

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE KASDI MERBAH D'OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique

Mémoire de MASTER Académique

Domaine : Sciences et techniques

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Energétique

Présenté par :

DOUH Abd Errahmane

LAOUR Mahdi

Thème

**Contribution à l'optimisation de la conception aux
bâtiments à basse consommation d'énergie
dans les zones aride**

Soutenu publiquement

Le : 22 /06/ 2019

Devant le jury :

Président	Dr. Zerrouki Mousa	UKM Ouargla
Examineur	Dr. SAIFI Nadia	UKM Ouargla
Encadreur	Dr. BELAHYA Hocine	UKM Ouargla

Année universitaire : 2018 / 2019

Remerciements

Avant tout, nous remercions, Allah le tout puissant de nous avoir donné le courage, La volonté, la patience, et la santé durant toutes ces longues années d'études.

J'adresse mes sincères remerciements à tous mes enseignants de L'université de OUARTA,

Notamment à notre promoteur Dr. Hocine BELAJJA, d'avoir proposé le sujet sur lequel nous avons travaillé, et qui a assuré la direction et l'encadrement du travail présenté dans ce mémoire.

J'adresse mes respectueux remerciements aux membres du jury pour avoir accepté de faire partie de mon jury.

Enfin, mes remerciements vont à tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin à réaliser ce travail.

Mes vives salutations

DOUH Abd Errahmane

Laour Mahdi

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

Aux Etre qui me sont les plus chères au monde :

Mes très chères parents

Aux mes frères et mes chères sœurs

Mes tantes et ancles

Mes grandes familles " Douh "

Tous ceux qui ont contribué à la résussite de ce travail.

Je dédie ce modeste travail :

Aux Etre qui me sont les plus chères au monde :

Mes très chères parents

Aux mes frères et mes chères sœurs

Mes tantes et ancles

Mes grandes familles " Laour "

Tous ceux qui ont contribué à la résussite de ce travail.

DOUH Abd Errahmne

LAOUR Mahdi

Dédicace.....	I
Remerciement.....	II
Sommaire.....	III
Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux.....	VIII
Liste des notations.....	IX
Introduction Générale.....	02

Chapitre 1 : la consommation énergétique dans le secteur bâtiment

1.1. Introduction.....	05
1.2. Consommation mondiale de l'énergie.....	05
1.3. Consommation nationale d'énergie.....	05
1.4. La consommation énergétique à Ouargla.....	06
1.5. Classifications des bâtiments performants.....	07
1.5.1. Le bâtiment basse consommation (BBC).....	07
1.5.2. Le bâtiment passif.....	08
1.5.3. Le bâtiment à énergie positive (BEPOS).....	09
1.6. Le climat.....	10
1.6.1. Définition.....	11
1.6.2. Zones climatiques en Algérie.....	12
1.7. Habitat et les différents types de confort.....	12
1.7.1. Définition de confort.....	12
1.7.2. Le confort respiratoire.....	12
1.7.3. Le confort visuel.....	12
1.7.4. Le confort acoustique.....	12
1.7.5. Le confort thermique.....	12
1.8. Conclusion.....	13

Chapitre 2 : L'isolation thermique des bâtiments

2.1. Introduction.....	15
2.2. Transfert de chaleur.....	15
2.2.1. Modes de transfert de chaleur.....	15
2.2. 1.1. La conduction.....	15
2.2. 1.2. La convection.....	16
2.2.1.3. Le rayonnement.....	17
2.2.2. Notions thermiques.....	18

2.2.2.1.	Flux thermiques.....	18
2.2.2.2.	Conductivité thermique.....	18
2.2.2.3.	Résistance thermique.....	18
2.2.2.4.	Le coefficient de transmission calorifique.....	19
2.2.2.5.	Capacité thermique massique.....	19
2.2.2.6.	Capacité thermique.....	19
2.3.	L'isolation thermique.....	19
2.3.1.	Définition.....	19
2.3.2.	Avantages d'isolation thermique.....	19
2.3.2.1.	Avantage économique.....	19
2.3.2.2.	Avantage environnemental.....	20
2.3.2.3.	Réduire le niveau de bruit.....	20
2.3.2.4.	Intégrité structurale d'un bâtiment.....	20
2.3.2.5.	Empêchement de condensation de vapeur.....	20
2.3.2.6.	Protection contre le feu.....	20
2.4.	Classification des matériaux isolants.....	20
2.4.1.	Les matériaux biosources.....	21
2.4.2.	Les matériaux minéraux.....	22
2.4.3.	Les matériaux synthétiques.....	23
2.5.	Principe de l'isolation thermique.....	24
2.5.1.	L'isolation par l'intérieure.....	25
2.5.2.	L'isolation par l'extérieur.....	25
2.6.	Conclusion.....	26

Chapitre 3 : Matériels et méthodes

3.1.	Introduction.....	28
3.2.	La méthode des plans d'expériences.....	28
3.2.1.	Définition.....	28
3.2.2.	Différents types de plans d'expériences.....	28
3.2.3.	Facteur.....	28
3.2.4.	Domaine d'étude.....	29
3.2.5.	Surface de réponse.....	30
3.2.6.	Coordonnées centrées réduites.....	30
3.2.7.	Fit modèles.....	31
3.2.7.1.	Linéaire.....	31
3.2.7.2.	Quadratique.....	31

3.2.7.3.	Cubique.....	31
3.2.8.	Niveaux (paramètres de chaque facteur dans l'étude).....	31
3.2.8.a	Selon la quantité.....	31
3.2.8.a.1	Faible.....	31
3.2.8.a.2	Haute.....	31
3.2.8.b.	Selon la qualité.....	31
3.2.8.b1	Catégorique.....	31
3.2.8.b2	Continu.....	31
3.2.8.b3	Mélange.....	31
3.3.	Présentation du logiciel TRNSYS (Transient System Simulation)...	32
3.4.	Avantages du logiciel TRNSYS.....	32
3.5.	Logiciel de plan d'expériences(STATGRAPHICS).....	32
3.6.	Conclusion.....	33

Chapitre 4 : Résultats et discussion

4.1.	Introduction.....	35
4.2.	Données climatiques.....	35
4.3.	Description du bâtiment étudié.....	37
4.4.	Définition des niveaux des paramètres étudiés.....	38
4.5.	Etude de la linéarité.....	38
4.6.	Application à l'évaluation des besoins de chauffage et climatisation..	39
4.7.	organigramme de simulation.....	40
4.7.1	Les étapes de simulation.....	40
4.8.1.	Ouargla.....	41
4.8.1.1.	Climatisation.....	41
4.8.1.2.	Chauffage.....	42
4.8.2.	BAYADH.....	43
4.8.2.1.	Climatisation.....	43
4.8.2.2	Chauffage.....	44
4.8.3.	In Saleh.....	45
4.8.3.1.	Climatisation.....	45
4.8.3.2.	Chauffage.....	46
4.9.	Coefficients des modèles.....	47
4.10.	Conclusion.....	48
	Conclusion générale.....	50
	Bibliographique	

Annexe
Résumé

Liste des figures

Chapitre 1 : la consommation énergétique dans le secteur bâtiment		
Figure 1.1	Répartition de la consommation énergétique mondiale [1]	05
Figure 1.2	Consommation nationale par forme d'énergie [2].	06
Figure 1.3	Evolution de la consommation électrique à Ouargla dans le secteur résidentiel (Sonal gaz 2015-2018) [3].	07
Figure 1.4	Des logements sociaux BBC [5].	08
Figure 1.5	Principe d'un logement passif [6]	08
Figure 1.6	Logements collectif à énergie positive. [5]	10
Figure 1.7	Classification du climat en Algérie [8].	11
Figure 1.8	Pertes thermiques du corps humain et les paramètres dépendant [10].	13
Chapitre 2 : L'isolation thermique des bâtiments		
Figure 2.1	Transfert de chaleur par conduction [19].	16
Figure 2.2	Transfert de chaleur par convection [19].	16
Figure 2.3	Transfert de chaleur par rayonnement [19].	18
Figure 2.4	Fibre du Palmier dattier [20].	21
Figure 2.5	Béton de chanvre [28].	22
Figure 2.6	Laine de verre [29].	22
Figure 2.7	Laine de roche [29].	22
Figure 2.8	Fibragglos [28].	23
Figure 2.9	Brique mono mûr en terre cuite [28].	23
Figure 2.10	Le polystyrène [29].	24
Figure 2.11	Le polyuréthane [29].	24
Figure 2.12	Isolation intérieur et extérieur des murs [31].	25
Chapitre 3 : Matériels et méthodes		
Figure 3.1	Domaine de variation d'un facteur défini par ses niveaux	29
Figure 3.2	Point expérimental défini par ses niveaux de facteurs	29
Figure 3.3	Domaine d'étude pour un plan de deux facteurs à deux niveaux	29
Figure 3.4	Surface de réponse pour un plan de deux facteurs à deux niveaux	30
Chapitre 4 : Résultats et discussion		
Figure 4-1	Fréquences cumulées annuelles de la température de l'air extérieur	36
Figure 4.2	la température annule cumulée pendant une année pour les trois villes étudiées ; 1) en Degré heurs et 2) au Pourcentage	36
Figure 4.3	Vue de la maison étudiée	37

Figure 4.4	vérifier la linéarité de chaque niveau du paramètre (coefficient de transmission thermique d'une toiture)	38
Figure 4.5	vérifier la linéarité de chaque niveau du paramètre (coefficient de transmission thermique d'une paroi)	38
Figure 4.6	vérifier la linéarité de chaque niveau du paramètre (WWR_N, WWR_E, WWR_W)	39
Figure 4.7	organigramme de simulation	
Figure 4.8	Besoins annuels de climatisation en fonction des facteurs pour Ouargla	41
Figure 4.9	Besoins annuels de chauffage en fonction des facteurs pour Ouargla	42
Figure 4.10	Besoins annuels de climatisation en fonction des facteurs pour BAYADH	43
Figure 4.11	Besoins annuels de chauffage en fonction des facteurs pour BAYADH	44
Figure 4.12	Besoins annuels de climatisation en fonction des facteurs pour In Saleh	45
Figure 4.13	Besoins annuels de chauffage en fonction des facteurs pour In Saleh.	46

Liste des tableaux

Chapitre 4 : Résultats et discussion		
Tableau 4.1	Composition des parois opaques de la maison	37
Tableau 4.2	Caractéristiques des matériaux des parois opaques de la maison	37
Tableau 4.3	donne les différents paramètres physiques sélectionnés pour cette étude.	38
Tableau 4.4	les variables de réponse à mesure	40
Tableau 4.5	les facteurs expérimentaux à varier	40
Tableau 4.6	La matrice de simulation	40
Tableau 4.7	Coefficient modèle dans les villes (Ouargla, Bayadh, In Saleh)	47

Nomenclature

<i>Symbole</i>	<i>Définition</i>	<i>Unité</i>
<i>m</i>	La masse	[kg]
<i>S</i>	Surface	[m ²]
<i>ρ</i>	La masse volumique	[kg.m ⁻³]
<i>Q</i>	Flux thermique par conduction	[W]
<i>t</i>	Temps	[s]
<i>e</i>	Epaisseur	[m]
<i>T</i>	Température	[°C]
<i>λ</i>	Conductivité thermique	[W/m.K]
<i>R</i>	La résistance thermique	[m ² .K/ W]
<i>U</i>	Le coefficient de transmission calorifique	[W/m ² .K]
<i>C</i>	Capacité thermique	J/ K
<i>Cp</i>	Capacité thermique massique	J/kg K

<i>Indice</i>	<i>Définition</i>	<i>Unité</i>
wall	coefficient de transmission thermique d'une paroi	W/m ² K
roof	coefficient de transmission thermique d'une toiture	W/m ² K
WWR_N	Le pourcentage de surface de fenêtre dans le mur Nord	%
WWR_E	Le pourcentage de surface de fenêtre dans le mur Est	%
WWR_W	pourcentage de surface de fenêtre dans le mur West	%
wind	Type de fenêtre	-

Introduction Générale

Introduction générale

Le problème de la consommation excessive d'énergie se présente fermement dans le sud d'Algérie, ce qui se caractérise par un climat aride, très chaud au été comme la ville de InSalah et très froid en hiver comme la ville de Elbayadh (plus de 85% de la superficie totale de l'Algérie). Le climat de cette région se caractérise par deux saisons, froid intense de l'hiver étirement de (Décembre à Février), et une période estivale se caractérise par des températures élevées de (Mai à Octobre), en plus de faible pourcentage d'humidité et de précipitations.

Les villes Ouargla, InSalah et Elbayadh sont considérées comme références. Compte tenu des statistiques sur la valeur de la consommation d'énergie on remarque une grande différence dans le rapport de la consommation énergétique, puisque le rapport de DDH et DDC a une influence importante sur la consommation énergétique dans la période d'été et d'hiver plus de 78-80% par rapport à les autres saisons, Cela augmente le besoin de conditionnement d'air énergétiques. En plus de condition climatique plusieurs paramètres misent en jeu influent sur le bâtiment comme les matériaux de construction, la conception, la géométrie, orientation ... etc. Pour cela on a choisi la méthode plan d'expériences.

Le confort thermique est estimé essentiellement par les paramètres climatiques extérieurs. Pour assurer un bâtiment confortable Il faut réaliser des études paramétriques, notamment :

Le rapport des surfaces mur fenêtrée dans les orientations suivantes (Nord, Est et Ouest), les coefficients de transmission thermique d'une paroi et toiture, ainsi le type de fenêtrée (simple et double vitrage).

Notre étude a été consacré à l'étude paramétrique énergétiques d'un local d'habitation situé dans la zone aride, afin d'analyser les performances en terme d'économie et de confort en fonction de l'enveloppe.

Dans cette étude nous intéressons sur l'effet des paramètres sur l'enveloppe du bâtiment et la consommation énergétique, par une série des simulations (plan d'expériences). Ces simulations ont été réalisées à l'aide du logiciel TRNSYS.V16 (Transient System Simulation) et le logiciel STATGRAPHICS.

Le travail présenté dans ce document comporte quatre chapitres. Le premier représente la consommation énergétique au niveau mondial, national et local, on va parler sur les

performances bâtiments et une analyse climatique d'Algérie ainsi que les différents types de confort.

Le deuxième est consacré à l'isolation thermique, en donnant un aperçu sur les divers modes de transfert de chaleur, et les différents matériaux et les techniques d'isolation thermique. On présente aussi dans ce chapitre les études qui sont réalisés sur l'isolation thermique des bâtiments pour améliorer la performance thermique et réduire les besoin énergétique

Le troisième chapitre est consacré à l'explication de la méthodologie de la simulation plane d'expériences, et une présentation de logiciel TRNSYS.V16 ainsi STATGRAPHICS.

Dans le quatrième chapitre Nous rassemblons les principaux résultats numériques de cette étude. Les commentaires et les discussions.

En fin nous terminons ce travail par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus et quelques recommandations pour les études futures qui sont émises.

Chapitre 1

La consommation énergétique dans le secteur bâtiment

1.1. Introduction

La consommation mondiale d'énergie augmente en proportion de la population et le niveau de vie. Nous notons que le secteur du bâtiment est l'un des secteurs les plus consommateurs d'énergie après le secteur industriel. Nous abordons ici la consommation d'énergie dans le monde et en Algérie, en prenant la wilaya d'Ouargla comme un exemple de la région aride, ainsi qu'une classification des bâtiments en termes de consommation d'énergie a été présenté.

1.2. Consommation mondiale de l'énergie :

La demande d'énergie primaire mondiale était satisfaite en 2017 à plus de 85,2 % par les énergies fossiles. Le pétrole est la première source d'énergie, assurant 34,2 % des besoins mondiaux, suivi par le charbon 27,6% et le gaz 23,4%. Les énergies renouvelables satisfont quant à elles 3,5 % de la demande, dont 6,8 % pour l'hydroélectricité La part du nucléaire dans la consommation d'énergie primaire s'établit à 4,5% [1].

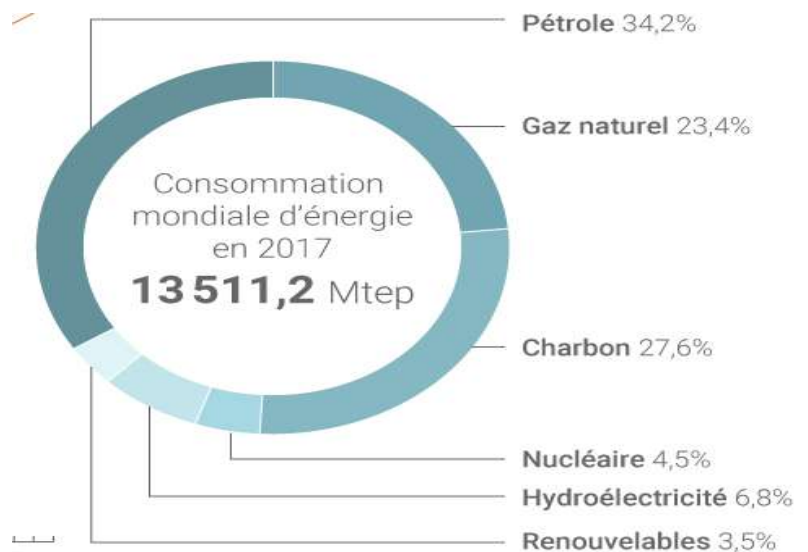
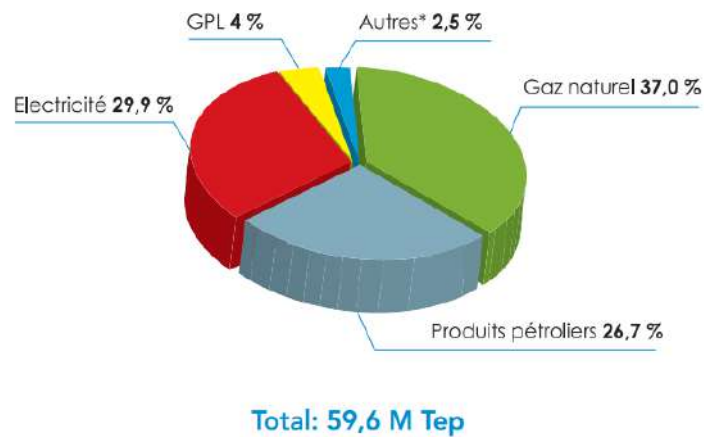


Figure 1.1 : Répartition de la consommation énergétique mondiale [1]

I.3. Consommation nationale d'énergie :

La consommation nationale totale d'énergie a atteint 59,6 M Tep en 2017, en hausse de +2,1% par rapport à 2016.

La structure de la consommation nationale reste dominée par le gaz naturel (37%) suivi par l'électricité (30%) et les produits pétroliers (27%), comme illustré ci-après :



Autres : Produits solides, pétrole brut, condensat, GNL, ...etc.

Figure 1.2 : Consommation nationale par forme d'énergie [2].

Il est à signaler la poursuite de la hausse de la consommation d'électricité, qui a vu sa part s'élever à près de 30% pour s'établir à 17,8 M Tep, soit un point de plus par rapport à 2016, reflétant les besoins induits par le développement socio-économique du pays.

La consommation finale d'énergie a enregistré une augmentation (+4,1%) pour atteindre 44,6 M Tep, tirée notamment par le gaz naturel (+7,9%) et l'électricité (+6,4%). Par contraste, la consommation des produits pétroliers a connu une baisse (1,2%), pour la seconde année consécutive [2].

I.4. La consommation énergétique à Ouargla :

D'après les statistiques de la société Nationale de l'électricité et du gaz unité d'Ouargla, la consommation électrique annuelle à Ouargla est en perpétuelle croissance. Les histogrammes de la (Figure 1.3) montrent l'évolution de la consommation annuelle passant de 865 762 022kWh en 2015, arrivant à 1 036 649 300 kWh en 2018. Soit une augmentation de 170887278 kWh en quatre ans. [3].

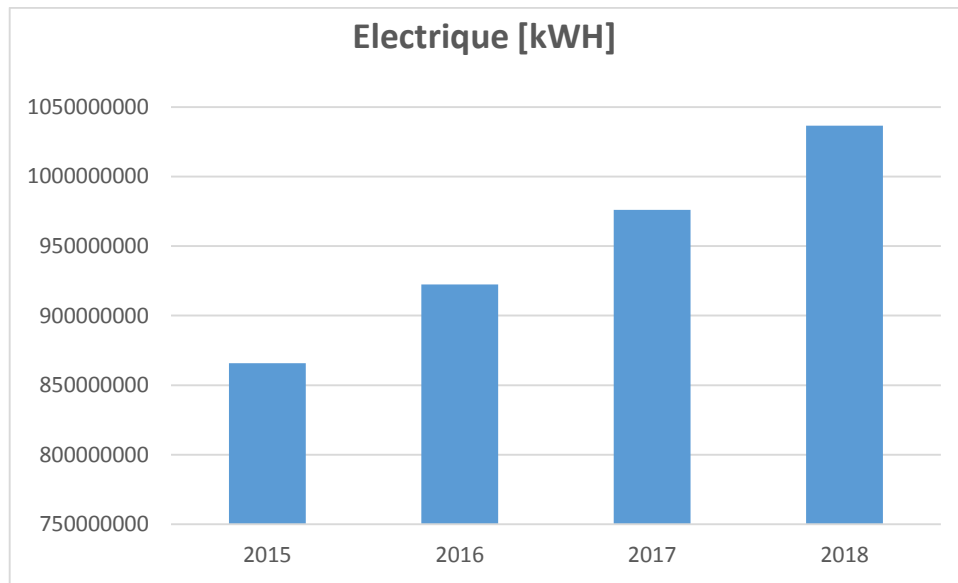


Figure 1.3 : Evolution de la consommation électrique à Ouargla dans le secteur résidentiel (Sonal gaz 2015-2018) [3].

1.5. Classifications bâtiments performants :

1.5. 1. Le bâtiment basse consommation (BBC) :

Le Bâtiment Basse Consommation énergétique (ou BBC) est un label attribué aux bâtiments qui ont une basse consommation d'énergie pour le chauffage, la climatisation, l'éclairage, l'eau chaude sanitaire (ECS) et la ventilation.

Ainsi un logement BBC est un bâtiment performant en termes de consommation énergétique, qui nécessite 50% d'énergie en moins par rapport à un bâtiment conforme à la réglementation thermique RT2005. Pour cela, il met en œuvre, entre autres, une conception bioclimatique, une bonne isolation thermique, le choix du mode de chauffage le plus adapté...

Il existe deux types de conditions d'attribution du label BBC en fonction de l'âge du logement :

- les logements neufs ne doivent pas dépasser l'objectif de consommation de 50 kWh/m².an.
- les logements existants doivent présenter une consommation inférieure à 50 % de la consommation conventionnelle. L'objectif de consommation est fixé pour eux à 80 kWh/m².an.

[4].



Figure 1.4 : Des logements sociaux BBC [5].

1.5. 2. Le bâtiment passif :

Le concept de bâtiment passif (« Bpas ») a été développé à partir des années 1970, pour produire des bâtiments économes en énergie et au confort d'usage et d'habitabilité élevé. Aujourd'hui, le logement passif repose sur : un concept de construction très basse consommation, basé sur l'utilisation de l'apport de chaleur du soleil, une très forte isolation des murs et des fenêtres, l'absence de ponts thermiques, une grande étanchéité à l'air et le contrôle de la ventilation.

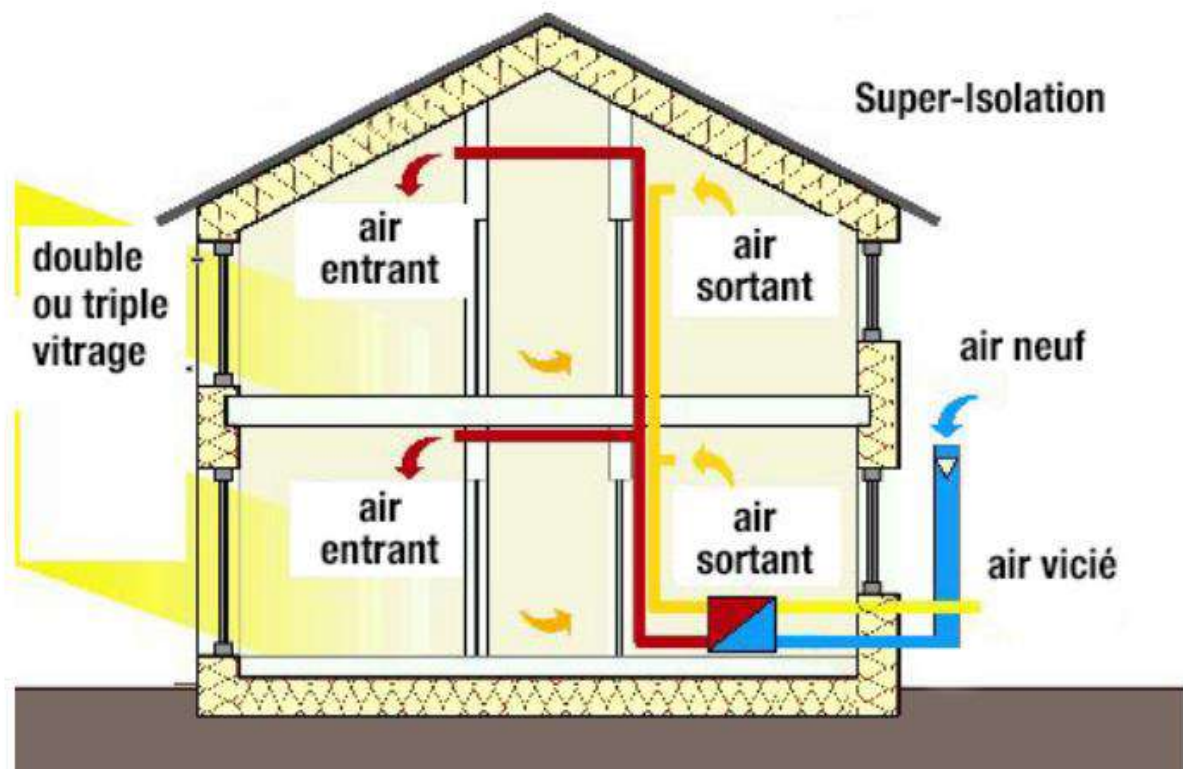


Figure 1.5 : Principe d'un logement passif [6]

Deux critères permettent de déterminer si un bâtiment neuf peut obtenir la labellisation allemande de performance énergétique « Passiv’Haus » :

- Les besoins en chauffage doivent être inférieurs à 15 kWh/m²/an ou puissance de chauffe inférieure à 10 W/m² ;
- Les besoins en énergie primaire totale (chauffage, ventilation, éclairage, eau chaude sanitaire, auxiliaires et équipements électrodomestiques) doivent être inférieurs 120kWh/m²/an.

Avantages à vivre dans un logement passif :

- Une température homogène dans chaque pièce quelle que soit la saison ;
- Une qualité d’air nettement supérieure à celle d’une construction standard ;
- Aucune sensation de froid au niveau des ouvertures (fenêtre, portes, ...) ;
- Un habitat très lumineux ;
- Des factures d’énergie diminuées. [6]

1.5.3. Le bâtiment à énergie positive (BEPOS):

Le bâtiment à énergie positive est un bâtiment dont le bilan énergétique global est positif (il dépasse le niveau zéro énergie), c'est-à-dire qu’il produit plus d’énergie (thermique ou électrique) qu’il n’en consomme. L’énergie complémentaire peut être soit stockée afin d’être consommée ultérieurement, soit réinjectée au réseau de distribution d’électricité pour être revendue.

Pour qualifier un bâtiment qui serait à énergie positif, deux indicateurs énergétiques sont retenue :

- * Le bâtiment doit être sobre en énergie hors production locale et à faible contenu carbone.
- * La consommation totale d’énergie primaire du bâtiment doit être compensée en moyenne par la production locale d’énergie. [5]



Figure 1.6 : logements collectif à énergie positive. [5]

1.6. Le climat

1.6.1. Définition

Le climat est l'une des principales données de la morphologie des systèmes architecturaux et urbains. Il est le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs, incluant la température, la vapeur d'eau, le vent, les radiations solaire et les précipitations dans un endroit particulier et à travers une période de temps.

Le climat est défini comme une généralisation des conditions « temps » de jour en jour et à travers toute l'année [7].

Eléments utiles du climat :

On peut distinguer un ensemble d'éléments, et de facteurs climatiques rapportés en catégorie [7] :

- Facteurs énergétiques : rayonnement, lumière, et température.
- Facteur hydrologique : précipitations, et hygrométrie.
- Facteurs mécaniques : vents, et enneigements.

Le climat d'une région donnée est déterminé par les régimes de variations de plusieurs éléments et par leurs combinaisons. Les principaux éléments climatiques à considérer dans la conception urbaine en générale et lors de la conception d'un bâtiment en particulier, et qui influent sur le confort humain sont :

- Le soleil (radiations)
- La température
- L'humidité
- Le vent
- Les précipitations (pluies, neiges.)

1.6.2. Zones climatiques en Algérie :

L'Algérie occupe une vaste étendue territoriale, sa superficie dépasse les deux millions de Km². 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 [8] :

- Zone A : Littoral marin.
- Zone B : Arrière littoral montagne.
- Zone C : Hauts plateaux.
- Zone D : Présaharien et saharien.

Le littoral marin jouit d'un climat particulièrement tempéré, dû à la l'action modératrice de la mer. Caractérisé par des hivers doux et pluvieux, et des étés chauds et humides avec de faibles amplitudes.

Le climat de l'arrière littoral montagne est plus froid en hiver, où l'altitude et l'éloignement de la mer entraînent une baisse de température et des amplitudes diurnes et annuelles. Les étés sont chauds et moins humides.

Or, le climat des hauts plateaux est relativement homogène, à tendance aride et très continentale. Ses hivers sont plutôt froids et longs qu'à la même altitude dans la zone A et B. Les températures sont très basses avec une fréquence de neige. Ses étés sont chauds et secs.

Le climat Présaharien ou saharien quant à lui est caractérisé par l'intensité du rayonnement solaire et une faible humidité, d'où le caractère du climat aride. L'absence de nuages favorise une forte amplitude de température. La période froide est plus courte avec des jours modérés et des nuits très froides. L'été est très chaud et rigoureux, les températures atteignent les 45°C à l'ombre avec les vents intenses de siroco.

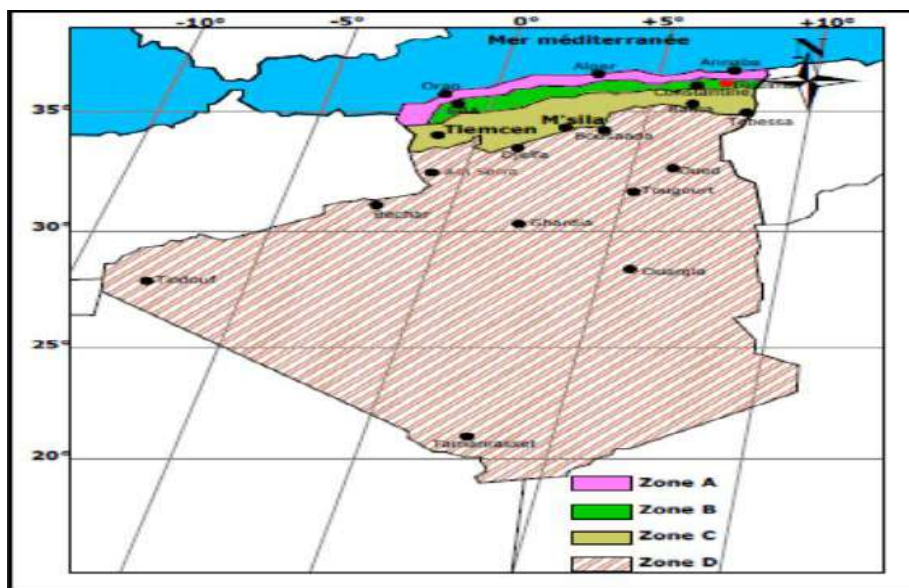


Figure 1.7 : Classification du climat en Algérie [8].

1.7. Habitat et les différents types de confort :

1.7.1. Définition de confort :

Le confort est une notion globale : chaleur et froid, lumière, bruit, paysage, eau, verdure, prestige.... et autre, sont autant d'éléments définissant plusieurs paramètres climatiques, esthétiques, psychologiques du confort. Le confort est également la sensation subjective qui n'existe pas en lui-même [9].

1.7.2. Le confort respiratoire :

La bonne qualité d'air intérieur traduit par la ventilation est importante pour les processus métaboliques et pour l'hygiène de chacun. La ventilation et la réduction des pollutions à la source sont les garantes d'une meilleure respiration et d'une meilleure santé [10].

1.7.3. Le confort visuel :

Un bon éclairage doit garantir à l'habitant qu'il puisse exercer ses activités le plus efficacement possible, en assurant son bien-être et en lui apportant un certain agrément visuel. L'environnement visuel doit permettre de voir les objets nettement et sans fatigue dans une ambiance colorée agréable [10].

1.7.4. Le confort acoustique :

Le confort acoustique dépend de la dynamique sonore, c'est-à-dire de l'émergence du son sur le bruit de fond.

Le confort acoustique peut être défini comme la sensation de gêne assurée par l'environnement sonore d'un individu ou d'un groupe d'individus, dont les éléments sont : l'intensité des sons, la propagation et les temps de réverbération, la durée, la nature et le contexte (notion d'acceptabilité sociale des bruits) [10].

1.7.5. Le confort thermique :

Dans les milieux bâtis, le confort thermique constitue une exigence essentielle à laquelle le concepteur doit apporter les réponses nécessaires. L'environnement thermique est caractérisé par quatre grandeurs physiques (la température de l'air, l'intensité de rayonnement solaire, l'humidité et la vitesse de l'air). Ces variables réagissent avec l'activité et la vêtue du corps humain pour établir son état thermique et constituent ensemble les six paramètres de base des échanges thermiques entre l'homme et son environnement. [10].

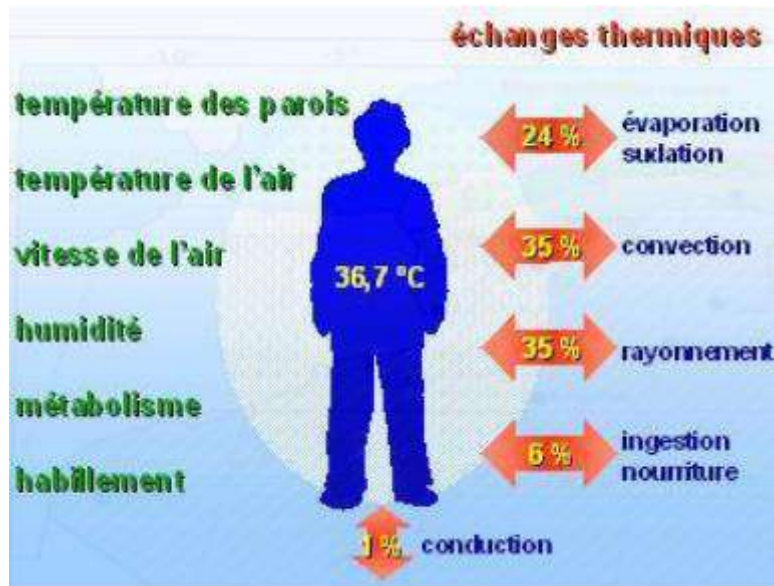


Figure 1.8 : Pertes thermiques du corps humain et les paramètres dépendant [10].

1.8. Conclusion

Les chiffres statistiques montrent une importante augmentation dans l'évolution de la consommation énergétique en l'Algérie dans les dernières années due le niveau de vie et le nombre de la population. Les régions arides au sud de l'Algérie ont une consommation saisonnière importante due à la grande variation de la température.

Dans la littérature il y a plusieurs classifications tel que : les bâtiments basse consommation d'énergie, Bâtiments passif, bâtiments énergie positive ...etc.

Chapitre 2

L'isolation thermique des bâtiments

2.1. Introduction

L'isolation thermique a une grande importance car elle réduit les pertes de chaleur dans le bâtiment. Dans ce chapitre, nous donnons brièvement quelques rappels sur les différents modes de transfert de chaleur par conduction, par convection et par rayonnement rencontrés généralement dans le bâtiment. Dans ce chapitre nous donnons aussi les types d'isolation thermique dans les bâtiments, et les différents matériaux d'isolation.

2.2. Transfert de chaleur

Le transfert de chaleur peut être défini comme la transmission de l'énergie d'une région à une autre sous l'influence d'une différence de température. Il est régi par une combinaison de lois physiques. La littérature traitant du transfert de chaleur reconnaît essentiellement trois modes de transmission de la chaleur : la conduction, la convection et le rayonnement [11].

2.2.1. Modes de transfert de chaleur

2.2.1.1. La conduction

La conduction est un le transfert de chaleur provoqué par la différence de température entre deux régions d'un milieu solide, liquide ou gazeux ou entre deux intermédiaires en contact physique.

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température [12] :

$$\vec{\phi} = -\lambda S \vec{\text{grad}} (T) \dots\dots\dots (2.1)$$

Ou sous forme algébrique :

$$\phi = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial x} \dots\dots\dots (2.2)$$

Avec :	ϕ	Flux de chaleur transmis par conduction	(W)
	λ	Conductivité thermique du milieu	(W. m ⁻¹ . °C ⁻¹)
	x	Variable d'espace dans la direction du flux	(m)
	S	Aire de la section de passage du flux de chaleur	(m ²)

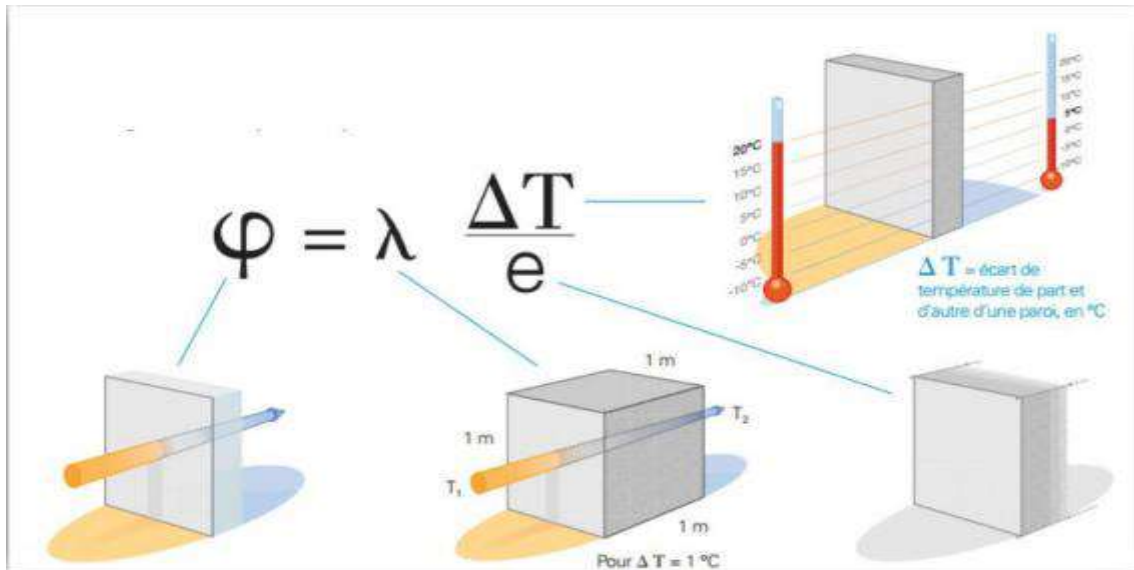


Figure 2.1 : Transfert de chaleur par conduction [13].

2.2.1.2. La convection

Les phénomènes de convection interviennent dans la transmission de la chaleur chaque fois qu'un fluide se déplace par rapport à des éléments fixes. Lorsque se produit au sein du fluide des courants dus simplement aux différences de densité résultant des gradients de température, on dit que la convection est naturelle ou libre. Par contre, si le mouvement du fluide est provoqué par une pompe ou un ventilateur, le processus est appelé convection forcée [11].

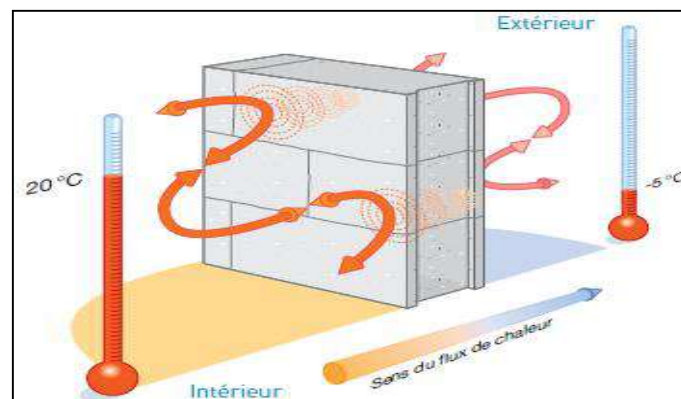


Figure 2.2 : Transfert de chaleur par convection [14].

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide.

Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton [12] :

$$\phi = h S (T_p - T_\infty) \quad (2.3)$$

Avec :

ϕ	Flux de chaleur transmis par convection	(W)
h	Coefficient de transfert de chaleur par convection	(W m ⁻² °C ⁻¹)
T_p	Température de surface du solide	(°C)
T_∞	Température du fluide loin de la surface du solide	(°C)
S	Aire de la surface de contact solide/fluide	(m ²)

2.2.1.3. Le rayonnement

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation [12] :

$$\Phi = \sigma \varepsilon_p S (T_p^4 - T_\infty^4) \quad (2.4)$$

Avec :

Φ	Flux de chaleur transmis par rayonnement	(W)
σ	Constante de Stefan	(5,67.10 ⁻⁸ W m ⁻² K ⁻⁴)
ε_p	Facteur d'émission de la surface	
T_p	Température de la surface	(K)
T_∞	Température du milieu environnant la surface	(K)
S	Aire de la surface	(m ²)

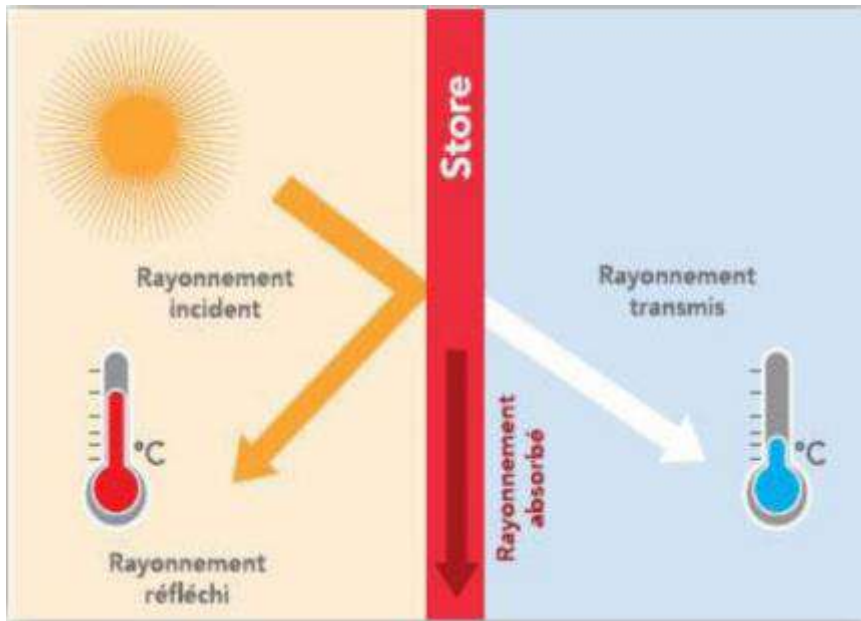


Figure 2.3 : Transfert de chaleur par rayonnement [13].

2.2.2. Notions thermiques

2.2.2.1. Flux thermiques

Le flux thermique est la quantité d'énergie thermique qui traverse une surface isotherme par unité de temps [15].

$$q = \frac{\partial Q}{\partial t} \text{ (W)} \dots\dots\dots (2.5)$$

2.2.2.2. Conductivité thermique

La conductivité thermique (notée λ) correspond à la capacité d'un matériau à conduire la chaleur. Elle représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et par unité de temps, sous un gradient de température [16].

$$\lambda = q \frac{e}{\Delta T} \text{ (W/m.K)} \dots\dots\dots (2.6)$$

2.2.2.3. Résistance thermique

La résistance thermique (notée R) correspond à la capacité d'un matériau à résister au froid et à la chaleur. Elle est déterminée en divisant l'épaisseur du matériau (e) par la conductivité thermique de ce dernier (λ) [16].

$$R = \frac{e}{\lambda} \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)} \dots\dots\dots (2.7)$$

2.2.2.4. Le coefficient de transmission calorifique

Le coefficient de transmission calorifique (notée U) caractérise les déperditions thermiques d'un matériau ou d'une paroi. C'est l'inverse de la résistance thermique (R) [15].

$$U = \frac{1}{R} (W/m^2 \cdot K) \dots\dots\dots (2.8)$$

2.2.2.5. Capacité thermique massique

On appelle capacité thermique massique (Cp) la quantité de chaleur qu'il faut appliquer à 1kg de matière pour élever sa température de 1K [15].

2.2.2.6. Capacité thermique

La capacité thermique est l'énergie qu'il faut apporter à un corps pour augmenter sa température d'un 1K. Elle s'exprime en (J/K). C'est une grandeur extensive [15].

$$C = Cp \times m \dots (2.9)$$

2.3. L'isolation thermique

2.3.1. Définition

L'isolation thermique est la propriété que possède un matériau de construction pour diminuer le transfert de chaleur entre deux ambiances. Elle permet à la fois de réduire les consommations d'énergie de chauffage ou de climatisation (limite les déperditions en hiver et les apports en été), et d'accroître le confort (maintien des températures et l'hygrométrie aux niveaux de confort d'été comme d'hiver et règle le problème de parois froides en hiver et chaude en été) [17].

2.3.2. Avantages d'isolation thermique

L'intérêt principal de l'isolation thermique c'est qu'elle permet de réduire la dépendance sur les systèmes (mécanique/ électrique) pour exploiter le bâtiment confortablement et, par conséquent, conserve l'énergie et les ressources naturelles associées. En plus de confort thermique, il existe également plusieurs autres avantages de l'utilisation d'isolation thermique dans le bâtiment qui peuvent être résumées comme suit [18]:

2.3.2.1. Avantage économique :

Des économies d'énergie importantes peuvent être atteintes à l'aide d'utilisation d'isolation thermique, avec peu de dépenses en capital. Il réduit les coûts d'exploitation de l'énergie.

2.3.2.2. Avantage environnemental :

L'utilisation d'isolation thermique non seulement réduit les coûts d'exploitation de l'énergie, mais entraîne également des avantages environnementaux comme la valorisation des déchets rejetés qui causent des émissions polluantes.

2.3.2.3. Réduire le niveau de bruit :

L'isolation peut réduire le bruit nuisible et stressant des espaces voisins ou de l'extérieur. Cela améliore le confort acoustique des bâtiments isolés.

2.3.2.4. Intégrité structurale d'un bâtiment :

Les fortes variations de température peuvent causer des mouvements thermiques indésirables, ce qui pourrait endommager la structure du bâtiment. La préservation des bâtiments avec des fluctuations minimales de température contribue à la préservation de l'intégrité des structures de bâtiments. Ceci peut être réalisé par l'utilisation d'une isolation thermique appropriée en augmentant ainsi la durée de vie des structures du bâtiment.

2.3.2.5. Empêchement de condensation de vapeur :

Bonne installation de l'isolation thermique aide à prévenir la condensation de vapeur sur la surface de bâtiment. Cependant, il faut faire attention à éviter les effets néfastes de la structure du bâtiment dommageable, qui peuvent résulter de mauvaise installation de matériaux d'isolation ou une mauvaise conception. En plus, les pare-vapeur sont généralement utilisés pour empêcher la pénétration d'humidité dans un isolant à basse température.

2.3.2.6. Protection contre le feu :

Si le matériau isolant approprié est choisi et correctement installé, il peut aider à retarder la chaleur et à empêcher l'immigration de flamme dans la construction en cas d'incendie.

2.4. Classification des matériaux isolants

En thermique, un isolant thermique est un matériau ayant une faible conductivité thermique. Les principaux matériaux d'isolation disponibles actuellement vous sont présents dans les fiches suivantes, classes en 3 grandes familles selon l'origine de leur matière première [19]:

2.4.1. Les matériaux biosources :

Constitues principalement de fibres végétales ou animales. Leur matière première est donc largement issue de ressources renouvelables et valorise majoritairement des coproduits de l'agriculture ou de l'industrie du bois.

A la différence des autres types de matériaux d'isolation, la majeure partie des matériaux bio sources présente un comportement hygroscopique qui associe forte perméabilité à la vapeur d'eau et régulation de l'humidité [19].

➤ **Fibre du palmier dattier :**

Le palmier dattier est une plante qui pousse dans des climats très sévères dans les zones arides et semi arides, on ne connaît pas cette espèce à l'état sauvage. Il est typiquement cultivé dans les oasis sahariennes. Il existe plus de 2600 espèces de palmiers.

Le palmier dattier développe plusieurs types de fibres, parmi ces fibres celle de surface appelée dans la région du Sahara life. Notons que la couche des fibres augmente la durabilité du stipe du palmier dattier et le protège contre les chocs externe set les endommagements dus aux animaux, réduit également les contraintes dues à la température très élevée de la saison de l'été, et faible pendant la saison de l'hiver à cause de ces propriétés d'isolation thermique [20].



Figure 2.4 : fibre du Palmier dattier [20].

➤ **Fibres de bois**

Les fibres de bois sont obtenues par défibrage de chutes de bois résineux. Elles peuvent être utilisées en vrac ou transformées sous forme de panneaux. Pour ce faire une pate épaisse est formée par adjonction d'eau et d'adjuvants [21].

➤ **Béton de chanvre**

Le béton de chanvre est constitué d'un mélange à base de chènevotte, d'un liant généralement de la chaux formulée et d'eau. Le dosage en liant est très variable et dépend de l'usage qui en est fait : blocs préfabriqués, conglomerats banchés ou projetés à la machine, enduits isolants [22].



Figure 2.5 Béton de chanvre [22].

2.4.2. Les matériaux minéraux

Constitues principalement de ressources minérales vierges ou issus en partie du recyclage pour certains. Sous forme de laines de verre ou de roche, et des fibragglos [19].

➤ La laine minérale

Les laines de verre et de roche sont les isolants conventionnels les plus utilisés dans le bâtiment. La laine de roche est obtenue à partir de la fusion de roche volcanique (basalte) de fondant et de coke industrielle. Une pâte est alors obtenue, fibrée et encollée par des liants chimique (résine phénoliques) avant d'être stabilisé par chauffage en étuve.

La laine de verre est obtenue par un procédé industriel similaire, mais à partir de la fusion de sable siliceux et /ou de verre recyclé [21].

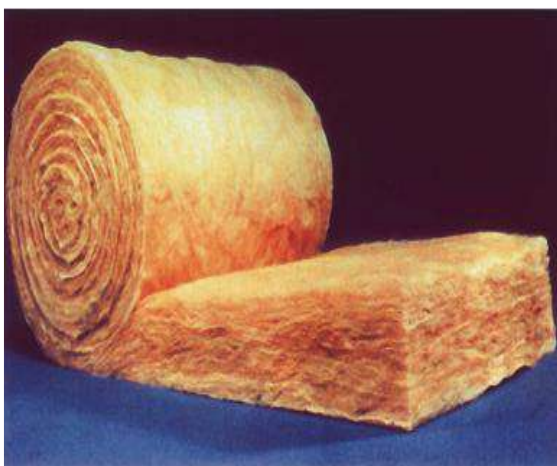


Figure 2.6 : Laine de verre [21].



Figure 2.7 : Laine de roche [21].

➤ Terre cuite

La terre cuite est composée d'argile séchée au soleil pendant un an qui sera mélangée à de l'eau, du sable et de la sciure de bois, le mélange obtenu sera broyé, humidifié, moulé et cuit. Les produits finis, utilisés encore aujourd'hui, restent les mulots (briques pleines) pour leur fonction décorative mais aussi les blocs à alvéoles verticale multiple ou Mono mûrs en terre cuite [22].



Figure 2.8 : Fibragglos [22].

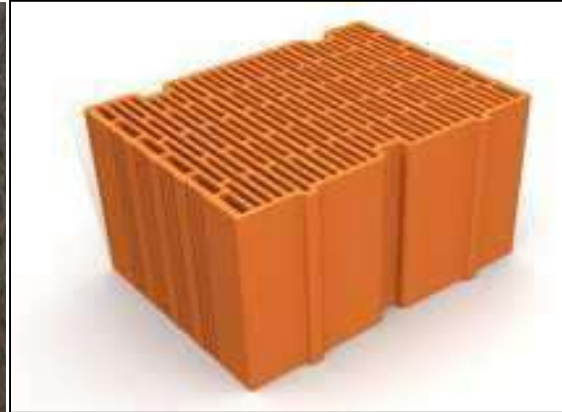


Figure 2.9 : Brique mono mûr en terre cuite [22].

2.4.3. Les matériaux synthétiques

Issus de ressources pétrochimiques, donc non renouvelables et fortement émettrices de gaz à effet de serre. Pour la plupart dépourvus de toute sensibilité à l'humidité, ces matériaux peuvent être particulièrement indiqués pour le traitement des zones fortement soumises à l'humidité (soubassement, sous-dalle...) [19].

➤ Le polystyrène (expansé et extrudé)

Ces isolants sont produits par l'industrie du pétrole, le plus souvent à partir d'un ou de plusieurs dérivés du processus de raffinage. Le polystyrène expansé est obtenu par polymérisation des billes de styrène qui en sont issues avec de l'eau et du gaz pentane. Le polystyrène extrudé est obtenu après polymérisation du styrène par extrusion sous pression d'une pâte de fusion grâce à un gaz lourd [22].



Figure 2.10 : Le polystyrène [21].

➤ **Les polyuréthanes**

Les mousses de polyuréthanes sont obtenues par catalyse et expansion à partir d'un mélange d'isocyanate, de polyol, et d'un gaz expansée (CO₂) avec ajout de stabilisant et d'ignifugeants [22].



Figure 2.11 : Le polyuréthane [21].

2.5. Principe de l'isolation thermique [17] :

La fonction première de l'isolant est de conserver à l'intérieur de l'habitation la chaleur en hiver et la fraîcheur en été. Une maison bien isolée permet de réduire les consommations d'énergie du foyer en matière de chauffage et de climatisation, et ainsi faire des économies tout en augmentant votre confort .On trouve deux façons d'isolé une construction :

2.5.1. L'isolation par l'intérieure :

Consiste à isoler un bâtiment de l'intérieur en apposant un isolant derrière une cloison maçonnerie ou une ossature, procédé le plus utilisé par les constructeurs à cause de sa facilité de mise en œuvre. Son inconvénient est qu'il annule l'inertie thermique de la paroi isolée et n'évite pas les ponts thermiques sur la maçonnerie.

2.5.2. L'isolation par l'extérieur :

Consiste à installer l'isolant sur la surface extérieure du mur. Ce souvent la solution la plus couteuse mais aussi la plus performante. Elle constitue la meilleure isolation pour le confort d'été et d'hiver car elle permet de conserver l'inertie thermique forte des murs intérieurs et supprime les ponts thermiques. Un bon isolant est évidemment un mauvais conducteur de la chaleur. En générale les matériaux les plus légers sont de meilleurs isolants plus le matériau est dense, plus les atomes sont proches les uns des autres, ce qui signifie que le transfert d'énergie d'un atome à un autre est plus facile.

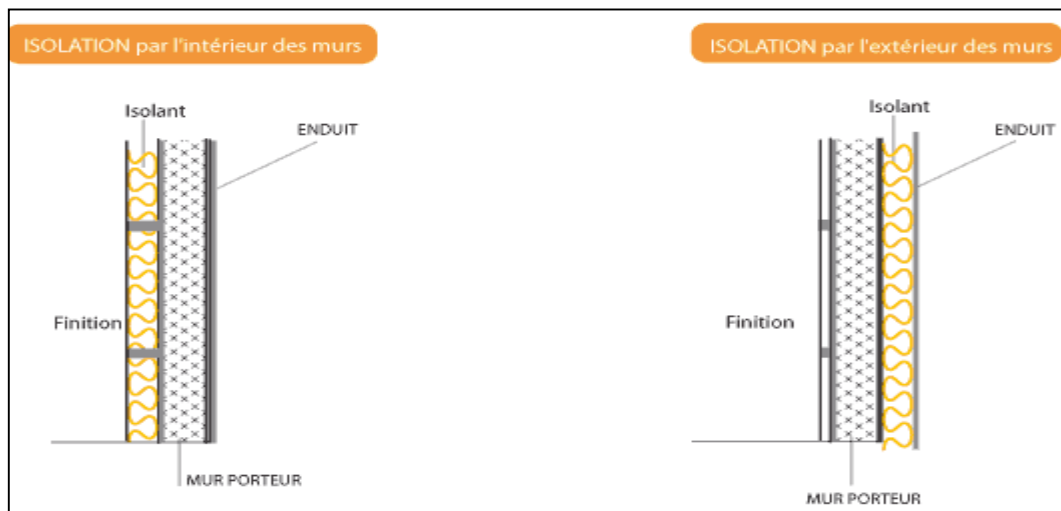


Figure 2.12 : isolation intérieure et extérieure des murs [23].

2.6. Conclusion

Une présentation de différents modes de transfert thermique au bâtiment a été présentée, ainsi que les notions de base tel que ; la conductivité thermique, le flux à travers les différentes surfaces latérales. L'isolation thermique a un effet important sur la performance thermique de l'enveloppe du bâtiment, il joue un rôle indispensable pour une meilleure conception en point de vue énergétique (chauffage et de climatisation) en particulier dans les zones aride.

Chapitre 3

Matériels et méthodes

3.1. Introduction

Le problème multi paramètres peut être résolu grâce à la méthode des plans d'expériences, largement utilisée dans l'industrie, pour des études d'optimisation, de contrôle de qualité et d'analyse de données.

Ce chapitre débute par une présentation générale de la démarche de planification expérimentale ainsi que du vocabulaire de base (facteurs, réponse, domaine expérimental, etc...). Nous allons donner une brève explication des programmes (TRNSYS et STATGRAPHICS) que nous utiliserons dans le prochain chapitre.

3.2. La méthode des plans d'expériences :

3.2.1. Définition :

Les plans d'expériences permettent d'organiser au mieux les essais qui accompagnent une recherche scientifique ou des études industrielles. Ils sont applicables à de nombreuses disciplines et à toutes les industries à partir du moment où l'on recherche le lien qui existe entre une grandeur d'intérêt, y , et des variables, x_i . Il faut penser aux plans d'expériences si l'on s'intéresse à une fonction du type :

$$Y=f(x_i)$$

Avec les plans d'expériences on obtient le maximum de renseignements avec le minimum d'expériences. Pour cela, il faut suivre des règles mathématiques et adopter une démarche rigoureuse. [24]

3.2.2. Différents types de plans d'expériences :

Plusieurs types de plans d'expériences peuvent être utilisés en fonction du problème et du choix de l'expérimentateur. Et dans notre étude, nous avons utilisé (Plans factoriels complets)

- Plans factoriels complets :

Dans les plans factoriels complets, toutes les combinaisons des niveaux sont effectuées au cours de l'essai. Pour n facteurs à m niveaux, on note ce plan m^n . Le plan compte alors m^n essais. Par exemple, pour 6 facteurs à trois niveaux, le nombre de combinaisons possibles que comporte le plan factoriel complet est $3^6 = 729$ expériences [25].

3.2.3. Facteur :

Sont les causes possibles élémentaires, des variations observées sur la réponse .ils peuvent être de deux natures différents qualitative comme le type de système de climatisation ou quantitative comme l'efficacité de ce système .en générale un facteur varie entre deux bornes : la borne inférieure (niveau bas que l'on note par -1) et la borne supérieure (niveau haut que l'on note par +1). L'ensemble de toutes les valeurs que peut prendre le facteur entre le niveau bas et

le niveau haut, s'appelle le domaine de variation du facteur .un facteur peut prendre plusieurs niveaux à l'intérieur de son domaine de variation. [26]

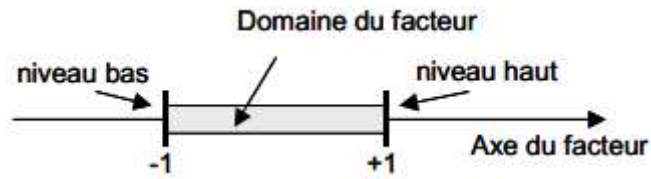


Figure 3.1 : domaine de variation d'un facteur défini par ses niveaux. [26]

Le domaine de variation du facteur est constitué de toutes les valeurs comprises entre -1 et 1. Dans l'espace expérimental, les niveaux des facteurs définissent des points expérimentaux disposés dans le domaine d'étude.

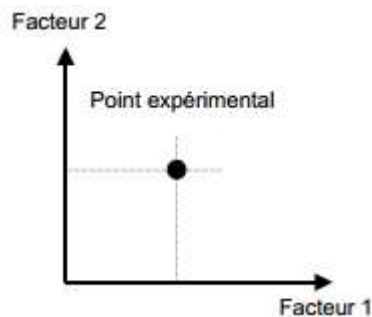


Figure 3.2 : point expérimental défini par ses niveaux de facteurs. [26]

3.2.4. Domaine d'étude:

Les niveaux des facteurs peuvent être considérés comme les coordonnées d'un point de l'espace expérimental. Une expérience donnée est représentée par un point dans ce système. L'ensemble des points expérimentaux constitue le domaine de l'étude.

La réunion des domaines de variation de chaque facteur définit le domaine d'étude. Autrement dit, c'est la partie retenue par l'expérimentateur pour faire ses essais [26]

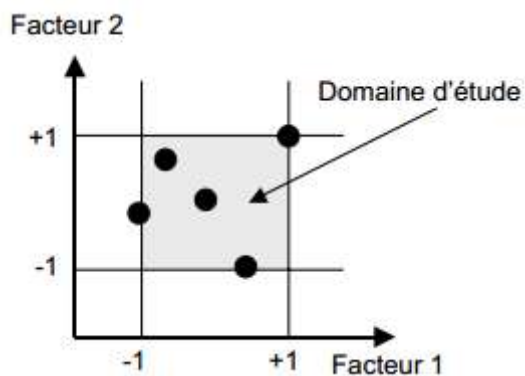


Figure 3.3 : domaine d'étude pour un plan de deux facteurs à deux niveaux [26]

3.2.5. Surface de réponse :

La réponse est la grandeur que l'on mesure pour connaître l'effet des facteurs sur le Système. La fonction qui lie la réponse aux facteurs est représentée par un modèle mathématique :

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k)$$

Y : est la réponse

X_i : représentent des facteurs

A chaque point du domaine d'étude correspond une réponse. L'ensemble des réponses définit la surface de réponse. On ne connaît que quelques réponses. Celles de points expérimentaux (résultats de quelques simulations). On interpole les réponses connues pour obtenir une approximation de la surface de réponse. [26]

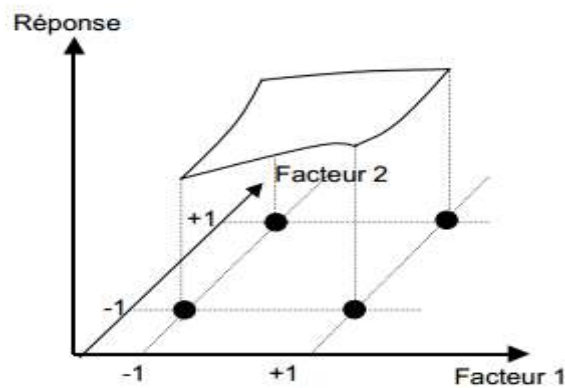


Figure 3.4 : Surface de réponse pour un plan de deux facteurs à deux niveaux [26]

3.2.6. Coordonnées centrées réduites

Les variables utilisées dans le plan d'expérience sont centrées et réduites. Le passage des variables d'origine, A, aux variables centrées réduites, x, est donné par la formule suivante :

$$x = (A - A_0) / \Delta_A$$

A₀ est la valeur centrale de l'intervalle [-1,1]

Le pas Δ_A étant la variation entre la position moyenne des deux variables et une extrémité du domaine. [26]

3.2.7. Fit modèles :

3.2.7.1. Linéaire :

Si l'expérience implique des facteurs de processus, ce modèle ajoute un coefficient qui multiplie chaque facteur [27] :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$$

3.2.7.2. Quadratique :

Si l'expérience implique des facteurs de processus, ce modèle ajoute un terme quadratique pour chaque facteur [27] :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2$$

3.2.7.3. Cubique :

Si l'expérience implique des facteurs de processus, ce modèle ajoute des termes de troisième ordre [27] :

$$\begin{aligned} Y = & \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{11} X_1^2 \\ & + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{111} X_1^3 + \beta_{222} X_2^3 + \beta_{333} X_3^3 + \beta_{112} X_1^2 X_2 \\ & + \beta_{113} X_1^2 X_3 + \beta_{122} X_1 X_2^2 + \beta_{223} X_2^2 X_3 + \beta_{133} X_1 X_2^2 X_3 + \beta_{233} X_2 X_2^2 X_3 \\ & + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 \end{aligned}$$

3.2.8. Niveaux (paramètres de chaque facteur dans l'étude) [28] :

3.2.8.a. Selon la quantité :

3.2.8.a.1. Faible : pour les facteurs continus ou les facteurs de mélange, la limite inférieure de l'intervalle à laquelle le facteur sera défini pendant l'expérience ;

3.2.8.a.2. Haute : pour les facteurs continus ou les facteurs de mélange, la limite supérieure de l'intervalle à laquelle le facteur sera défini. Niveaux - pour les facteurs catégoriels, les niveaux spécifiques qui seront utilisés dans l'expérience.

3.2.8.b. Selon la qualité :

3.2.8.b.1. Catégorique : un facteur qui ne peut prendre qu'un ensemble discret de valeurs, telles que A ou B ;

3.2.8.b.2. Continu : un facteur qui peut être modifié sur une plage continue ;

3.2.8.b.3. Mélange : un facteur qui représente la quantité d'un composant contenu dans un mélange.

3.3. Présentation du logiciel TRNSYS :(Transient System Simulation)

Le logiciel de simulation TRNSYS est un environnement complet et extensible, dédié à la simulation dynamique des systèmes.

Développé par le CSTB dans le cadre de collaborations internationales, TRNSYS est aujourd'hui la référence au niveau mondial de la simulation dynamique de bâtiments et de systèmes. Plusieurs centaines de composants TRNSYS sont disponibles, couvrant un large spectre d'applications. (Energie solaire, Eoliennes, Hydraulique, Microcontrôleurs, Photovoltaïque, Piles à combustibles, Piscines, Chaudière bois, Cogénération, comportement des usagés, analyse et optimisation tarifaire, Plafond et Plancher rayonnant, Pompes à chaleur, Régulation, Stockage d'énergie intersaison, Systèmes de climatisation, Thermique du bâtiment, Tours de refroidissements, Turbines à gaz, Matériaux à changement de phase, piles à combustible, analyse économique...).[29]

3.4. Avantages du logiciel TRNSYS :

- Il est extrêmement flexible pour modéliser un ensemble de systèmes thermiques à différents niveaux de complexité.
- L'accès au code source permet aux utilisateurs de modifier ou d'ajouter des composants qui ne figurent pas dans la bibliothèque d'origine.
- Documentation vaste de sous-programmes y compris explication, usages usuels et équations de base.
- Définition très souple de la période de simulation : choix de pas de temps, du début et de la fin de la simulation. [5]

3.5. Logiciel de plan d'expériences(STATGRAPHICS) :

STATGRAPHICS est un progiciel statistique polyvalent qui convient parfaitement à l'enseignement aux débutants en économie et en économétrie. Ainsi que ceux qui suivent des cours dans les domaines des affaires, de l'ingénierie, des mathématiques et autres. Son utilisation attrayante de graphiques, avec son système de menu facile à utiliser, en font un outil idéal pour stimuler et intéresser l'utilisateur. C'est particulièrement vrai aux débuts de la rencontre de l'élève avec des matériaux quantitatifs. Le progiciel est passé par plusieurs versions, les plus récentes offrant des procédures améliorées, de meilleures installations de traitement des données et un bond en avant dans la qualité de la documentation. [28]

3.6. Conclusion

L'emploi de plan d'expérience permet d'atteindre les objectifs de l'étude multi paramètres, Il ressort que la préparation du plan factoriel complet doit être réalisée par une grande matrice, qui nécessite un temps de simulation et une ressource de calcul importante.

En effet, le choix d'un plan convenable permet de réduire considérablement le nombre de simulations à effectuer pour atteindre les objectifs visés, tout en gardant une très bonne précision sur les résultats.

Chapitre 4

Résultats et discussion

4.1. Introduction

Le problème énergétique de secteur des bâtiments sollicite désormais activement les architectes, les urbanistes et les énergéticiens pour élaborer des méthodes de conception permettant d'adapter les constructions à leur environnement climatique, en tirant au maximum profit de celui-ci sans pour autant le dégrader.

La conception architecturale et la climatologie trouvent alors des enjeux communs tels que l'évaluation du confort climatique, l'étude et la maîtrise énergétique des bâtiments. Si la question des conditions de confort reste complexe et controversée du fait de la multiplicité des disciplines mises en jeu, à savoir la thermique de l'enveloppe, la géométrie, les matériaux...etc. cela explique la nécessité de choix d'une méthode multi paramètres.

4.2. Données climatiques

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 01, les paramètres des modèles sont fortement dépendants des conditions météorologiques. Ceci nous a conduits à déterminer un modèle pour chaque climat étudié.

En Algérie, la réglementation thermique définit le sud Algérien comme une seule zone climatique aride. Nous retenons dans cette étude trois villes sont discutées et classées en trois catégories, à savoir :

- Climats aride à caractère froid : Bayadh
- Climats aride à caractère chaud : Ouargla
- Climats aride à caractère très chaud : In Salah.

La Figure 4.1 donne les fréquences cumulées de la température de l'air extérieur ainsi que La Figure 4.2 présente la température annule cumulée en Degré heurs et au Pourcentage pendant une année pour les trois villes étudiées.

Pour la ville de Bayadh le Degrée heurs de climatisation est 1160 H qui représente 13.24% soit beaucoup plus grand que celles au Degrée heurs de chauffage qui représente 5859 H soit 66.68%. Pour la ville de In Salah on constate l'inverse le besoin de climatisation 4292H qui représente 49.01% contre 2480H soit 28.31%. Pour la ville d'Ouargla le Degrée heurs de climatisation est 35.10% contre 42.34 %.

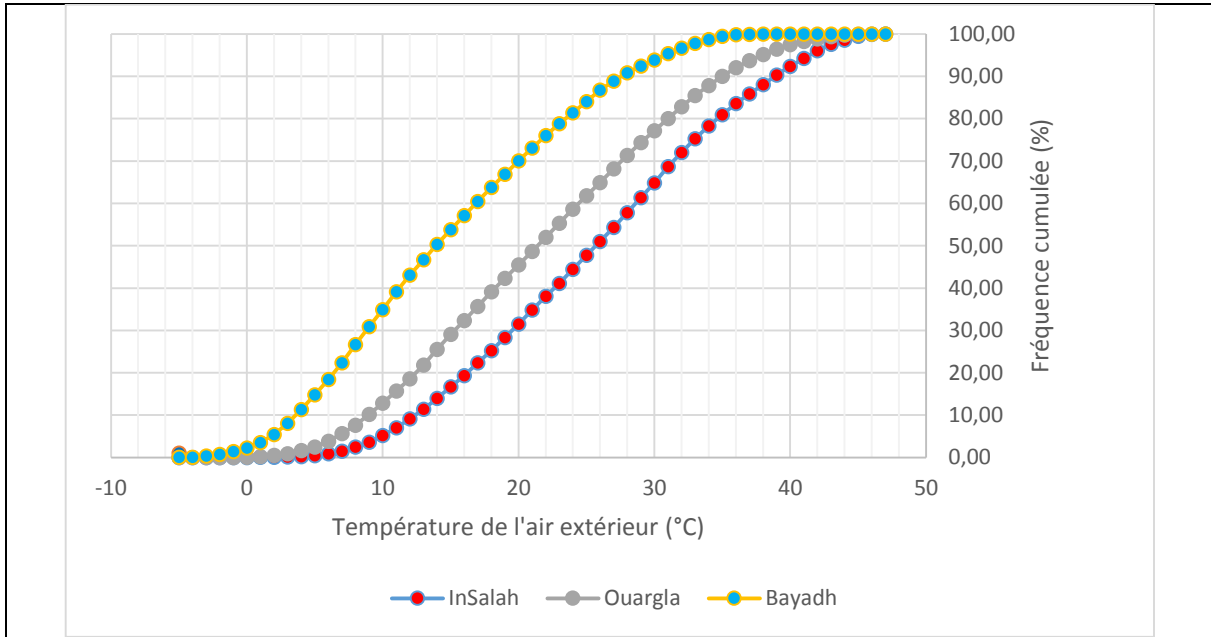


Figure 4.1 : Fréquences cumulées annuelles de la température de l'air extérieur

On constate que les trios villes ont le même ordre de grandeur que celui des heures nature où la température est entre 20 et 26 C° cet intervalle varie entre 19.87% et 22.68% . En outre, l'effet de cet intervalle est très faible sur les besoins énergétique. Pour le climat chaud (InSalah), la Figure 4.2 montre que la solution préférable est celle de climatisation contre la solution de chauffage pour la ville de Bayadh. Pour la ville d'Ouargla on constate que la solution de climatisation a le même ordre que celle de chauffage.

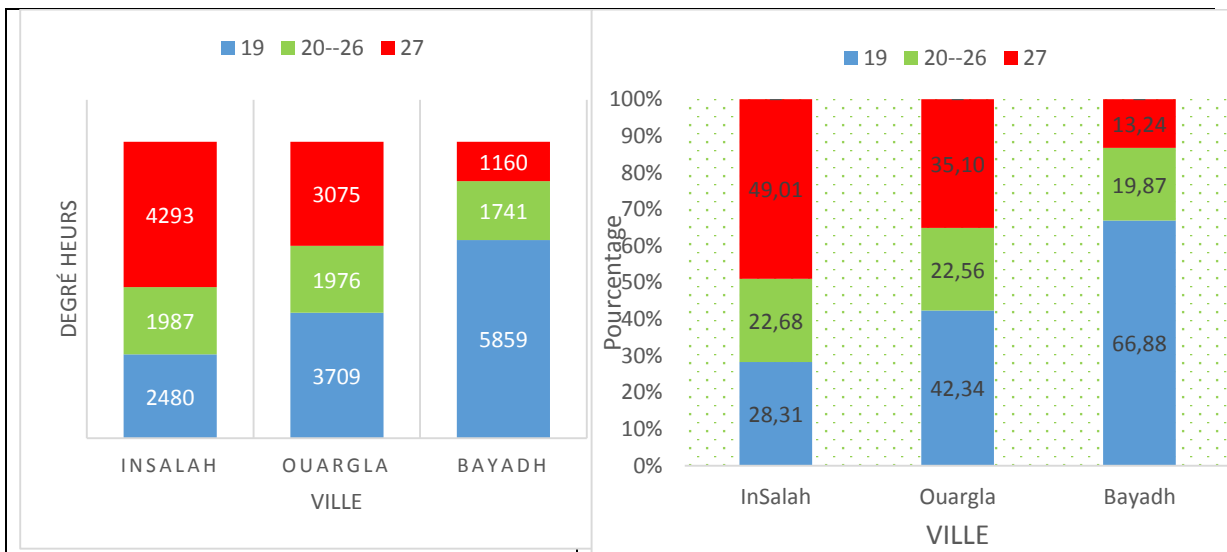


Figure 4.2 : la température annule cumulée pendant une année pour les trois villes étudiées ; 1) en Degré heurs et 2) au Pourcentage

4.3. Description du bâtiment étudié :

Le bâtiment sélectionné est une maison individuelle a une surface 85m², cette maison est constituée (deux chambres, cuisine, séjour, hall, SDB), son volume est 255m³ (hauteur sous plafond de 3m). Le tableau 4.1présent la composition des parois opaques de la maison étudiée, le tableau 4.2 montre les caractéristiques des matériaux de ces parois.

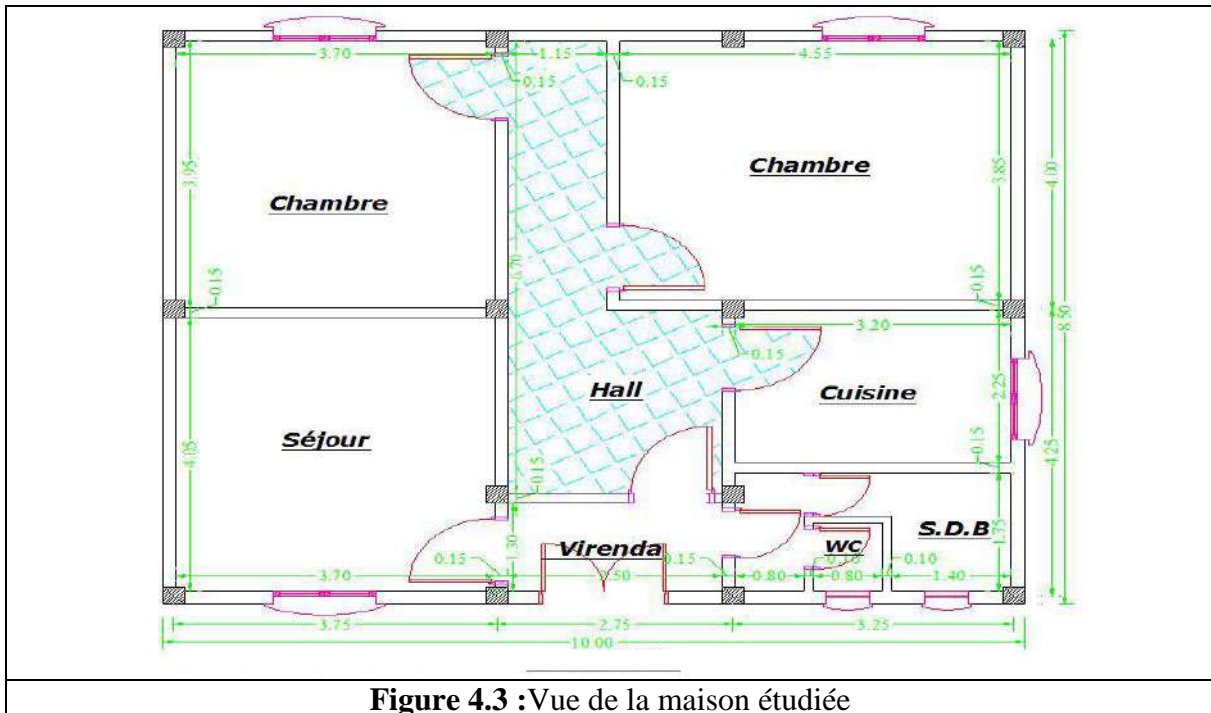


Figure 4.3 :Vue de la maison étudiée

Paroi	composition	épaisseur(m)
Murs	Brick	0.2
	Isolant	0.002-0.188
	Brick	0.1
toiture	Béton	0.24
	Isolant	0.015-0.15

Tableau 4.1 : composition des parois opaques de la maison

Composition	λ W/m K	ρ kg/m ³	C_p J/kg K
Béton	2,1	2400	800
Brique	0,88	1800	1000
Isolant	0,4	40	800

Tableau 4.2 : Caractéristiques des matériaux des parois opaques de la maison

4.4. Définition des niveaux des paramètres étudiés :

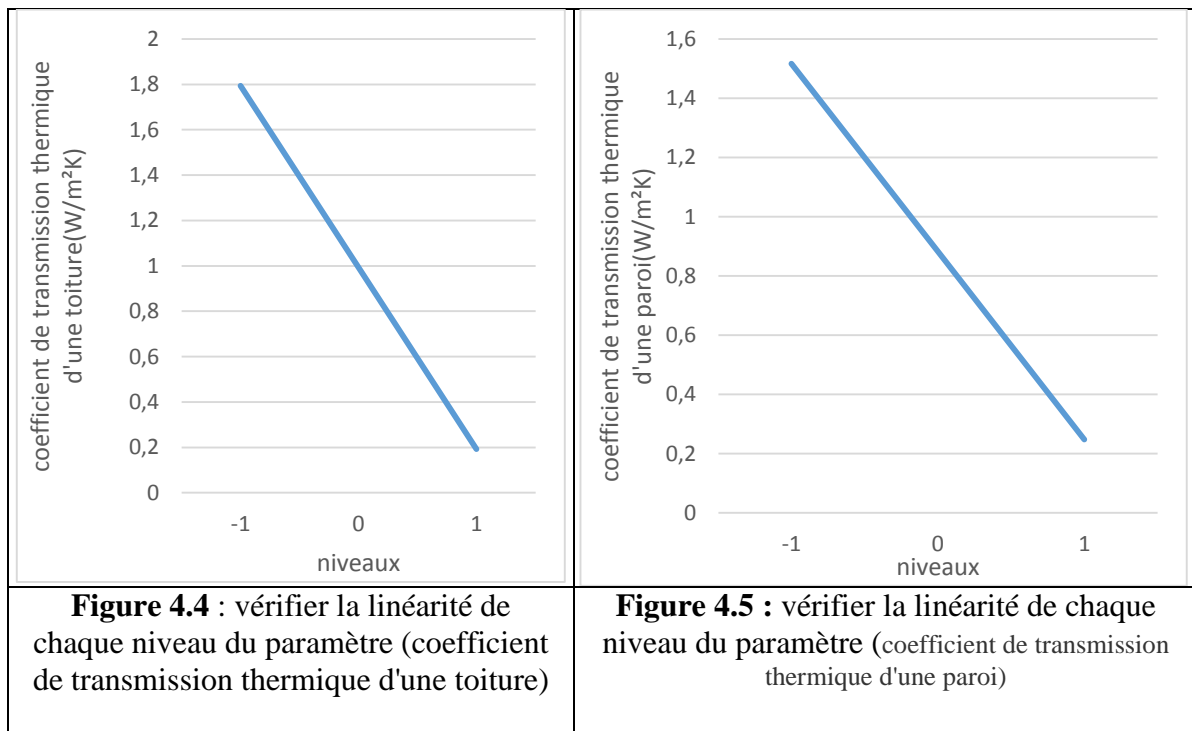
Les paramètres de conception choisis ainsi que leurs valeurs minimales et maximales pour le développement des modèles polynomiaux pour la prédiction des besoins énergétiques climatisation et chauffage sont présentés dans le Tableau 4.3. Première phase consiste à présenter les paramètres des modèles :

Numéro	1	2	3	4	5	6				
Nom	coefficient de transmission thermique d'une paroi	coefficient de transmission thermique d'une toiture	Le pourcentage de surface de fenêtre dans le mur Nord	Le pourcentage de surface de fenêtre dans le mur Est	Le pourcentage de surface de fenêtre dans le mur West	Type de fenêtre				
Indice	Uwall	Uroof	WWR_N	WWR_E	WWR_W	Uwind				
Unité	W/m ² K	W/m ² K	%	m ²	%	m ²				
Niveau des paramètres	1	0.192	0.248	7	2.08	7	2.45	7	2.45	Double
	0	0.993	0.882	6	1.79	6	2.1	6	2.1	
	-1	1.794	1.517	5	1.49	5	1.75	5	1.75	simple

Tableau 4.3 : donne les différents paramètres physiques sélectionnés pour cette étude.

4.5. Etude de la linéarité :

La première étape que nous effectuons consiste à vérifier la linéarité de la réponse. Pour cela, trois simulations niveaux minimal, moyen et maximal ont été effectuées par le logiciel TNRSYS, Les Figures 4.4 à 4.5 montrent les résultats obtenus pour les niveaux des paramètres



Vérifier la linéarité de la Paramètres (WWR_N, WWR_E, WWR_W) :

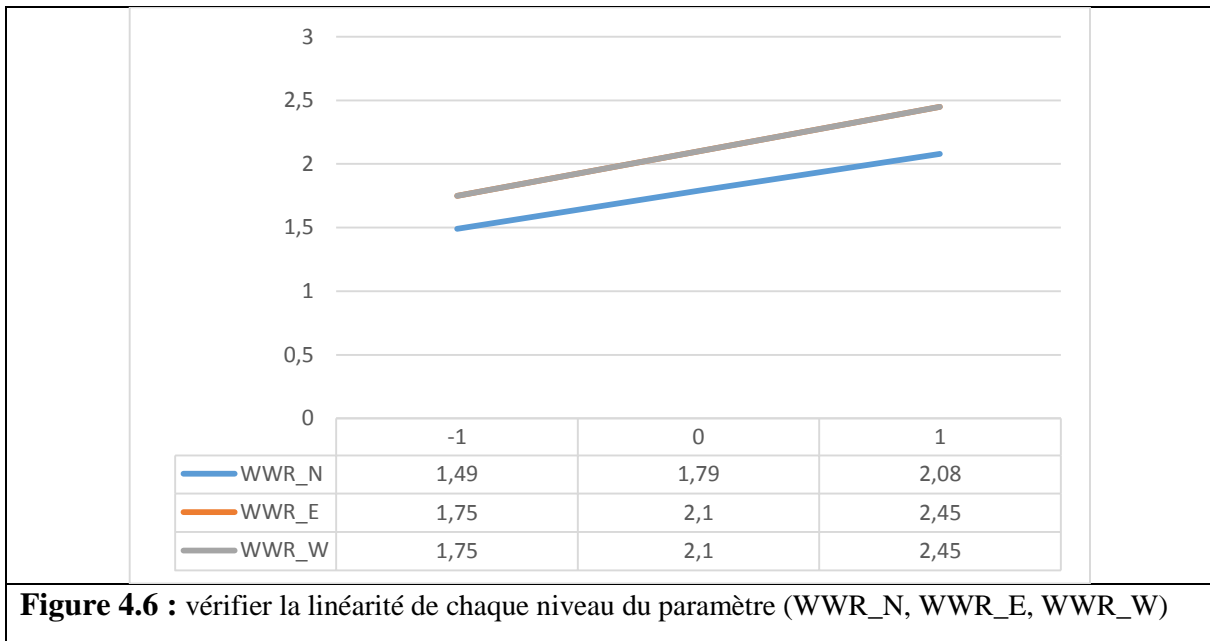


Figure 4.6 : vérifier la linéarité de chaque niveau du paramètre (WWR_N, WWR_E, WWR_W)

Il apparaît que la réponse varie linéairement en fonction de chaque niveau du paramètre. Cela confirme le choix de modèle linéaire.

4.6. Application à l'évaluation des besoins de chauffage et climatisation :

Les résultats obtenus pour les niveaux considérés pour chaque ville. La première étape est de réaliser les simulations avec TRNSYS pour le plan d'expériences. Le Tableau d'annexe présente la matrice utilisé. Cette étape consiste en l'identification des coefficients des modèles. Le nombre de simulations dynamiques nécessaires pour identifier un modèle dépend du nombre de paramètres et de la fonction polynomiale choisie. Pour les 6 paramètres sélectionnés, le nombre de combinaisons possibles est de $3^6(729)$, si on considère trois niveaux pour chaque paramètre. Mais identifier un modèle avec un nombre élevé de simulations dynamiques est très coûteux en temps. En estimant à 60 secondes la durée d'une simulation avec un pas de temps de 60 minutes, le temps de simulation est d'environ 12 heures. De plus, à ceci peut s'ajouter le temps de saisie des données et la probabilité d'erreur due à l'utilisateur. D'où l'importance des plans d'expériences pour diminuer le nombre de simulations à effectuer. Pour cela on a choisi un plan fractionnel qui peut réduire le plan expériences à 486 simulations et le temps de ce dernier à 8 heures.

4.7. Organigramme de simulation :

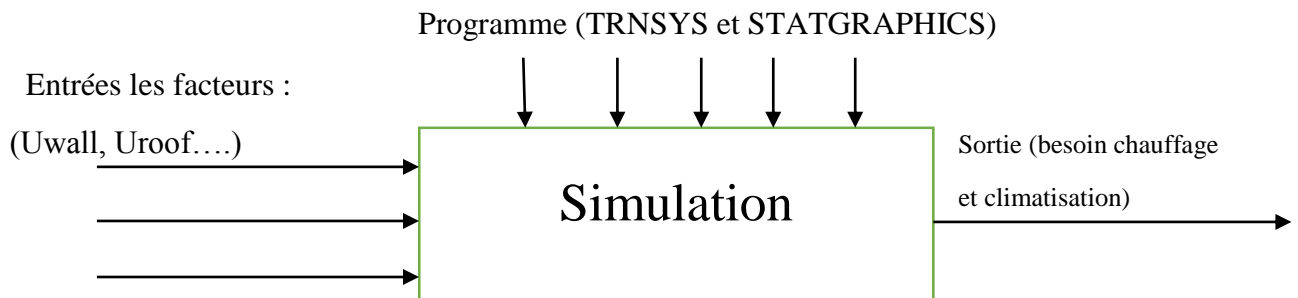


Figure4.7 : organigramme de simulation

4.7.1 Les étapes de simulation :

➤ Définir les variables de réponse à mesure

Name	Units	Analyze	Goal	Target	Impact	Sensitivity	Low	High
cool	kwh	Mean	Minimize		3,0	High	10,0	80,0
heat	kwh	Mean	Minimize		3,0	High	10,0	100,0

Tableau 4.4 : les variables de réponse à mesure

➤ Définir les facteurs expérimentaux à varier

Name	Units	Type	Role	Low	High	Levels
A:Uwall	w/m²k	Continuous	Controllable	-1,0	1,0	
B:Uroof	w/m²k	Continuous	Controllable	-1,0	1,0	
C:WWR_n	%	Continuous	Controllable	-1,0	1,0	
D:WWR_e	%	Continuous	Controllable	-1,0	1,0	
E:WWR_w	%	Continuous	Controllable	-1,0	1,0	
F:Uwind	w/m²k	Categorical	Controllable			1,2

Tableau 4.5 : les facteurs expérimentaux à varier

➤ La matrice utilisée en simulation

Run	Uwall	Uroof	WWR_N	WWR_E	WWR_W	UWind
1	1	-1	1	1	-1	1
2	1	1	1	-1	1	1
3	0	1	-1	-1	0	1
4	1	-1	1	0	1	-1
5	1	1	0	1	1	-1
486	-1	-1	0	1	-1	-1

Tableau 4.6 : La matrice de simulation

➤ Applique la matrice dans un programme TRNSYS

➤ Les résultats obtenus dans le programme TRNSYS et appliques dans STATGRAPHICS

4.8.1. Ouargla :

4.8.1.1. Climatisation :

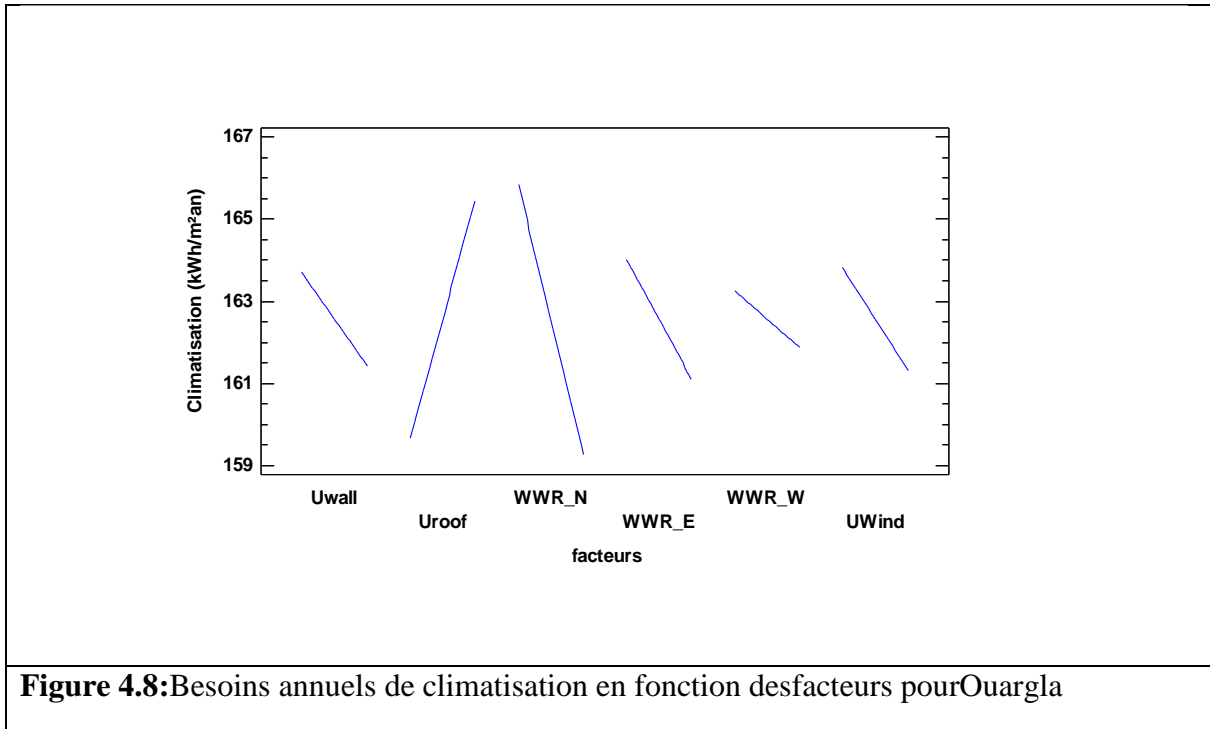


Figure 4.8: Besoins annuels de climatisation en fonction des facteurs pour Ouargla

-le facteur Uwall : ce facteur représente l'épaisseur d'isolation thermique du mur, il peut varier entre 0.002 et 0.188 m, cette épaisseur est influée sur le coefficient de transmission thermique, il prend les valeurs suivantes 0.192 et 1.794 (W/m²K), la variation de la consommation totale due ce facteur est comprise entre 163.75 à 161.5 (KW /m².an), ce qui représente une réduction de 1,35%.

-le facteur Uroof: ce facteur représente l'épaisseur d'isolation thermique de la toiture, comme le facteur précédent, pour changer le coefficient de transmission thermique de 1.517 à 0.248 (W/m²K), on change l'épaisseur d'isolation de 0.015 à 0.15(m), cela influe sur la consommation d'énergie totale de 159.5 à 165.5 (KW\m² an), qui peut contribuer à réduire l'énergie par un ration de 3.6 % .

-le facteur Uwind : ce facteur représente la nature de fenêtre, on a le choix entre le cas de simple et double vitrage. comme le facteur précédent, pour changer le coefficient de transmission thermique et les propriétés de vitrage, on change le type sur la bibliothèque. la consommation d'énergie atteint à 164 (KW\m² an) dans le cas de double vitrage contre 161.25(KW\m² an) pour le cas simple vitrage. On remarque que le facteur Uwind fait à réduire la consommation totale d'énergie de 1.65%.

-Pour les facteurs **WWR_N**, **WWR_E** et **WWR_W** : (Windows wall Ratio) ces facteurs représentent le rapport entre la surface totale du mur ombré et la surface totale de fenêtre vitré. D'après le plan qu'on a utilisé, on change ce facteur sur les façads, Nord, Ouste et Est. Pour les façades Ouste et Est ces facteurs changent entre 1.75 et 2.45 m. pour la façade , Nord la surface varie entre 1.49 et 2.08 m.

On peut résumer l'effet de la surface et la direction de la fenêtre sur la consommation d'énergie comme suite:

- La fenêtre du côté nord réduit la consommation de 4.2%.
- fenêtre du côté est réduit la consommation de 1.8%.
- La fenêtre du côté ouest fait à réduire la consommation par 1%.

4.8.1.2. Chauffage :

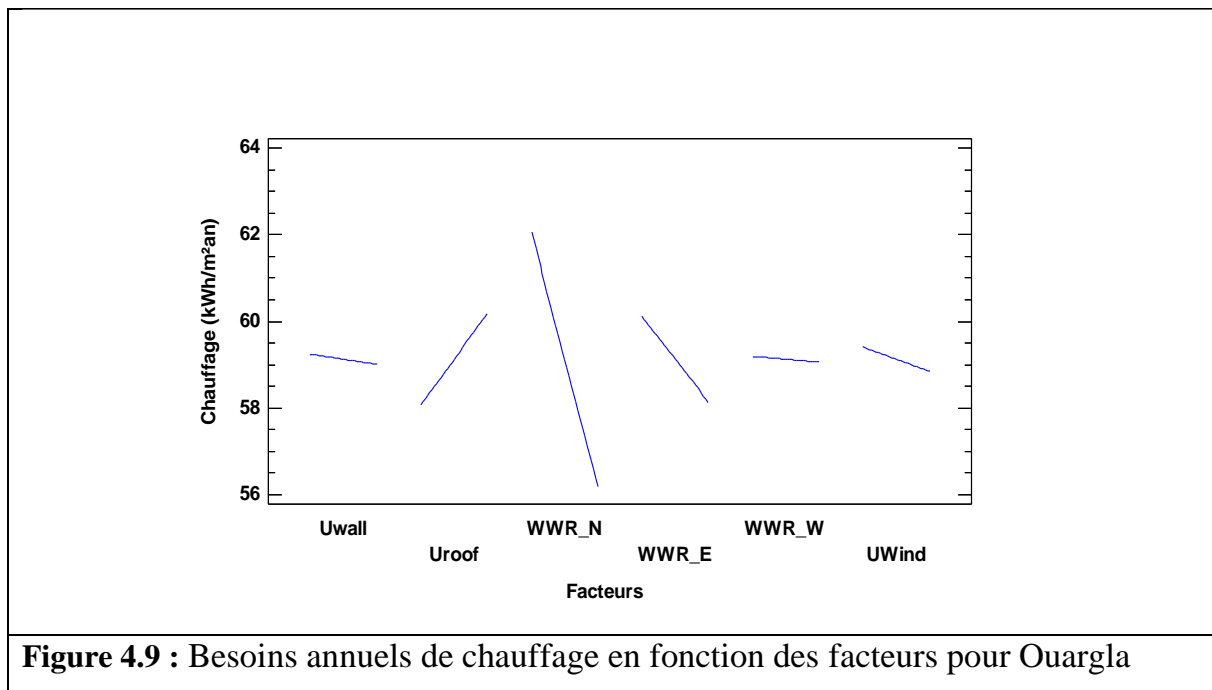


Figure 4.9 : Besoins annuels de chauffage en fonction des facteurs pour Ouargla

-Pour le facteur **Uwall** :comme on a expliqué précédemment l'épaisseur d'isolation thermique du mur varie entre 0.002 et 0.188 m cela diminue la consommation d'énergie de 59.25 à 59(KW\m² an). Ce qui représente 0.4% de la consommation totale.

-Pour le facteur **Uroof**:Ce facteur contribue à réduire la consommation énergétique de 58à 60.25 (KW\m²an) cela représente 3.5% .

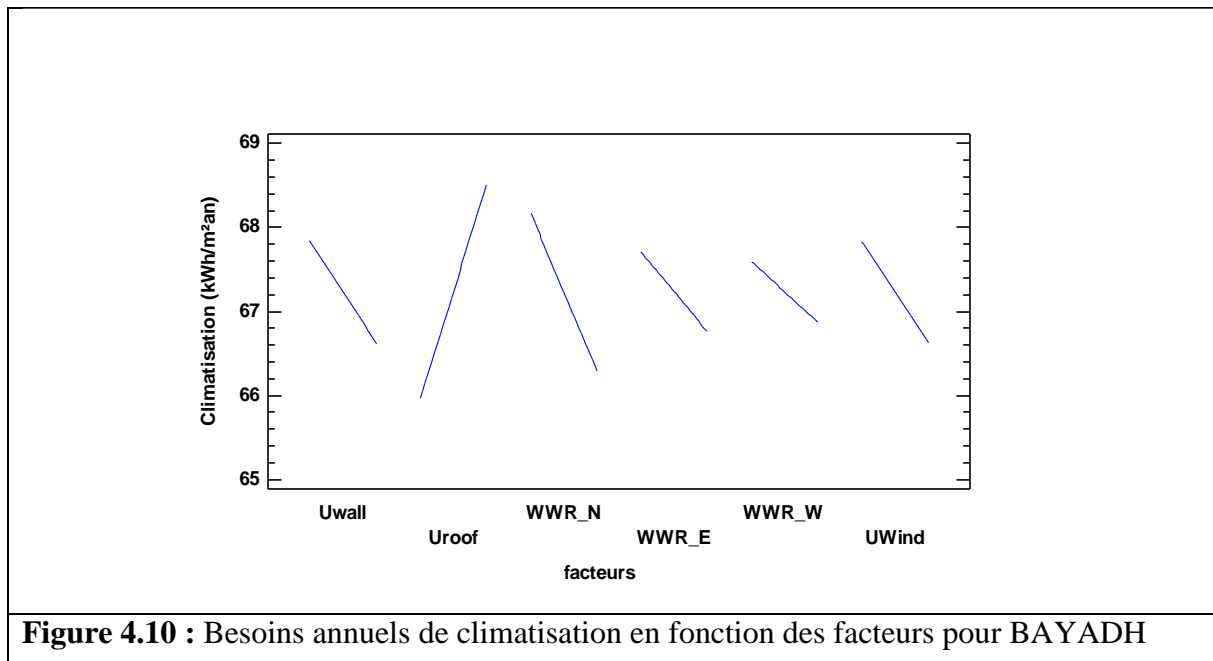
Pour les facteurs Uwind : On remarque que le facteur Uwind atteint 59.5 (KW/m² an) pour le cas de simple vitrage contre 58.75 (KW/m² an) pour le cas de double vitrage, on constate une réduction de 1.2 %.

-Pour les facteurs : (WWR_N, WWR_E, WWR_W) : L'effet de la surface et de la direction des fenêtres sur la consommation d'énergie varie pour chaque façade comme suite:

- Nord : la surface vitrée de ce côté peut réduire la consommation de 62 à 56 (KW/m² an) qui représente un ratio de 9.4%.
- Est : la surface vitrée du côté Est a moins d'influence que le côté nord, il réduit la consommation à 3.5%.
- Ouest : pour ce côté la réduction de la consommation est négligeable est à l'environ de 0.4%.

4.8.2. BAYADH :

4.8.2.1. Climatisation :



-le facteur Uwall : la consommation est réduite de 67.8 à 66.6 (kw/m².an). Ce qui représente 1.74% de la consommation totale.

-le facteur Uroof: Ce facteur contribue à réduire la consommation énergétique de 66 à 68.5 (KW/m².an) cela représente 3.62% .

-les facteurs Uwind : On constate que le facteur Uwind atteint 67.8 (KW/m² an) pour le cas de simple vitrage contre 66.8 (KW/m² an) pour le cas de double vitrage, on constate une réduction de 1.44 %.

-Pour les facteurs : (WWR_N, WWR_E, WWR_W) : L'effet de la surface et de la direction de la fenêtre sur la consommation d'énergie varie pour chaque face comme suite:

- Nord : la surface vitrée de ce côté peut réduire la consommation de 68.2 à 66.3(KW/m² an) qui représente un ratio de 2.8%.
- Est : la surface vitrée du côté Est a moins d'influence que le côté nord, il réduit la consommation à 1.4%.
- Ouest : pour ce côté la réduction de la consommation est négligeable est à l'environ de 1%.

4.8.2.2. Chauffage :

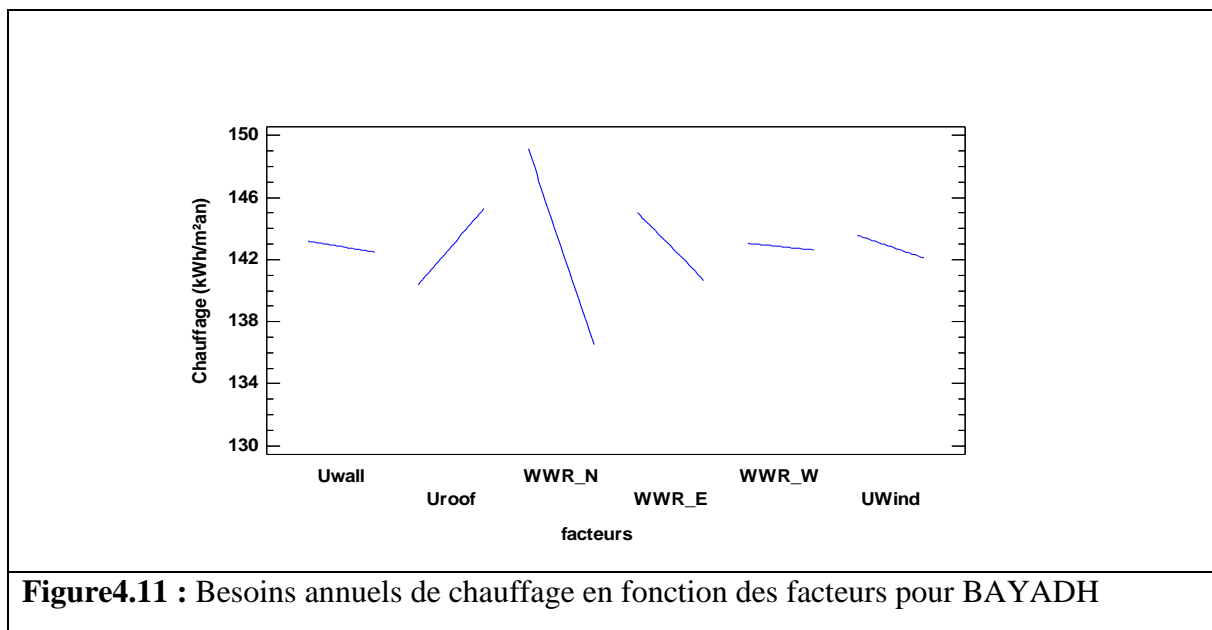


Figure 4.11 : Besoins annuels de chauffage en fonction des facteurs pour BAYADH

Pour le facteur Uwall : pour le facteur Uwall, contribue à la réduction d'énergie de 143.1 à 142.20 (kw/m².an). Presque 0.6 % de la consommation totale.

Pour le facteur Uroof: Ce facteur participe à diminuer la consommation énergétique de 140,15 à 145.1(KW/m².an) ce qui représente 3.3 % .

Pour les facteurs : (WWR_N, WWR_E, WWR_W) : La surface et la direction de la fenêtre influent sur la réduction de l'énergie, nous constatons que le nord contribue de manière

significative à la réduction de l'énergie de 8.4%, et l'est est réduit de 2.83%, tandis que du côté ouest, la réduction est négligeable de 0.33%.

Pour les facteurs Uwind : Effet de Uwind sur la consommation d'énergie, dans le cas de simple vitrage la consommation atteint 143.75 (KW/m² an). Pour le cas double vitagee, la consommation atteint 142.1(KW/m² an).On remarque que le facteur Uwind est une réduction de 1.1% de la consommation totale d'énergie .

4.8.3. In Saleh :

4.8.3.1. Climatisation :

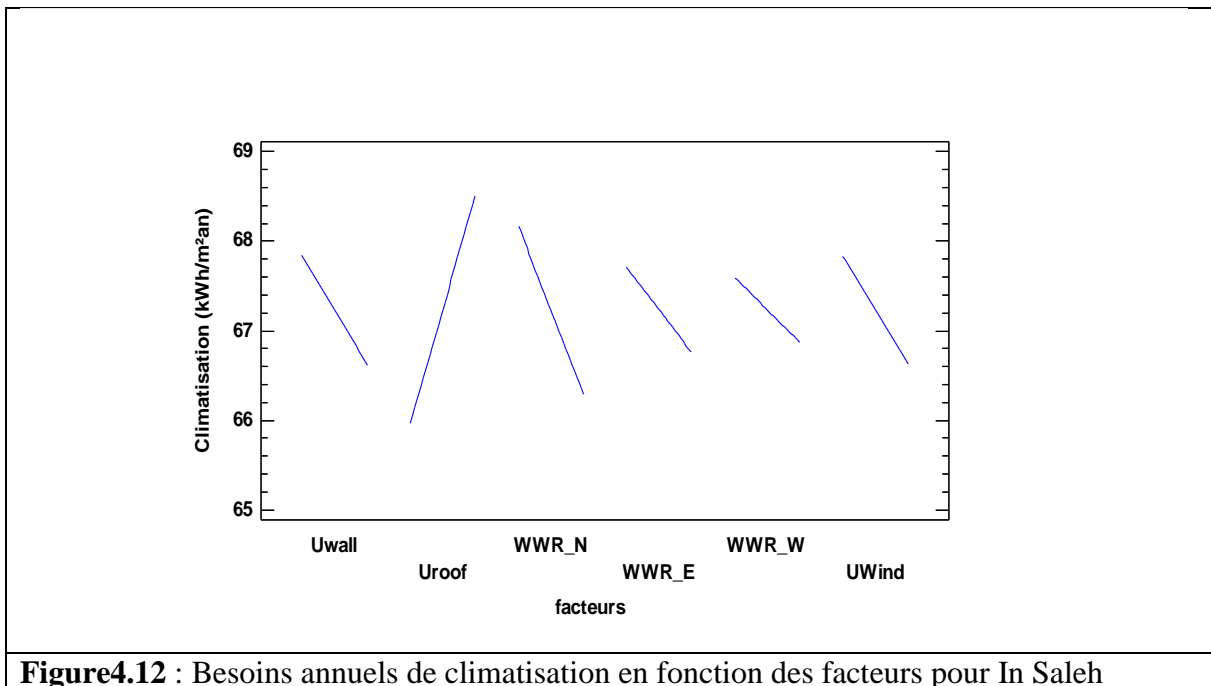


Figure4.12 : Besoins annuels de climatisation en fonction des facteurs pour In Saleh

Pour le facteur Uwall : L'épaisseur d'isolation thermique du mur affecte sur la consommation d'énergie , il domine change entre 0.002 et 0.188 m., cette épaisseur est infulé sur le coefficient de transmission thermique, il saisit les valeurs suivantes 1.794et 0.192, la évolution d'énergie totale due ce facteur est change entre 160.6 à 158.5(KW /m²an),ce qui indique une diminution de 1,28%.

Pour le facteur Uroof: L'épaisseur d'isolation thermique du toiturre affecte le coefficient de transmission thermique et la consommation d'énergie ,Dans ce cas, l'épaisseur de l'isolant passe de 0.015 à 0.15, et la valeur du coefficient de transmission thermique de 1.517à 0.248(m)..cela infule sur la consommation d'énergie totale de 156.75à 162.25(KW/m² an) , réduit de3.35 % .

Pour les facteurs : (WWR_N, WWR_E, WWR_W) :

L'effet de la surface et la direction de la fenêtre sur la consommation d'énergie

- La surface de la fenêtre varie du nord entre 1.49 et 2.08 (m). Réduire l'énergie de 4.21%.
- Pour le côté Est, la surface de la fenêtre change de 1.75et 2.45(m) Contribuer à la réduction d'énergie par 1.83%.
- Pour le côté ouest , Faible consommation, nous considérons que négligé est à l'environ de 0.67%.

Pour les facteurs Uwind :Dans le cas climatisation, le facteur Uwind diminue de 1,43% de la consommation totale d'énergie ,dans le cas simple vitre La consommation d'énergie est160.75 (KW\m² an)Et pourdouble vitrage La consommation d'énergie est158.4(KW\m²an).

4.8.3.2. Chauffage :

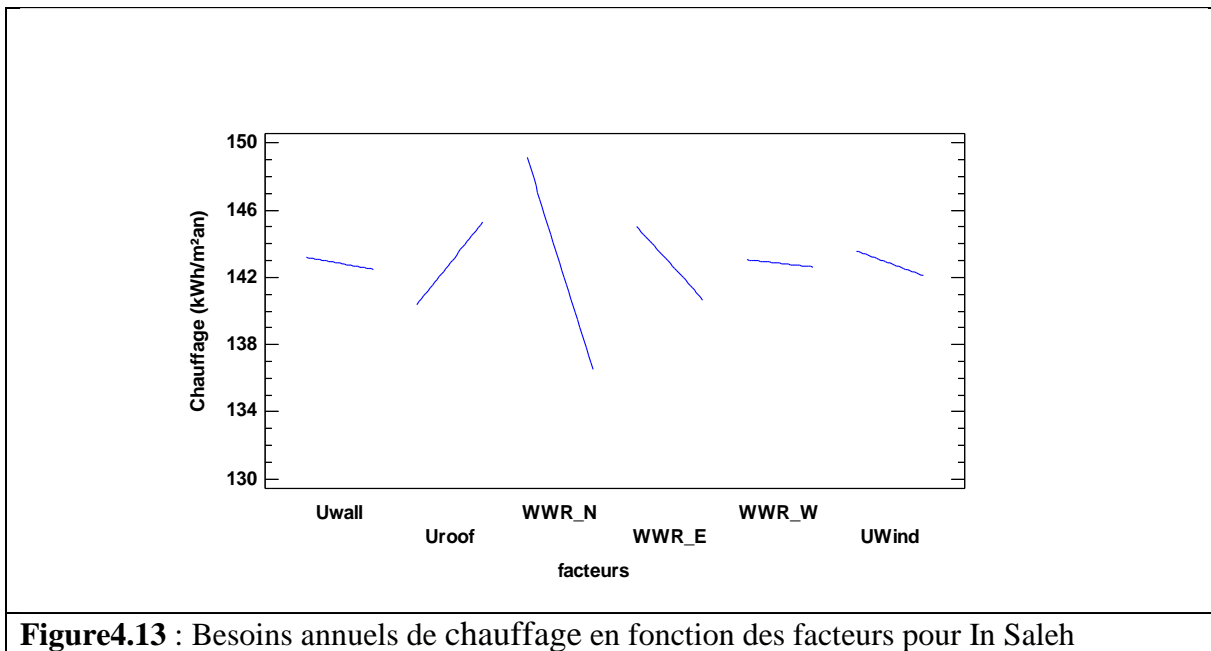


Figure4.13 : Besoins annuels de chauffage en fonction des facteurs pour In Saleh

Pour le facteur Uwall : L'épaisseur d'isolation thermique du mur change parmi 0.002 et 0.188 m cela diminue la consommation d'énergie de 50.9à 50.60 (KW\m² an). Ce qui indique 0.56 % de la consommation totale.

Pour le facteur Uroof:l'épaisseur d'isolation thermique de la toiturecontribueà diminuer la consommation énergétique de 49.8à 51.7(KW\m²an) cela représente 3.52 % .

Pour les facteurs : (WWR_N, WWR_E, WWR_W) :

L'effet de la surface et la direction de la fenêtre sur la consommation d'énergie :

- La fenêtre du côté nord réduit la consommation de 9.63%.
- La fenêtre du côté est réduit la consommation de 3.33%.
- La fenêtre du côté ouest fait à réduire la consommation par 0.56%.

Pour les facteurs Uwind :Effet Uwind sur la consommation d'énergie dans la maison

Dans le cas de vitre simple , La consommation atteint à 51 (KW\m² an).Dans le cas de double vitrage, la consommation atteint à 50.4(KW\m² an).On remarque que le facteur Uwind fait à réduire de 1.11% de la consommation totale d'énergie .

4.9. Coefficients des modèles :

Une fois les valeurs des coefficients des fonctions polynomiales obtenues, les besoins de chauffage et climatisation peuvent être évalués par un simple calcul polynomial pour n'importe quelle combinaison des paramètres. Le tableau suivant résume les besoins annuels de chauffage et climatisation pour les régions Ouargla et Bayadh In Saleh.

région	Coefficient modèle
Ouargla	chauffage = $59,1237 - 0,116759*U_{wall} + 1,05213*U_{roof} - 2,94679*WWR_N - 0,990123*WWR_E - 0,0656173*WWR_W - 0,283704*U_{Wind}$
	Climatisation = $162,562 - 1,14231*U_{wall} + 2,89386*U_{roof} - 3,29123*WWR_N - 1,4642*WWR_E - 0,683241*WWR_W - 1,2515*U_{Wind}$
Bayadh	chauffage = $142,84 - 0,354383*U_{wall} + 2,43994*U_{roof} - 6,3296*WWR_N - 2,16864*WWR_E - 0,2125*WWR_W - 0,733724*U_{Wind}$
	climatisation = $67,2343 - 0,614352*U_{wall} + 1,26636*U_{roof} - 0,939753*WWR_N - 0,474599*WWR_E - 0,357994*WWR_W - 0,603045*U_{Wind}$
In Saleh	Chauffage = $50,7357 - 0,119877*U_{wall} + 0,943241*U_{roof} - 2,58012*WWR_N - 0,87179*WWR_E - 0,0663272*WWR_W - 0,259959*U_{Wind}$
	climatisation = $159,586 - 1,04142*U_{wall} + 2,78657*U_{roof} - 3,38818*WWR_N - 1,48735*WWR_E - 0,606698*WWR_W - 1,16512*U_{Wind}$

Tableau 4.7 : Coefficient modèle dans les villes (Ouargla, Bayadh, In Saleh)

4.10. Conclusion

Nous pouvons constater que le coefficient WWR_N et de la toiture ont une influence importante, ainsi que tout les autres paramètres mais d'une manière moins importante sur les besoins d'énergie de climatisation pour les trois villes, on remarque que le facteur Uroof devient le plus important dans le cas de la ville de Bayadh. Pour le besoin de chauffage on remarque que le facteur WWR_N joue le rôle le plus important suivi par le facteur Uroof et WWR_E, pour les autres facteurs on constate que leur influence est négligeable.

Les solutions techniques pour une conception énergétique efficace doivent être choisies avec beaucoup d'attention pour l'amélioration de ces paramètres. Le traitement des surfaces vitrées permet aussi de réduire les besoins d'énergie totale d'une manière significative surtout la façade Nord.

Concernant le vitrage de nous constatons qu'un facteur élevé permet d'influencer d'une manière notable et augmente les besoins d'énergie chauffage à Elbayadh surtout la façade Nord. En revanche, pour les autres zones climatiques, ceci n'est valable que pour le cas de climatisation pour la réduction de leurs besoins. Les facteurs solaires des façades Est et Ouest doivent être impérativement réduits, car il y a dominance des besoins de refroidissement pour la ville de Ouargla et InSalah.

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'objectif principal de cette étude est de contribuer à l'étude de conception des bâtiments dans les zones aride, les facteurs qui affectent sur consommation d'énergie dans l'enveloppe du bâtiment pour réduire la consommation énergétique dans les bâtiments à partir de la réduction des échanges thermiques avec son milieu extérieur et pour trouver l'épaisseur optimal la conception dans les zones aride.

L'analyse des différents résultats obtenus par les simulations nous ont montré clairement qu'il est possible de réduire la consommation énergétique des bâtiments résidentiels (maison individuelle ou appartement) et ce en prenant en considération quelques aspects simples et importants dès la conception architecturale.

Afin d'assurer une bonne conception des bâtiments il faut d'utiliser les meilleures paramètres, et il faut travailler de poser des fondements et des lois pour améliorer et développer conception des bâtiments et par la compréhension et l'étude des propriétés physiques et thermiques des matériaux, et de choisir des bons bonnes normes pour réduire la consommation d'énergie dans le bâtiment.

En effet, nous avons prouvé qu'un le choix des paramètres peut réduire de manière non négligeable les besoins énergétiques des bâtiments en chauffage en hiver et en climatisation en été.

Les résultats ont montré que conception de bâtiments joue un rôle principal dans la réduction des consommations énergétiques et également dans la création d'un espace de vie sain et plus confortable dans le bâtiment. En effet, une bonne conception de bâtiment entraine le choix d'équipements de climatisation moins puissants donc plus économiques.

Les résultats montrent aussi coefficient WWR_N et U_{roof} un impact significatif sur la consommation énergétique des bâtiments (climatisation et chauffage) dans les trois villes. Ainsi que tous les autres paramètres mais d'une manière moins importante sur les besoins d'énergie le facteur wwR_n contribue de manière significative à la réduction de l'énergie de 8.4% de la ville de Bayadh, Le facteur U_{roof} réduit la consommation de 3.35% dans la ville d'Ain Saleh Ce que nous considérons être un facteur de climatisation important .L'effet de la fenêtre du côté nord peut réduire la consommation d'énergie de 9,4% Pour la ville de Ouargla.

Comme perspectives de notre travail, nous proposons d'abord de réaliser des simulations pour vérifier tous les aspects liés à conception des bâtiments au l'Algérie, et ensuite d'améliorer l'étude sur l'optimisation des caractéristiques de l'enveloppe en ajoutant d'autres paramètres tels que l'inertie thermique et la ventilation et de généraliser notre analyse ou évaluation énergétique aux bâtiments des autres zones climatiques d'Algérie.

Bibliographie

Bibliographies

- [1] BP (British Petroleum Company) Statistical Review of World Energy 2018– Full report
- [2] Bilan Energétique National Année 2017, Ministère de l’Energie –Algérie, Edition 2018
- [3] Société Nationale de l’électricité et du gaz unité d’Ouargla, Sonelgaz (2015-2018).
- [4] <https://www.edfenr.com/lexique/bbc-batiments-basse-consommation>, Consulter Le 06/05/2019.
- [5] BEGGAA, Lalmi et GHERIER Said, IMPACT DE LA FORME ARCHITECTURALE SUR LA PERFORMANCE ENERGETIQUE. Mémoire Master. Université Kasdi Merbah Ouargla.2017.
- [6] <https://blog.vilogia.fr/batiments-passifs/> Consulter Le 22/04/2019
- [7] M^{me} Bellara (Née Louafi) Samira, Impact de l’orientation sur le confort thermique intérieur dans l’habitation collective. Cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli Constantine, mémoire de magister, l’université Mentouri de Constantine, (2005)
- [8] D.Medjelekh, Impact de l’inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment cas de l’habitation de l’époque coloniale à Guelma, mémoire de magister, l’université Mentouri de Constantine, (2006)
- [9] H. M’Sellem et D. Alkama, Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d’analyse bioclimatique - Cas des lieux de travail dans les milieux arides à climat chaud et sec, Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°3, pp. 471 – 488 (2009).
- [10] AKCHICHE Zineb, ÉTUDE DE COMPORTEMENT D’UNE CHEMINÉE SOLAIRE EN VUE DE L’ISOLATION THERMIQUE, mémoire de magister, Université Kasdi Merbah Ouargla.2011
- [11] HADDAD Abdelkrim, « Transferts thermiques », Alger 2001.
- [12] Yves JANNOT, transferts thermiques, Ecole des Mines Nancy, édition 2012
- [13] MIDOUN Mohamed Saleh et BABI Mohammed Dia Elhak, Modélisation et numérisation des transferts thermiques de diverses parois dans l’habitat, Mémoire de Master, 2018
- [14] CLONED J., « Les matériaux isolants thermiques pour le bâtiment », Centre d’animation régional en matériaux avancé, Mai 2010.

- [15] HAKKOUM Soumia, « Etude des caractéristiques thermiques et mécaniques des briques en terre cuite traditionnelles dans les régions de la wilaya de Ouargla », Mémoire de Magister, Université de Ouargla 2015.
- [16] HOLLAERT, Laurie « Analyse de la rentabilité financière et des avantages liés à l'isolation thermique : étude de cas adaptés au modèle belge » Mémoire de Master, Université libre de Bruxelles 2014.
- [17] Mazari, M. Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public/ Cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi ousou), mémoire de magistère, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou. 2012.
- [18] Dr. Mohammad S. Al-Homoud, "Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials," *Building and Environment*, vol. 40, pp. 353-366, 2005
- [19] Guide technique « Guide des matériaux isolants », énergi.eie.info.
- [20] LEMTENNECHE ABDALLAH et BOUGUENNOUR TAREK, Etude expérimentale des transferts thermiques dans un local muni d'un isolant à base végétale, Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2017
- [21] Hafssi_fouad, Contribution à l'étude de l'isolation thermique des bâtiments dans les zones désertiques. Mémoire de Magister, Université d'Ouargla, 2010.
- [22] "Guide des matériaux isolants," Espace info : Energie C.A.U.E. de la Haute-Loire, 16 rue Jean Solvain, 43000 Le Puy En Velay. www.eie43.fr.
- [23] <https://www.isolation-france.fr/isolation-thermique/isolation-thermique-murs/>. Consulter Le 12/03/2019
- [24] Jacques GOUPY, Tutoriel LES PLANS D'EXPERIENCES, Revue MODULAD, 2006
- [25] Issa JAFFAL, Vers une conception rationnelle des bâtiments à basse consommation d'énergie : Méthodologie d'évaluation des performances thermiques, Thèse De Doctorat, Université de La Rochelle, 2009.
- [26] Sila FILFLI, OPTIMISATION BATIMENT/SYSTEME POUR MINIMISER LES CONSOMMATIONS DES CLIMATISATION, Thèse De Doctorat, 2006.
- [27] Stat Point. "STATGRAPHICS Centurion XVI User Manual" .StatPoint Technologies, Inc, 2009 sit web : www.STATGRAPHICS.com
- [28] HALIMI Soufiane & MOUISSI Faras Madjdi, Optimized parameters of an air solar collector for drying applications using the experimental design method, Master's thesis, 2018.

[29] <http://tep2e.fr/site/file/trnsys/trnsys.pdf> , Consulter Le 10/05/2019

Annexe

La matrice utilisée dans le plan d'expérience :

Run	Uwall	Uroof	WWR_N	WWR_E	WWR_W	UWind
1	1	-1	1	1	-1	1
2	1	1	1	-1	1	1
3	0	1	-1	-1	0	1
4	1	-1	1	0	1	-1
5	1	1	0	1	1	-1
6	-1	0	1	0	1	1
7	1	0	1	0	-1	-1
8	-1	0	-1	0	0	1
9	-1	1	-1	0	1	-1
10	0	0	1	0	0	-1
11	-1	-1	-1	-1	1	-1
12	-1	-1	1	-1	-1	-1
13	0	1	-1	0	0	-1
14	0	-1	-1	-1	1	-1
15	1	-1	0	0	1	1
16	1	1	-1	-1	1	1
17	-1	1	1	-1	1	1
18	1	1	-1	1	0	1
19	-1	0	1	-1	0	1
20	1	0	-1	-1	-1	1
21	0	1	0	-1	1	-1
22	0	-1	-1	0	0	-1
23	0	0	1	-1	0	1
24	-1	0	1	0	-1	-1
25	0	0	0	0	0	1
26	0	0	-1	0	1	-1
27	1	-1	1	1	1	1
28	0	-1	1	1	-1	1
29	1	1	-1	1	1	-1
30	-1	-1	1	-1	-1	1
31	0	0	0	1	-1	1
32	0	1	-1	1	0	-1
33	1	1	1	1	-1	-1
34	0	1	-1	1	-1	-1
35	1	0	1	0	-1	1
36	-1	0	0	-1	-1	1
37	-1	0	1	0	0	-1
38	0	-1	1	0	1	-1
39	0	-1	1	0	1	1
40	1	1	1	1	0	1
41	1	1	-1	-1	-1	-1
42	0	0	1	0	-1	-1

Annexe

43	0	1	-1	0	-1	-1
44	1	-1	-1	1	0	-1
45	-1	-1	0	-1	1	-1
46	-1	0	0	1	0	1
47	-1	1	0	0	-1	-1
48	0	1	1	1	0	1
49	0	0	0	1	-1	-1
50	1	1	-1	0	-1	1
51	1	-1	1	-1	-1	1
52	-1	1	-1	-1	-1	-1
53	1	-1	-1	0	-1	1
54	-1	-1	-1	-1	0	1
55	1	1	-1	-1	0	1
56	1	-1	0	0	-1	1
57	0	-1	1	0	0	1
58	1	-1	0	0	-1	-1
59	-1	-1	0	1	1	1
60	1	0	-1	1	0	1
61	-1	1	0	0	1	1
62	-1	1	0	-1	0	-1
63	-1	0	-1	1	-1	-1
64	0	-1	0	0	0	-1
65	0	1	-1	-1	-1	-1
66	1	0	1	-1	1	-1
67	0	-1	1	-1	1	1
68	-1	-1	-1	1	1	1
69	1	1	1	0	-1	-1
70	1	1	-1	1	1	1
71	0	-1	1	-1	0	-1
72	0	0	1	-1	1	-1
73	1	0	-1	0	1	-1
74	0	1	1	-1	0	-1
75	0	0	-1	0	0	1
76	-1	-1	0	0	-1	-1
77	-1	0	1	1	-1	1
78	1	-1	1	1	1	-1
79	-1	-1	-1	0	1	-1
80	-1	1	1	1	1	1
81	-1	1	1	-1	0	1
82	0	0	0	1	1	-1
83	0	0	0	-1	0	-1
84	0	0	0	0	-1	1
85	-1	1	0	-1	-1	-1
86	1	1	1	0	0	1
87	1	-1	0	-1	1	1

Annexe

88	-1	-1	0	1	0	-1
89	-1	0	-1	1	1	1
90	-1	1	1	0	-1	-1
91	1	1	1	1	0	-1
92	0	1	1	1	0	-1
93	0	1	1	0	-1	1
94	1	1	1	0	1	1
95	-1	-1	0	-1	-1	1
96	-1	0	0	1	1	1
97	1	-1	-1	0	-1	-1
98	-1	1	-1	1	1	-1
99	0	-1	0	1	1	-1
100	1	0	1	1	1	1
101	1	1	-1	0	0	-1
102	0	-1	1	1	1	1
103	0	-1	0	1	-1	1
104	-1	1	-1	-1	0	-1
105	0	-1	0	-1	1	-1
106	0	-1	-1	1	-1	1
107	-1	-1	0	0	-1	1
108	1	-1	0	-1	-1	-1
109	1	0	-1	1	1	-1
110	1	-1	-1	0	0	1
111	-1	1	-1	0	-1	-1
112	1	1	0	0	-1	-1
113	-1	-1	-1	1	-1	1
114	-1	0	-1	0	-1	-1
115	0	-1	-1	1	0	-1
116	-1	1	-1	-1	-1	1
117	1	0	1	0	0	-1
118	1	0	1	-1	-1	-1
119	-1	-1	-1	-1	-1	-1
120	-1	-1	-1	-1	0	-1
121	-1	0	0	0	-1	1
122	1	1	-1	0	0	1
123	0	1	0	1	1	-1
124	0	-1	1	0	0	-1
125	-1	0	-1	-1	0	1
126	0	-1	0	-1	0	1
127	0	-1	1	0	-1	1
128	1	1	0	-1	1	1
129	-1	-1	1	0	0	-1
130	1	1	1	1	-1	1
131	-1	1	0	0	0	1
132	1	0	-1	0	0	1

Annexe

133	-1	-1	-1	0	-1	1
134	1	-1	-1	-1	-1	-1
135	0	0	1	-1	-1	-1
136	0	1	-1	-1	1	-1
137	1	-1	0	0	0	1
138	1	1	0	0	1	1
139	-1	0	-1	0	0	-1
140	1	0	1	-1	-1	1
141	0	0	-1	-1	0	1
142	-1	-1	1	0	1	1
143	1	0	-1	1	-1	-1
144	1	0	0	-1	0	-1
145	0	0	1	-1	1	1
146	0	0	0	1	0	-1
147	0	-1	0	0	1	1
148	1	0	1	0	0	1
149	0	0	1	-1	-1	1
150	1	0	0	0	1	1
151	1	-1	1	-1	0	1
152	-1	0	1	0	1	-1
153	-1	1	1	-1	0	-1
154	1	0	1	-1	1	1
155	-1	1	0	0	0	-1
156	-1	-1	1	0	1	-1
157	1	1	-1	0	1	1
158	0	1	1	-1	1	-1
159	0	1	-1	1	0	1
160	1	-1	0	-1	0	1
161	-1	-1	-1	1	0	1
162	0	-1	1	1	0	1
163	-1	0	1	-1	-1	1
164	1	-1	1	1	-1	-1
165	0	1	1	-1	0	1
166	0	-1	-1	0	-1	1
167	0	1	1	0	1	1
168	0	1	0	1	0	-1
169	0	1	0	1	-1	1
170	0	1	-1	-1	0	-1
171	-1	-1	1	0	-1	1
172	1	0	-1	1	1	1
173	1	-1	0	1	1	1
174	0	0	-1	-1	-1	1
175	0	-1	-1	-1	-1	1
176	-1	1	0	1	-1	1
177	-1	-1	1	-1	0	1

Annexe

178	1	0	-1	-1	1	1
179	0	-1	0	0	-1	1
180	-1	-1	0	-1	0	-1
181	0	0	-1	1	0	1
182	-1	1	1	-1	-1	-1
183	1	-1	-1	1	-1	1
184	0	-1	-1	-1	0	1
185	1	-1	-1	0	1	-1
186	-1	1	0	1	0	1
187	-1	-1	1	1	0	1
188	1	1	1	0	1	-1
189	0	-1	1	-1	0	1
190	0	1	0	0	1	1
191	0	1	-1	0	-1	1
192	-1	0	0	0	1	-1
193	0	-1	0	1	1	1
194	-1	1	1	0	0	-1
195	0	1	1	-1	-1	-1
196	0	-1	-1	-1	1	1
197	0	1	1	-1	1	1
198	0	-1	0	1	0	-1
199	-1	-1	0	0	1	1
200	0	-1	-1	0	0	1
201	1	1	-1	1	0	-1
202	-1	0	1	1	1	1
203	-1	-1	-1	0	0	-1
204	0	0	1	1	-1	-1
205	-1	0	-1	-1	-1	1
206	1	-1	-1	1	1	1
207	0	0	-1	-1	0	-1
208	-1	1	0	1	-1	-1
209	0	0	1	1	1	-1
210	1	0	1	1	0	1
211	-1	0	1	-1	0	-1
212	1	1	0	0	0	-1
213	0	1	0	-1	-1	1
214	0	-1	-1	1	1	1
215	1	0	-1	0	0	-1
216	0	0	0	-1	0	1
217	1	1	1	1	1	1
218	-1	1	1	0	1	-1
219	-1	-1	-1	-1	1	1
220	1	0	0	-1	0	1
221	1	1	1	-1	0	-1
222	-1	0	0	1	0	-1

Annexe

223	0	0	0	0	0	-1
224	-1	1	-1	1	0	-1
225	1	1	0	-1	0	-1
226	0	0	0	-1	1	1
227	1	-1	1	0	0	1
228	1	-1	1	1	0	-1
229	1	0	0	1	1	1
230	0	1	-1	0	0	1
231	-1	1	1	-1	1	-1
232	0	1	1	-1	-1	1
233	0	-1	0	-1	-1	-1
234	-1	0	-1	1	1	-1
235	1	0	0	1	0	1
236	0	0	1	0	1	1
237	1	-1	0	1	0	-1
238	-1	0	0	-1	0	1
239	0	0	1	1	0	1
240	0	1	-1	1	1	-1
241	0	1	0	0	0	1
242	-1	-1	0	-1	1	1
243	0	-1	1	-1	-1	-1
244	1	1	0	-1	1	-1
245	-1	-1	0	-1	-1	-1
246	1	0	-1	1	0	-1
247	1	1	0	1	0	1
248	0	0	1	0	-1	1
249	1	-1	-1	0	1	1
250	1	0	-1	-1	0	-1
251	0	0	1	1	0	-1
252	1	0	0	-1	1	-1
253	1	-1	0	1	-1	-1
254	-1	-1	-1	-1	-1	1
255	1	1	1	-1	-1	-1
256	-1	0	-1	-1	1	1
257	0	-1	0	1	-1	-1
258	0	1	0	0	-1	-1
259	-1	-1	0	1	0	1
260	-1	1	1	0	0	1
261	-1	-1	-1	1	1	-1
262	0	0	-1	0	-1	1
263	1	0	0	1	-1	1
264	0	0	0	0	-1	-1
265	-1	0	-1	-1	1	-1
266	-1	1	1	1	0	-1
267	-1	-1	0	-1	0	1

Annexe

268	-1	-1	1	-1	1	1
269	-1	1	0	-1	1	1
270	-1	0	1	1	0	-1
271	0	0	-1	0	0	-1
272	-1	-1	-1	0	1	1
273	-1	-1	0	0	0	-1
274	-1	1	1	1	-1	-1
275	0	-1	-1	1	0	1
276	0	1	-1	1	-1	1
277	-1	-1	-1	0	-1	-1
278	1	1	0	-1	0	1
279	-1	-1	1	0	0	1
280	1	0	0	0	0	1
281	0	1	0	0	0	-1
282	-1	1	-1	0	1	1
283	1	0	-1	-1	0	1
284	-1	-1	1	-1	1	-1
285	1	-1	-1	-1	1	1
286	1	1	0	0	-1	1
287	0	1	1	0	-1	-1
288	0	1	-1	1	1	1
289	1	0	0	1	1	-1
290	-1	0	-1	1	0	1
291	0	0	0	-1	-1	1
292	-1	0	-1	1	0	-1
293	-1	0	-1	0	-1	1
294	1	-1	-1	1	1	-1
295	1	0	0	-1	-1	-1
296	-1	1	-1	0	0	1
297	-1	-1	1	1	1	1
298	-1	-1	0	0	0	1
299	-1	-1	0	1	1	-1
300	0	-1	1	1	0	-1
301	-1	0	0	1	1	-1
302	0	0	-1	-1	1	-1
303	1	-1	1	-1	1	1
304	-1	0	0	-1	1	1
305	-1	1	-1	-1	0	1
306	1	1	1	-1	1	-1
307	1	1	1	0	-1	1
308	0	-1	-1	-1	-1	-1
309	-1	0	-1	-1	0	-1
310	1	0	-1	0	1	1
311	1	-1	1	0	0	-1
312	0	0	-1	-1	1	1

Annexe

313	1	0	0	1	0	-1
314	0	1	1	1	-1	-1
315	-1	1	-1	1	0	1
316	0	1	1	0	1	-1
317	-1	1	0	1	1	-1
318	-1	0	-1	1	-1	1
319	0	0	1	0	1	-1
320	1	0	1	1	-1	1
321	1	-1	0	0	0	-1
322	-1	1	0	-1	-1	1
323	-1	0	1	0	0	1
324	-1	1	0	0	-1	1
325	0	1	0	-1	0	-1
326	-1	-1	-1	1	-1	-1
327	1	0	-1	0	-1	1
328	0	-1	0	0	1	-1
329	1	0	1	-1	0	1
330	-1	0	1	1	1	-1
331	0	-1	0	-1	0	-1
332	0	0	0	-1	1	-1
333	-1	0	0	-1	-1	-1
334	-1	1	-1	-1	1	-1
335	-1	0	0	-1	1	-1
336	0	-1	1	1	-1	-1
337	1	0	1	-1	0	-1
338	1	-1	1	1	0	1
339	0	1	0	-1	-1	-1
340	1	1	-1	1	-1	-1
341	0	-1	1	-1	-1	1
342	-1	1	-1	0	-1	1
343	-1	1	0	-1	1	-1
344	1	-1	0	1	0	1
345	0	0	-1	1	1	-1
346	0	-1	-1	0	1	1
347	0	0	-1	0	1	1
348	0	1	0	1	-1	-1
349	-1	-1	-1	0	0	1
350	0	1	0	-1	0	1
351	0	-1	1	0	-1	-1
352	-1	1	0	0	1	-1
353	0	-1	-1	1	1	-1
354	-1	-1	1	1	0	-1
355	0	-1	0	0	0	1
356	1	1	0	1	0	-1
357	1	1	0	0	0	1

Annexe

358	-1	-1	1	-1	0	-1
359	0	0	0	0	1	-1
360	0	-1	-1	-1	0	-1
361	-1	1	1	0	-1	1
362	0	-1	0	1	0	1
363	1	1	1	0	0	-1
364	0	0	0	0	1	1
365	1	0	-1	-1	-1	-1
366	1	1	0	1	1	1
367	0	0	-1	0	-1	-1
368	1	1	1	-1	0	1
369	0	1	0	-1	1	1
370	-1	0	0	0	0	-1
371	-1	0	0	0	1	1
372	1	0	1	0	1	-1
373	1	0	0	0	-1	-1
374	-1	-1	1	1	1	-1
375	-1	0	0	1	-1	-1
376	0	-1	0	-1	1	1
377	-1	1	0	1	0	-1
378	0	1	1	1	-1	1
379	0	0	-1	1	-1	1
380	-1	1	1	1	-1	1
381	0	0	0	1	1	1
382	-1	1	0	1	1	1
383	-1	0	1	1	0	1
384	1	0	0	-1	1	1
385	0	-1	1	-1	1	-1
386	1	1	-1	1	-1	1
387	0	0	-1	1	-1	-1
388	0	1	1	0	0	1
389	1	-1	-1	-1	-1	1
390	1	1	-1	-1	-1	1
391	0	-1	1	1	1	-1
392	1	-1	-1	-1	1	-1
393	0	0	1	0	0	1
394	1	1	1	1	1	-1
395	1	0	0	0	-1	1
396	0	0	1	1	-1	1
397	-1	0	0	1	-1	1
398	0	0	0	1	0	1
399	1	0	0	0	0	-1
400	0	1	0	1	1	1
401	1	1	-1	0	-1	-1
402	-1	1	1	0	1	1

Annexe

403	1	0	-1	1	-1	1
404	0	0	-1	1	0	-1
405	1	1	-1	-1	0	-1
406	1	1	-1	0	1	-1
407	-1	-1	0	0	1	-1
408	0	1	-1	-1	-1	1
409	-1	1	1	-1	-1	1
410	1	1	0	-1	-1	1
411	-1	0	0	0	-1	-1
412	-1	0	0	-1	0	-1
413	0	0	1	-1	0	-1
414	0	-1	0	-1	-1	1
415	1	-1	0	1	1	-1
416	0	0	1	1	1	1
417	1	-1	1	-1	1	-1
418	1	-1	1	0	-1	1
419	0	1	0	1	0	1
420	1	-1	0	-1	0	-1
421	-1	1	-1	0	0	-1
422	0	1	-1	0	1	1
423	1	1	0	1	-1	1
424	0	1	0	0	-1	1
425	1	0	0	-1	-1	1
426	-1	0	-1	0	1	1
427	1	0	0	0	1	-1
428	0	-1	-1	1	-1	-1
429	-1	1	1	1	0	1
430	-1	0	1	0	-1	1
431	1	-1	1	-1	0	-1
432	1	-1	0	0	1	-1
433	1	-1	-1	0	0	-1
434	-1	0	0	0	0	1
435	1	-1	1	0	1	1
436	-1	1	-1	1	-1	1
437	1	-1	1	-1	-1	-1
438	-1	0	1	1	-1	-1
439	1	-1	-1	1	-1	-1
440	1	1	1	-1	-1	1
441	1	1	0	1	-1	-1
442	1	0	0	1	-1	-1
443	1	-1	0	1	-1	1
444	1	0	1	1	1	-1
445	-1	-1	1	1	-1	-1
446	-1	-1	0	1	-1	1
447	1	-1	-1	-1	0	1

Annexe

448	0	0	-1	1	1	1
449	0	0	0	-1	-1	-1
450	1	-1	-1	1	0	1
451	-1	0	-1	0	1	-1
452	0	-1	-1	0	1	-1
453	1	-1	0	-1	1	-1
454	1	0	1	1	-1	-1
455	-1	1	0	-1	0	1
456	-1	0	1	-1	1	1
457	1	1	-1	-1	1	-1
458	-1	1	-1	-1	1	1
459	0	1	0	0	1	-1
460	0	1	-1	0	1	-1
461	1	0	-1	0	-1	-1
462	-1	0	1	-1	-1	-1
463	0	0	-1	-1	-1	-1
464	0	1	1	1	1	1
465	-1	1	-1	1	1	1
466	0	-1	0	0	-1	-1
467	1	0	1	0	1	1
468	1	0	-1	-1	1	-1
469	1	1	0	0	1	-1
470	1	-1	0	-1	-1	1
471	0	1	-1	-1	1	1
472	1	-1	1	0	-1	-1
473	1	1	0	-1	-1	-1
474	0	1	1	1	1	-1
475	-1	-1	-1	1	0	-1
476	0	1	1	0	0	-1
477	-1	1	-1	1	-1	-1
478	-1	1	1	1	1	-1
479	0	-1	-1	0	-1	-1
480	1	0	1	1	0	-1
481	-1	0	-1	-1	-1	-1
482	-1	0	1	-1	1	-1
483	-1	-1	1	1	-1	1
484	1	-1	-1	-1	0	-1
485	-1	-1	1	0	-1	-1
486	-1	-1	0	1	-1	-1

Résumé

L'objectif principal de ce travail était une contribution à l'optimisation de la conception des bâtiments dans les zones aride, pour réduire la consommation énergétique dans les bâtiments à partir l'optimisation paramétriques.

La conception optimale des bâtiments lié à plusieurs paramètres tel que la géométrie de l'enveloppe, thermique de l'enveloppe, ...etc. Le choix de tel paramètre nécessite une étude paramétrique avant tout solution pour voir leur influence. Les réponses évaluées sont les besoins de chauffage en hiver, et la climatisation en été (le confort thermique entre 20 et 26 C°).

Le développement d'une méthodologie de conception aux bâtiments à basse consommation d'énergie consiste à déterminer des modèles polynômiaux simples à utiliser, pour l'évaluation des performances énergétique et du confort thermique. Ces modèles sont développés à l'aide de la méthode des plans d'expériences (STATGRAPHICS) et l'outil de simulation numérique (TRNSYS).

Mots clés : bâtiments à basse consommation d'énergie, Trnsys, plans d'expériences,

المخلص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو المساهمة في تحسين تصميم المباني في المناطق القاحلة، وللتخفيض من استهلاك الطاقة في المباني يجب تحسين العوامل المؤثرة على المبنى.

التصميم الأمثل للمباني متعلق بعدة معايير مثل الشكل الهندسي، الراحة الحرارية للمبنى، ... إلخ. يتطلب اختبار مثل هذه المعايير دراسة حدية قبل أي حل لمعرفة تأثيرها. الاستجابات التي تم تقييمها هي احتياجات التدفئة في فصل الشتاء، والتبريد في الصيف (الراحة الحرارية بين 20 و26 درجة مئوية).

يتمثل تطوير منهجية تصميم المباني الموفرة للطاقة في تحديد نماذج متعددة الحدود سهلت الاستخدام لتقييم أداء الطاقة والراحة الحرارية. تم تطوير هذه النماذج باستخدام طريقة مخطط التجارب (STATGRAPHICS) وأداة المحاكاة العددية (TRNSYS).

الكلمات المفتاحية: المباني منخفضة الطاقة، برنامج Trnsys، مخطط التجارب