergie, pour un projet énergétique qui concernera la réalisation et l'exploitation d'installations d'énergies renouvelables (centrales électriques EnR) de grandes capacités et la commercialisation de l'électricité produite à partir de ces installations.

Ce mode concerne les installations de production de l'électricité d'origine renouvelable dont l'énergie annuelle dépasse 20 GWh par site (MEM, 2021).

B. S'agissant de l'appel d'offres aux enchères

Celui-ci sera lancé, par la Commission de régulation de l'électricité et du Gaz (CREG), et concernera la réalisation et l'exploitation d'installations d'énergie renouvelable de petites capacités, dont le volume annuel de quantités d'énergie renouvelable sera fixé dans le cahier des charges.

Ce mode concerne les installations de production de l'électricité d'origine renouvelable dont l'énergie annuelle varie entre 10 et 20 GWh par site (MEM, 2021).

III.5.2. Efficacité énergétique du gouvernement

III.5.2.1. Programme national d'efficacité énergétique du gouvernement

Le programme d'efficacité énergétique obéit à la volonté de l'Algérie de favoriser une utilisation plus responsable de l'énergie et d'explorer toutes les voies pour préserver les ressources et systématiser la consommation utile et optimale (MEM, 2021).

L'objectif de l'efficacité énergétique consiste à produire les mêmes biens ou services, mais en utilisant le moins d'énergie possible. Ce programme comporte des actions qui privilégient les recours aux formes d'énergies les mieux adaptés aux différents usages et nécessitant la modification des comportements et l'amélioration des équipements.

Ce programme prévoit l'introduction des mesures d'efficacité énergétique dans les trois secteurs du bâtiment, de transport et de l'industrie et aussi l'encouragement de la création

d'une industrie locale de fabrication des lampes performantes, des chauffe-eau solaires, des isolants thermiques par l'encouragement de l'investissement local ou étranger (MEM, 2021).

III.5.2.2. Plan d'Action en Matière d'Efficacité Energétique

L'efficacité énergétique est appelée à jouer un rôle important dans le contexte énergétique national, caractérisé par une forte croissance de la consommation tirée, notamment, par le secteur domestique avec la construction de nouveaux logements, la réalisation d'infrastructures d'utilité publique et la relance de l'industrie.

La réalisation de ce programme par une diversité d'actions et de projets, devrait favoriser l'émergence, à terme, d'un marché durable de l'efficacité énergétique en Algérie.

Le programme se focalise sur les secteurs de consommation qui ont un impact significatif sur la demande d'énergie. Il s'agit principalement du bâtiment, du transport et de l'industrie (MEM, 2021).

A. Pour le secteur du bâtiment

Le programme vise à encourager la mise en œuvre de pratiques et de technologies innovantes, autour de l'isolation thermique des constructions existantes et nouvelles. Des mesures adéquates seront prévues au niveau de la phase de conception architecturale des logements.

Il s'agit également de favoriser la pénétration massive des équipements et appareils performants sur le marché local, notamment les chauffe-eau solaires et les lampes économiques: l'objectif étant d'améliorer le confort intérieur des logements en utilisant moins d'énergie.

La mise en place d'une industrie locale des isolants thermiques et des équipements et appareils performants (chauffe-eau solaires ; lampes économiques (Figure III.20)) constitue l'un des atouts pour le développement de l'efficacité énergétique dans ce secteur (MEM, 2021).

Globalement, c'est plus de 30 millions de TEP qui seront économisées, d'ici 2030 répartie comme suit :

- **Isolation thermique** : l'objectif est d'atteindre un gain cumulé évalué à plus de 7 millions de TEP ;
- **Chauffe -eau solaire** : l'objectif est de réaliser une économie d'énergie à plus de 2 millions de TEP ;
- **Lampe basse consommation (LBC)** : les gains en énergie escomptés, à l'horizon 2030 sont estimés à près de 20 millions de TEP ;
- **Éclairage public** : l'objectif est de réaliser une économie d'énergie de près d'un (01) million de TEP, à l'horizon 2030 et d'alléger la facture énergétique des collectivités (MEM, 2021).



Figure III.20. L'efficacité énergétique dans le bâtiment (isolation thermique, Chauffe-eau solaire, Lampe basse consommation, Éclairage public)

B. Pour le secteur des transports

Le programme vise à promouvoir les carburants les plus disponibles et les moins polluants, en l'occurrence, le GPLC et le GNC: l'objectif étant d'enrichir la structure de l'offre des carburants et de contribuer à réduire la part du gasoil, en plus des retombées bénéfiques sur la santé et l'environnement. Ceci se traduirait par une économie, d'ici 2030, de plus de 16 millions de TEP (MEM, 2021).

C. Pour le secteur de l'industrie

Le programme vise à amener les industriels à plus de sobriété dans leurs consommations énergétiques. En effet, l'industrie représente un enjeu pour la maîtrise de l'énergie du fait que sa consommation énergétique est appelée à s'accroître à la faveur de la relance de ce secteur. Pour ce secteur, c'est plus de 30 millions de TEP qui seront économisées (MEM, 2021).

Pour plus d'efficacité énergétique, il est prévu :

- la généralisation des audits énergétiques et du contrôle des procédés industriels qui permettront d'identifier les gisements substantiels d'économie d'énergie et de préconiser des plans d'action correctifs;
- l'encouragement des opérations de réduction de la surconsommation des procédés industriels, à travers un soutien de l'État au financement de ces opérations (MEM, 2021).

I.6. Conclusion

L'Algérie est en 2019 le 16e producteur de pétrole, le 10e producteur de gaz naturel et le 7e exportateur de gaz naturel au monde. La production et la consommation d'énergie, y compris dans le secteur de l'électricité, sont tirées des hydrocarbures à plus de 99 %.

Cependant, l'État algérien commence à envisager des solutions écologiques en investissant dans les énergies renouvelables, dont le potentiel est très riche. Selon (PENREE) de 2012, l'Algérie visait une puissance installée d'origine renouvelable de 22 000 MW d'ici 2030. Mais sept ans après ce plan, les réalisations sont modestes : le solaire n'a produit que 0,7 % de l'électricité du pays en 2017, et l'éolien 0,01% (Figures III.21).

Source	1990	%	2000	%	2010	%	2016	2017	% 2017	var. 2017/1990
Charbon	0,69	3,1	0,52	1,9	0,34	0,9	-	0,22	0,3 %	-68 %
Pétrole	9,32	42,0	9,59	35,5	16,39	40,9	19,07	19,36	34,9 %	+108 %
Gaz naturel	12,17	54,9	16,84	62,4	23,32	58,1	34,66	35,90	64,7 %	+195 %
Total fossiles	22,17	99,9	26,95	99,8	40,05	99,8	53,73	55,48	99,94 %	+150 %
Hydraulique	0,012	0,05	0,005	0,02	0,015	0,04	0,019	0,005	0,01 %	-58 %
Biomasse-déchets	0,011	0,05	0,054	0,20	0,052	0,13	0,006	0,010	0,02 %	-9 %
Solaire, éolien							0,01	0,05	0,09 %	ns
Total EnR	0,023	0,10	0,059	0,22	0,67	0,17	0,035	0,065	0,12 %	+183 %
Solde exp. électricité	-0,008	-0,04	-0,008	-0,03	-0,006	0,01	-0,02	-0,03	-0,05 %	+260 %
Total	22,19	100	27,00	100	40,11	100	53,75	55,52	100 %	+150 %

Source des données : Agence internationale de l'énergie¹

Figure III.21. La consommation intérieure brute d'énergie primaire en Algérie par source (Mtep)

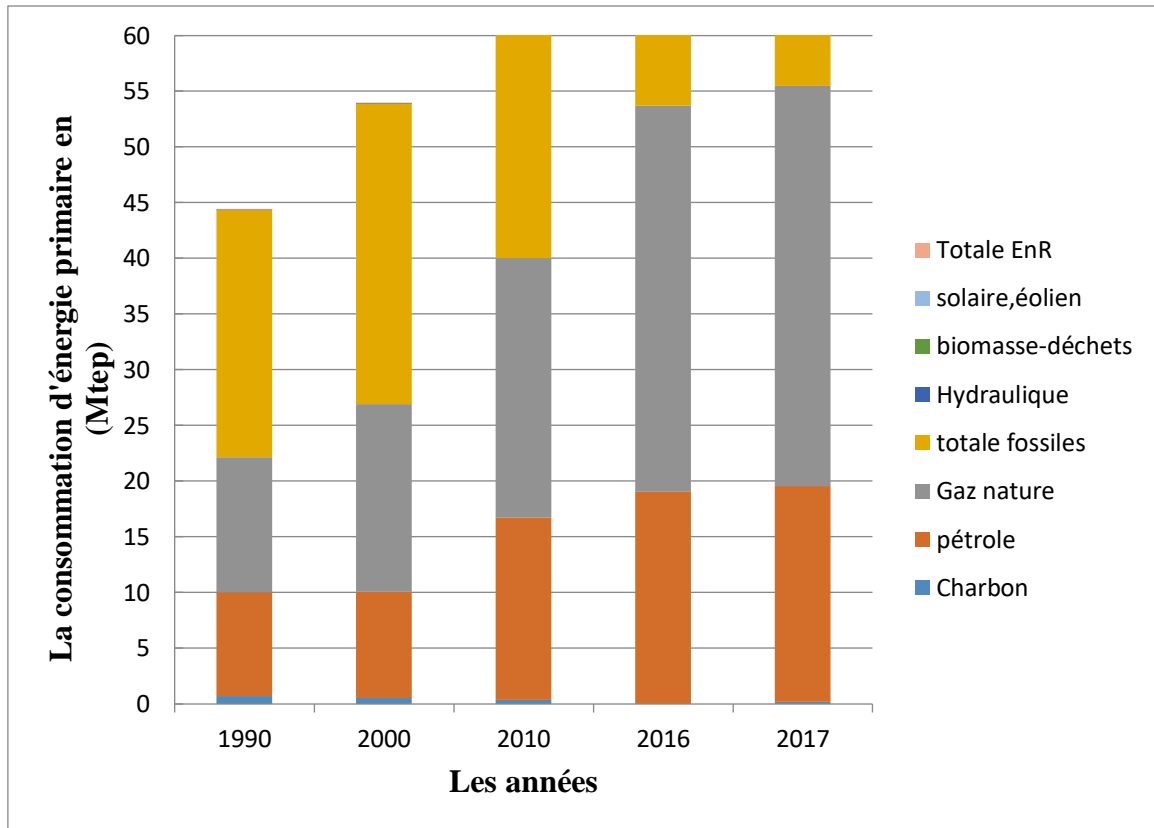


Figure III.22. Les consommations (en Mtep) de charbon, pétrole, gaz et total fossiles l'hydraulique, biomasse, solaire et total EnR en fonction des années

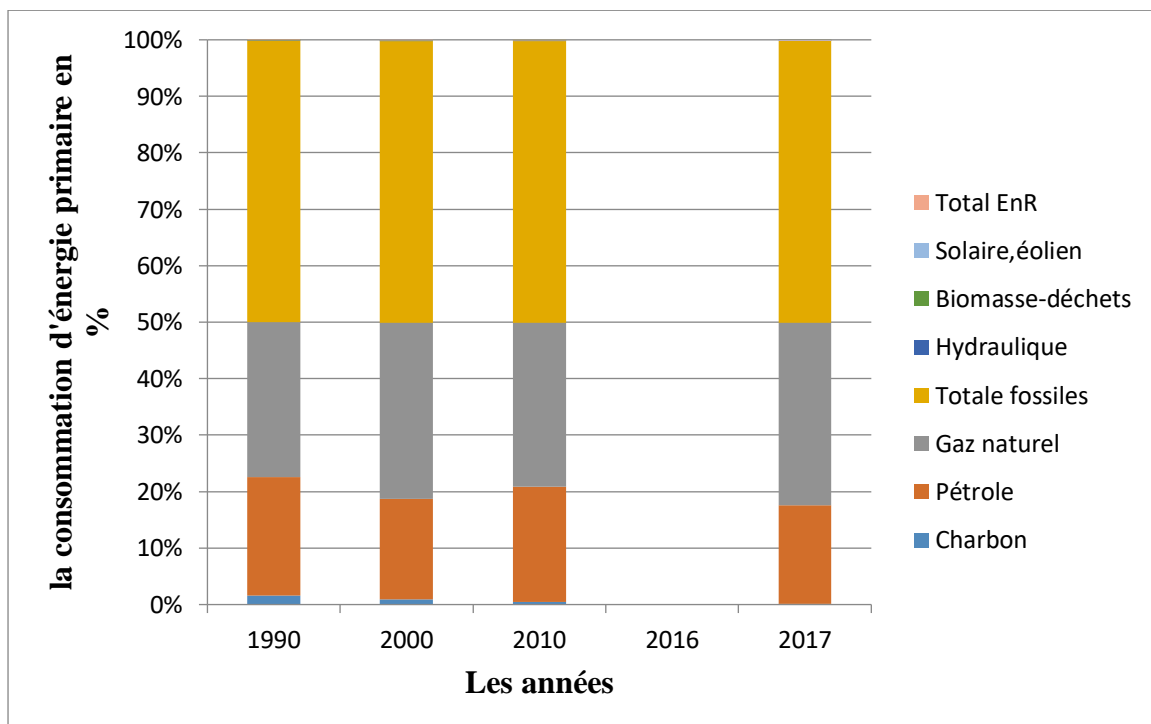


Figure III.23. Les consommations (en %) de charbon, pétrole, gaz et total fossiles l'hydraulique, biomasse, solaire et total EnR en fonction des années

D'après les figures (Figure III.21) (Figure III.22) (Figure III.23), on voit que :

- La consommation de totaux fossiles augmente à travers les années de 1990 à 2017 ;
- La plus grande consommation d'énergie primaire provient du total fossile, avec une consommation estimée à 55,48 Mtep et de pourcentage estimé à 99,94% en 2017;
- La consommation de total EnR est très faible, il atteint à 0,065 Mtep en 2017 avec un pourcentage de 0,12%.

Le secteur résidentiel est l'un des plus grands consommateurs d'énergie cette énergie consommée dans le secteur résidentiel (électricité et gaz) provient du pétrole. à partir de 2030, le pétrole s'épuisera pour cela le gouvernement à décider d'accélérer son plan de développement des énergies renouvelables.

Dans la continuité de notre travail, nous avons fait une étude comparative des déperditions thermiques d'une maison individuelle avant et après l'isolation de l'enveloppe de maison par le polystyrène expansé et d'après ces déperditions on constate les besoins en chauffage et climatisation dans les deux cas avant et après l'isolation cette étude nous permet à savoir l'importance de l'isolation et son efficacité énergétique dans le secteur résidentiel.

Chapitre VI

Étude comparative pour une maison individuelle avant et après l'isolation de polystyrène expansé - Cas de lieux de Bouïra

Résumé

*D*ans ce chapitre nous avons fait une étude comparative d'une maison individuelle composer uniquement de rez-de-chaussée, cette maison est implantée dans la wilaya de Bouïra, dans la commune Aladjiba, on utilise le document Technique Réglementaire (D.T.R. C 3-2) pour faire une comparaison des pertes énergétiques de la maison avant et après l'isolation par le polystyrène expansé, et à travers ces pertes nous avons calculé et comparons les besoins de chauffage et climatisation, cette étude vise à connaître les déperditions énergétiques qui résultent de l'absence d'isolation dans les maisons et aussi l'intérêt de l'isolation pour maintenir le confort thermique, et que la présence d'un isolant (polystyrène) permet de donner une bonne résistance thermique et aucun échange de chaleur ne peut avoir lieu entre le milieu intérieur et extérieur ce qui conduit à une diminution de la consommation des combustibles fossiles, c'est-à-dire des économies d'énergie en Algérie.

VI.1. Introduction

Dans un contexte énergétique tendu, la réalisation de bâtiments énergétiquement performants est un enjeu majeur des prochaines décennies, afin d'obtenir les résultats optimaux des performances énergétiques requises.

La cause de perte d'énergie revient à ce qu'on utilise toujours des matériaux favorisant les transferts thermiques entre l'espace intérieur et l'espace extérieur de l'enveloppe de la construction. Bien sûr, utiliser la double paroi en briques creuses comme étant l'enveloppe, sans isolant d'une part et d'une autre part, une paroi bien isolée, n'est pas et ne sera jamais la même chose en matière de déperdition thermique.

Après les présentations des résultats sur la consommation énergétique dans le secteur résidentiel et l'amélioration du confort thermique aux foyers dans les trois premiers chapitres, le quatrième chapitre présente un cas pratique faisant l'objet de notre étude. Ce cas est situé dans la wilaya de BOUIRA, par un calcul manuel comparatif sur les déperditions thermiques et les besoins en chauffage et climatisation d'une maison individuelle sans isolation et avec une isolation de polystyrène expansé, On pourra analyser le problème et voir la différence entre une construction efficace et une construction énergivore.

VI.2. Présentation générale de la région d'étude

VI.2.1. La situation géographique de la wilaya de Bouira

La wilaya de Bouïra est située à 120 km de la capitale, elle est d'une superficie de 4456 km², elle se trouve au pied du Djurdjura, elle est bâtie sur un petit plateau de 525m d'altitude. Elle est limitée (Figure VI.1):

- Au Nord par la wilaya de Boumerdes et Tizi Ouzou ;
- Au Sud et sud-ouest par les wilayat de Msila et de Médéa ;
- A l'Est et au sud-est par les wilayat de Bejaia et Bordj Bou Arreridj ;
- A l'Ouest par les wilayat de Blida et Médéa.

La grande chaîne du Djurdjura d'une part et les monts de Dira d'autre part, encadrent la wilaya qui s'ouvre de l'Ouest vers l'Est sur la vallée de la Soummam. Du point de vue administratif, la wilaya de Bouïra se subdivise en 12 daïras totalisant 45 communes (SI YUCEF, 2004).



Figure VI.1. Carte interactive de la wilaya de BOUIRA

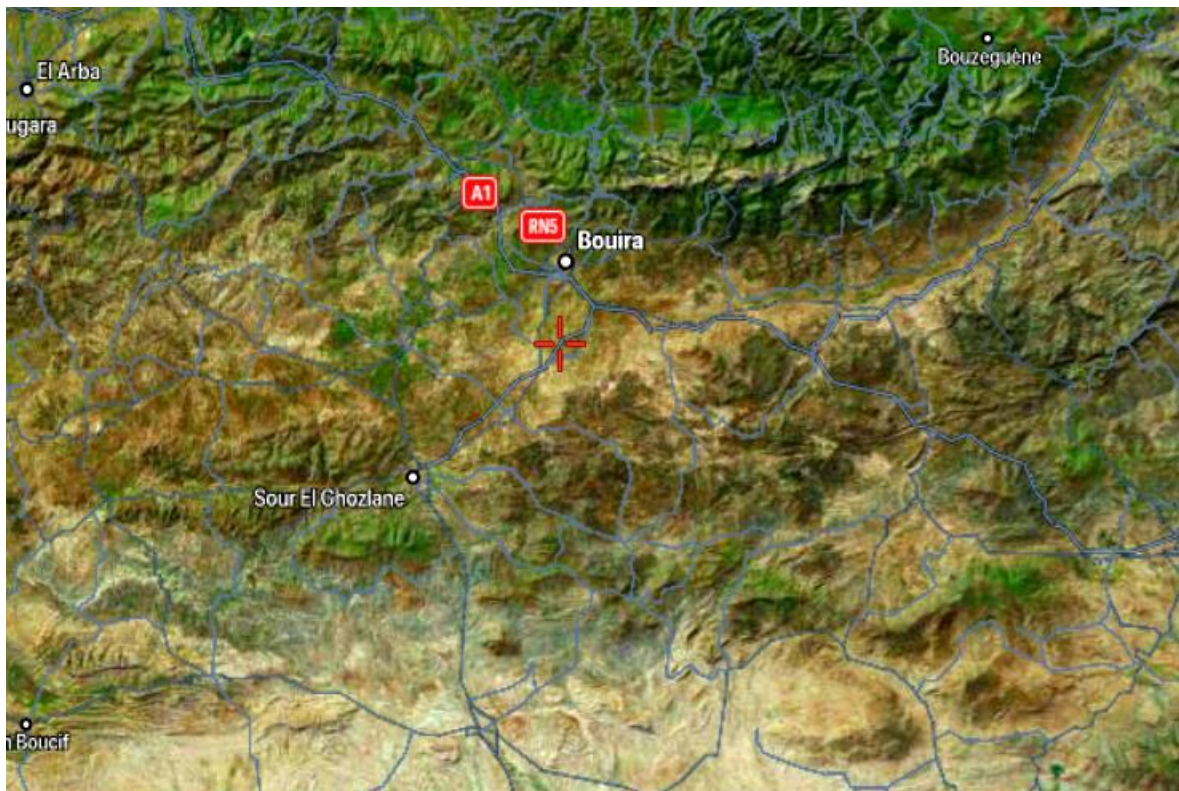


Figure VI.2. La zone d'étude par Google earth

VI.2.2. Données climatiques

VI.2.2.1. Climat d'Algérie

L'Algérie est un pays de la zone subtropicale du Nord-Africain. Son climat est très différencié entre les régions (Nord-Sud, Est-Ouest). Il est du type méditerranéen sur toute la frange nord qui englobe le littoral et l'Atlas Tellien (étés chauds et secs, hivers humides et frais), semi-aride sur les hauts plateaux au centre du pays, et désertique dès que l'on franchit la chaîne de l'Atlas Saharien. En Algérie les précipitations sont caractérisées par une variabilité spatio-temporelle très marquante. La tranche de pluie annuelle décroît à mesure que l'on avance vers le sud et tombe à moins de 100 mm au sud de l'Atlas Saharien, cette valeur était habituellement considérée comme marquant le début du désert. À la décroissance des pluies du Nord au Sud se superpose une décroissance de l'Est à l'Ouest.

Les bordures Nord, Centre reçoivent en moyenne des quantités annuelles de précipitations variant entre 600 et 1150 mm. Elles sont de ce fait plus arrosées que le reste du pays. Les bordures Nord-Ouest par exemple enregistrent des totaux annuels moyens de l'ordre de 250 à 500 mm. (M. Mahmoud, ONM 2012)

- **Les zones climatiques en Algérie**

L'Algérie occupe une vaste étendue territoriale. Plus de 4/5 de sa superficie est désertique, d'où une large variété géographique et climatique allant du littoral au désert. La classification climatique en Algérie permet de distinguer quatre zones principales (Figure VI.3):

Zone A: littoral marin ;

Zone B: arrière littoral montagne ;

Zone C : hauts -plateaux (semi-aride) ;

Zone D: présaharien et saharien (aride) (ANDI, 2015)

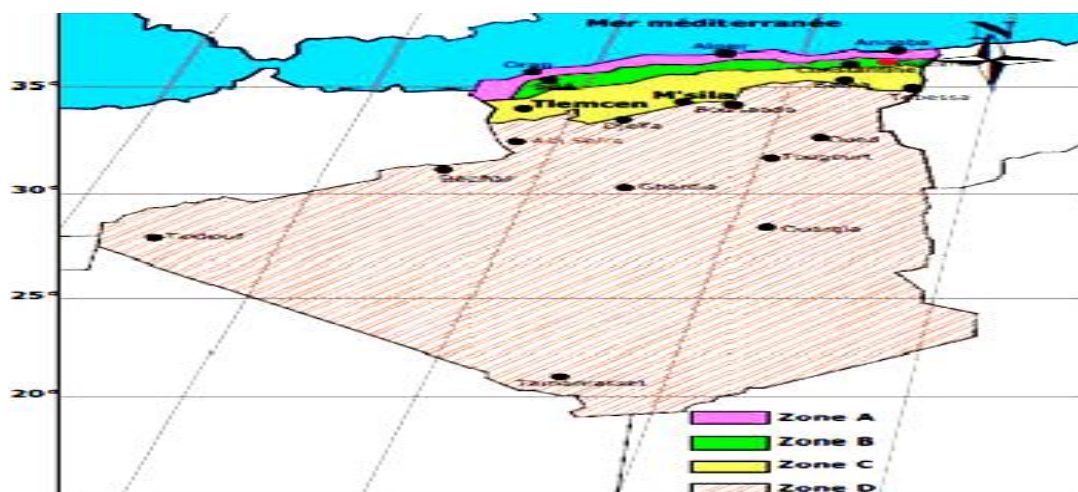


Figure VI.3. Classification de climat en Algérie

VI.2.2.2. Climat de bouira

À Bouïra, les étés sont courts, très chaud, sec et dégagé dans l'ensemble et les hivers sont longs, frisquets, précipitation et partiellement nuageux. Au cours de l'année, la température varie généralement de 0°C à 33°C et est rarement inférieure à -4°C ou supérieure à 37°C ([weatherspark, 2021](#))

On peut ressortir les caractéristiques du climat suivantes :

- **La pluviométrie**

Pour montrer la variation au cours des mois et pas seulement les totaux mensuels, nous montrons l'accumulation de pluie au cours d'une période glissante de 31 jours centrée sur chaque jour de l'année. Bouïra connaît des variations saisonnières considérables en ce qui concerne les précipitations de pluie mensuelles.

La période pluvieuse de l'année dure 8 mois, du septembre au mai, avec une chute de pluie d'au moins 13 millimètres sur une période glissante de 31 jours, la période sèche de l'année dure 2 mois, du juin aux août ([Weatherspark, 2021](#)).

- **La température**

La saison très chaude dure 4 mois, du juin au septembre, avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à 29°C.

La saison fraîche dure 4,0 mois, du 19 novembre au 19 mars, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 17°C ([weatherspark, 2021](#)).

- **L'humidité**

Bouïra connaît des variations saisonnières modérées en ce qui concerne l'humidité perçue. La période la plus lourde de l'année dure 3 mois, du juin au septembre, avec une sensation de lourdeur, oppressante ou étouffante au moins 3 % du temps. Le jour le moins lourd de l'année est le 2 mars, avec un climat lourd quasiment inexistant.

- **Le vent**

La vitesse horaire moyenne du vent à Bouïra connaît une variation saisonnière modérée au cours de l'année. La période la plus venteuse de l'année dure 6,1 mois, du 29 octobre au 1er mai, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 11,5 kilomètres par heure. ([weatherspark, 2021](#))

- **Classification thermique des communes d'Algérie**

Il existe une classification thermique des communes d'Algérie, proposé dans le document technique réglementaire c2-3 par le centre national d'étude et de recherche intégré du bâtiment (CNERIB), qui considère les zones climatiques en Algérie sous 04 grandes zones A, B, C, D et deux sous- zones B' et D' (pour plus d'informations se référer au (DTR c2-3).

Dans notre étude on s'intéressera seulement au climat de la région de Bouïra ([Tableau VI.1](#)),

qui se divise selon le DTR C 2-3, en 02 zones climatiques et qui sont :

- Commune 01 : Zone C correspond les hauts plateaux compris entre l'atlas tellien et l'atlassaharien ;
- Commune 02 : Zone B la plaine derrière le rivage de la mer et les vallées entre les chaînescôtières et l'atlas tellien.

Tableau VI.1. Les groupes de communes pour la wilaya de Bouïra

10 Bouïra	<p>Groupe des Communes 1 : Aghbalou - Ahl El Ksar - Aïdane - Ain El Hadjar - Ain Laloui - Ain Turk - Bechloul - Bordj Okhriss - Bouira - Chorfa - Dirah - El Adjiba - El Asnam - El Hachimia - El Hakimia - Hadjera Zerga - Haïzer - Maamora - M'Chedallah - Mezdour - Oued El Berdi - Ouled Rached - Saharidj - Taghzout - Taguedit</p> <p>Groupe des Communes 2 : Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes 1.</p>	C B
---------------------------	---	---------------------

VI.3. Présentation du projet

Notre projet est une maison individuelle à usage d'habitation, il est composé de rez-de-chaussée uniquement, Cette maison présente une superficie d'environ **108,24 m²** implantés à la wilaya de Bouïra dans la zone C.

VI.3.1. Caractéristiques géométriques

Les caractéristiques géométriques de maison sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau VI.2. Les caractéristiques géométriques de maison

Dimensions	(m)
Hauteur du rez-de-chaussée	3,06
Dimension en plan	12 ,3 × 8,80
Hauteur totale (avec acrotère)	3,66

VI.3.2. Description surfacique

Cette maison est constituée (d'une cuisine, d'un séjour et deux chambres avec un hall aux milieux, d'une salle de bain +WC) les surfaces des pièces de la maison sont récapitulé sur (Tableau VI.3) :

Tableau VI.3. La distribution surfacique de la maison

Maison (RDC)	
Espace	Surface (m ²)
Séjour	$5 \times 3,25 = 16,25$
Chambre 1	$3,26 \times 3,9 = 12,714$
Chambre 2	$3,9 \times 3,25 = 12,675$
Hall	$17,55 + 8,71 + 4,551 = 30,811$
Cuisine	$3,9 \times 3,25 = 12,675$
Salle de bain + WC	$3,7 \times 2 = 7,4$
Totale	92,525

VI.3.3. Implantation de projet

Cette maison est implantée dans la wilaya de Bouïra exactement à la commune El Adjiba, (Figure VI.4) est classé comme Zone climatique C et dans le groupe des communes 1, selon le document technique réglementaire (D.T.R.C 3-2).



Figure VI.4. Plan de situation de cas d'étude

VI.3.4. Présentation des différents éléments constructifs de la maison sans isolation

Un mur est constitué d'une couche d'enduit en plâtre (10 mm) de la face intérieure, deux couches d'enduit de ciment (20 mm) par l'intérieur et l'extérieur, de deux parois de brique creuse en terre cuite (10 cm) séparé par une lame d'air (50 mm) au milieu du mur (Figure VI.5).

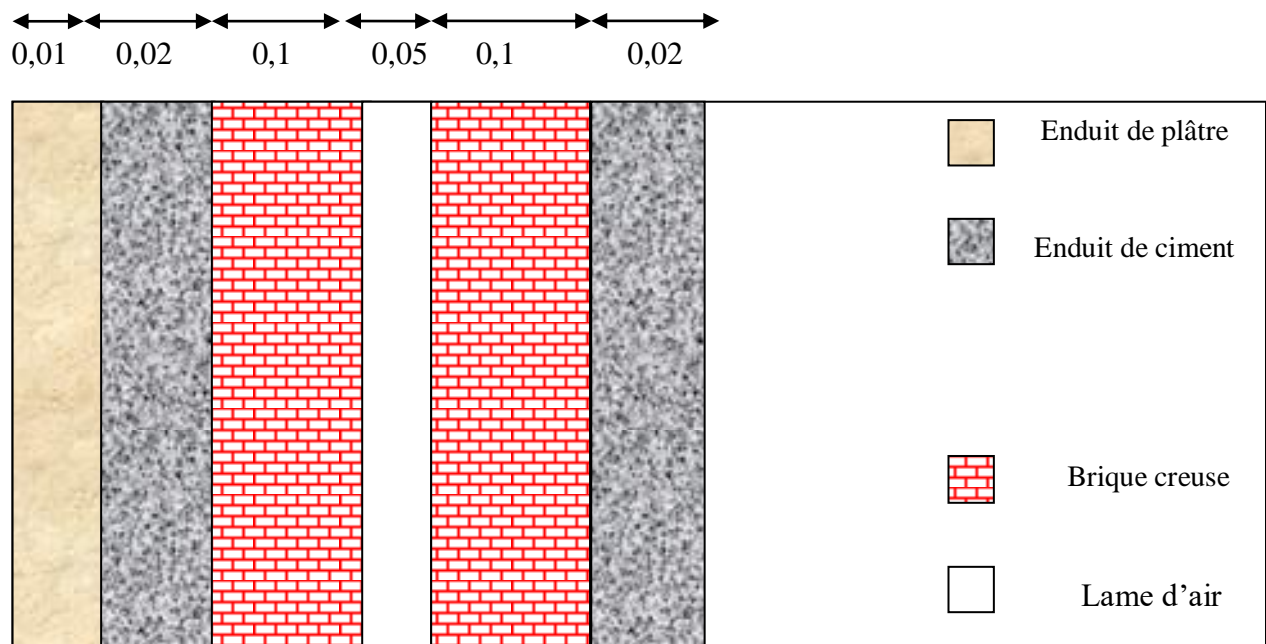


Figure VI.5. Composition de mur de la maison étudié

- Plancher en corps creux de 16 cm d'épaisseur avec une dalle de compression de 5 cm ;
- Portes en bois ;
- Les fondations sont en béton armé ;
- Les ouvertures sont en simple vitrage, avec un cadre en bois ;
- La toiture est horizontale, son étanchéité à l'eau pluviale, est à base de bitume, de feutre et de pax aluminium réfléchissant. Une couche de presque 8 cm de gravier roulé qui protège l'étanchéité de la force de poinçonnement.

VI.3.5. Les plans

Les cinq plans (de façade principale, de fondation de riz de -chaussés, de la coupe A-A et de terrasse) sont entrées par autocade et sont indiqués dans les figures suivantes :



Figure VI.6. Plan de la façade principale

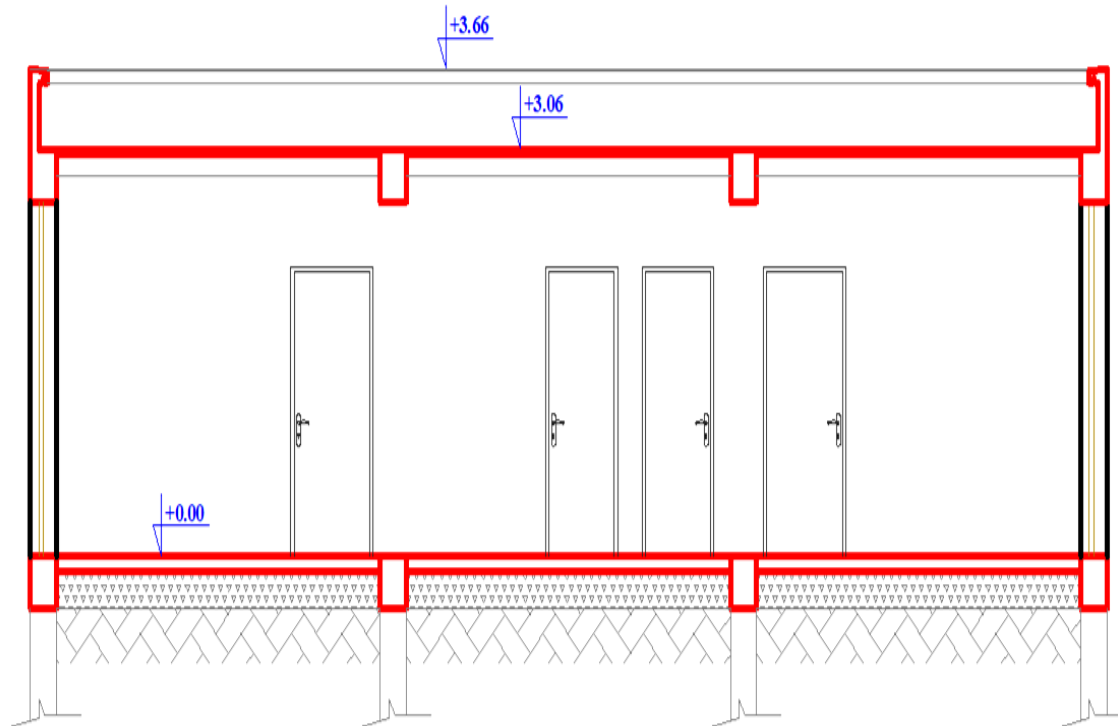


Figure VI.7. Plan de la coupe A-A

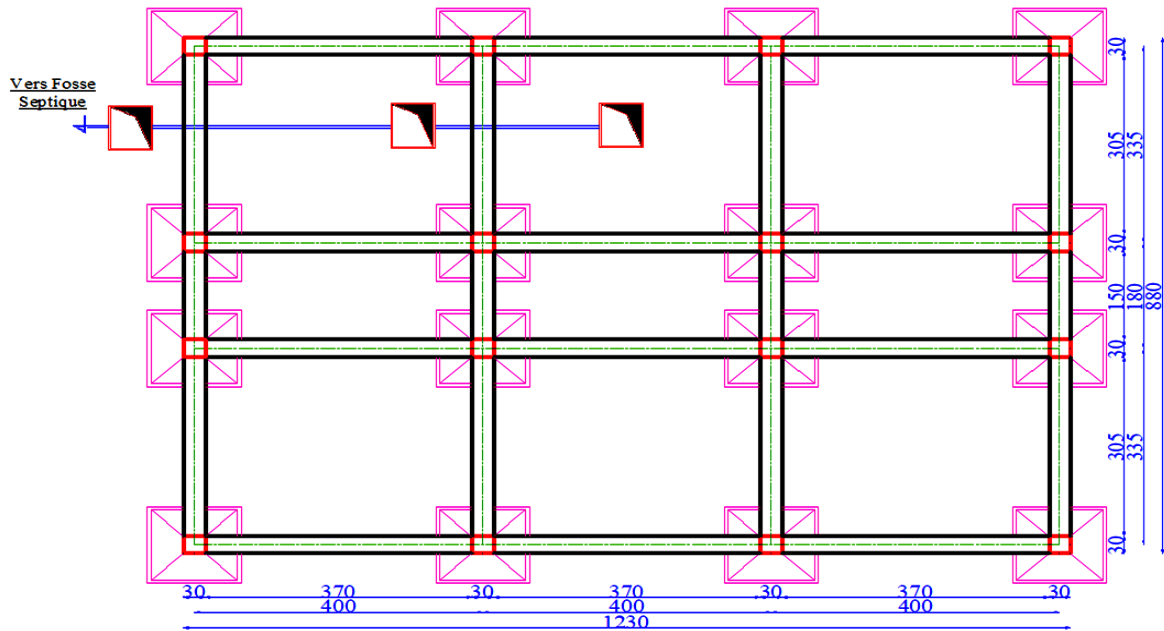


Figure VI.8. Plan de fondation

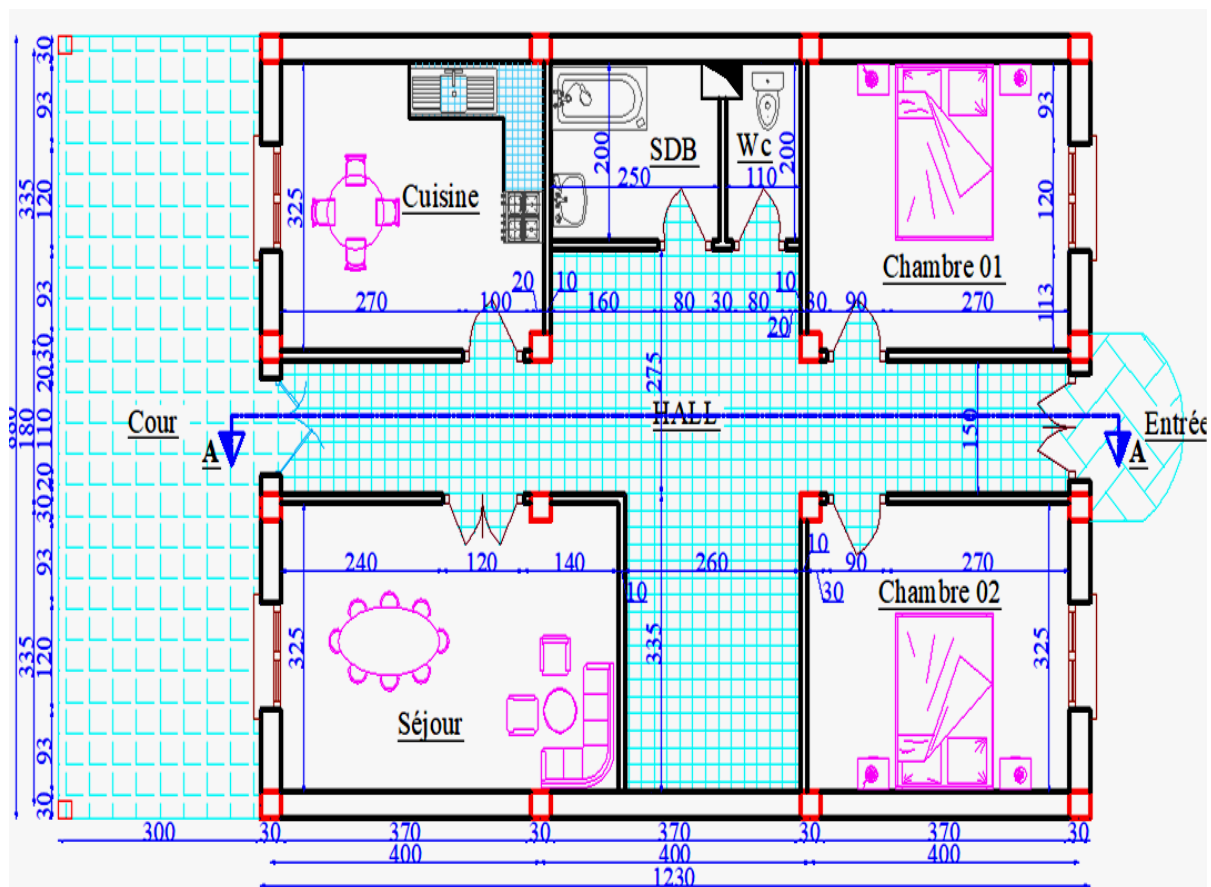


Figure VI.9. Plan de rez-de-chaussée

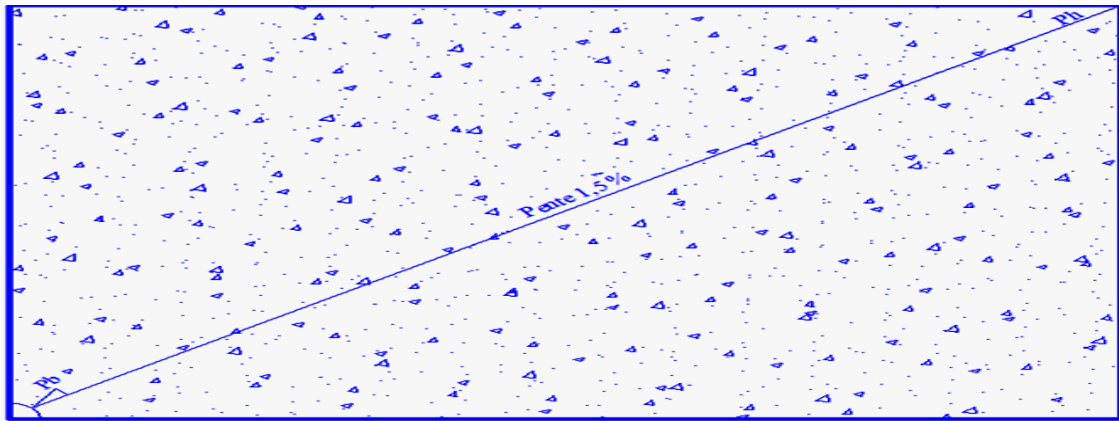


Figure VI.10. Plan de terrasse

VI.4. Calcul des déperditions thermiques

- Suivant le document technique réglementaire DTR C 3-2

Le document Technique Réglementaire (DTR) apporte une première réponse aux problèmes liés à la thermique du bâtiment. Il met à la disposition des professionnels des méthodes d'évaluation thermiques des logements.

Le calcul des déperditions thermiques du logement est effectué suivant le DTR la maison étudiée est dans la zone C (El Adjiba).

- **Le coefficient de transmission surfacique (k)**

Le coefficient K est donné par la formule suivante :

$$\frac{1}{k} = \Sigma R + \frac{1}{H_e} + \frac{1}{H_i} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}]$$

La résistance thermique est donnée par la formule suivante :

$$R = e/\lambda \quad [\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}]$$

Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois :

$$D_s = K \times A \quad [\text{w}/\text{°c}]$$

- **Déperditions d'énergie dans le bâtiment**

Déperditions pour un volume

$$D = D_s \times (t_i - t_e) \quad [\text{w}]$$

Déperdition totale

$$Dt = \sum D \text{ [W]}$$

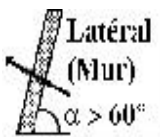
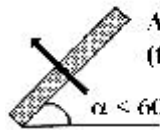
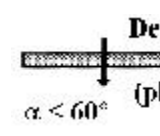
VI.4.1. Calcul des déperditions thermiques pour la maison avant l'isolation

- Convention d'échanges superficiels

Par convection et rayonnement, une paroi échange de la chaleur avec les deux milieux séparés par la paroi. Cet échange est pris en compte dans les calculs grâce à un coefficient d'échange dit superficiel noté "h". Ce coefficient s'exprime en W/m².°C (D.T.R.C 3-2).

Les résistances thermiques d'échanges superficiels intérieures, $r_i = 1/h_i$, et extérieur $r_e = 1/h_e$, sont données dans (Tableau VI.4).

Tableau VI.4. Les résistances thermiques d'échanges superficiels intérieures et extérieures

1/h en m ² .°C/W	Paroi en contact avec :			Paroi en contact avec :		
	- l'extérieur, - un passage ouvert, un local ouvert.			- un autre local, chauffé ou non chauffé, - un comble, un vide sanitaire.		
	1/h _i	1/h _e	1/h _i + 1/h _e	1/h _i	1/h _e	1/h _i + 1/h _e
 <p>Latéral (Mur) $\alpha > 60^\circ$</p>	0,11	0,06	0,17	0,11	0,11	0,22
 <p>Ascendant (toiture) $\alpha < 60^\circ$</p>	0,09	0,05	0,14	0,09	0,09	0,18
 <p>Descendant (plancher) $\alpha < 60^\circ$</p>	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

• **Coefficient de transmission thermique (k)**

Les valeurs de coefficient de transmission thermique (k) de mur et de plancher haut et bas de notre cas d'étude avant l'isolation sont indiquées dans les tableaux suivants :

Tableau VI.5. Caractéristiques thermo-physique de Mur double parois de l'intérieur vers l'extérieur

N°	Désignation	Épaisseur (e)	Conductivité thermique λ	Résistance thermique (R)	Coefficient de transmission thermique (k)
		(m)	W/M. °C	M ² . °C/W	W/M ² . °C 1/Rt
1	Mortier de ciment	0,02	1,4	0,01	1,25
2	Brique creuse	0,1	0,48	0,21	
3	Lame d'air	0,05	0,25	0,16	
4	Brique creuse	0,1	0,48	0,21	
5	Mortier de ciment	0,02	1,4	0,01	
6	Enduit plâtre	0,01	0,35	0,03	
$\sum e/\lambda$				0,63	
Résistance d'échange superficiel	$1/He + 1/Hi = 0,06 + 0,11 = 0,17 \text{ (m}^2\text{°C/w)}$			0,17	
Rt Totale	$1/He + 1/Hi + \sum R$			0,8	

Tableau VI.6. Caractéristique thermo-physique du plancher bas

Matériaux	e	λ	R	k
	(m)	W/M. °C	M ² . °C/W	W/M ² . °C
Carrelage	0,02	2,1	0,01	1,66
Mortier de pose	0,05	1,15	0,04	
Sable fin	0,02	0,3	0,07	
Chape en béton	0,2	1,4	0,14	
$\sum e/\lambda$			0,26	
Résistance d'échange superficiel	$1/He+1/Hi=0.17+0.17=0.34(m^2°C/w)$		0,34	
Rt totale	$1/He +1/Hi +\sum R$		0,6	

Les valeurs du coefficient de transmission surfacique des portes et fenêtres sont indiquées dans le (Tableau VI.7)

Tableau VI.7. Les coefficients de transmission (k) des portes et fenêtres

Portes et fenêtres	K [w/m ² .C°]
Les portes opaques extérieures en bois	3.5
Les fenêtres (porte fenêtres) simples vitrages extérieurs	5
Les fenêtres (porte fenêtres) doubles vitrages extérieurs	2,9
Fenêtre SDB+WC	5,8

- **Exemple de calcul des déperditions thermiques**

- Les déperditions par renouvellement d'air doivent être prises en compte seulement lors du dimensionnement des installations de chauffage des locaux d'habitation.
- La vérification thermique réglementaire ne tient pas compte des déperditions par renouvellement d'air (DTR c2-3).

Calcul des déperditions totales pour le mur de nord extérieur on fait juste un seul exemple de calcul :

- Surface de mur extérieur = $8,8 \times 3,06 = 26,93 \text{ m}^2$
- Surface de fenêtre simple vitrage = $1,2 \times 1,2 = 1,44 \text{ m}^2$
- Surface nette de fenêtre simple vitrage = $1,44 \times 2 = 2,88 \text{ m}^2$
- Surface de porte = $2,15 \times 0,9 = 1,94 \text{ m}^2$
- Surface nette de porte = $1,94 \times 1 = 1,94 \text{ m}^2$
- Surface nette de mur = surface de mur – surface nette de porte – surface nette de fenêtre
- Surface nette de mur = $26,93 - 2,88 - 1,94 = 22,11 \text{ m}^2$
- $D_s = S \times K = 22,11 \times 1,25 = 27,64 \text{ w/}^\circ\text{c}$
- $D_t = D_s (T_a - T_c) = 27,64 \times 1 = 27,64 \text{ w/}^\circ\text{c}$

Pour le calcul des déperditions thermiques de l'enveloppe de la maison les résultats sont récapitulés dans (Tableau VI.8):

Tableaux VI.8. Enveloppe de la maison avant l'isolation de polystyrène EPS

Parois	Dimensions		Nombre	Surface	Surface nette	K	Ds	Ti -Te	Dt
	Long L(m)	Larg l(m)		M ²	M ²	W /m ² . °C	W/ °C	°C	W
Mur extérieur nord	8,8	3,06	1	26 ,93	22,11	1,25	27,64	1	27,64
Fenêtre simple vitrage	1,2	1,2	2	1,44	2,88	5	14,4	1	14,4
Porte	2,15	0,9	1	1,94	1,94	3,5	6,79	1	6,79
Mur extérieur sud	8,8	3,06	1	26 ,93	22,11	1,25	27,64	1	27,64
Fenêtre	1,2	1,2	2	1,44	2,88	5	14,4	1	14,4
Porte	2,15	0,9	1	1,94	1,94	3,5	6,79	1	6,79
Mur extérieur Est	12,3	3,06	1	37,64	36,92	1,25	46,15	1	46,15
Fenêtre SDB+WC	0,6	0,6	2	0,36	0,72	5,8	4,18	1	4,18
Mur extérieur ouest	12,3	3,06	1	37,64	37,64	1,25	47,05	1	47,05
Plancher haut	12,3	8,8	1	108,24	108,24	0,3	32,47	1	32,47
Plancher bas	12,3	8,8	1	108,24	108,24	1,66	179,68	1	179,68
Totale									407,19
Totale (KW)									0,407

VI.4.2. Amélioration de la maison par le polystyrène EPS

VI.4.2.1. Les murs

Dans la continuité de notre travail nous avons ajouté à notre construction une isolation par l'extérieur, cette étape permet de faire une étude comparative des déperditions thermiques entre la maison avant et après l'isolation. Un mur est constitué d'une couche d'enduit en plâtre (10 mm) par le côté intérieur, une couche d'enduit de ciment (20 mm) par l'intérieur, de deux parois de brique creuse en terre cuite (10 cm) séparé par une lame d'air (50 mm) au milieu du mur, une isolation par l'extérieur est constituée d'un noyau de 60 mm de polystyrène expansé vu sa disponibilité à l'échelle nationale, son coût faible, et sa grande résistance thermique. qui nous donne l'efficacité énergétique et aussi d'un revêtement d'enduit de 20 mm sur l'extérieur qui a des caractéristiques qui permettent la respiration des murs afin d'éviter le phénomène de la condensation dans le mur.

L'isolation thermique de la maison permet la diminution des échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur, elle réduit également les besoins de chauffage et de climatisation en minimisant les déperditions thermiques. La composition du mur après l'isolation est illustrée dans la figure suivante (Figure VI.11).

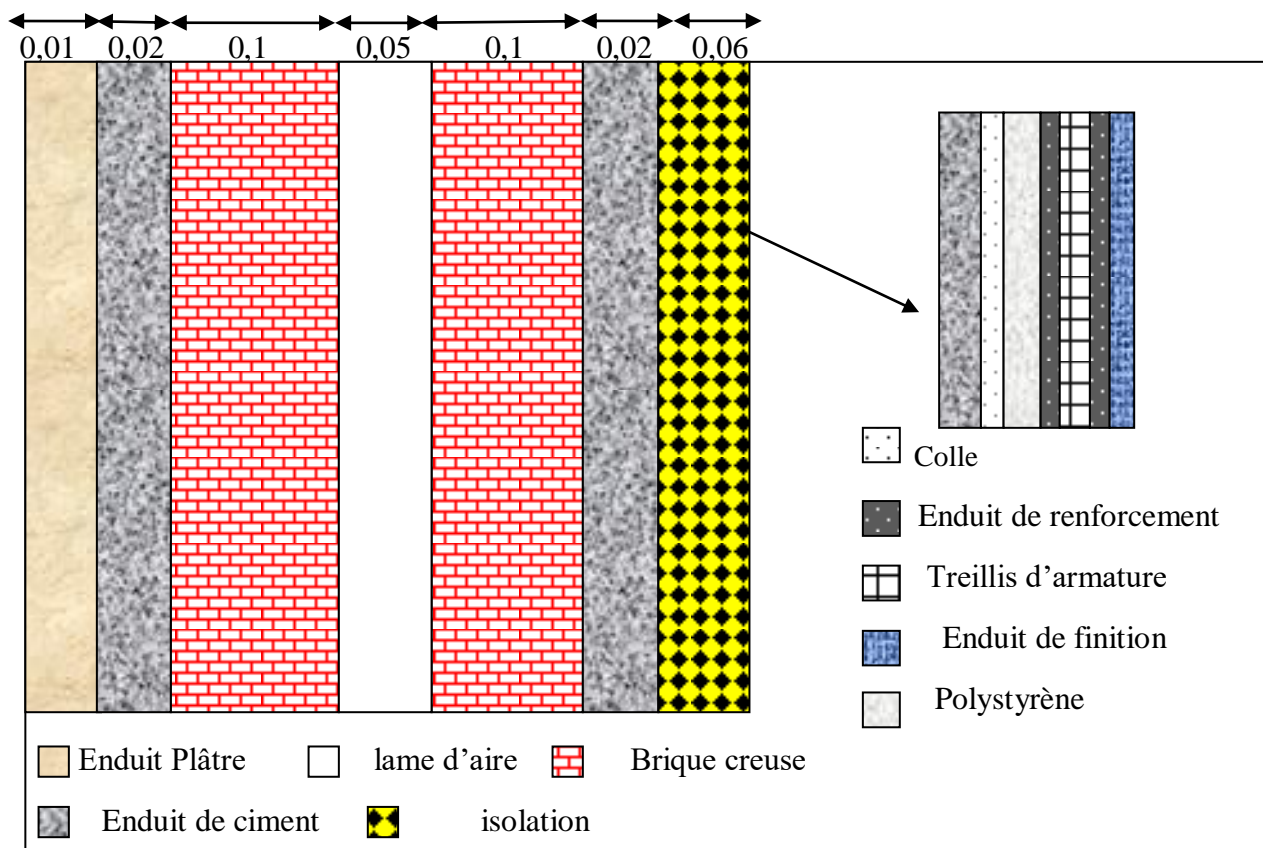


Figure VI.11. Composition du mur après l'isolation

VI.4.2.2. La toiture

Cette toiture comporte aussi un isolant de 60 mm de polystyrène et une couche de par vapeur en polyane empêchant les remonter de la vapeur d'eau venant de l'intérieur.

VI.4.2.3. Les fenêtres

Le type du vitrage utilisé joue un rôle très important dans la maîtrise de l'ambiance. Les ouvertures dans les murs où les murs-rideaux sont des points faibles de l'isolation des constructions, il faut remplacer le simple vitrage avec cadre en bois par le double vitrage en PVC, et ceci afin de diminuer les déperditions calorifiques au niveau des zones transparentes.

VI.4.3. Calcul des déperditions thermiques pour la maison après l'isolation

Les valeurs de coefficient de transmission thermique (k) de plancher bas sont le même que l'étude précédente, pour le mur et le plancher haut avec une isolation de polystyrène expansé sont indiqué dans (Tableau VI.9) et (Tableau VI.10) :

Tableau VI.9. Caractéristiques thermo-physique des Murs double paroi de l'extérieur vers l'intérieur après l'isolation de polystyrène EPS

N°	Désignation	Epaisseur (e)	Conductivité thermique λ	Résistance thermique (R)	Coefficient de transmission thermique (k)
		(m)	W/M. °C	M ² . °C/W	W/M ² . °C 1/Rt
1	polystyrène	0,06	0,022	2,73	0,28
2	Mortier de ciment	0,02	1,4	0,01	
3	Brique creuse	0,1	0,48	0,21	
4	Lame d'air	0,04	0,25	0,16	
5	Brique creuse	0,1	0,48	0,21	
6	Mortier de ciment	0,02	1,4	0,01	
7	Enduit plâtre	0,01	0,35	0,03	
$\sum e/\lambda$				3,36	
Résistance d'échange superficiel	$1/He + 1/Hi = 0,06 + 0,11 = 0,17$ (m ² °C/w)			0,17	
Rt Totale	$1/He + 1/Hi + \sum R$			3,53	

Tableau VI.10. Caractéristiques thermo-physique de plancher haut après l'isolation de polystyrène EPS

Désignation	(e)	λ	(R)	(k)
	(m)	W/M. °C	M ² . °C/W	W/M ² . °C
Bitume feutre	0,04	0,23	0,17	0,47
Forme de pont	0,1	1,75	0,06	
Par vapeur	0,001	2,3	0,00	
polystyrène	0,6	0,038	1,58	
Par vapeur	0,001	2,3	0,00	
Dalle de compression	0,05	1,75	0,03	
Plancher corps creux	0,2	1,4	0,14	
Enduit de ciment	0,015	1,4	0,01	
$\sum e/\lambda$				
Résistance d'échange superficiel	$1/H_e + 1/H_i = 0.09 + 0.05 = 0.14 (m^2 \cdot ^\circ C/w)$		0.14	
Rt Totale	$1/H_e + 1/H_i + \sum R$		2,13	

Le calcul des déperditions thermiques de maison après l'isolation de polystyrène est indiqué dans le tableau suivant (Tableaux VI.11):

Tableaux VI.11. Enveloppe de maison après l'isolation de polyester EPS

Parois	Dimensions		Nombre	Surface	Surface nette	K	Ds	Ti -Te	Dt
	Long L(m)	Larg l(m)							
Mur extérieur nord	8,8	3,06	1	26,93	22,11	0,28	6,19	1	6,19
Fenêtre double vitrage	1,2	1,2	2	1,44	2,88	2,9	8,35	1	8,35
Porte	2,15	0,9	1	1,94	1,94	3,5	6,79	1	6,79
Mur extérieur sud	8,8	3,06	1	26,93	22,11	0,28	6,19	1	6,19
Fenêtre double vitrage	1,2	1,2	2	1,44	2,88	2,9	8,35	1	8,35
Porte	2,15	0,9	1	1,94	1,94	3,5	6,79	1	6,79
Mur extérieur Est	12,3	3,06	1	37,64	36,92	0,28	10,34	1	10,34
Fenêtre SDB+WC	0,6	0,6	2	0,36	0,72	5,8	4,18	1	4,18
Mur extérieur ouest	12,3	3,06	1	37,64	37,64	0,28	10,54	1	10,54
Plancher haut	12,3	8,8	1	108,24	108,24	0,47	50,87	1	50,87
Plancher bas	12,3	8,8	1	108,24	108,24	1,66	179,68	1	179,68
							Totale		298,27
							Totale (KW)		0,298

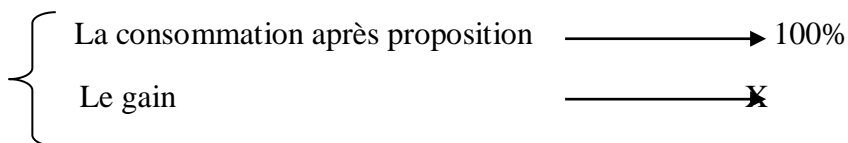
VI.4.3.1. Discussion des résultats

D'après (Tableau VI.8), (Tableau VI.11) on remarque que les déperditions totales avant l'isolation de polystyrène atteint à 0,407 KW sont très inférieures aux déperditions après l'isolation de polystyrène de la maison à 0,298 KW.

- **Calcul de gain**

Le gain= la consommation après proposition –la consommation ordinaire

$$\text{Le gain} = 0,407 - 0,298 = 0,109$$



$$\text{Le gain en pourcentage} = (0,109 \times 100) / 0,407$$

$$\text{Le gain en pourcentage} = 26,78\%$$

VI.5. Calcul des besoins énergétiques

VI.5.1 Température de confort

Les courbes de températures consignées (Figure VI.10), montrent les variations saisonnières de la température moyenne de confort, T_c , à Bouira, et son rapport avec la moyenne journalière maximum, minimum et la température extérieure moyenne T_m . La relation utilisée pour calculer la température de confort à partir de la température extérieure est donnée par Humphrey (1978). Une relation entre la température de confort et la température ambiante : $T_c = 13.5 + 0.54 T_a$ (AMARA, 2009)

VI.5.2. Notions du degré jours pour le chauffage et/ou le refroidissement

L'évaluation de la demande en énergie nécessite la prise en compte de l'écart de température entre l'ambiance intérieure et l'extérieur, or la température varie d'un lieu à un autre.

La notion de degré jour a été introduite pour permettre la détermination de la quantité de chaleur consommée par un bâtiment sur une période de chauffage donné et pour effectuer des comparaisons entre des bâtiments situés dans différentes zones climatiques (M.A boukli, 2012).

VI.5.2.1. Degré jour de chauffage

Le nombre de degrés /jours d'une période de chauffage est égal au produit du nombre de jours chauffés multiplié par la différence entre la température intérieure moyenne du local considéré et la température extérieure moyenne.

$$\text{DJ} = \text{nombre de jours chauffés} \times (\text{T intérieure moyenne} - \text{T extérieure moyenne}).$$

En toute rigueur, le calcul des degrés-jours repose sur le calcul des apports solaires propres au bâtiment (M.A boukli ,2012).

VI.5.2.2. Degré jour de refroidissement

Identique au degré-jour de chauffage sauf qu'il mesure les besoins en climatisation domestique au cours des mois chauds d'été. En général, les besoins en climatisation sont proportionnels à l'écart positif par rapport au seuil de 1°C (M.A boukli, 2012)

Le calcul de degré jour pour le chauffage et la climatisation durant l'année est indiqué dans (Tableau VI.12) :

Tableau VI.12. Calcul du nombre de degrés jours mensuels (Dj)

Mois	Ta	Tc	Nombre de jour	(Tc -Ta)	Dj pour la climatisation	Dj pour le chauffage
Janvier	9	18,36	31	9,36		290,16
Février	11,5	19,71	28	8,21		229,88
Mars	11,75	19,85	31	8,1		251,1
Avril	19	23,76	30	4,76		142,8
Mai	21,5	25,11	31	3,61		111,91
Juin	21,5	25,11	30	3,61	108,3	
Juillet	28	28,62	31	0,62	19,22	
Aout	28	28,62	31	0,62	19,22	
Septembre	21,5	25,11	30	3,61	108,3	
Octobre	20,5	24,57	31	4,07		126,17
Novembre	15,5	21,87	30	6,37		191,1
Décembre	10,25	19,04	31	8,79		272,49
Totale	-		-		255,04	1615,61

VI.5.2.3. Un exemple de calcul

Calcul de degré jour de chauffage

D'après les courbes de température (Figure VI.12) on extrait les températures maximales et minimales pour l'état de Bouïra pour le mois de janvier les résultats sont comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{\max} = 1^{\circ}\text{C} \\ T_{\min} = 17^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{moye}} = 9^{\circ}\text{C} \end{array} \right. \quad T_{\text{moye}} = (T_{\max} + T_{\min}) / 2$$

- La température ambiante est 9°C ;
- Le nombre de jours pour le mois de janvier est 31 jours ;
- $T_c = 13.5 + 0.54 T_a = 13,5 + 0,54 \times 9 = 18,36^{\circ}\text{C}$
- $D_j = \text{nombre de jours chauffés} \times (T_c - T_a) = 31 \times (18,36 - 9) = 290,16$

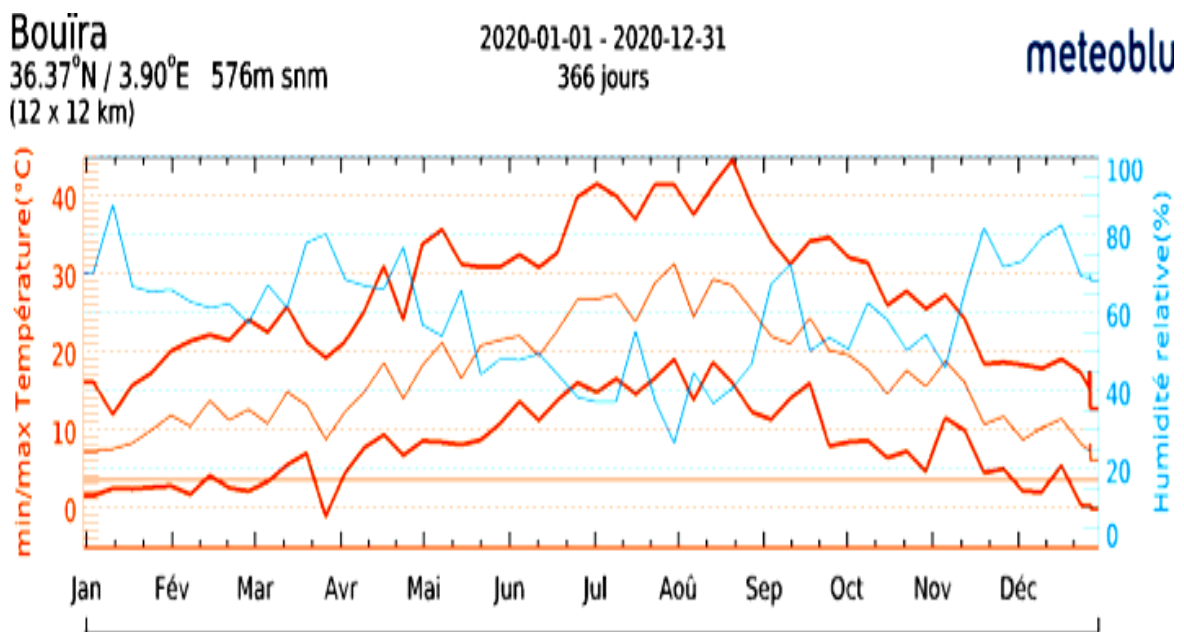


Figure VI.12. Carte de température

D'après (Tableau VI.11), le site de Bouïra est caractérisé par une durée de chauffage beaucoup plus longue (d'octobre à mai) dont :

- Pour la température de confort calculé pour chaque jour, **Dj = 1615,61**

Et une courte durée de refroidissement de juin à septembre dont :

- Pour la température de confort calculé pour chaque jour, **Dj = 255,04**

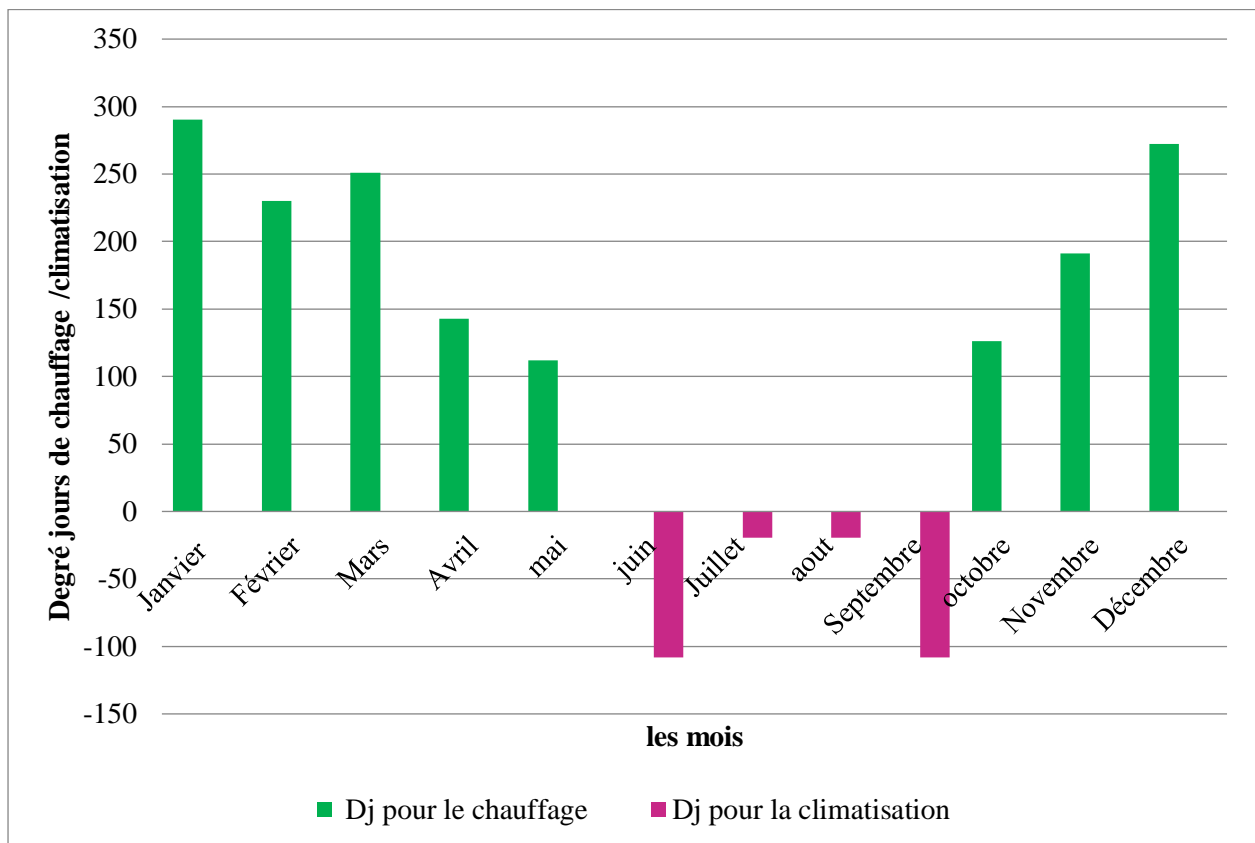


Figure VI.13. Les degrés-jours de chauffage et de climatisation durant l'année

On remarque d'après L'histogramme ci-dessus (Figure VI.13) que les degrés-jours pour le chauffage et beaucoup plus important que les degrés-jours pour la climatisation Ils atteignent leur maximum en mois de janvier, 290,16 ° jour sur base de 9°C, alors que le maximum des degrés-jours en climatisation de la wilaya de Bouïra étaient en mois de juin et septembre ils atteignent 108,3° jour sur base de 21,5°C.

Le minimum des degrés-jours pour le chauffage était en mois de mai ils atteignent à 111,91° jour sur base de 21,5° et le minimum des degrés-jours pour la climatisation était en mois de juillet et aout sur base de 28°.

VI.5.3. Besoin de chauffage /climatisation

Après le calcul de nombre du degré-jour, il faut dimensionner le bâtiment pour calculer les besoins énergétiques pour le chauffage et/ou le refroidissement. On doit calculer les besoins comme suit :

$$C = 24 \times G \times V_h \times Dj$$

Les résultats de calcul des besoins énergétiques de chauffage et climatisation pour notre construction sans et avec isolation de polystyrène sont indiqués dans les tableaux suivants (Tableau VI.13) et (Tableau VI.14) :

Tableau VI.13. Les besoins énergétiques en chauffage (sans et avec isolation)

Mois	Ta	Tc	Dj pour le chauffage	Les besoin énergétique en chauffage (KW.h)	
			Tc	Double paroi sans isolation	Double parois avec isolation
Janvier	9	18,36	290,16	2834,28	2075,22
Février	11,5	19,71	229,88	2245,46	1644,1
Mars	11,75	19,85	251,1	2452,74	1795,86
Avril	19	23,76	142,8	1394,87	1021,30
mai	21,5	25,11	111,91	1093,13	800 ,38
juin	21,5	25,11			
Juillet	28	28,62			
aout	28	28,62			
Septembre	21,5	25,11			
octobre	20,5	24,57	126,17	1232,42	902,36
novembre	15,5	21,87	191,1	1866,66	1366,74
Décembre	10,25	19,04	272,49	2661,68	1948,84
Totale	-	-	1615,61	15781,27	11554,84

Tableau VI.14. Les besoins énergétiques en climatisation (sans et avec isolation)

Mois	Ta	Tc	Dj pour la climatisation	Les besoin énergétique en climatisation (KWh)	
			Tc	Double paroi	Double parois avec isolation
Janvier	9	18,36			
Février	11,5	19,71			
Mars	11,75	19,85			
Avril	19	23,76			
mai	21,5	25,11			
juin	21,5	25,11	108,3	1057,87	774,56
Juillet	28	28,62	19,22	187,74	137,46
aout	28	28,62	19,22	187,74	137,46
Septembre	21,5	25,11	108,3	1057,87	774,56
octobre	20,5	24,57			
novembre	15,5	21,87			
Décembre	10,25	19,04			
Totale	-	-	255,04	2491,23	1824,04

VI.5.3.1. Un exemple de calcul

Calcul du besoin en chauffage pour la double paroi sans isolation pour le mois de janvier :

On applique la loi $C = 24 \times G \times V_h \times Dj$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_h = 12,03 \times 8,8 \times 3,06 = 323,9438 \text{ m}^3 \\ G = D_t / V_h = 0,407 / 323,9438 = 0,001256 \text{ KW/m}^2 \\ Dj = 290,16 \end{array} \right.$$

Le besoin en chauffage est calculé comme suit :

$$C = 24 \times 0,407 \times 290,16 = 2834,28 \text{ KWh}$$

Calcul le besoin en chauffage pour la double paroi avec isolation pour le mois de janvier :

$$\left\{ \begin{array}{l} V_h = 12,03 \times 8,8 \times 3,06 = 323,9438 \text{ m}^3 \\ G = D / V_h = 0,298 / 323,9438 = 0,0009199 \text{ KW/m}^2 \\ D_j = 290,16 \end{array} \right.$$

$$C = 24 \times 0,298 \times 290,16 = 2075,22 \text{ KWh}$$

VI.6. Analyse des résultats de l'énergie consommée

L'histogramme de (Figure VI.14) sont dessinées à partir des résultats de (Tableau VI.12) et (Tableau VI.13) alors que les histogrammes rouge et bleu représentent respectivement les besoins de chauffage /climatisation de la maison sans isolation et ceux de maison avec isolation en KWh.

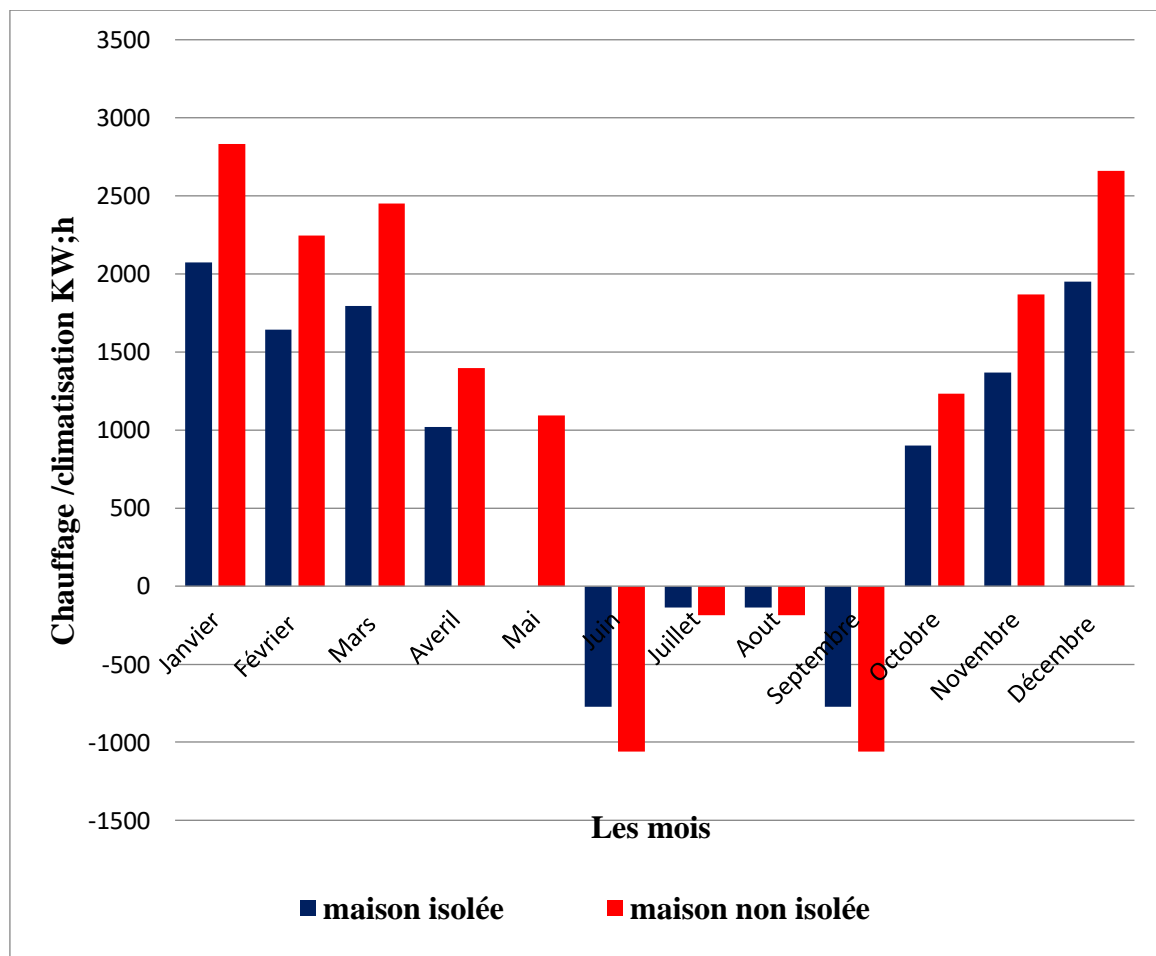


Figure VI.14. Comparaison entre les besoins des deux maisons

L'histogramme ci-dessus (Figure VI.14) représente, la consommation énergétique de chaque mois de chauffage et de refroidissement. Les résultats obtenus nous montrent qu'il y a une variation mensuelle sur la consommation d'énergie durant l'année, la quantité d'énergie consommée de chauffage est beaucoup plus importante que celle du refroidissement dans le climat de Bouïra ceci et par le fait que la partie hivernale dure jusqu'à 6 mois, et la partie estivale seulement 4 mois.

Pour la maison avant l'isolation la valeur la plus élevée des besoins en chauffage dans l'hiver était en mois de janvier il atteint à 2834,28 KWh et la valeur la plus élevée des besoins en climatisation dans l'été pour le mois de juin et septembre il atteint à 1057,87 KWh.

Pour la maison après l'isolation la valeur la plus élevée des besoins en chauffage dans l'hiver était en mois de janvier il atteint à 2075,22 KWh et la valeur la plus élevée des besoins en climatisation dans l'été était en mois de juin et septembre il atteint à 137,46 KWh.

donc on constate que les besoins en chauffage et climatisation de la maison non isolée sont supérieurs en besoins de chauffage et climatisation de la maison isolée (rouge et bleu respectivement) en KWh, cette différence est due à la présence d'un isolant (polystyrène expansé) de l'extérieur, ce qui réduit la chaleur et le froid sortent par la maison, tandis que la maison non isolée évacue la chaleur et le froid de la maison de l'intérieur vers l'extérieur alors doit besoin de chauffage et climatisation pour maintenir le confort thermique dans le foyer.

- Le tableau ci-après (Tableau VI .15) synthétise les différences de performance et de consommation énergétique entre une maison non isolée et une maison dotée d'un système d'isolation.

Tableau VI.15. Les besoins annuels en chauffage/climatisation Totale pour la maison sans et avec isolation (comparaison)

	Déperdition	Volume de maison	Les besoin annuel en chauffages	Les besoin annuel en climatisation
	D(W)	V (m ³)	KWh	kWh
Maison avant l'isolation	0,407	323,9438	15781,27	2491,23
Maison après l'isolation	0,298		11554,84	1824,04

D'après (Tableau VI.15) on remarque que les déperditions énergétiques de la maison sans isolation 0,407W sont supérieures à la maison isolée par le polystyrène qui atteint à 0,298 W.

On remarque que la quantité d'énergie consommée de chauffage est beaucoup plus importante que celle du refroidissement dans le climat de Bouira sur l'enveloppe de maison.

VI.7. Conclusion

Comme les surfaces des habitations sont exposées sans arrêt aux conditions climatiques extérieures, et que ces conditions à travers les éléments constructifs, tentent sans relâche de modifier ou de baisser le confort intérieur habitable. Une étude du comportement hygrothermique de ces éléments constructifs (murs, plancher, toitures, fenêtres, etc.), devient alors nécessaire, afin de contrôler ces échanges thermiques et par la suite de donner un maximum de confort aux habitants.

Ce travail concrétise une étude comparative relative à l'efficacité énergétique, entre une maison non isolée et une maison efficace (isolée) et ceci pour savoir l'importance de l'isolation extérieure dans les bâtiments, pour augmenter la résistance thermique des éléments constructifs, afin de diminuer les déperditions calorifiques durant toute l'année. Donc cette isolation peut être aussi intéressante dans des pays comme l'Algérie.

Ainsi nous concluons de cette étude que l'isolation des bâtiments est très importante, elle réduit les déperditions énergétiques en maintenant un climat approprié dans la maison, alors moins en besoin d'utilisation de chauffage et climatisation cela signifie une réduction de l'utilisation des combustibles fossiles dont les experts s'attendent à ce qu'ils soient épuisés à partir de l'année 2030.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail entre dans le cadre d'une contribution à la mise en place d'une méthodologie globale basée sur l'approche performant et les méthodes multicritères de décision sont destinées à évaluer la vulnérabilité des bâtiments d'habitation en Algérie.

Dans le but de comprendre la problématique du travail mené nous avons présenté dans le premier chapitre, l'état de l'art des connaissances actuelles sur le sujet traité et nous avons conclu que l'énergie est un produit vital pour toutes les activités humaines. Actuellement, le pétrole, le charbon, le gaz naturel et les énergies polluantes et non renouvelables, fournissent la plupart de la consommation quotidienne mondiale d'énergie. Le secteur des bâtiments est parmi les secteurs les plus grands consommateurs d'énergie il présente 28% de la consommation finale dans le monde, en conséquence, cette énergie est l'objet de nombreux usages (chauffage et/ou le refroidissement, l'éclairage, les communications).

Nous avons conclu à partir du troisième chapitre que l'Algérie est un pays qui jouit d'une position relativement enviable en matière énergétique. Les réserves en hydrocarbures dont il dispose et les niveaux actuels de consommation nécessaires à la couverture de ses besoins propres lui permettent de rester serein pour quelque temps encore cette consommation énergétique couvrant le court et le moyen terme avant la date fatidique de l'épuisement de ces ressources fossiles stratégiques, le secteur résidentiel est l'un des plus grands consommateurs d'énergie en Algérie cette énergie consommée dans le secteur résidentiel (électricité et gaz) provient du pétrole. À partir de 2030 le pétrole s'épuisera pour cela le gouvernement a décidé d'accélérer son plan de développement des énergies renouvelables, dont le potentiel est très riche. Selon (PENREE) de 2012, mais sept ans après ce plan, les réalisations sont modestes : le solaire n'a produit que 0,7 % de l'électricité du pays en 2017, et l'éolien 0,01%, pour cela, le gouvernement a mis en place les réglementations thermiques à fin de trouver d'autres solutions pour couvrir les pertes d'énergie dans les bâtiments.

En effet nous avons vu d'après le chapitre II les trois modes de transfert thermique soit par la conduction, la convection, et par le rayonnement, et pour éviter les pertes de chaleur il doit utiliser l'isolation thermique qui est très importante pour assurer le confort thermique.

Les résultats obtenus d'après le chapitre quatre ont montré que l'isolation thermique de l'enveloppe et le type de vitrage sont parmi les solutions les plus efficaces qui permettent une réduction notable des besoins énergétiques, et que le but de notre étude comparative entre une maison non isolée et une maison efficace (isolée) par le polystyrène expansé, est ceci pour savoir l'importance de l'isolation extérieure dans les bâtiments, pour augmenter la résistance thermique des éléments constructifs, afin de diminuer les déperditions calorifiques durant toute l'année, Ils constitueront en effet une barrière aux échanges thermiques, L'isolant est disposé à l'extérieur de la paroi. Ainsi une bonne isolation thermique nous permet d'avoir un gain d'énergie pour l'état et pour le citoyen (électrique et gaz), L'isolation thermique permet à

la fois de réduire nos consommations d'énergie de chauffage et/ou de climatisation et d'accroître notre confort, ainsi la réduction de l'utilisation des combustibles fossiles.

Bibliographie

Bibliographie

- A.A.jamil. (2017). Pile à combustible et applications. institue national des sciences appliquées urban INSA, 33p.
- AATTACHE, A. (2018). cours matériaux le verre dans le bâtiment. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf U.S.T.O, 58p.
- ADEME, (2010). Bâtiment- énergie - environnement Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, 62p.
- Agence nationale de développement de l'investissement (ANDI)-2015. Disponible sur : [https://www.industrie.gov.dz/ Agence-Nationale-de-Developpement](https://www.industrie.gov.dz/Agence-Nationale-de-Developpement)
- AIE, Agence internationale de l'énergie. (2019). Data and statistics - Algeria: Balances 2017. Disponible sur : <https://www.iea.org/>
- Alkhateeb, E., & Hijleh, B. A. (2017). Potential of upgrading federal buildings in the United Arab Emirates to reduce energy demand. *Procedia Engineering*, 180, 61-70.
- AMARA, S. (2009). Optimisation des apports d'énergies Hybrides Dans l'habitat économe ; ÉnergiesRenouvelables, (Thèse de doctorat). université de Tlemcen, 147p.
- Angioletti, R., & Desprez, H. (2000). Energy engineering. Energy mastery inside buildings. Definitions. Use. Consumptions; Genie energetique. Maitrise de l'energie dans les batiments. Definitions. Usages. Consommations. Les Techniques de l'Ingenieur.Paris –France, 21p.
- APRUE, (2007). Consommation énergétique finale de l'Algérie. Chiffres clés année 2005. Donnée et indicateurs, APRUE, Alger.Edition.11p.
- APRUE, (2017). Consommation énergétique finale de l'Alger Chiffres clés Année 2015. Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie.Edition.13p.
- ARMSTRONG, M., ELMAHDY, A., SWINTON, M., & PAREKH, A. (2008). Sélection de vitrages de fenêtres de type résidentiel pour un rendement énergétique optimal, Institut de recherche en construction, conseil national de recherche canada, Solution constructive .n° 71, 9p.
- BALCOMB, J. D., JONES, R. W., KOSIEWICZ, C. E., LAZARUS, G. S., MC FARLAND, R. D., & WRAY, W. O. (1982). « Passive Solar Design Handbook », , American Solar Energy Society, Vol,3.668p.

- Bochu, J. L., Couturier, C., Pointereau, P., Charru, M., & Chantre, E. (2005). Maîtrise de l'énergie et autonomie énergétique des exploitations agricoles françaises: état des lieux et perspectives d'actions pour les pouvoirs publics. Synthèse de l'étude-référence MPA, 5, B1.
- BOUHDJAR, A. (2012). Bulletin des énergies renouvelables N°22-2012, Énergies Renouvelables -Développement Durable- Environnement, 25p.
- BOUNEKRAF, A. (1997). Règlementation thermique des bâtiments d'habitation, Règles de calcul des déperditions calorifiques, Fascicule 1, D.T.R. C-32. Alger, 72p.
- BP, (2019, 2020, 2021). BP Statistical Review of World Energy 2021 - 69th edition <https://www.bp.com/en/>
- CHAABANE, H. (2010). Diffusion thermique, phénomène de transport-prépa PC, EPAM. Sousse, 15p.
- Chateau, B., & Lapillonne, B. (1977). La prévision à long terme de la demande d'énergie: propositions méthodologiques. FeniXX., paris, 90p.
- Connaissance des énergies (aout,2014).pétrole <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/petrole#:~:text=Le%20p%C3%A9trole%2C%20du%20latin%20petra,'azote%20et%20d'oxyg%C3%A8ne> (Consulté le : 09, mai, 2021).
- Connaissance des énergies (janvier, 2020) .Energie éolienne. <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-eolienne> (Consulté le : 09, mai, 2021).
- Delmas, R., Chauzy, S., & Verstraete, J. M. (2014). *Atmosphère, océan et climat*. Belin éditeur. Belin pour la science, Paris, France, 287p.
- DJENIDI, M. (2016). l'isolation thermique, [Diapositive]. <https://fr.slideshare.net/Nazimounazim/lisolation-thermique-57750139>(Consulté le : 08, mai, 2021).
- DONALD, W. (1981). la nouvelle donnée énergétique. paris : Masson, collection géographie, 17p.
- DRAOUI, A., & ARRADJ, N. (2018). Analyses et cartographie de la variabilité spatiotemporelle des paramètres climatiques dans le bassin de l'algérois. Mémoire de master, Université de Khemis Melliana, 58p.
- EDF. (2021).Qu'est-ce que l'énergie éolienne ?
- F. Mussaoui. (2019). "Thermique du bâtiment". Polycopié de cours. Université de Bouira., 9p.
- FENETREALU.(2021).vitrage.<https://www.fenetrealu.com/fenetres-aluminium/double-triple-vitrage-alu/vitrage-isolant> (Consulté le : 08, mai, 2021).

- FERRADJI, K. (2017). Evaluation des performances énergétiques et du confort thermique dans l'habitat. (Mémoire de Magister). Université Mohamed Khider Biskra, 177p.
- FREDERIC, É. (2007). Les Verres. *Frédéric élite on researchgate*, doit: <http://fred.elie.free.fr>, 17p.
- GREGORY, O. (2015). Approche hybride d'optimisation pour la gestion d'énergie dans le bâtiment. Thèse Automatique Productive. Mireille JACOMINO, 170p.
- HERVE, B. (2013). L'isolation thermique pour le bâtiment. fiche technique, 3p. <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/qu-est-ce-que-l-energie-eolienne#:~:text=L%C3%A9nergie%20C3%A9olienne%20est%20une,d'air%2C%20appel%C3%A9s%20vent> Consulté le : 10 mai, 2021).
- Itani, T., Ghaddar, N., & Ghali, K. (2013). Strategies for reducing energy consumption in existing office buildings. *International Journal of Sustainable Energy*, 32(4), 259-275.
- Jannot, Y., & Moyne, C. (2012). Cours Transferts Thermiques 2^{ème}, 2^{Année} Ecole des Mines Nancy . 150p.
- Jedidi, M., & Benjeddou, O. (2016). La thermique du bâtiment: Du confort thermique au choix des équipements de chauffage et de clim. Dunod. Paris : éditeur de savoir, 197p.
- LIVIOS.(2017).<https://www.livios.be/fr/info-construction/gros-oeuvre/portes-et-fenêtres/vitrage/du-simple-au-triple-vitrage/>. (Consulté le : 10 mai, 2021).
- M.soutif. (mars, 2017). 'Une brève histoire de l'énergie) Consulté à l'adresse <<https://www.encyclopedie-energie.org/une-breve-histoire-de-lenergie/>>. (consulté : août 2021).
- MAHMOUD, M. (2012). Office nationale de la métrologie. <https://www.meteo.dz/home> (Consulté le : 15, mai, 2021).
- MANSOURI, Z. (2018). Etude Numérique des performances des matériaux isolants dans le bâtiment (régime permanent) sous conditions de températures réelles de Constantine. master : Génie Mécanique. Université Larbi Ben M'hidi Oum -El – Bouaghi : Faculté Des Sciences et Science Appliquées, 74p.
- MEM, Ministère de l'Énergie et des Mines. hydrocarbure. <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=hydrocarbure>.l [consulté : 10 août 2021].

- MOHAMMED, E. & BOUKLI, H. (2012). Aspects Energétiques, Economiques et Environnementaux d'une habitation écologique. (Thèse de doctorat). Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen, 175p.
- MOREL, N. & GNANSOUNOU, E. (2008). Énergétique du Bâtiment, Cours 4/5ème année, Génie Civil, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL, 215p.
- MURPROTEC. (2020). Quel type de vitrage pour une bonne isolation des fenêtres <https://www.murprotec.lu/fr/astuces-conseils-problemesdhumidite/isolation-des-fenetres-types-de-vitrage> (Consulté le : 08, mai, 2021).
- Robert, J., & Fabas, L. (2011). *Guide de la maison économe: La solution écologique*. Editions Eyrolles. Paris, 200p.
- SERGIO, G., LUCIE, K., GIUSEPPE, P., & PETR, S. (2010). Les bâtiments: efficacité énergétique et énergies renouvelables, Manuel de l'élève, 96p.
- SI YOUSEF, H. & MIZAB, S. (2004), Contribution à l'étude des propriétés physico-chimiques et phosphatées des sols sous oliveraies de Kabylie. Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie. Université MOULOUD Mammeri de Tizi-Ouzou, 70p.
- SOPHIE, M. (2019). Cours thermique L2. Licence de mécanique 2 eme annee. Sorbonne université, 34p.
- Taleb, H. M. (2014). Using passive cooling strategies to improve thermal performance and reduce energy consumption of residential buildings in UAE buildings. *Frontiers of Architectural Research*, 3(2), 154-165.
- TOUATI. (2012). Cours Physique de bâtiment. 45p <https://fr.scribd.com/doc/249158733/cours-PHYSIQUE-DE-BATIMENT-pdf>. (Consulté le : 14, juin, 2021).
- WEATHER SPARK. (s.d.). (2021). Climat et moyennes météorologiques tout au long de l'année pour Bouïra Algérie. <https://fr.weatherspark.com/y/48919/M%C3%A9t%C3%A9o-moyenne-%C3%A0-Bou%C3%AFra-Alg%C3%A9rie-tout-au-long-de-l'ann%C3%A9e> (Consulté le : 12, mai, 2021).
- YVES, J. (2012). Cours Transferts thermiques 2 ème année Ecole des Mines Nancy, 150p.