

Université 20 Août 1955-Skikda

Faculté de Technologie

Département de Génie Mécanique

Ref : D012118014D



جامعة 20 أوت 1955 سكيكدة

كلية التكنولوجيا

قسم: الهندسة الميكانيكية

المرجع: D012118014D

Thèse présentée en vue de l'obtention
Du diplôme de
Doctorat en électromécanique

Option :
Systemes énergétiques

**Optimisation de la gestion des flux énergétiques dans le
bâtiment**

Présentée par :
REBAI ASMA

Soutenue publiquement le 26/06 / 2018

Devant le jury composé de :

Président	: Djamel Omeiri	Professeur	Université de Skikda
Encadreur	Salim HADDAD	Maitre de conférences A	Université de Skikda
Examineurs :	Ali Haddouche	Professeur	Université d'Annaba
	Khaled Touafek	Directeur de recherche	UREAR Ghardaïa
	Abderezak Mettatra	Maitre de conférences A	Université de Skikda

Dédicaces

*«A ma mère
Mon père
A mon époux
Mon fils
Ma fille
A mes sœurs
Mon frère et son fils
Et mes grands parents »*

*A tout la famille de prés et de loin
A mes collègues
A tout mes amies
Et tous ceux doute j'ai oublié de mentionné le nom.*

Remerciements

Et comme disait **Marcel Proust** : "*Soyons reconnaissants aux personnes qui nous donnent du bonheur; elles sont les charmants jardiniers par qui nos âmes fleurissent*". C'est difficile de résumer une approche scientifique, mais c'est encore plus difficile de résumer un sentiment de reconnaissance et de gratitude que l'on a pour certaines personnes.

Tout d'abord, Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et toute ma reconnaissance à mon directeur de thèse Monsieur **Salim HADDAD** maître de conférence à l'université 20 Aout 1955 Skikda, pour m'avoir confié ce travail de recherche, ainsi que pour son aide et ses précieux conseils et pour sa sympathie, sa disponibilité, sa grande patience, ses idées et conseils, ainsi que pour son aide précieuse de tous les jours.

Je remercie chaleureusement Monsieur **Omeiri Djamel** Professeur, à l'université du 20 Août 1955 Skikda de m'avoir fait l'honneur de présider le jury. Je voudrais aussi témoigner toute ma gratitude à Monsieur **Haddouche Ali**, Professeur à l'université de BADJI MOKHTAR Annaba, ainsi que Monsieur **Touafek Khaled** Directeur du centre de recherche UREAR Ghardaia, d'avoir accepté d'être membre de jury. Je tiens à remercier Docteur **Metatla Abedrezak** maître de conférence à l'université de 20 Aout 1955 Skikda, pour leur participation à ce jury.

J'adresse également mes remerciements à Docteur Kelaiaia Ridha maître de conférence à l'université de 20 Aout 1955 Skikda pour leur aide et leur disponibilité. Je remercie monsieur Zahzouh Zoubir maître de conférence à l'université du Souk Ahras, pour leurs aides et leurs disponibilité.

Tous mes amis du département Génie mécanique et en particulier de l'équipe de système énergétique pour avoir créé une bonne ambiance de travail et pour leur amitié.

Je n'oublie pas à remercier toutes les personnes de près ou de loin, qui ont contribué au bon déroulement de cette thèse. Je ne pourrai terminer cet espace sans remercier mes collègues avec lesquels j'ai passé des moments agréables à l'Université 20 Août 1955 Skikda.

NOMENCLATURES

A^{fp} : Surface des fenêtres et des portes [m^2]

A^m : Surface du mur [m^2]

C_o : Chaleur spécifique d'air [$J/kg^\circ K$]

C^m : La capacité thermique de la salle [$J/^\circ K$]

C_o : La capacité thermique de l'air a l'intérieur de la salle [$J/^\circ K$]

C_m : Chaleur spécifique du matériau [$J/kg^\circ K$]

D : le temps de simulation [s]

E : l'énergie électrique consommé [kW]

I^s : La source de courant de rayonnement solaire [W]

I^{inst} : La source courant de chaleur produite par des équipements, des personnes et du système d'éclairage.....[W]

I^{ac} : La source de courant de la chaleur produite par le climatiseur [W]

L^{fp} : Épaisseur des fenêtres et des portes [m]

L^m : Épaisseur surface du mur [m]

M : La masse d'air de la salle [kg]

P^m : Densité du matériau [kg/m^3]

P_c : Densité d'air [kg/m^3]

Q_k : Puissance thermique par le radiateur de la salle [W]

R_k^{eq} : Résistance thermique de la salle [$^\circ K/W$]

R^m : la résistance thermique de conduction de la salle [$^\circ K/W$]

R^f : la résistance thermique de conduction de l'infiltration moyenne d'air [$^\circ K/W$]

T_k^{int} : Température intérieur de la salle [$^\circ K$]

T_i^{ext} : Température extérieur du mur [$^\circ K$]

V_k : Volume de la salle [m^3]

V^m : Volume du mur, des fenêtres [m^3]

X_i : état du fonctionnement du climatiseur k au moment i.

λ^{fp} : Conductibilité thermiques des fenêtres et des portes [$W/m^\circ K$]

λ^m : Conductibilité thermiques du mur [$W/m^\circ K$]

ACRONYMES

ACHE : Adaptive Control of Home Environment

BBC : Bâtiment basse consommation

CVC : Systèmes de Chauffage, Ventilation et de Climatisation de l'air

EETP: (method on evaluation of energy and thermal performance for residential buildings)

GA : Algorithme génétique

MTEP: Mégatone équivalent pétrole

SGEB: Système de gestion énergétique du bâtiment

WBCSD: World Business Council for Sustainable Development

ZEH: Zero Energy Home

ZUCH: Zero Utility Cost Home

Optimisation de la gestion des flux énergétique dans le bâtiment

Résumé :

L'habitat est le premier secteur consommateur d'énergie électrique en Algérie avec un pourcentage qui avoisine la moitié de la consommation totale du pays. Pour cette raison la prise en charge de ce secteur est imminente, d'où de nombreux travaux de recherches ont été déjà entamés sur ce thème. C'est dans ce contexte que notre travail de thèse a pour but l'étude et l'analyse de l'aspect énergétique dans un habitat, afin de proposer des outils d'optimisation pour la gestion des flux énergétique.

L'objectif de ce travail de thèse est de fournir des méthodes qui permettent de gérer au mieux l'énergie tout en assurant le confort souhaité. Deux méthodes originales ont été proposées : la méthode d'optimisation du temps de fonctionnement des charges et la méthode basée sur le développement d'un système de régulation pour la climatisation, qui permettent la minimisation des pics de consommation électrique. Pour notre étude de cas nous avons traité le problème de gestion d'énergie d'un habitat à Las Vegas (USA) dont nous avons pris comme charge le processus de climatisation au vu de sa consommation notamment en été dans les zones désertiques. Par conséquent, une gestion optimale au sein du tertiaire peut réduire les pics de consommation dans les réseaux électriques de distribution.

Les méthodes proposées ont été validés après simulation sous Matlab. Les résultats obtenus ont été satisfaisantes par la réduction des pics de consommation tout en gardant le confort thermique à l'intérieur de la maison.

Mots clés : Gestion énergétique de bâtiment, optimisation, simulation, contrôle, confort.

Optimal management of energy flows in the building

Abstract:

Building sector is the largest consumer of electricity in Algeria with a percentage which is around half of the total consumption of the country. For this reason the management of this sector is imminent, hence many research work has already begun on this theme. It is in this context that our thesis work has as a vision the study and analysis of the building energy aspect, in order to propose optimization tools for the management of energy flows.

The aim of the thesis is to provide methods for energy management and ensuring the desired comfort. Two original methods have been proposed: optimization method for the functioning operation time of the loads and method based on the development of a control system for air conditioning, which allow the minimization of the peaks of electrical consumption. For our case study we dealt with the problem of energy management of a home in Las Vegas (USA) and we took charge of the air conditioning process which takes a big part in the buildings. Therefore, its management has significant potential to reduce peaks in power consumption.

The proposed methods were validated after simulation under matlab, we obtained satisfactory results by the reduction of consumption peaks while keeping the thermal comfort inside the house.

Key words: Energy management in the building, optimization, simulation, control, comfort.

الإدارة المثلى لتدفقات الطاقة في المبنى

الملخص :

قطاع السكن هو أكبر مستهلك للكهرباء في الجزائر بنسبه تقترب من نصف الاستهلاك الكلي للبلاد. ولهذا السبب فإن إدارة هذا القطاع باتت وشيكة، ومن هنا بدأت العديد من الأبحاث حول هذا الموضوع. وفي هذا السياق ، فإن عمل أطروحائنا له رؤية وتحليل دراسة جانب الطاقة ، من أجل اقتراح أدوات تحسين لإدارة تدفقات الطاقة.

الهدف من الرسالة هو توفير طرق لإدارة الطاقة بشكل أفضل مع ضمان الراحة المطلوبة. تم اقتراح طريقتين أصليتين: طريقة تحسين وقت التشغيل الشحنات الكهربائية وطريقة قائمة على تطوير نظام التحكم لتكييف الهواء، مما يسمح بتقليل ذروة استهلاك الكهرباء. بالنسبة لحالتنا الدراسية ، تناولنا مشكلة إدارة الطاقة في منزل في لاس فيغاس (الولايات المتحدة الأمريكية) وعملنا على مكيف الهواء ، الذي يلعب دورا هاما في المباني. لذلك ، فإن إدارتها لديها إمكانات كبيرة لخفض مستويات الذروة في استهلاك الطاقة.

تم التحقق من صحة الطرق المقترحة بعد خضوعها للمحاكاة تحت ماتلاب ، وكانت النتائج التي تم الحصول عليها مرضية من خلال الحد من قمم الاستهلاك مع الحفاظ على الراحة الحرارية داخل المنزل.

الكلمات المفتاحية: تسبير الطاقة ، التحسين ، المحاكاة ، التحكم ، الراحة.

Sommaire

Sommaire :

Résumé.....	1
Sommaire.....	4
Liste des figures.....	8
Liste des tableaux.....	11
Introduction générale.....	13
I. Chapitre I : Contexte et enjeux énergétiques du bâtiment	
I.1 Introduction.....	18
I.2 Ressources énergétiques.....	19
I.2.1 Ressources non renouvelable.....	19
a. Energie fossile.....	19
b. Energie nucléaire.....	19
I.2.2 Ressource renouvelable.....	20
a. L'énergie solaire.....	20
b. L'énergie géothermique.....	20
c. L'énergie marée-motrice.....	20
I.3 Besoins énergétiques.....	21
I.3.1 Besoins en énergie primaire.....	21
I.3.2 Besoins en électricité.....	23
I.4 Contexte énergétique Algérien.....	24
I.5 Production de l'électricité en Algérie.....	25
I.6 Potentiel en énergies renouvelables de l'Algérie.....	25
I.6.1 Potentiel solaire.....	25
I.6.2 Potentiel éolien.....	27
I.7 Programme des énergies renouvelables en Algérie.....	28
I.8 Programme de l'efficacité énergétique.....	31
I.9 Conclusion.....	31
II. Chapitre II : Maitrise de l'énergie électrique dans le bâtiment	
II.1 Introduction.....	34
II.2 Vers des bâtiments à énergie positive.....	35
II.3 Position du bâtiment dans la maîtrise de l'énergie.....	36
II.3.1 Impact du secteur bâtiment.....	36

II.4 Méthode de gestion des charges dans les bâtiments.....	38
II.5 Méthode générale de gestion de charge.....	39
II.5.1 Méthode de délestage/relestage.....	39
II.5.2 Décalage de consommation.....	40
II.5.3 Programmation temporelle.....	40
II.5.4 Production décentralisée locale.....	40
II.6 La gestion énergétique du bâtiment dans la littérature	41
II.6.1 Etats de recherche.....	42
II.7 Conclusion.....	46

III. Chapitre III : Développement des modèles de charge

III.1 Introduction.....	49
III.2 Charges à moduler dans le bâtiment.....	49
III.2.1 Modèle du chauffage.....	50
a. Equation de thermodynamique d'une salle de chauffage.....	50
b. Modèle thermique d'une salle sous Matlab/Simulink.....	52
III.2.2 Modèle de climatiseur.....	54
III.2.2.1 Modèle d'une salle conditionnée.....	55
III.2.3 Modèle d'un réfrigérateur	57
III.2.3.1 Modèle d'un réfrigérateur par simulink.....	58
III.2.4 Modèle du congélateur.....	59
III.2.4.1 Modèle d'un congélateur par simulink.....	59
III.2.5 Modèle du lave-linge.....	60
III.2.5.1 Modèle simulink du lave-linge.....	61
III.2.6 Modèle du lave-vaisselle.....	63
III.2.6.1 Modèle simulink de la lave vaisselle.....	64
III.3 Conclusion.....	65

IV. Chapitre IV : Méthode d'optimisation

IV.1 Introduction.....	69
IV.2 Caractérisation globale du problème de gestion des flux énergétiques.....	69
IV.2.1 Critère d'optimisation.....	69
IV.2.2 Variables de décision.....	70

IV.2.3	Contraintes.....	71
IV.2.4	Paramètres d'optimisation.....	71
IV.3	Différentes classes de problèmes d'optimisation.....	72
IV.3.1	Programmation linéaire.....	72
IV.3.2	Programmation linéaire en nombres entiers.....	73
IV.3.3	Programmation non linéaire continue.....	74
IV.3.4	Programmation non linéaire en nombre entier.....	74
IV.4	Méthode d'optimisation pour la gestion des charges.....	75
IV.5	Méthode d'optimisation proposée pour la gestion de climatiseur.....	76
IV.5.1	Description du cas d'étude.....	76
IV.5.1.1	Développement des modèles.....	76
IV.5.2	Formulation du problème d'optimisation.....	77
IV.5.2.1	Fonction objectif.....	77
IV.5.2.2	Contraintes.....	78
a.	Contraintes du confort thermique.....	78
b.	Contrainte de la puissance permmissible.....	78
IV.5.2.3	Résultats.....	78
IV.5.3	Discussion des résultats d'optimisation.....	80
IV.6	Conclusion.....	82

V. Chapitre V : Application de la méthode de la gestion énergétique

V.1	Introduction.....	85
V.2	Application de la méthode proposée pour la gestion des climatisations.....	85
V.2.1	Principe de la méthode proposée.....	85
V.2.2	Description du système de régulation de climatisation.....	85
V.2.3	Principe de fonctionnement du système proposé.....	86
V.2.4	Modèle d'une salle conditionnée.....	87
V.2.5	Résultats de la simulation.....	90
a.	En fonctionnement normal.....	90
b.	Avec le système de régulation.....	92

V.3 Conclusion	94
Conclusion générale	95
Recommandation et perspectives	98
Bibliographie	100

Liste des figures

Liste des figures :

Figure I.1 : Consommation énergétique mondiale depuis 1870	18
Figure I.2: Ressources annuelles d'origine renouvelable disponibles à la surface de la terre	21
Figure I.3 : Consommation mondiale d'énergie primaire	22
Figure I.4 : Répartition de la production d'électricité mondiale	23
Figure I.5 : Répartition de la production d'électricité mondiale, d'origine renouvelable	23
Figure I.6 : Taux de croissance annuels moyenne entre 2000 et 2010 des sources de production électrique mondiale	24
Figure I.7 : Irradiation globale journalière au mois de Juillet sur les plans : a-horizontal et b-normal	27
Figure I.8 : Irradiation globale journalière au mois de Décembre sur les plans : a-horizontal et b-normal	27
Figure I.8 : Irradiation globale journalière au mois de Décembre sur les plans : a-horizontal et b-normal	28
Figure I.9 : Atlas de la vitesse moyenne Annuelle du vent de l'Algérie estimée à 10 m du sol	29
Figure I.10 : Structure du parc de la production nationale en MW	34
Figure II.1 : Répartition de la consommation énergétique mondiale par secteur	34
Figure II.2 : Objectifs pour les bâtiments existants	38
Figure II.3 : Solution pour la gestion des charges dans les bâtiments	39
Figure II.4 : Type de charges électriques	39
Figure II. 5 : Les méthodes générales de gestion de charge	41
Figure II.6 : Exemples d'actions sur le profil de charge	41
Figure III.1 : Distribution de la consommation résidentielle par type de charge	49
Figure III.2 : Transfert thermique dans une salle	51
Figure III.3 : Modèle thermique de salle en Simulink	52
Figure III.4 : Température intérieure de la salle (fonctionnement du chauffage)	53
Figure III.5 : Puissance du fonctionnement du chauffage	53
Figure III.6 : Principe de fonctionnement de la climatisation	54
Figure III.7 : Modèle électrique pour une salle conditionnée	55
Figure III.8 : Le modèle du climatiseur	57

Figure III.9: Modèle du réfrigérateur	58
Figure III.10: Puissance obtenue par simulation de réfrigérateur	59
Figure III.11 : Modèle de congélateur	60
Figure III.12 : Puissance du congélateur obtenue par Simulation	62
Figure III.13 : Modèle du lave-linge	62
Figure III.14 : Puissance de la lave linge	64
Figure III.15 : Modèle de la lave vaisselle	65
Figure III.16 : Puissance de la lave vaisselle	70
Figure IV.1 : Trois critères de la Maîtrise De l'Energie (MDE) dans l'habitat	79
Figure IV.2 : la photo réelle de la maison	80
Figure IV.3 : la température extérieure et la consommation électrique	80
Figure IV.4: la consommation totale de la maison avant l'optimisation	81
Figure IV.5 : le temps de fonctionnement du climatiseur	81
Figure IV.6 : La consommation électrique des autres charges	86
Figure V.1 : Système de régulation proposé	87
Figure V.2 : Modèle analogique électrique pour le système de régulation du climatiseur.	88
Figure V.3 : Modèle du système de régulation proposé sous Matlab/Simulink	89
Figure V.4 : La température extérieure	89
Figure V.5.a : La consommation électrique totale de la maison chaque 15mn	89
Figure V.5.b : La consommation électrique totale de la maison chaque heure	90
Figure V.6 : La consommation électrique totale de la maison	90
Figure V.7 : La Température intérieure de la pièce	91
Figure V.8 : La puissance de fonctionnement du climatiseur	91
Figure V.9 : La consommation électrique totale de la maison	92
Figure V.10 : La température intérieure de la pièce	92
Figure V.11 : Zoom sur la température intérieure de la pièce	93
Figure V.12 : La puissance de fonctionnement du climatiseur	93

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Tableau I.1 : Production annuelle ses différentes ressource non renouvelables.....	19
Tableau I.2 : Production de l'électricité en Algérie.....	25
Tableau I.3 : Répartition du potentiel solaire en Algérie.....	26
Tableau I.4 : Capacité cumulée du programme énergie renouvelable.....	30
Tableau III.1 : Puissance de chaque cycle.....	61
Tableau III.2: Puissance de chaque type de cycle.....	64
Tableau IV.1 : Les appareils électriques dans la maison.....	79

Introduction générale

1. Introduction générale :

L'énergie est l'une des sources indispensable pour l'activité humaine quotidienne.

« Sans nourriture pas de vie, sans énergie pas d'activité » Christian Ngo (2009).

La consommation énergétique mondiale ne cesse d'augmenter avec un pourcentage de 2% par an [1] ce qui a été traduit par des changements climatiques remarquables ces dernières années. Ceci est dû essentiellement par le recours massifs des usagers aux sources fossiles d'énergie.

Face à ces problèmes technique (pics de consommation) et environnementales (réchauffement climatiques) des recherches ont été mené afin de remédier à ces problèmes tout en assurant la continuité de l'alimentation et la réduction des rejets de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

C'est dans cette démarche que nous nous intéressons dans ce travail de doctorat, au secteur le plus consommateur d'énergie qui est l'habitat. La maîtrise de la consommation tertiaire permet d'atténuer les problèmes environnementaux et de préserver la stabilité du réseau électrique tout en garantissant l'équilibre entre la production et la consommation.

La gestion d'énergie électrique dans le bâtiment, dont il est impératif de se préoccuper est l'une des composantes d'une maîtrise de la demande ainsi que la consommation tout en assurant la continuité et le confort de l'être humain.

Le travail présenté dans cette thèse à pour objectif de déterminer les stratégies d'exploitation optimales des consommations pour un habitat afin de réduire sa facture globale et minimiser les coûts énergétique.

Pour ce faire nous avons scindé notre travail en cinq chapitres.

Dans le premier chapitre nous avons étudié les problèmes de la gestion énergétique : différentes systèmes de conversion a base de sources renouvelables (PV, éolien..), besoins énergétiques en tertiaire ainsi que le contexte énergétique algérien (actions et défis).

Le deuxième chapitre, sera consacré aux besoins énergétiques liés à l'habitat. Afin de mieux comprendre les méthodes efficaces de gestion. Dans cette partie les méthodes de gestion des charges dans le bâtiment comme : les méthodes de délestage, le déplacement de la consommation et la programmation temporelle seront présentés.

Dans le troisième chapitre nous présenterons les modèles de charges développés sous Matlab/Simulink (le chauffage, la climatisation, lave linge, congélateur...). Les modèles proposés dans notre travail ont été validés via les courbes de fonctionnement des charges. Cette modélisation est primordiale pour la suite du travail d'optimisation.

Ensuite, nous aborderons dans le quatrième chapitre les méthodes d'optimisation. Nous avons préconisé la méthode programmation non linéaire basé sur l'optimisation du temps de fonctionnement des charges et dans notre cas nous avons choisi le climatiseur comme charge parce qu'il représente presque 80% de la consommation en été d'ou sa gestion pour réduire les pics de consommation électrique dans l'habitat.

Dans le dernier chapitre nous terminerons par l'application de la méthode de gestion optimale de la consommation énergétique. Cette méthode est basée sur le développement d'un système de régulation adaptatif en temps réel des systèmes de climatisation au sein d'une maison à Las Vegas (USA). Ensuite nous étudierons par simulation des scénarios du suivi de la consommation énergétique avec et sans contrôle de système de climatisation.

Les résultats obtenues ont montrés l'efficacité de la méthode proposée (une meilleur gestion de la courbe de consommation, la puissance permissible a été fixée en avant et malgré la demande énergétique en période creuse (10h-20h) la puissance n'a pas dépassé la limite fixée tout en assurant la température du confort de la pièce).

Enfin, une conclusion générale des travaux de recherche effectuées ainsi que les perspectives futurs.

Chapitre I

Contexte et enjeux énergétiques du bâtiment

Chapitre I : Contexte et enjeux énergétiques du bâtiment

I.1 Introduction

I.2 Ressources énergétiques

I.2.1 Ressources non renouvelable

- a. Energie fossile
- b. Energie nucléaire

I.2.2 Ressource renouvelable

- a. L'énergie solaire
- b. L'énergie géothermique
- C. L'énergie marée-motrice

I.3 Besoins énergétiques

I.3.1 Besoins en énergie primaire

I.3.2 Besoins en électricité

I.4 Contexte énergétique Algérien

I.5 Production de l'électricité en Algérie

I.6 Potentiel en énergies renouvelables de l'Algérie.

I.6.1 Potentiel solaire

I.7 Programme des énergies renouvelables en Algérie

I.8 Programme de l'efficacité énergétique

I.9 Conclusion

I.1 Introduction

Depuis quelque année, des recherches scientifiques ont été mené sur la menace préoccupante pour l'avenir de la planète, qui est le réchauffement climatique.

Le recours massif aux énergies à base fossile liées essentiellement à l'activité humaine a été à l'origine de l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Les émissions issues de la conversion énergétique à travers les systèmes traditionnels à base fossiles proviennent principalement des secteurs résidentiel et tertiaire, principal consommateur d'énergie en Algérie avec un pourcentage qui dépasse les 50%.

Dans ce contexte, il s'avère que :

Le secteur du bâtiment constitue un domaine de potentiel important d'économie d'énergie, notamment par la rationalisation de l'utilisation de l'énergie finale et plus particulièrement de l'électricité.

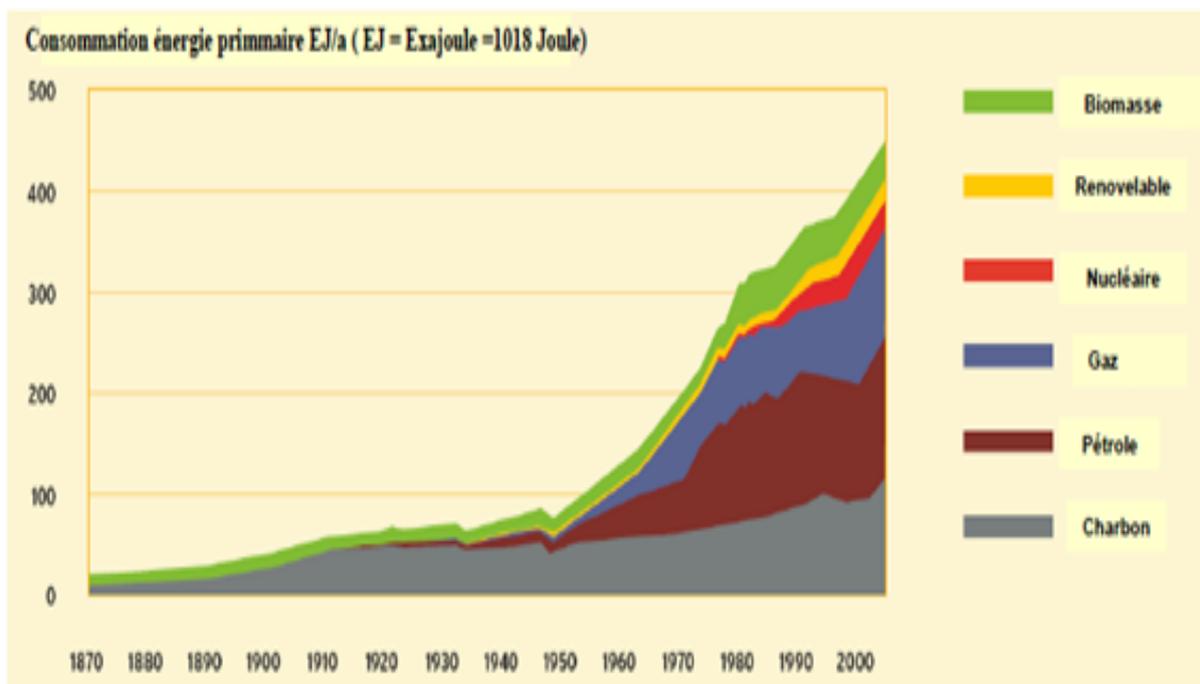


Figure I.1 : Consommation énergétique mondiale depuis 1870 [1]

Les énergies renouvelables se manifestent comme une alternative à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

I.2 Ressources énergétiques

I.2.1 Ressource non renouvelable

Une source est dite non renouvelable lorsque sa consommation aboutit à sa déperdition notable à l'échelle du temps humain. Les énergies fossiles résultent d'un lent processus de dégradation de la matière vivante.

Ces ressources sont donc définies comme non renouvelables car leur épuisement au rythme de leur consommation actuelle est inévitable.

Ressource	Réserve prouvée/production annuelle
Pétrole	40 ans
Gaz	57 ans
Charbon	220 ans
Uranium	70 ans

Tableau I.1 : Production annuelle ses différentes ressource non renouvelables [2]

Les réserves prouvées en énergie fossile et fissile sont aujourd'hui assez correctement estimés, il est alors possible de déterminer le rapport entre réserve prouvée et production annuelle correspondant à la période d'exploitation de la ressource avant l'extinction de celle-ci **tableau (I.1)**.

Les principales sources d'énergies non-renouvelables sont dérivées des hydrocarbures, tels que le pétrole, le gaz naturel, et les huiles.

On peut classer les énergies non renouvelables en deux grandes familles :

- a. **Energie fossile** : notamment le charbon, le gaz naturel et le pétrole. Leur vitesse de régénération est extrêmement lente à l'échelle humaine, et la consommation intensive, conduit à un épuisement plus au moins échéances.
- b. **Energie nucléaire** : les gisements d'uranium étant limités, et son stock ne se reconstitue pas à l'échelle de la vie du système solaire. Seule la fusion nucléaire pourrait à condition d'être industriellement maîtrisée, produire de l'énergie sur le très long terme [3].

I.2.2 Ressources renouvelable

Par opposition aux ressources non renouvelables, les ressources renouvelables concernent les énergies inépuisables à l'échelle des temps humains.

La **figure (I.2)** représente les différentes ressources renouvelables disponibles à la surface de la terre. Selon l'origine de l'énergie, il est possible de distinguer :

L'énergie solaire : la terre est en permanence soumise à un rayonnement solaire fluctuant avec une période majeure annuelle. En moyenne annuelle la terre intercepte environ $1600 \cdot 10^{15}$ kWh [4].

Sur ce total : 30% sont directement réfléchis par les couches hautes de l'atmosphère terrestre et renvoyés dans l'espace et 45% sont transformés puis rayonnés sous forme d'infrarouge dans l'espace, 25% sont convertis en surface et dans l'atmosphère donnant naissance de houles de vent et 0.06% sont exploités par la photosynthèse.

L'énergie géothermique : le noyau terrestre fournit aussi une part non négligeable de l'énergie renouvelable disponible à la surface de la terre. Celle-ci est estimée à un total annuel de $300 \cdot 10^{12}$ kWh.

L'énergie marée-motrice : l'interaction gravitationnelle entre le soleil, la terre et la lune, conduisant notamment au phénomène des marées rend disponible une quantité d'énergie importante estimée à environ $25 \cdot 10^{12}$ kWh.

La somme des ressources renouvelables constitue donc un gisement potentiel d'énergie d'une ampleur sans commune mesure. La récupération d'une part infime de cette énergie disponible en abondance à la surface terrestre peut répondre de façon durable aux besoins énergétiques mondiaux (actuellement environ $140 \cdot 10^{12}$ kWh d'énergie primaire).

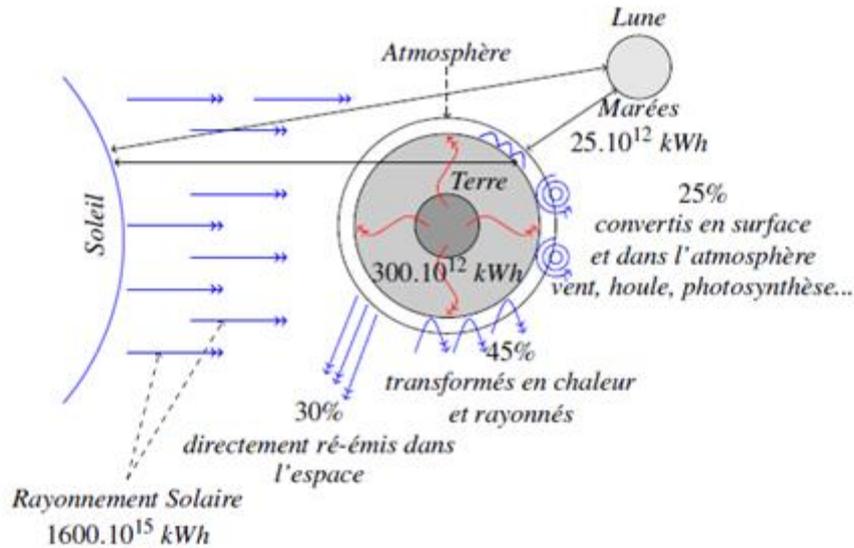


Figure I.2: Ressources annuelles d'origine renouvelable disponibles à la surface de la terre

[2]

I.3 Besoins énergétiques

I.3.1 Besoins en énergie primaire

Une énergie est dite primaire si elle est disponible dans la nature sans aucune transformation. Par opposition, une énergie est dite finale lorsque c'est sous cette forme qu'elle est commercialisée (l'électricité, le gaz naturel ou l'essence distribué à la pompe sont des formes d'énergie finale).

D'après l'agence internationale de l'énergie [5] les productions mondiales d'énergie primaire a environ doublé en l'espace d'une trentaine d'années, passant de 5700 Mtep en 1971 à 12000 Mtep fin 2007, ce qui correspond à une progression moyenne annuelle de 2.3%.

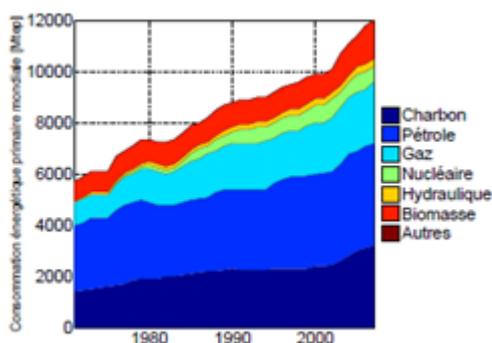
La **figure I.3a** représente l'évolution de la production mondiale d'énergie primaire par source. Il est possible de remarquer la part largement majoritaire des sources fossiles dans la production mondiale d'énergie primaire.

La **figure I.3b** représente le mix énergétique mondial. Les énergies fossiles répondaient encore à environ 80% de la production d'énergie primaire au niveau mondial.

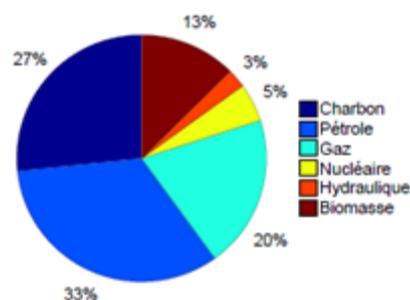
L'énergie nucléaire représentait en 16% de l'énergie primaire totale produite dans le monde est provenait quasiment exclusivement de la biomasse et de l'énergie hydraulique.

La part provenant "des nouvelles " sources renouvelables comme l'énergie photovoltaïque ou l'éolien représente encore une part relativement faible du paysage énergétique mondial bien qu'elles connaissent actuellement une croissance rapide (plus de 30% par an) qui devrait leur permettre d'atteindre d'ici peu une proportion respectable.

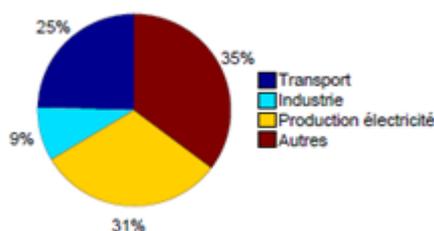
La **figure I.3c** rappelle la répartition de la demande énergétique primaire mondiale par secteur d'activité, il s'agit d'une projection à l'horizon 2010 [6]. Une proportion importante (~31%) de la demande énergétique primaire mondiale est destinée à la production électrique, celle-ci connaît une croissance continue et représente donc une caractéristique importante.



(a) Evolution de la consommation mondiale d'énergie primaire



(b) Mix 2007 de l'énergie primaire



(c) Projection de la répartition par secteur de la demande

Figure I.3 : Consommation mondiale d'énergie primaire [5, 6]

I.3.2 Besoins en électricité

En 2010, la production d'électricité mondiale **figures (I.4) et (I.5)** provenant des sources d'énergie renouvelables atteint 19.6% de la production totale. Cette part est nettement inférieure à la production issue des combustibles fossiles (67.2%) mais reste néanmoins supérieure à la part de la production d'origine nucléaire (13%). Les 0.2% manquants sont fournis par la combustion des déchets dits non renouvelables. Des 6 sources composant la production d'électricité renouvelable. La biomasse, qui comprend la biomasse solide et liquide, le biogaz et les déchets ménagers renouvelables et la seconde source avec 6.3%.

Viennent ensuite la filière éolienne (8.3%), la géothermie (1.6%), le solaire qui regroupe les centrales photovoltaïques et thermiques (0.8%), et enfin les énergies marines (0.01%) [7].

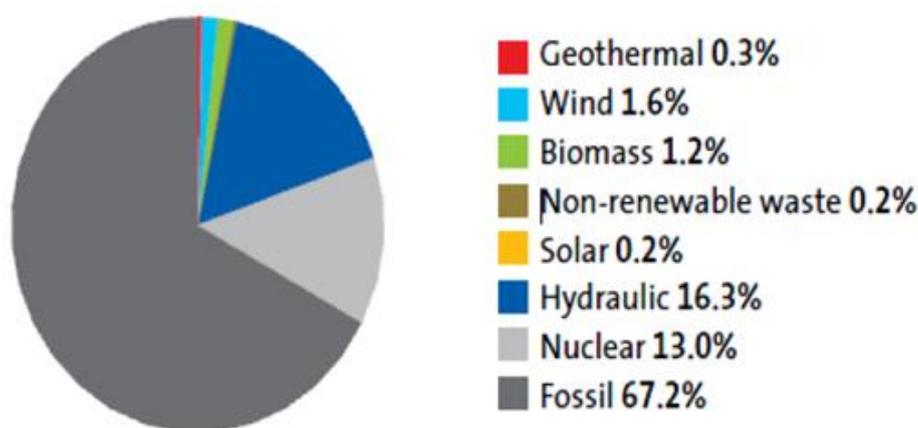


Figure I.4 : Répartition de la production d'électricité mondiale [14]

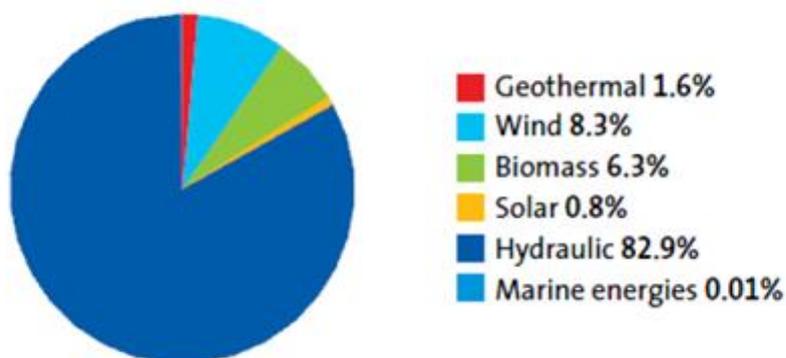


Figure I.5 : Répartition de la production d'électricité mondiale, d'origine renouvelable [7]

Entre 2000 et 2010 **figure (I.6)**, ce sont les sources de production solaire et éolienne qui ont connu les taux de croissance annuels moyens les plus importants. Ils ont en effet augmenté respectivement de 38.1 e de 27.1% par an. Seules les énergies marines ont connu une baisse durant cette période. Pour les autres sources, ces valeurs sont comprises entre 0.6% (pour le nucléaire) et 0.7% (pour la biomasse) [7].

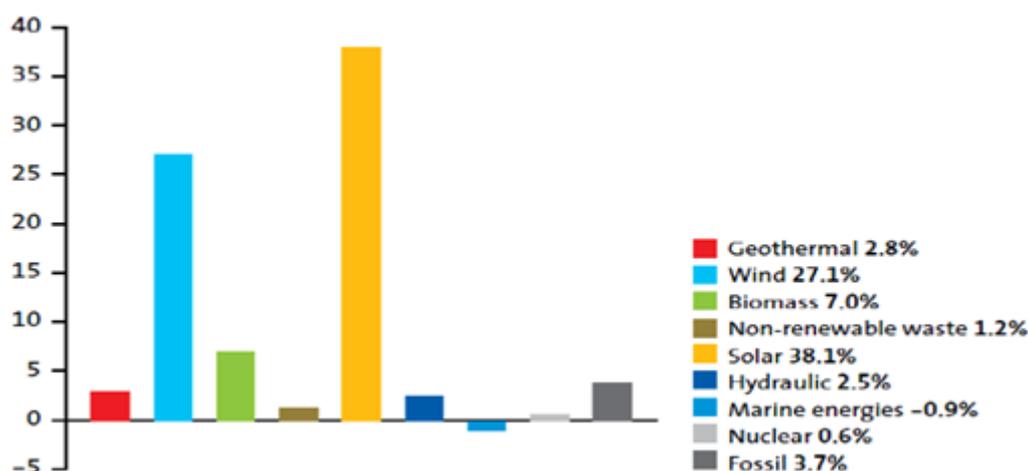


Figure I.6 : Taux de croissance annuels moyenne entre 2000 et 2010 des sources de production électrique mondiale [7]

I.4 Contexte énergétique Algérien

La couverture du réseau électrique algérien atteint aujourd'hui 97% des sites habités. Elle reflète un potentiel de production d'électricité important et en constante évolution face à une demande en hausse se situant à près de 7% par an durant la période allant de 1963 à 2007. La réalisation de nouvelles capacités de production, de transport et de distribution d'électricité est l'un des plus grands défis du secteur. Le développement de l'électrification en Algérie est un des piliers des programmes d'équipement public depuis plus de 40 ans. Il repose sur le principe du service public garantissant la continuité et la qualité de la fourniture.

La production nationale d'électricité a connu une forte augmentation. Le taux d'électrification nationale est passé de 63% en 1980 à 97 % en 2007. Les principaux indicateurs et leur évolution sur les périodes 1962-1999 et 2000-2007 mettent en évidence l'énorme effort consenti par l'Etat dans ce domaine. En effet, durant la période 2000-2007, la production d'électricité a connu une forte croissance. Elle est passée de 25 TWh en 2000

à 37 TWh en 2007, ce qui correspond à une hausse annuelle moyenne de 6%. Cette production était seulement de 2 TWh dans les années 60 [8].

I.5 Production de l'électricité en Algérie

La capacité supplémentaire nationale de production d'électricité au cours de la période 2017-2027 sera de 21307 MW, dont 20994 MW ont déjà été décidés et 313 MW sont en projet [9].

	Réalisations 2015	Réalisations 2016	Evolution
Puissance installé [MW]	11258	12784	13.44%
Energie produite [GWh]	31.36	30.35	-3.22%
Effectif global	5480	5514	0.62%
Capacité des nouveaux moyens de production mise en service [MW]	1139	1575	38.28%

Tableau I.2 : Production de l'électricité en Algérie [9]

I.6 Potentiel en énergies renouvelables de l'Algérie :

L'Algérie dispose d'un potentiel d'énergies renouvelables important, notamment le solaire, mais très peu développé.

- **Potentiel Solaire :** de part sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde. La durée d'ensoleillement sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara).

L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m²/an au nord et 2263 kWh/m²/an au sud du pays.

La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est présentée dans le **tableau (I.3)** selon l'ensoleillement reçu annuellement.

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an)	2650	3000	3500
Irradiation moyenne reçue (kWh/m²/an)	1700	1900	2263

Tableau I.3 : Répartition du potentiel solaire en Algérie [10]

Les **figures (I.7)** et **(I.8)** montrent l'irradiation globale journalière sur les plans horizontal et normal aux mois de Décembre et de Juillet.

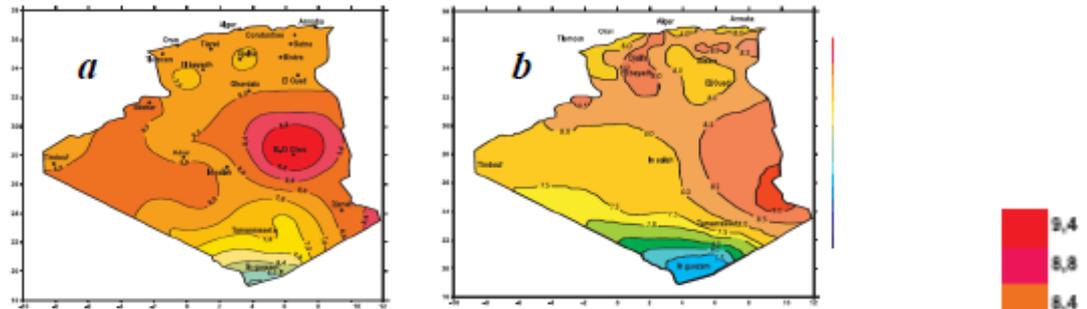


Figure I.7 : Irradiation globale journalière au mois de Juillet sur les plans :

a-horizontal et b-normal [10]

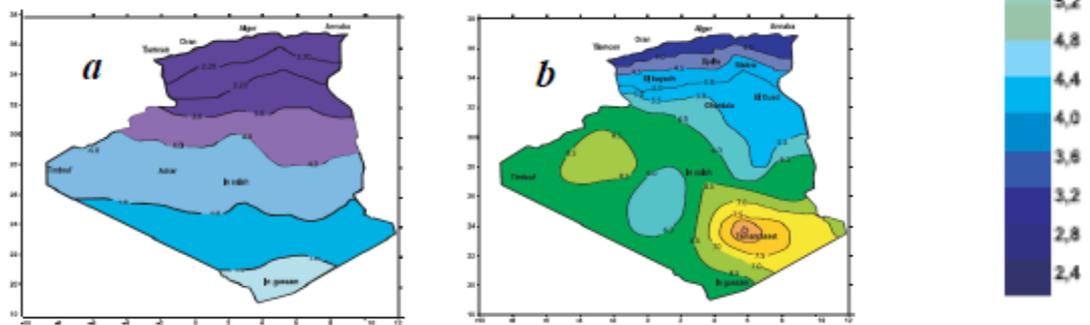


Figure I.8 : Irradiation globale journalière au mois de Décembre sur les plans :

a-horizontal et b-normal [10]

- Potentiel éolien :** La carte des vents de l'Algérie, estimée à 10 m du sol est présentée en figure 2.16. Les vitesses moyennes annuelles obtenues varient de 2 à 6.5 m/s. On remarque qu'à l'exception de la région côtière (moins Béjaïa et Oran), du Tassili et de Beni Abbés, la vitesse de vent moyenne est supérieure à 3 m/s. En fait, la région centrale de l'Algérie est caractérisée par des vitesses de vent variant de 3 à 4 m/s, et augmente au fur et à mesure que l'on descend vers le sud-ouest. Le maximum est obtenu pour la région d'Adrar avec une valeur moyenne de 6.5 m/s. Cependant, nous pouvons observer l'existence de plusieurs microclimats où la vitesse excède les 5 m/s comme dans les régions de Tiaret, Tindouf et Oran.

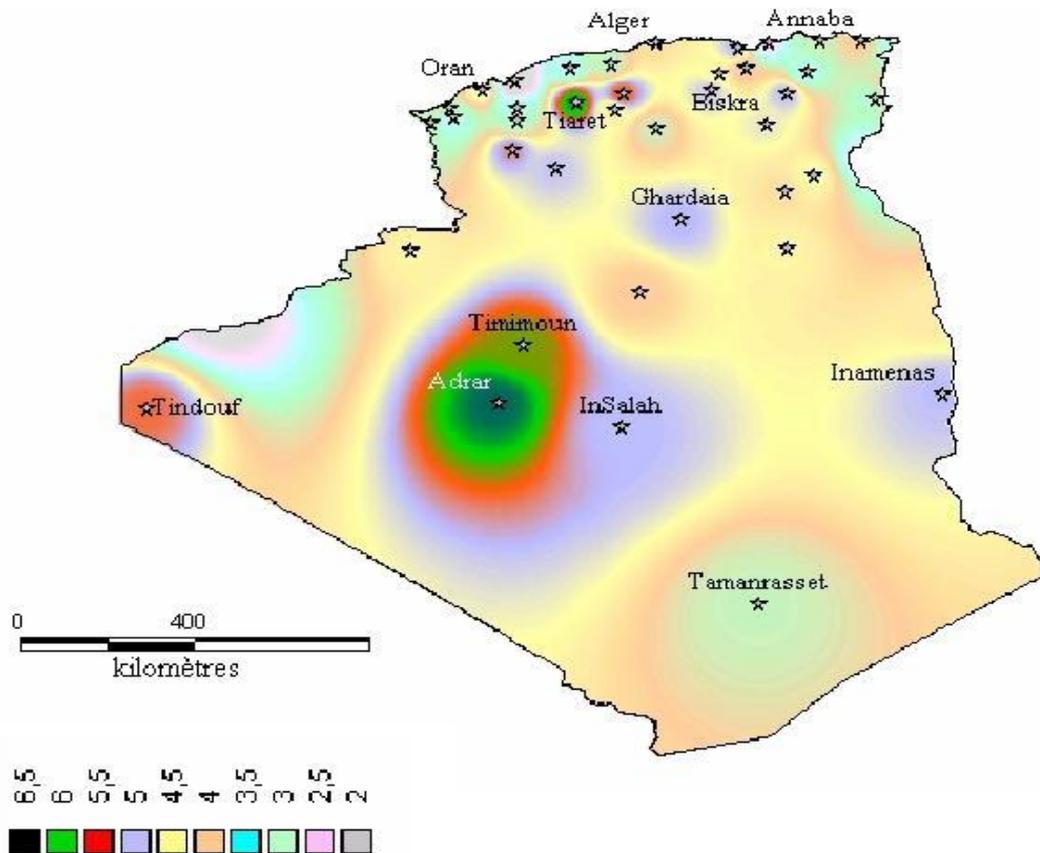


Figure I.9 : Atlas de la vitesse moyenne Annuelle du vent de l'Algérie estimée à 10 m du sol [11]

Comme le potentiel en énergies renouvelables est très important en Algérie, le gouvernement Algérien veut promouvoir ce type d'énergie et ce, en lançant un programme ambitieux qui sera bien décrit dans la section suivante.

I.7 Programme des énergies renouvelables

D'ici 2030, 37% de la capacité installée et 27% de la production d'électricité destinée à la consommation nationale, seront d'origine renouvelable [9].

Suite au lancement du programme de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, adopté en Février 2011 par le gouvernement il est apparu dans sa phase expérimentale et de veille technologique, des éléments nouveaux et pertinents sur la scène énergétique, aussi bien nationale qu'internationale, nécessitant la révision du programme de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique.

Parmi ces éléments, il convient de citer :

- une meilleure connaissance du potentiel national en énergies renouvelables à travers les études engagées.
- La baisse des coûts des filières photovoltaïque et éolienne qui s'affirment de plus en plus sur le marché pour constituer des filières viables à considérer (maturité technologique, coûts compétitifs...) ;
- Les coûts de la filière CSP (Solaire thermique) qui restent élevés associés à une technologie non encore mature notamment en termes de stockage avec une croissance très lente du développement de son marché.

Ainsi, le programme des énergies renouvelables actualisé consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de l'ordre de 22000 MW à l'horizon 2030 pour le marché national avec le maintien de l'option de l'exportation comme objectif stratégique.

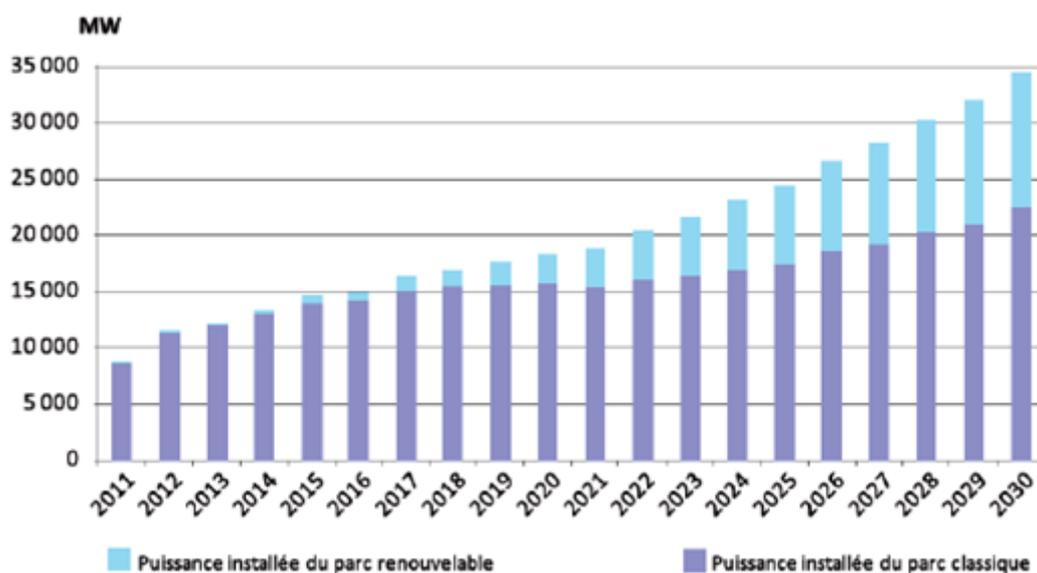


Figure I.10 : Structure du parc de la production nationale en MW [12]

Les projets énergie renouvelable de production de l'électricité dédiés au marché national seront menés en deux étapes :

- Première phase 2015-2020 : cette phase verra la réalisation d'une puissance de 4000 MW, entre photovoltaïque et éolien, ainsi que 500 MW, entre biomasse, cogénération et géothermie.
- Deuxième phase 2021-2030 : le développement de l'interconnexion électrique entre le Nord et le Sahara (Adrar), permettra 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.

A cette échéance, le solaire thermique pourrait être économiquement viable.

Le tableau suivant donne les capacités cumulées du programme énergie renouvelable, par type et phase sur la période 2015-2030 :

	1 ère phase 2015-2020	2 ème phase 2021-2030	Total
Photovoltaïque	3000	10575	13575
Eolien	1010	4000	5010
CSP	-	2000	2000
Cogénération	150	250	400
Biomasse	360	640	1000
Géothermie	05	10	15
Total	4525	17475	22000

Tableau I.4 : Capacité cumulée du programme énergie renouvelable

I.8 Programme de l'efficacité énergétique

L'objectif du programme de l'efficacité énergétique consiste à réduire graduellement la consommation. Sa mise en œuvre générerait une économie d'énergie cumulée de l'ordre de 90 millions de tep, dont 60 millions sur la période 2015-2030, 30 millions de tep, au delà de 2030, pour la période correspondant à la durée de vie des équipements utilisés et des constructions réalisées. Ainsi, il permettrait pour l'année 2030 de réduire la demande en énergie d'environ 10%.

Ce programme consiste, principalement en la réalisation des actions suivantes :

- L'amélioration de l'isolation thermique des bâtiments.
- Le développement du chauffe-eau solaire.
- La généralisation de l'utilisation des lampes à basse consommation.
- La conversion au cycle combiné des centrales électriques quand cela est possible ; La réalisation de projets de climatisation solaire.
- La promotion de la cogénération.
- La génération d'électricité à partir des déchets ménagers.

I.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différentes ressources d'énergie existantes. Les sources d'énergie renouvelables présentent beaucoup d'avantages par rapport aux sources de conversion classique du point de vue environnementale et économique. Une étude du potentiel énergétique en Algérie a été présentée aussi en vue d'identifier les besoins ainsi que la maîtrise de la consommation au sein de l'habitat Algérie.

Chapitre II

Maitrise de l'énergie électrique dans le bâtiment

Chapitre II : Maîtrise de l'énergie électrique dans le bâtiment

II.1 Introduction

II.2 Vers des bâtiments à énergie positive

II.3 Position du bâtiment dans la maîtrise de l'énergie

II.3.1 Impact du secteur bâtiment

II.4 Méthode de gestion des charges dans les bâtiments

II.5 Méthode générale de gestion de charge

II.5.1 Méthode de délestage/relestage

II.5.2 Décalage de consommation

II.5.3 Programmation temporelle

II.5.4 Production décentralisée locale

II.6 La gestion énergétique du bâtiment dans la littérature

II.6.1 Etats de recherche

II.7 Conclusion

II.1 Introduction

« L'efficacité énergétique est rapidement devenue l'un des grands enjeux de notre époque et les bâtiments en sont une des composantes majeures. Ils consomment plus d'énergie que tout autre secteur et contribuent donc dans une large mesure au changement climatique », souligne Björn Stigson, président du WBCSD (World Business Council for Sustainable Development, WBCSD).

Le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire) présente l'un des plus grands potentiels d'efficacité énergétique et de réduction des émissions de gaz à effet de serre. C'est pourquoi, dans le cadre de ce chapitre, nous nous intéressons au développement des méthodes de gestion de la consommation d'énergie dans les bâtiments.

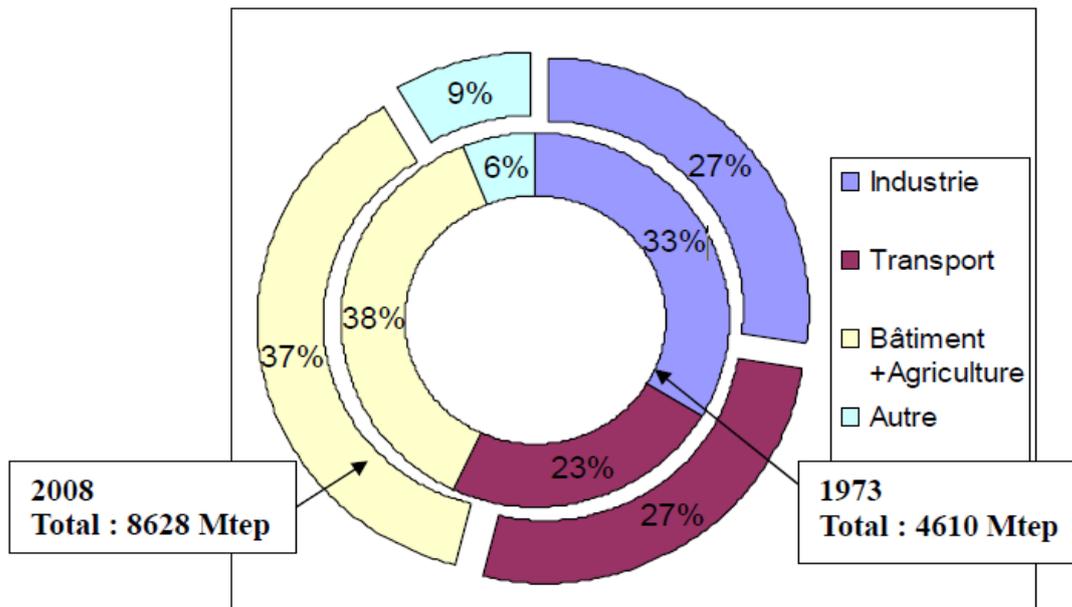


Figure II.1 : Répartition de la consommation énergétique mondiale par secteur [13]

Plusieurs auteurs se sont intéressés à la consommation énergétique du bâtiment en utilisant différentes méthodes et en étudiant différents paramètres qui peuvent contribuer à économiser de l'énergie.

II.2 Vers des bâtiments à énergie positive

Les préoccupations en matière d'économie d'énergie, héritées des chocs pétroliers, et plus récemment les risques de réchauffement climatique causé par le rejet massif des gaz à effet de serre, imposent de nouvelles obligations au secteur du bâtiment, qui représente aujourd'hui le major parti de la consommation mondiale d'électricité.

Un bâtiment neuf doit répondre à des exigences posées comme prioritaires : un environnement intérieur confortable et une maîtrise et la limitation des impacts sur l'environnement extérieur, la préservation des ressources et la réduction des consommations d'énergie sous toutes ces formes.

La recherche dans le secteur du bâtiment tend en conséquence vers la construction des bâtiments intelligents, à haute qualité environnementale et à énergie positive. L'objectif de bâtiments à énergie positive vise à concevoir à long terme des bâtiments ne consommant pas plus qu'ils ne produisent.

Au niveau mondial, plusieurs labels haute performance existent, se différenciant par leurs objectifs et leurs contraintes. On peut citer notamment le label ZEH (Zero Energy Home) pour les pays anglosaxons et le Japon, ZUCH (Zero Utility Cost Home) au Japon, Minergie en Suisse, Passiv HAUS en Allemagne. Ces objectifs tendent vers une amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments par la réduction des consommations grâce à une architecture bio-climatique qui favorisait l'isolation, l'inertie thermique, l'éclairage naturel. L'emploi généralisé d'équipements économes de chauffage, d'éclairage et d'électroménager est une autre forme de réduction de consommation d'énergie. Cette amélioration doit prendre en compte les exigences croissantes de confort et de bien être des occupants [14].

Le développement de nouvelles techniques de réduction des consommations d'électricité reste toutefois insuffisant pour atteindre l'objectif final d'énergie positive, qui exige aussi le recours à la production locale d'électricité chez les utilisateurs finaux du secteur tertiaire et du résidentiel.

Afin de parvenir à des niveaux de consommation réduits et acceptables ou même à énergie positive, les logements devront nécessairement intégrer des sources d'énergie locale renouvelable (solaire thermique et photovoltaïque, éolien, géothermie, biomasse, bois, etc...).

Le développement actuel de ces types de sources à usage résidentiel ou tertiaire doit s'inscrire dans une tendance plus générale de recherche et d'innovation autour des productions décentralisées de type énergie renouvelable à tout niveau de puissance, et pour des applications stationnaires autonomes ou connectées au réseau.

II.3 Position du bâtiment dans la maîtrise de l'énergie

Le secteur de bâtiment consomme plus du tiers de l'énergie électrique globale. Le secteur bâtiment résidentiel et tertiaire est considéré avec le transport, comme étant le plus grand gisement d'économie et de modulation d'énergie. Ainsi, l'amélioration de la performance énergétique est une priorité caractérisée par une directive du parlement mondiale.

II.3.1 Impact du secteur bâtiment

L'étude de la répartition de la consommation de l'énergie électrique par secteur met en évidence que le secteur du bâtiment est celui sur lequel il est le plus intéressant de travailler puisqu'il est le plus gros consommateur d'énergie électrique.

La croissance du nombre de bâtiments est un facteur explicatif de la croissance de la consommation d'électricité du secteur tertiaire. Selon l'Observatoire de l'Energie, la hausse de la consommation électrique dans le secteur résidentiel/tertiaire est principalement due à l'accroissement et la multiplication du nombre d'appareils électroménagers présents dans chaque foyer, notamment pour les produits bruns (TV, lecteurs, enregistreurs DVD, Hi-Fi, décodeurs, téléphonie, console de jeux, ordinateurs...). Malgré l'impact de la crise économique, la consommation du secteur résidentiel a continué à croître de plus de 2 % par an [15]. Dont le principal ressort de cette évolution en Algérie est le développement de la climatisation.

En considérant l'importance de la consommation du secteur du bâtiment, on constate qu'il est nécessaire de favoriser la réduction et la maîtrise de la consommation énergétique dans le secteur résidentiel et tertiaire.

Pour monter dans l'échelle du logement économe **figure (II.2)**, et passer des « bâtiments à basse consommation » en 2012 aux « bâtiments à énergie positive » en 2020 quand la consommation d'énergie primaire consommée est inférieure à la quantité d'énergie renouvelable produite sur l'année, les axes de développement d'efficacité énergétique concernent :

- la climatisation et le chauffage électrique.

- l'éclairage naturel avec exploitation de la lumière du jour par des équipements appropriés et performants.
- les appareils de basse consommation (utiliser des appareils électroménagers à haute performance énergétique)
- l'isolation thermique
- les systèmes de gestion énergétique permettant non seulement de résoudre les problèmes d'adéquation (production, consommation d'énergie) mais aussi de réduire la consommation en améliorant l'adaptation des besoins énergétiques aux usages.

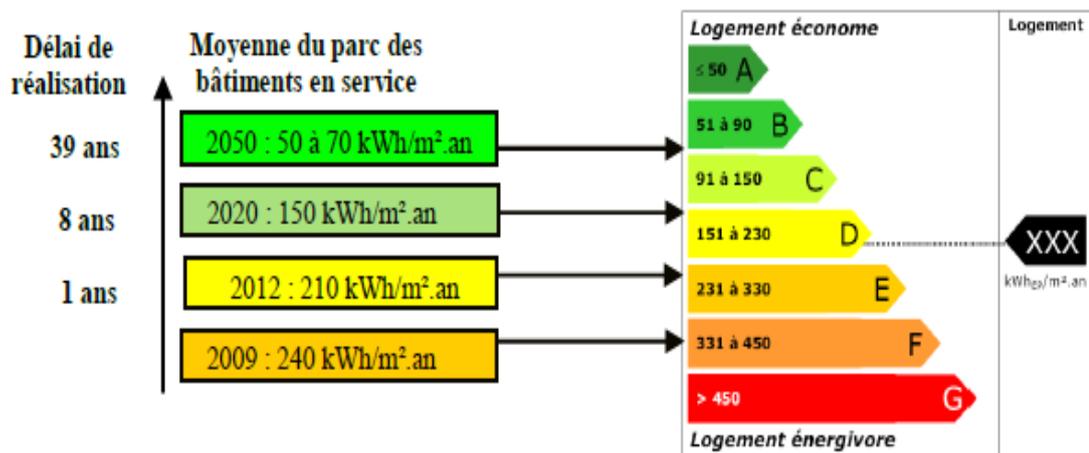


Figure II.2 : Objectifs pour les bâtiments existants [16]

Le bâtiment devient actif pour améliorer son efficacité énergétique et pour s'insérer dans le nouveau contexte de *smart-grid*. Une des tendances majeures est donc de le rendre «intelligent » afin de gérer de façon optimisée les équipements et éliminer ainsi toute consommation inutile. Ceci est basé sur le développement de systèmes d'interaction avec les occupants et d'automatismes et de leur intégration dans un système de gestion global du bâtiment se basant sur les technologies de l'information et de la communication et des algorithmes avancés de prédiction, d'apprentissage et d'optimisation.

Au moment des pics de consommation, la production doit suivre la consommation. Il y a trois moyens essentiels et distincts de traitement de la pointe de consommation :

- la réduction globale des niveaux de consommation
- la modulation de la courbe de charge
- le développement de capacités permettant de répondre à la pointe résidentielle.

II.4 Méthode de gestion des charges dans les bâtiments

La gestion des charges peut être réalisée en :

- Réduisant la consommation d'énergie.
- Réduisant les pics de consommation.
- Déplaçant la consommation vers les heures creuses.

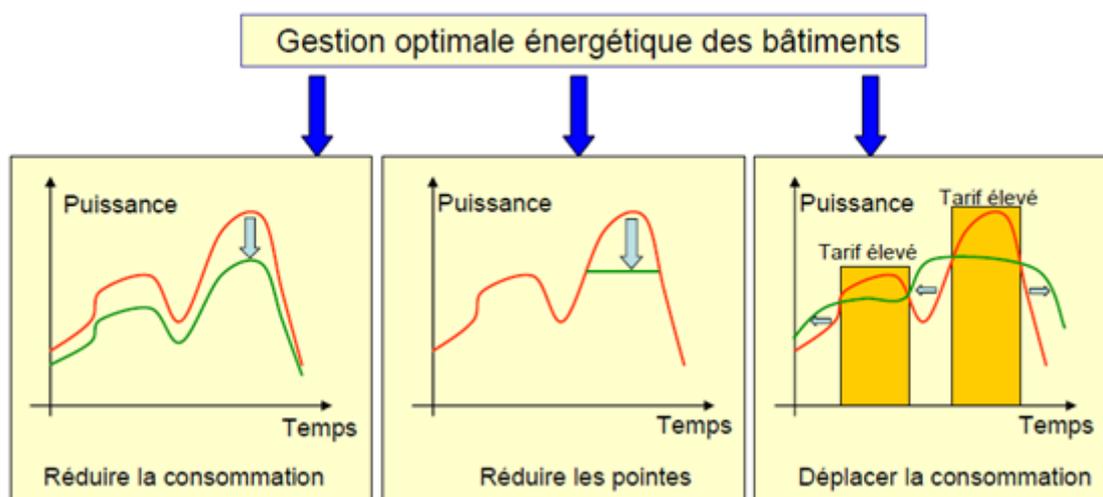


Figure II.3 : Solution pour la gestion des charges dans les bâtiments [43]

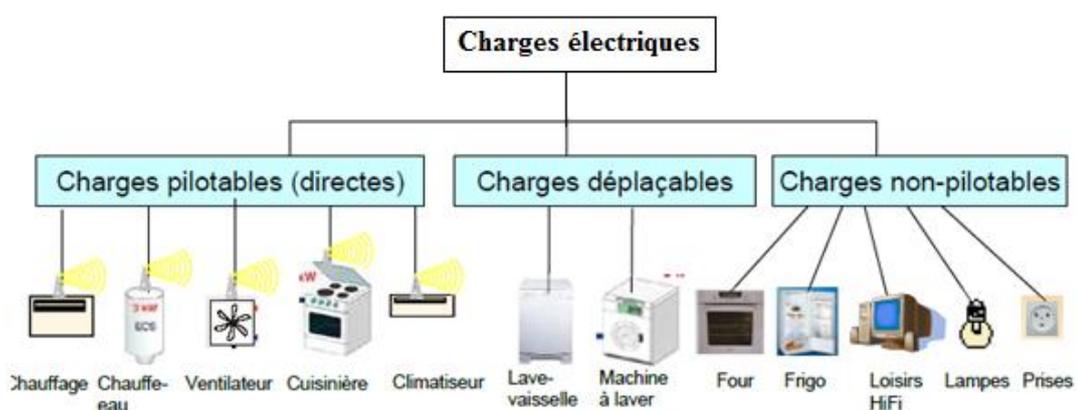


Figure II.4 : Type de charges électriques

II.5 Méthodes générales de gestion de charge

L'objectif général des méthodes de gestion de charge est de :

- Réduire la consommation.
- Réduire les pointes de consommation.
- Déplacer des consommations de la période tarifs plus chers vers celle de tarif plus basse.

La **figure (II.5)** représente les effets des méthodes de gestion de charge.

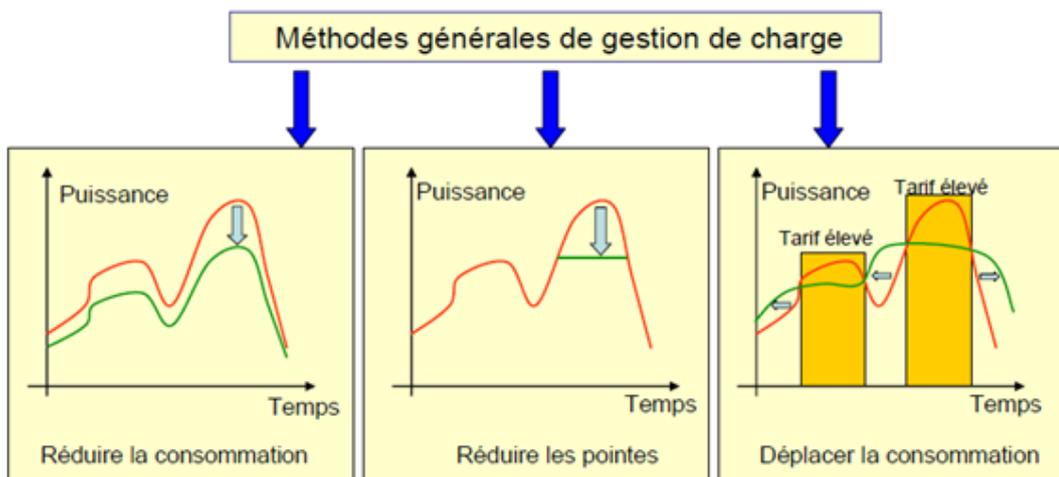


Figure II.5 : Les méthodes générales de gestion de charge [43]

Les méthodes de gestion de charge les plus fréquemment utilisées sont :

- Délestage/ relestage.
- Décalage des consommations.
- Programmation temporelle.
- Production décentralisée local.

II.5.1 Méthode de délestage/ relestage

Le délestage permet de décharger temporairement une installation afin de limiter l'appel de puissance par l'utilisation optimale et intelligente pour la gestion des charges en utilisant les techniques de délestage invisible. Les équipements qui sont ciblés par cette solution sont les unités d'air conditionné et les unités de chauffage central. L'idée est d'utiliser

l'inertie thermique offerte par ces équipements pour réduire leur consommation, en maintenant un niveau de confort acceptable.

II.5.2 Décalage de consommation

Déplacer plusieurs usages (Eau chaude sanitaire, chauffage à inertie, etc....) de la période des tarifs plus chers vers celles des tarifs plus basses.

II.5.3 Programmation temporelle

La programmation temporelle permet de commander l'ouverture et la fermeture des circuits en fonction de l'occupation et de l'utilisation des locaux. Elle peut être journalière, hebdomadaire, annuelle.

La programmation utilise pour :

- Améliorer le confort des utilisateurs en prévoyant leur présence et en anticipant le fonctionnement de certains récepteurs.
- Eviter les gaspillages d'énergies en coupant les récepteurs en dehors de la période d'occupation des locaux.

II.5.4 Production décentralisée locale

La gestion des productions locales répond à deux préoccupations :

- Assurer la continuité d'alimentation.
- Optimiser le prix de l'énergie.
- Gestion de congestion.

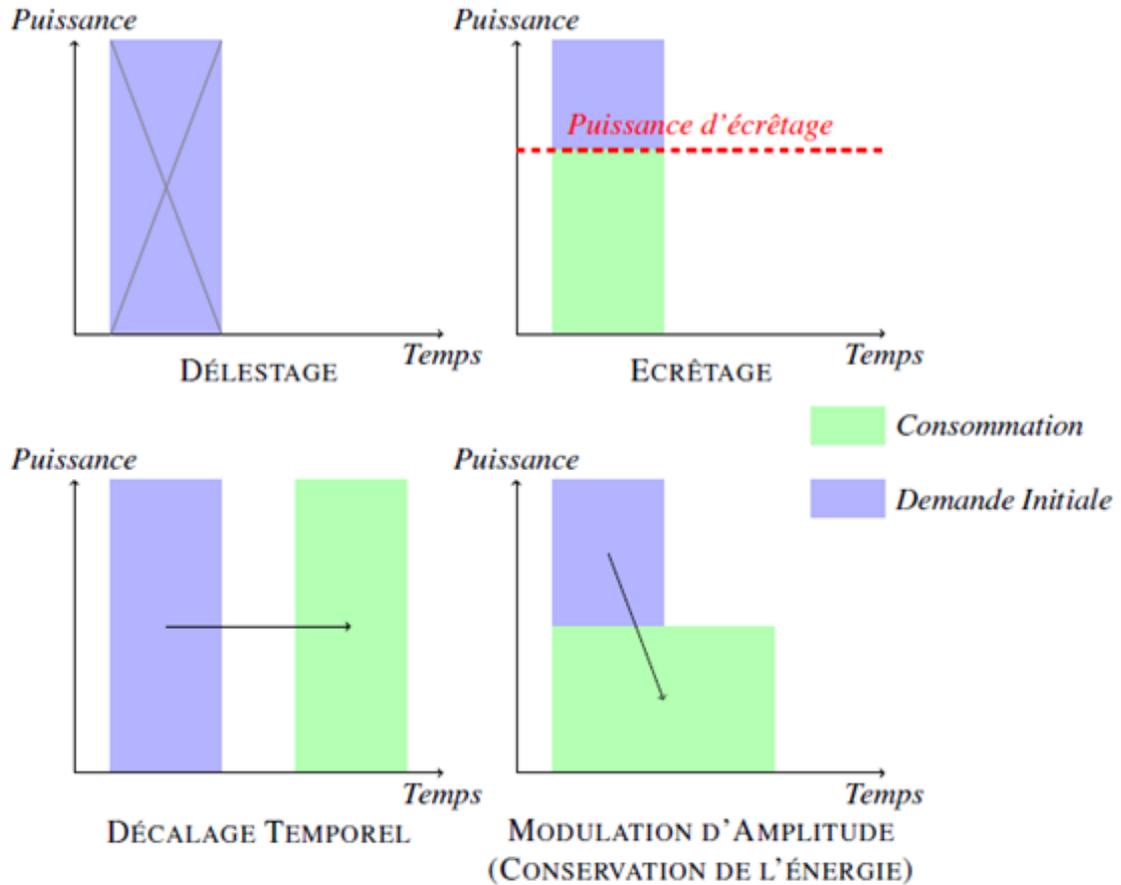


Figure II.6 : Exemples d'actions sur le profil de charge

II.6 La gestion énergétique du bâtiment dans la littérature

Plusieurs auteurs se sont intéressés à la consommation énergétique du bâtiment en utilisant différentes méthodes et en étudiant différents paramètres qui peuvent contribuer à économiser de l'énergie (choix des matériaux, isolation thermique, infiltration d'air, équipements, etc. ...).

La consommation énergétique des bâtiments du secteur tertiaire est difficile à estimer du fait de l'importance des apports internes et externes solaires, de la complexité de la régulation du système de chauffage et de son intermittence.

II.6.1 Etats de recherche

L'économie d'énergie est une priorité avérée évidente dans les pays développés [17]. Pour cette raison, des mesures d'efficacité énergétiques sont de plus en plus mises en œuvre dans tous les secteurs. Le secteur résidentiel est responsable d'une part importante de la consommation d'énergie dans le monde. La plupart de cette énergie est utilisée pour le chauffage et la climatisation des structures, cet article fournit une vue d'ensemble des critères de conception des constructions qui peuvent réduire la demande d'énergie pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments résidentiels. Ces critères sont basés sur l'adoption des paramètres appropriés pour l'orientation du bâtiment à savoir le système d'enveloppe, chauffage passif et des mécanismes de refroidissement, l'ombrage et le vitrage.

En Floride, un projet de "Smart Home" appelé de "GatorTech Smart House" a été développé [18] [19]. Des capteurs et des actionneurs sont montés sur un certain nombre de dispositifs : boîtes aux lettres, porte d'entrée du rez-de-chaussée, etc., sont reliés à une plateforme opérationnelle conçue pour optimiser le confort de l'habitant. Il utilise également un système de haute précision de suivi ultrasonique pour localiser les occupants et évaluer leurs habitudes de mobilité afin de mieux gérer l'environnement.

La performance énergétique d'une école maternelle équipée d'un système de toit vert à Athènes, Grèce a été analysée [20]. Des simulations ont été effectuées dans les deux cas, non isolé et isolé et selon les résultats, l'installation du toit vert contribue de manière significative à l'efficacité énergétique des bâtiments. Ainsi, une économie d'énergie remarquable a été obtenue grâce à la réduction de la charge de refroidissement pendant l'été, après l'installation du système de toit vert, cela introduit par une réduction significative de climatisation.

Un autre exemple de "Smart Home" se situe en Géorgie. Il a été conçu par une équipe de chercheurs de l'"Aware Home Research Initiative" de l'institut de technologie. Il s'agit d'un bâtiment de trois étages, d'une superficie de 5040m², qui fonctionne comme un laboratoire vivant pour la conception, le développement et l'évaluation des futures technologies domestiques. Ils utilisent des réseaux de neurones et des modèles de Markov, afin de créer et d'évaluer des modèles comportementaux [21].

La méthode EETP (method on evaluation of energy and thermal performance for residential buildings) est mise en avant par Yu et al [22] afin d'évaluer le rendement énergétique de motif d'enveloppe et pour calculer la consommation d'énergie de refroidissement et de chauffage: EETP index peut suggérer de façons possible d'améliorer l'efficacité énergétique pour la conception de bâtiments de nouvelle construction et rénovation de bâtiments existants.

Mozer [23] décrit une maison « adaptative » qui a été développée dans le Colorado et qui se base sur les styles de vie et les désirs de ses habitants et apprend à anticiper leurs besoins. Elle utilise des réseaux de neurones pour contrôler la température, le chauffage et l'éclairage sans programmation par les habitants. Ce système est appelé contrôle adaptatif de l'environnement familial ACHE (Adaptive Control of Home Environment). Il surveille l'environnement et observe les mesures prises par les habitants (en utilisant la lumière, thermostat ajustable).

Dans le but de réduire la consommation énergétique des bâtiments [24]. Une solution réside sur une simulation énergétique du bâtiment qui permet d'activer le transfert de la chaleur et de l'humidité par l'enveloppe, par conséquent est une façon de comprendre la façon d'améliorer la performance du bâtiment. Cet article vise à analyser le niveau de modélisation nécessaire d'évaluer avec succès le transfert de chaleur à travers les fenêtres à haute inertie thermique double ou triple vitrages dans l'ensemble du bâtiment.

Bien qu'il soit possible de vérifier la performance énergétique d'un bâtiment donné au moyen de plusieurs méthodes disponibles [25], le problème inverse de la détermination de la configuration optimale compte tenu des performances désirées est plus difficile à résoudre. Dans la région méditerranéenne ce problème est plus complexe à cause des deux raisons : la charge de climatisation est aussi importante que la charge de chauffage et les besoins énergétiques dépendent d'un grand nombre de paramètres architecturaux qui sont différentes, les apports en été et les charges en hiver. Dans cet article est présenté un algorithme d'optimisation qui couple les techniques d'optimisation pseudo-aléatoires, les algorithmes génétiques (GA), avec un outil simplifié pour construire une évaluation thermique dans le but de minimiser la consommation énergétique des bâtiments méditerranés.

Un système de stockage de l'énergie solaire pendant l'été pour une utilisation pendant l'hiver suivant a été simulé [26]. Plus précisément, des capteurs solaires thermiques fixés

sur le toit d'une maison unifamiliale ont été utilisés pour recueillir l'énergie thermique solaire en Etats-Unis. TRANSYS a été utilisé pour modéliser et simuler la charge thermique d'hiver. D'autre part [27] présentent les caractéristiques d'un bâtiment du futur avec les solutions technologiques qui permettent d'intégrer au bâtiment des systèmes de production d'énergie à partir de sources d'énergies renouvelables : la pompe à chaleur remplace le système de chauffage électrique. Ils ont montré la nécessité du développement de production d'électricité décentralisée dans le secteur du bâtiment.

Hamouda et al [28] ont étudié la consommation énergétique d'une maison individuelle située à Batna en Algérie, le bilan énergétique national de l'année 2005, montre que la consommation finale évaluée à 24.437 Millions de tep, fait ressortir une prédominance de la consommation énergétique du secteur des ménages (soit 52.3% de la consommation finale) par rapports aux secteurs de l'industrie (23.8%) et celui des transports (23.9%). Dans cet article est présentée l'analyse de l'utilisation des différents vecteurs énergétiques dans une habitation individuelle en milieu urbain. A l'aide d'un programme de simulation des paramètres thermique du bâtiment a été identifié les sources se déperdition énergétiques, ainsi que les possibilités d'économie d'énergie pour ce bâtiment.

D'un point de vue exclusivement centré sur la gestion de la consommation : Dans [29] et [30], les auteurs ont étudié des stratégies de commande pour les systèmes de Chauffage, Ventilation et de Climatisation de l'air (CVC) dans l'environnement bâti en tenant compte de la capacité naturelle de stockage thermique des bâtiments qui permet de décaler la consommation de CVC en dehors des périodes de pic. [30] affirment que cette approche apporte une économie moyenne de l'ordre de 10% sur le coût électrique du bâtiment et [31] présente une méthode de résolution approchée pour le problème de pilotage direct d'un système de climatisation. [32] développe des algorithmes de planification et des stratégies de délestage de charges.

Les systèmes CVC ont été largement étudiés en automatique, cependant le problème de gestion globale des charges électriques du bâtiment est beaucoup plus vaste et compliqué que le seul problème de contrôle des CVC. [33] ont inventé une méthodologie de la gestion de demande qui prend en compte les préférences des habitants pour l'usage de certains postes de consommation électroménagers pendant les heures de pointes en utilisant ce qu'ils appellent "le Processus Analytique de Hiérarchie". Cette quantification des préférences permet de décider quels appareils utiliser ou ne pas utiliser pendant le pic, en résolvant un problème de type "sac à dos". Les auteurs concluent que cette méthode aide à

améliorer à la fois, le budget des clients et la consommation globale d'énergie sur le réseau électrique. Dans [34], les auteurs proposent une nouvelle approche fondée sur la théorie des jeux pour la gestion autonome de la demande d'un groupe de consommateurs résidentiels. Le plan optimal de la consommation d'énergie pour chaque consommateur est déterminé en minimisant le coût énergétique du système. [35] ont mis au point une solution de maîtrise de l'énergie au sein de l'habitat avec un mécanisme anticipatif ayant pour fonction de planifier la consommation optimale des événements prévus en utilisant une adaptation de l'approche du "plus court chemin". La solution proposée rend possible, pour les ménages privés, l'ajustement automatique de leur consommation afin de satisfaire aux contraintes de puissance, tout en maximisant leur confort selon la norme ISO7730.

D'autre part, on trouve diverses méthodes destinées à organiser les activités de consommations et de fournitures d'énergie au niveau d'un bâtiment, peuvent être incorporées dans une unité centrale nommée Système de Gestion Énergétique de Bâtiment (SGEB), dans l'optique d'adapter les capacités de production d'énergie avec les besoins des consommateurs. La notion de système SGEB a été présentée dans [36]. Elle consiste en un ensemble d'équipements dotés de microcontrôleurs, d'un système de contrôle-commande centralisé et d'une interface homme-machine capables de communiquer via des protocoles standardisés tels que « *BatiBUS* », « *EIBus* » et « *LonWorks* » [37]. Ce réseau de communication permet d'embarquer certaines fonctions d'optimisation, de conduite et de supervision de la production et de la consommation d'énergie.

Plusieurs projets de recherche ont contribué à développer de tels systèmes. Un outil d'aide à la décision basé sur un système à base de règles est présenté dans [38] pour gérer les services de gestion d'énergie dans le bâtiment. Le système permet la surveillance centrale de la consommation d'énergie dans les bâtiments, grâce à des règles générant les commandes des actionnaires. En particulier, un profil de gestion d'énergie fiable peut être créé par le système en utilisant les connaissances d'experts, et les mauvaises décisions peuvent être détectées et éliminées pour ce qui concerne la gestion de l'ensemble CVC et de l'éclairage.

Dans un registre identique, un système de gestion de la charge est proposé par [39] pour les consommateurs résidentiels ayant accès à l'infrastructure de communication du futur réseau intelligent. Il prend en compte des prévisions du prix de l'électricité, la demande d'énergie, la production d'énergie renouvelable pour décider le meilleur compromis entre

les prix horaires de l'électricité et les usages de multiples appareils électroménagers et de véhicules électriques dans un smart home. Les résultats montrent que le modèle proposé permet aux utilisateurs de réduire leur facture d'électricité entre 8% et 22% pour une journée typique d'été à Saragosse en Espagne.

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté un état d'art des recherches dans Le domaine du bâtiment énergétique. Ce dernier peut constituer un élément de réponse aux défis énergétiques et environnementaux majeur. Aujourd'hui, le bâtiment intègre de plus en plus de sources d'énergie renouvelables dans son système de production et moyens de stockage. si le concept de véhicule électrique se développe. Cela induit une complexité croissante des stratégies de gestion de la consommation et donc des outils d'aide technologiquement performant, facile, acceptable et gérable pour les exploitants/occupants des bâtiments. Cette complexité est d'autant plus importante que le système de tarification se complexifie : tarif variable, paliers, tarifaires...

Chapitre III

Développement des modèles de charge

Chapitre III : Développement des modèles de charge

III.1 Introduction

III.2 Charges à moduler dans le bâtiment

III.2.1 Modèle du chauffage

- a. Equation de thermodynamique d'une salle de chauffage
- b. Modèle thermique d'une salle sous Matlab/Simulink

III.2.2 Modèle de climatiseur

III.2.2.1 Modèle d'une salle conditionnée

III.2.3 Modèle d'un réfrigérateur

III.2.3.1 Modèle d'un réfrigérateur par simulink

III.2.4 Modèle du congélateur

III.2.4.1 Modèle d'un congélateur par simulink

III.2.5 Modèle du lave-linge

III.2.5.1 Modèle simulink du lave-linge

III.2.6 Modèle du lave-vaisselle

III.2.6.1 Modèle simulink de la lave vaisselle

III.3 Conclusion

III.1 Introduction

Cette partie sera consacrée au développement des modèles de charges. Cette partie est très importante car toutes les méthodes proposées dans les chapitres suivants utiliseront les modèles développés dans ce chapitre. Les modèles développés sous matlab/Simulink concernant le chauffage. La climatisation, la lave, linge, le réfrigérateur et d'autres charges.....

III.2 Charges à moduler dans le bâtiment

Dans un logement résidentiel, il existe plusieurs équipements électriques, Cependant, chaque équipement diffère par sa puissance nominale, son type d'usage par les utilisateurs et son taux de pénétration dans le logement d'où une différence d'impact des actions de gestion de la demande en fonction de l'équipement électrique choisi.

La demande d'électricité est la résultante de la consommation d'électricité de différents usages par les consommateurs.

Ainsi, il est important de connaître la consommation et la courbe de charge de chaque équipement pour permettre au gestionnaire d'énergie de savoir combien d'énergie il peut déplacer/réduire et la puissance effacée/réduite.

Avec ce contrôle des équipements. Il faut également prendre en compte le confort de l'occupant.

Pour choisir les équipements à contrôler. Il est nécessaire d'analyser la consommation des différents usages.

Selon le rapport de RTE [40]. La distribution du différent usage était répartie Selon la figure III.1.

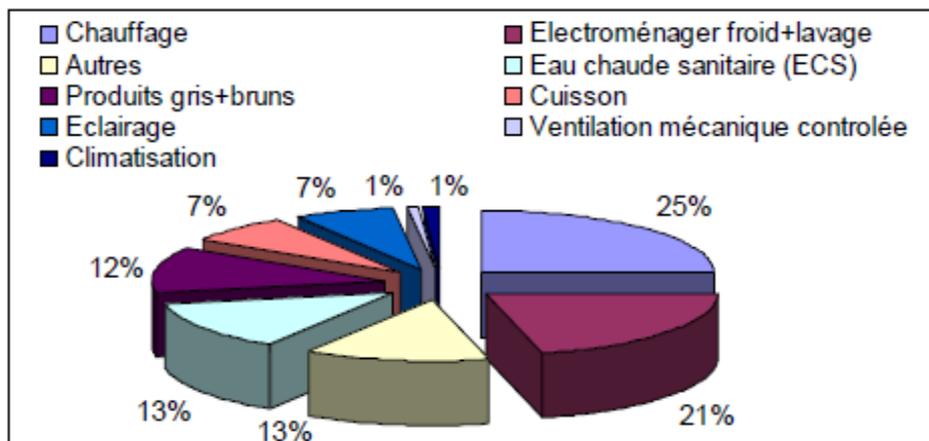


Figure III.1 : Distribution de la consommation résidentielle par type de charge [31]

III.2.1 Modèles du Chauffage

Le principe de fonctionnement du chauffage électrique, un convecteur électrique est équipé d'une résistance électrique, qui lorsqu'elle est traversée par un courant électrique, chauffe par effet de joule et entraîne par convection l'air froid de bas haut. On parle donc de production de chaleur par effet de joule.

Finalement, l'air va sortir par la partie supérieure du convecteur. La lecture de la température de l'air se fait par une sonde et le contrôle de la température est fait par un thermostat.

a. Equations de thermodynamique d'une salle de chauffage

Cette partie présentera le développement au modèle thermique d'une salle de chauffage. En général, le transfert thermique dans une salle comprend trois modes de transferts:

- conduction
- convection
- Rayonnement

Appliquant l'équation de conservation d'énergie pour chaque élément, les écarts de température entre le mur et l'intérieur sont supposés négligeables, le modèle dynamique d'une salle qui comporte m murs et un radiateur électrique peut être écrit comme [41] :

$$P_c C_o V_k \frac{dT_k}{dt} = \sum_{i=1}^m \frac{1}{R_k^{eq}} [T_i^{ext}(t) - T_k^{int}(t)] + Q_k + q_1 + q_2 \dots \quad (III.1)$$

P_c : Densité d'air (kg/m^3)

C_o : Chaleur spécifique d'air ($J/kg \cdot K^\circ$)

V_k : Volume de la salle K (m^3)

T_k^{int} : Température intérieure de la salle K ($^\circ C$)

T_i^{ext} : Température extérieure du mur i ($^\circ C$)

Q_k : Puissance thermique par le radiateur de la salle K (W)

$q_1 + q_2 \dots$: chaleur produite par des équipements, des gens et du système d'éclairage (J/S)

R_k^{eq} : Résistance thermique de la salle ($^\circ K/W$)

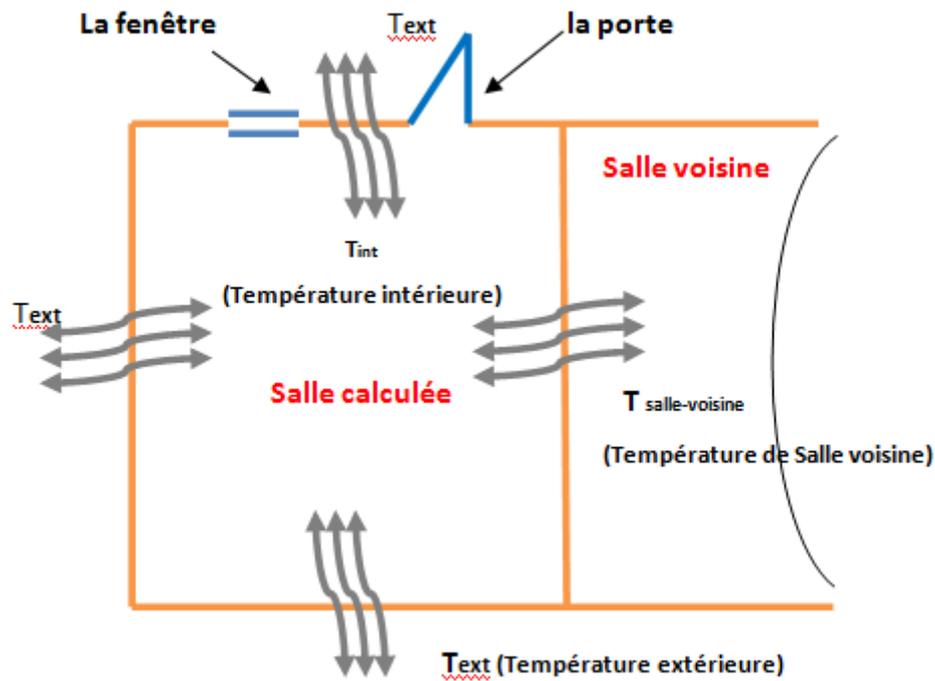


Figure III.2 : Transfert thermique dans une salle

La résistance thermique équivalente dépend de la résistance thermique des fenêtres, des portes (R^{fp}) et du mur (R^m).

$$R^{eq} = \frac{R^m \cdot R^{fq}}{R^m + R^{fq}}$$

Où:

$$R^{fq} = \frac{R^m}{\lambda^{fq} A^{fq}}$$

Et

$$R^m = \frac{L^m}{\lambda^m A^m}$$

Avec:

L^{fp} : Épaisseur des fenêtres et des portes (m)

L^m : Épaisseur surface du mur (m)

A^{fp} : Surface des fenêtres et des portes (m^2)

A^m : Surface du mur (m^2)

λ^{fp} : Conductibilité thermiques des fenêtres et des portes ($W/m \text{ } ^\circ K$)

λ^m : Conductibilité thermiques du mur ($W/m \text{ } ^\circ K$)

En cas ou les sources thermiques des autres équipements et des personnes sont négligées ($q_1 + q_2 \dots = 0$), l'équation (III.1) devient :

$$P_c C_o V_k \frac{dT_k^{int}}{dt} = \frac{1}{R_k^{eq}} [T_k^{ext}(t) - T_k^{int}(t)] + Q_k \dots \dots \dots \text{(III. 2)}$$

b. Modèle thermique d'une salle sous matlab/Simulink

A partir de l'équation (III. 2), le modèle thermique d'une salle K sous matlab/Simulink [41] est représenté dans la figure (III.3)

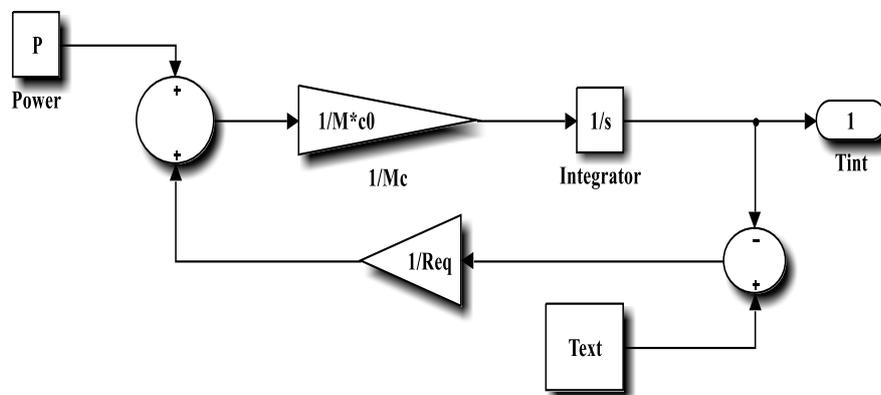


Figure III.3 : Modèle thermique de salle en Simulink [41]

Sur cette figure:

$M = P_c V_k^c$: La masse d'air de la salle.

Q_k : Puissance thermique produite par le radiateur de la salle K.

R^{eq} : Résistance thermique équivalente de la salle.

T^{ext} et T^{int} : Température extérieur et intérieur de la salle.

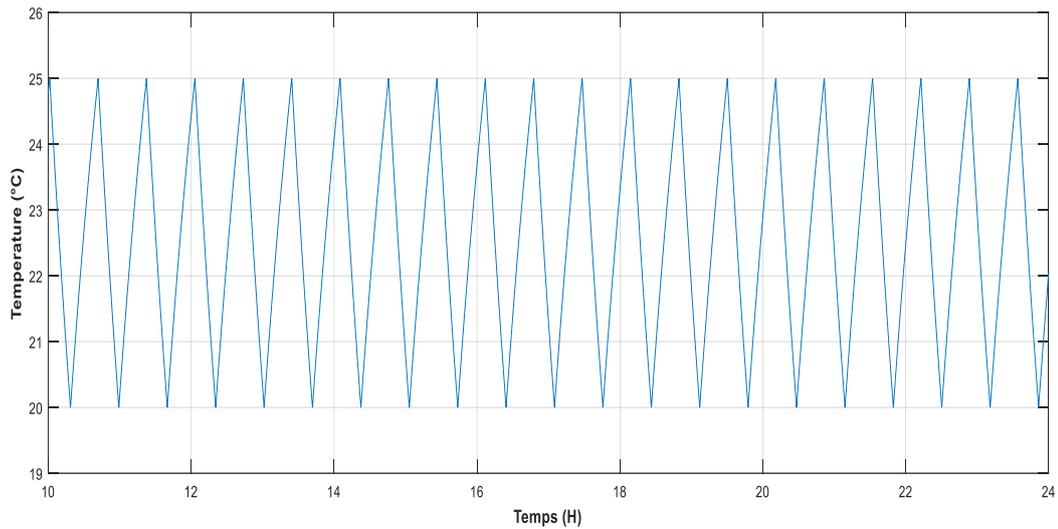


Figure III.4 : Température intérieure de la salle (fonctionnement du chauffage)

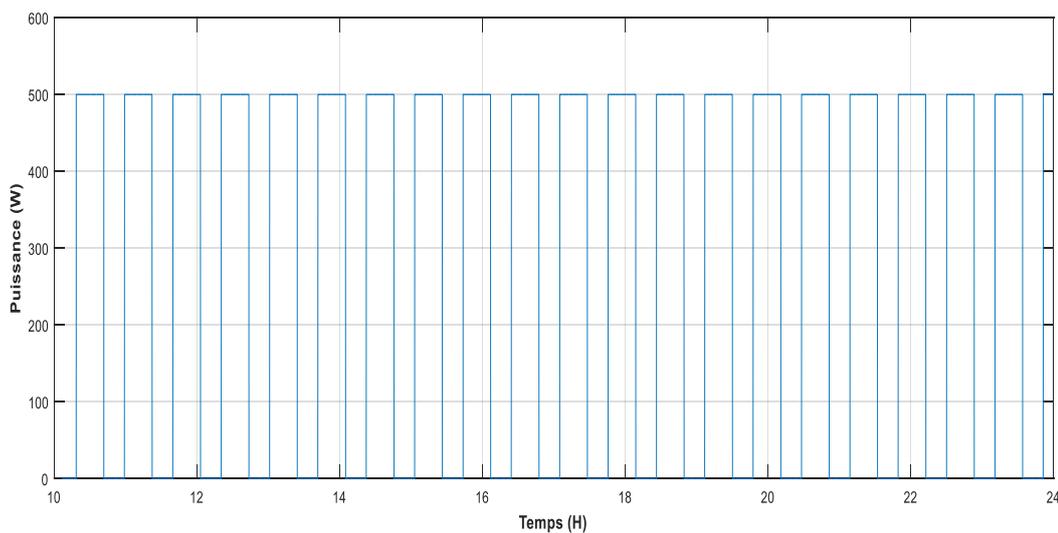


Figure III.5 : Puissance de fonctionnement du chauffage

Le fonctionnement du chauffage est présenté dans la **figure (III.5)**, sa puissance active est de 500W et dans la **figure (III.4)** on trouve la température intérieure de la salle obtenue par simulation. On remarque que le confort thermique est assuré pour ce cas la température intérieure est toujours se bascule entre 20°C et 25°C.

III.2.2 Modèle de climatiseur

Le système de climatisation a deux fonctions de base:

- Assurer le refroidissement de l'air intérieur afin de maintenir une température confortable.
- Assurer la qualité de l'air par le renouvellement d'air neuf hygiénique et bien sur la filtration de l'air soufflé.

Le fonctionnement d'un climatiseur est basé sur le changement de phase d'un réfrigérant liquide l'évaporation avec l'absorption de la chaleur la condensation avec production de la chaleur.

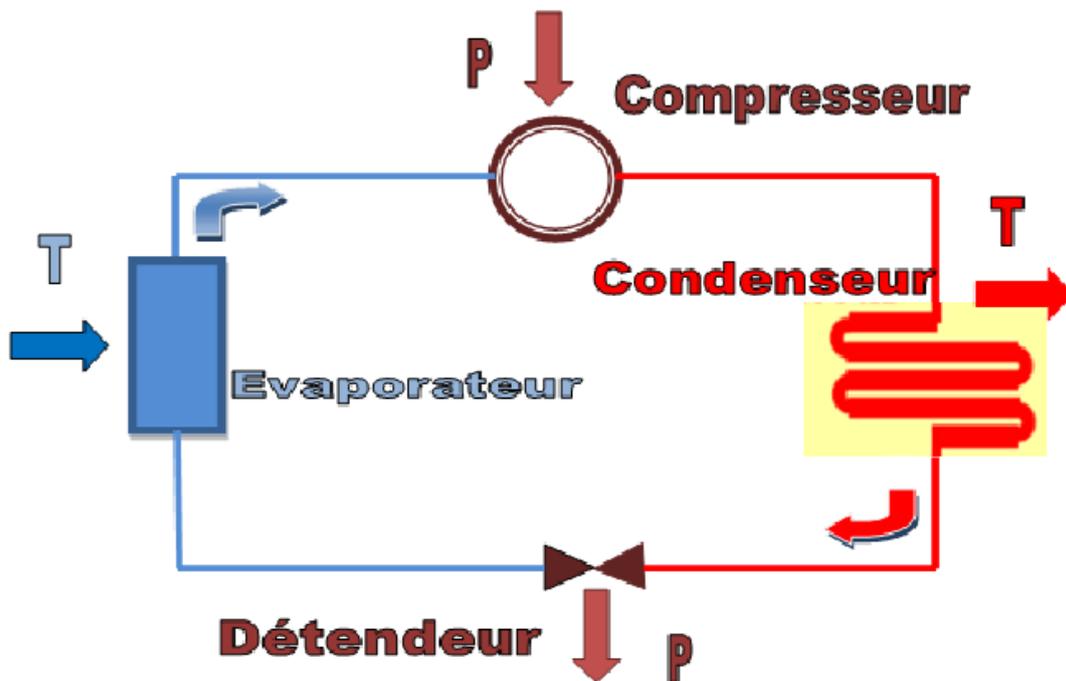


Figure III.6 : Principe de fonctionnement de la climatisation

En général, le climatiseur se compose de deux moteurs monophasés: un pour ventilation d'air qui fonctionne en continu et un autre pour le compresseur qui fonctionne sur une opération du cycle « marche / arrêt ».

III.2.2.1 Modèle d'une salle conditionnée

Dans cette partie nous développons un modèle dynamique de la salle conditionnée [42] qui est basé sur le principe physique du fonctionnement des climatiseurs et sur le modèle électrique avec quelques hypothèses pour simplifier le modèle et pour assurer une précision acceptable du modèle. Les variables importantes comme la température, le rayonnement solaire, l'infiltration, la source de chaleur interne du sont prises en compte.

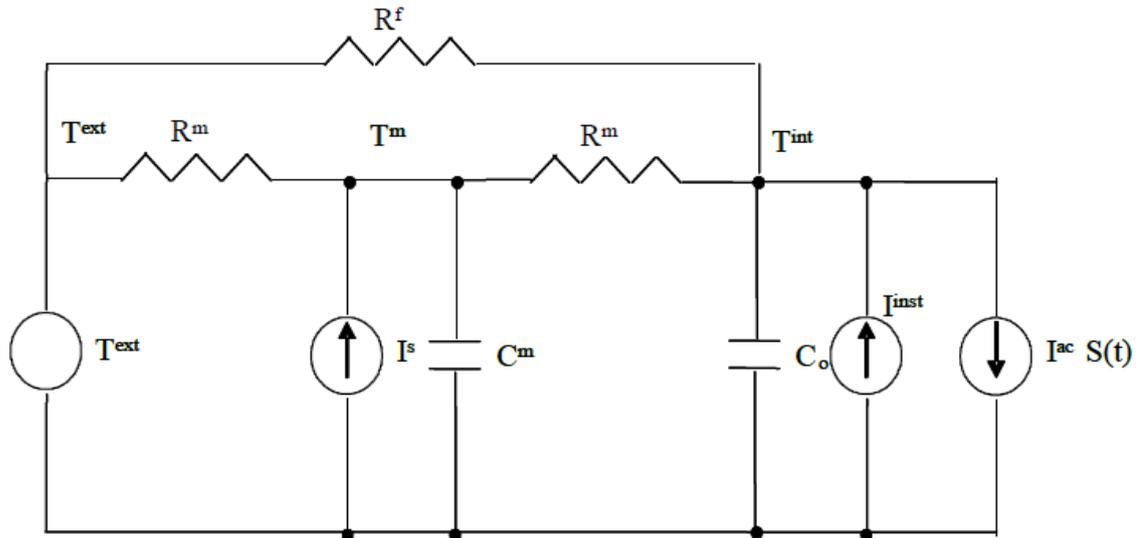


Figure III.7 : Modèle électrique pour une salle conditionnée [42]

Où:

R^m : la résistance thermique de conduction de la salle (mur, base et toit) ($^{\circ}\text{K}/\text{W}$)

C^m : la capacité thermique de la salle (mur, base et toit) ($\text{J}/^{\circ}\text{K}$)

R^f : la résistance thermique de conduction de l'infiltration moyenne d'air (fenêtre, vitre...) ($^{\circ}\text{K}/\text{W}$)

C_o : la capacité thermique de l'air à l'intérieur de la salle ($\text{J}/^{\circ}\text{K}$)

T^{int} : la température intérieure ($^{\circ}\text{K}$)

T^{ext} : la température extérieure ($^{\circ}\text{K}$)

I^s : la source de courant de rayonnement solaire ($^{\circ}\text{K}$)

I^{inst} : la source courant de chaleur produite par des équipements, des personnes et du système d'éclairage.....(W)

I^{ac} : la source de courant de la chaleur produite par le climatiseur (W)

S(t): la fonction de commutation qui prend la valeur 1 quand le compresseur est mis en marche et 0 lorsque le compresseur est arrêté.

Dans le modèle, les murs, le toit de la salle sont représentés par un circuit électrique avec R^m et C^m .

La capacité thermique de la salle (mur, fenêtre) dépend de la chaleur spécifique et de la densité du matériau utilisé, et de sa dimension :

$$C^m = P_m C_m V^m$$

P^m : Densité du matériau (Kg/m³)

C_m : Chaleur spécifique du matériau (J/Kg . °K)

V^m : Volume du mur, des fenêtres (m³)

La capacité thermique de l'air à l'intérieur de la salle

$$C^m = P_m C_m V^m$$

P_c : Densité d'air (1.225kg/m³)

C_o : Chaleur spécifique d'air (1500.4 J/Kg. °k)

V^c : Volume de la salle (m³)

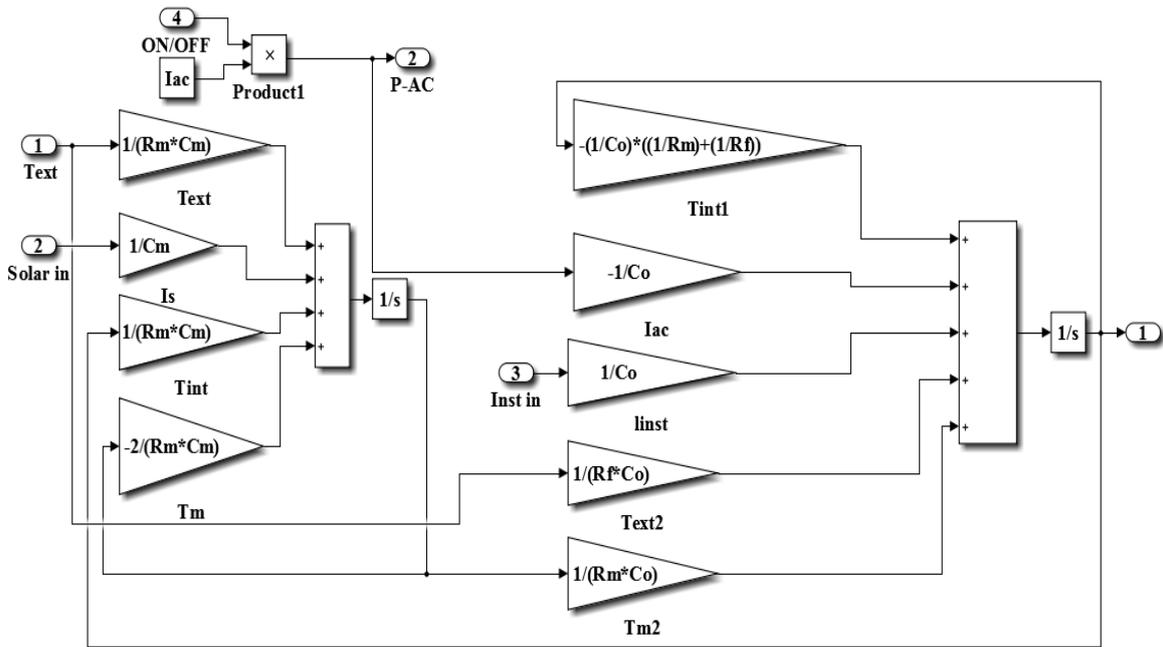


Figure III.8 : Le modèle du climatiseur [42]

A partir du circuit électrique équivalent du modèle thermodynamique de la salle conditionnée [42], le système d'équation différentielle est obtenu en appliquant la loi de Kirchhoff aux nœuds :

$$\frac{dT^m}{dt} = \frac{I^s}{C^m} + \frac{T^{int}}{R^m C^m} + \frac{T^{ext}}{R^m C^m} - \frac{2T^m}{R^m C^m}$$

$$\frac{dT^{int}}{dt} = \frac{I^{inst}}{C_o} - \frac{I^{ac} S(t)}{C_o} + \frac{T^{ext}}{R^f C_o} + \frac{T^m}{R^m C_o} - \frac{T^{int}}{C_o} \left(\frac{1}{R^m} + \frac{1}{R^s} \right)$$

T^m et T^{int} sont les inconnues.

III.2.3 Modèle du réfrigérateur

Le réfrigérateur est normalement une armoire isolée thermiquement avec deux compartiments qui assurent chacun le maintien d'une température différente :

- Un compartiment pour les denrées fraîches, sa température est toujours supérieure à 0°C, mais la température moyenne ne peut pas dépasser 5°C pour permettre une conservation de courte durée.

- Un compartiment pour la production de glace, sa température est toujours inférieur à 0°C.

Le fonctionnement du circuit frigorifique est cyclique

Le cycle est la période d'opération entre deux démarrages successifs.

III.2.3.1 Modèle d'un réfrigérateur par Simulink

Le Modèle du réfrigérateur est développé [43] à partir de ces caractéristique comme:

- La puissance active maximale est 1400W
- La puissance active minimal zéro

Les figures (III.9) et (III.10) présentent le modèle d'un réfrigérateur et sa courbe de la puissance au cours d'une journée (24h).

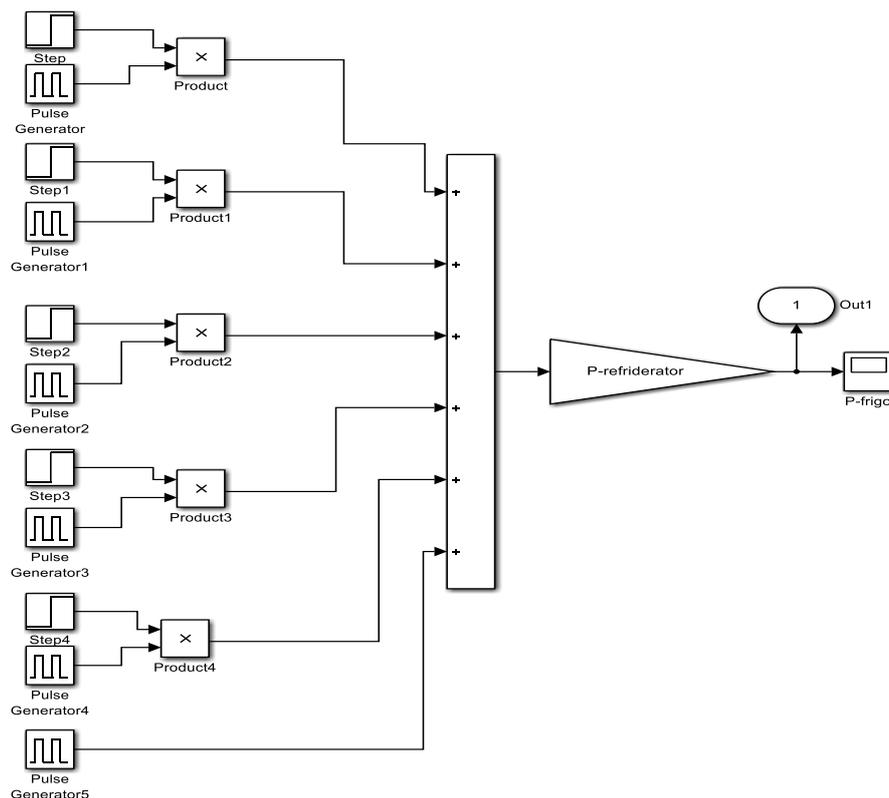


Figure III.9: Modèle du réfrigérateur [43]

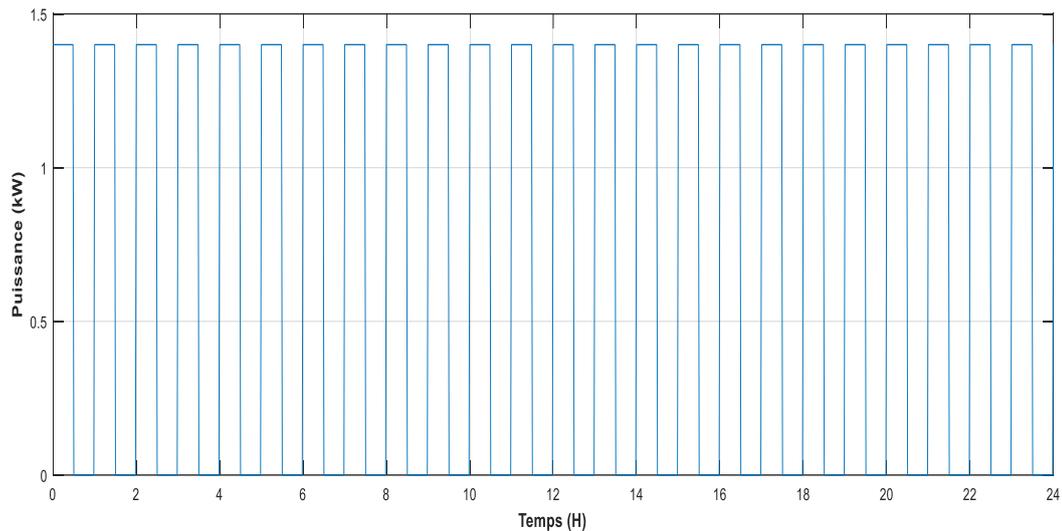


Figure III.10: Puissance obtenue par simulation de réfrigérateur (24h)

Les **figures (III.9)** et **(III.10)** présentent le modèle d'un réfrigérateur et sa courbe de la puissance au cours de 24h obtenue par simulation, Le réfrigérateur est régulé en « tout ou rien », c'est-à-dire il est soit à l'arrêt ($P = 0W$, la température à l'intérieur augmente lentement), soit à sa puissance maximale ($P = P_{max}$) (production de froid, réfrigération).

III.2.4 Modèle du congélateur

De nos jours, les congélateurs occupent une place importante dans nos bâtiments car ils assurent une meilleure conservation des aliments. Malgré leur puissance assez faible, ce sont de gros consommateurs d'énergie en raison de leur nombre élevé d'heures de fonctionnement.

Le congélateur est une armoire isolée thermiquement permettant de congeler les aliments et de conserver pour une longue durée à $-18^{\circ}C$.

Le système de frigorigène de congélateur est ressemblant comme celui de réfrigérateur.

III.2.4.1 Modèle d'un congélateur par Simulink

A partir des caractéristiques de structure et les besoins électriques du congélateur, le modèle du congélateur est développé [43] avec les caractéristiques suivantes :

- La puissance active maximale est 100W.
- La puissance active minimale est zéro.

Les **figures (III.11)** et **(III.12)** présentent le modèle d'un congélateur et sa courbe de la puissance active.

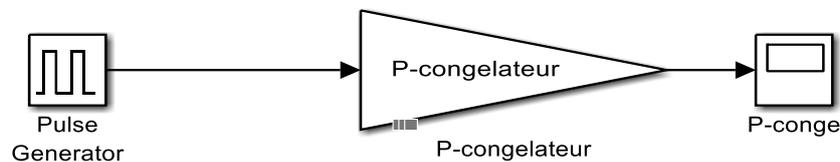


Figure III.11 : Modèle de congélateur [43]

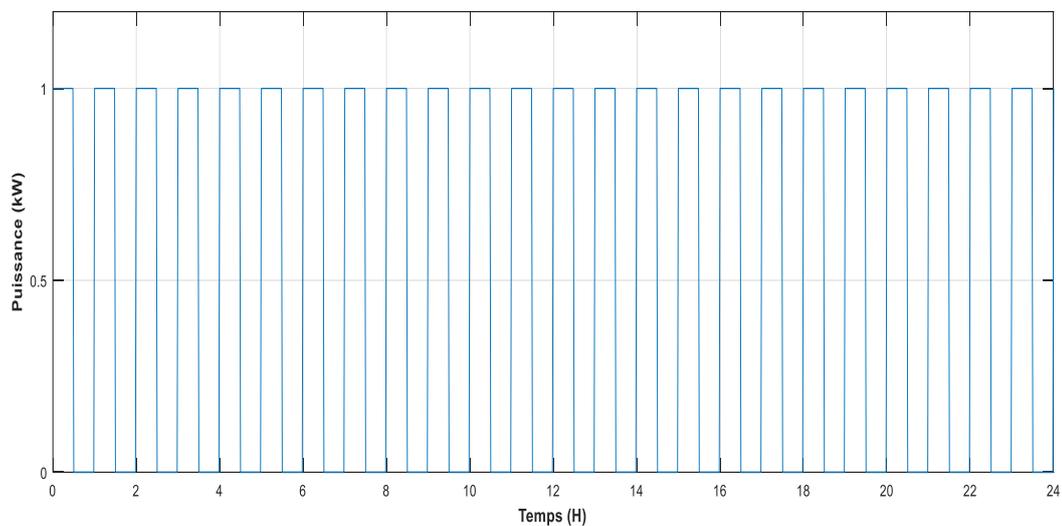


Figure III.12 : Puissance du congélateur obtenue par Simulation

Dans la **figure (III.12)** c'est la puissance du congélateur pendant une journée, on constate que le fonctionnement du congélateur ressemble à celui du réfrigérateur.

La puissance active maximale du congélateur est de 100W.

La puissance minimale vaut zéro (il n'y a pas de consommation en veille).

III.2.5 Modèle du lave-linge

Les éléments principaux constitutifs d'un lave-linge se composent [44].

- Une cuve reçoit d'eau chauffée avec additionnée de produits détergents.
- Un tambour perforé contient le linge et permet son brassage selon les solutions de lessive.

- Un moteur à induction monophasé a phase auxiliaire et condensateur de démarrage ou un collecteur a aimants permanents.
- Un système hydraulique est automatisé. Il porte une électropompe qui assure
- l'évacuation de l'eau.

L'opération de la-linge comprend trois étapes principales:

- **prélavage** : cette opération est aujourd'hui, de moins en moins nécessaire grâce à l'amélioration de la qualité des lessives
- **Lavage** : la rotation du tambour basse la charge et assure la circulation du bain lessiviel à travers les fibres.
- **Rinçage**: ils éléments le bain lessiviel et les salissures.
- **Essorage** : il amène le degré d'humidité du linge a la valeur souhaitée pour un séchage dans un temps raisonnable.

III.2.5.1 Modèle Simulink d'un lave-linge

A partir des caractéristiques du lave-linge, le modèle de lave-linge est développé avec les caractéristiques suivantes [43]:

Puissance de chaque type de cycle (W)	
Chauffage	2400
Lavage et Rinçage	80
Essorage	150

Tableau III.1 : Puissance de chaque type de cycle

Les **figures (III.13)** et **(III.14)** présentent le modèle d'un lave-linge et de sa courbe de puissance obtenue par Simulation.

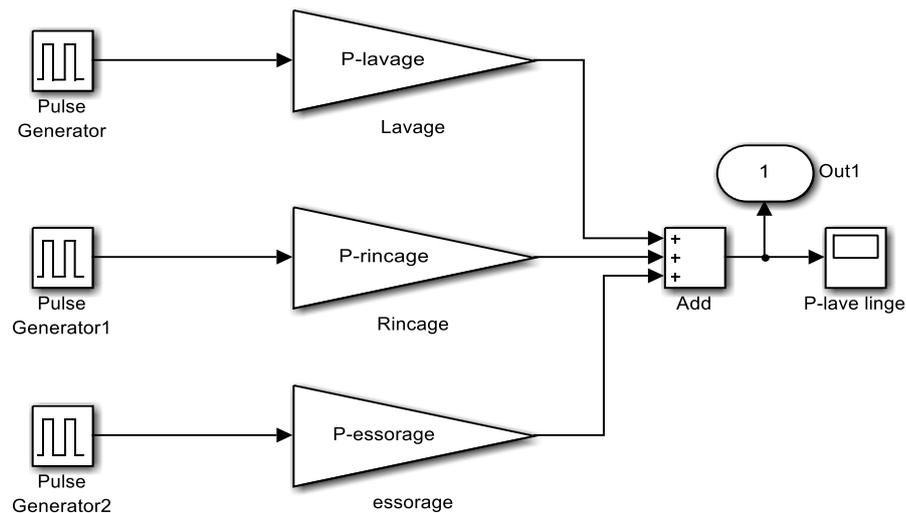


Figure III.13 : Modèle du lave-linge [43]

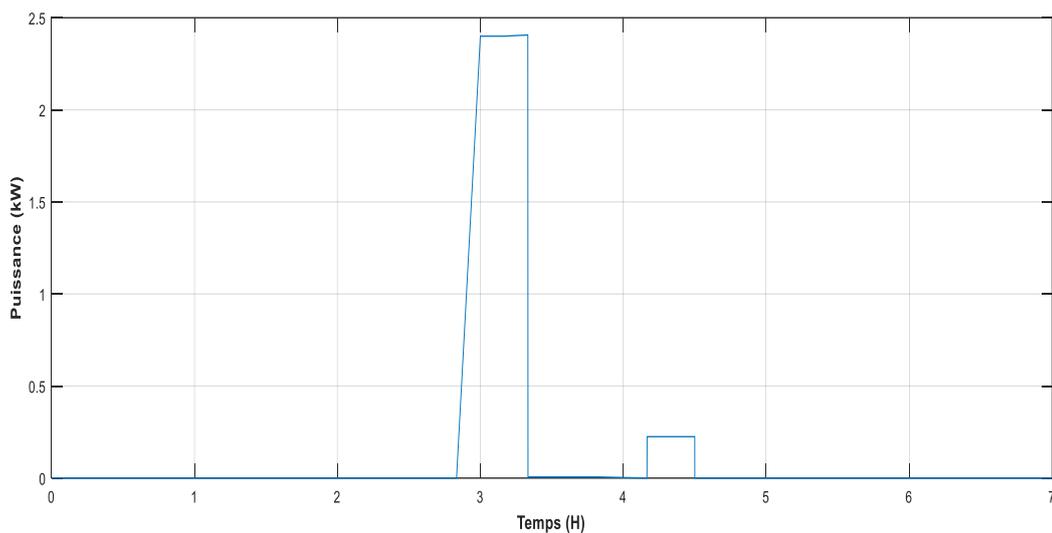


Figure III.14 : Puissance de la lave linge

Les figures (III.13) et (III.14) montrent le modèle du lave-linge sous matlab/simulink et sa courbe de puissance obtenue par simulation.

A partir de la courbe de puissance du lave-linge on remarque que pour chaque lavage il y'a trois étapes : chauffage, lavage et rinçage, essorage, chaque étape se caractérise par sa durée de fonctionnement et sa température ainsi que sa puissance tout dépend le mode de fonctionnement choisi.

III.2.6. Modèle du lave-vaisselle

Un lave-vaisselle se compose des éléments principaux constitutifs suivants [44]

- Une cuve où se déroulent toutes les fonctions de lavage.
- Une pompe de cyclage entraînée par un moteur asynchrone
- Une pompe de vidange.
- Plusieurs éléments chauffants pour chauffer et sécher de l'eau.
- Un programmeur.

Cet appareil est utilisé pratiquement tous les jours, ce qui en fait l'un des appareils consommant le plus d'énergie. Il existe actuellement des appareils disposant de plusieurs programmes capables de fonctionner en modes « basse température » et « capacité moyenne », ce qui permet de faire des économies d'énergie. Un lave-vaisselle est modélisé de la même manière qu'un lave-linge.

Chaque lave-vaisselle est au minimum équipé de 3 programmes: un économique pour la vaisselle peu grasse et un programme intensif pour la vaisselle très sale.

Chacun de ces programmes se compose à son tour de 4 phases.

Le pré-lavage: grâce aux bras d'aspersion, l'eau est pulvérisée sur toute la vaisselle, Les résidus alimentaires tenaces sont ainsi éliminés.

Le lavage principal : en fonction du programme choisi, l'eau est chauffée et ensuite puissamment pulvérisée par les bras d'aspersion qui tournent, Plus la température est élevée, plus le lavage est puissant.

Le rinçage: Après le lavage principal, la vaisselle est rincée plusieurs fois, Grâce au liquide de rinçage, il ne subsiste plus de stries ou de gouttes sur la vaisselle.

Le séchage: L'espace dans la machine est chauffé, ce qui permet à la vaisselle de sécher facilement.

III.2.6.1 Modèle Simulink du lave-vaisselle

A partir des caractéristiques et les besoins électriques du lave-vaisselle, est développé [43]:

Puissance de chaque type de cycle (W)	
Chauffage	1500-3000
Lavage et rinçage	50-100
Séchage	1500-3000

Tableau III.2 : Puissance de chaque type de cycle

La durée de chaque cycle peut varier selon les utilisateurs.

Les **figures (III.15)** et **(III.16)** présentent le modèle d'un lave-vaisselle et sa courbe de la puissance obtenue par simulation.

Avec $P_{\text{chauffage}} = 1600 \text{ W}$

$P_{\text{lavage}} = 80 \text{ W}$

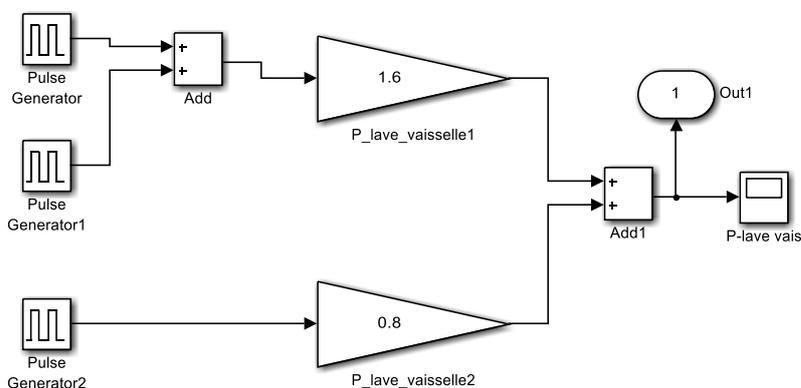


Figure III.15 : Modèle de la lave vaisselle [43]

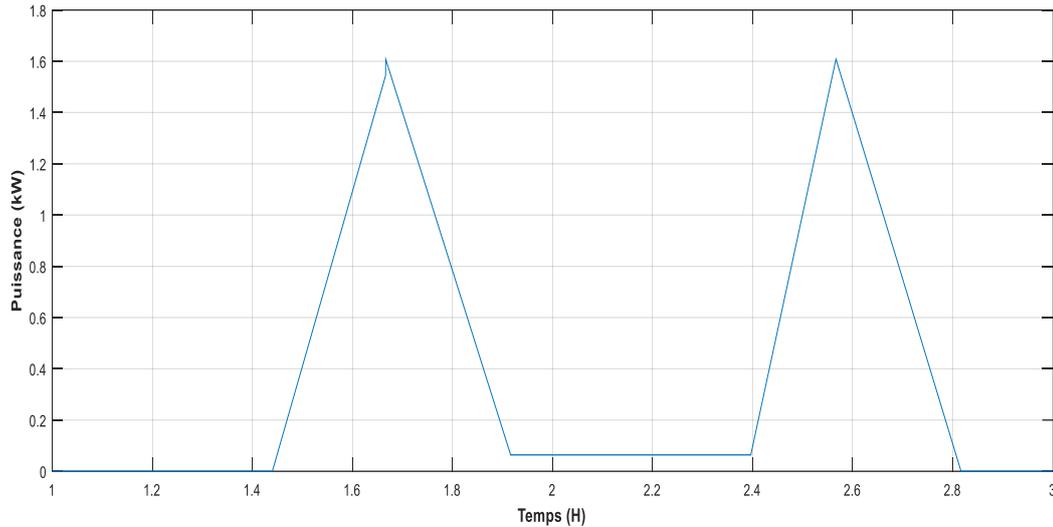


Figure III.16 : Puissance de la lave vaisselle

A partir des caractéristiques et les besoins électriques du lave-vaisselle, le modèle est développé sous matlab/simulink **figure (III.15)**.

La **figure (III.16)** présente la courbe de puissance d'un lave-vaisselle obtenu par simulation avec une puissance de lavage 80W et une puissance de chauffage au lavage de 1600W. Nous avons trois phases (sans pré-lavage), la première phase présente la phase de lavage principal qui se fait à l'eau chaude, ce qui correspond au premier pic de puissance (environ 1600W), puis nous avons une puissance faible (environ 60W) qui correspond à la phase de lavage (où seule fonctionne la pompe) et un ou deux rinçages à l'eau froide et en nous avons la dernière phase qui est la phase de rinçage à l'eau chaude et une courte phase de séchage qui correspondent au deuxième pic (environ 1600W).

III.3 Conclusion

Un bâtiment contient plusieurs équipements électriques qui diffèrent par la puissance, le type d'usage par les utilisateurs et le taux de pénétration dans le logement. D'où une différence d'impact des actions de gestion de la demande en fonction de l'équipement électrique choisi. La demande en énergie est la résultante de la consommation d'électricité de différents usages par les consommateurs. Pour gérer les équipements électriques dans un bâtiment, soit pour réduire l'énergie et maximiser le confort de l'utilisateur, il faut connaître la période de consommation et la puissance consommée de chaque équipement.

Dans ce chapitre nous avons présentés les modèles de charge que nous avons développés sous Matlab/Simulink, ces modèles de charge (chauffage, réfrigérateur, congélateur, Lave linge, climatiseur...). Nous avons remarqués que les courbes de fonctionnement de la

puissance active par rapport au temps des modèles de charges proposés ont été logique voir proche de la réalité. De ce fait nous allons les utilisés dans les chapitres suivants.

Chapitre IV

Méthode d'optimisation

Chapitre IV : Méthode d'optimisation

IV.1 Introduction

IV.2 Caractérisation globale du problème de gestion des flux énergétiques

IV.2.1 Critère d'optimisation

IV.2.2 Variables de décision

IV.2.3 Contraintes

IV.2.4 Paramètres d'optimisation

IV.3 Différentes classes de problèmes d'optimisation

IV.3.1 Programmation linéaire

IV.3.2 Programmation linéaire en nombres entiers

IV.3.3 Programmation non linéaire continue

IV.3.4 Programmation non linéaire en nombre entier

IV.4 Méthode d'optimisation pour la gestion des charges

IV.5 Méthode d'optimisation proposée pour la gestion de climatiseur

IV.5.1 Description du cas d'étude

IV.5.1.1 Développement des modèles

IV.5.2 Formulation du problème d'optimisation

IV.5.2.1 Fonction objectif

IV.5.2.2 Contraintes

a. Contraintes du confort thermique

b. Contrainte de la puissance permissible

IV.5.2.3 Résultats

IV.5.3 Discussion des résultats d'optimisation

IV.6 Conclusion

IV.1 Introduction

L'optimisation joue un rôle très important dans la recherche opérationnelle, dans les mathématiques appliquées (fondamentales pour l'industrie et l'ingénierie), dans l'analyse et l'analyse numérique, en statique pour l'estimation du maximum de vraisemblance d'une distribution. Elle cherche à analyser et à résoudre analytiquement ou numériquement les problèmes qui consistent à déterminer le meilleur élément d'un ensemble.

Aujourd'hui tous les systèmes susceptibles d'être décrits par un modèle mathématique sont optimisés. La qualité des résultats et des prédictions dépend de la pertinence du modèle, l'efficacité de l'algorithme et des moyens pour le traitement numérique.

IV.2 Caractérisation globale du problème de gestion des flux énergétiques

Les problèmes d'optimisation se caractérisent habituellement par une "fonction objectif", un ensemble de contraintes, un ensemble de variables dont le domaine de valeur est réel et une série de données énoncées ou "les paramètres d'optimisation" proprement dits. Dans cette partie, ces différents composants seront décrits pour un problème de gestion de l'énergie dans le bâtiment.

IV.2.1 Critère d'optimisation

Le but de l'optimisation est souvent d'améliorer la performance globale du système au sens du ou des critère(s) recherché(s) par son exploitant qui peut être un gain d'argent, de temps, d'effort, de matière ou d'énergie ainsi qu'une réduction de risque [45].

Dans un problème d'optimisation, ce critère est exprimé à travers une fonction mathématique appelée "fonction objectif" qui sera minimisée ou maximisée jusqu'à atteindre un optimum.

L'objectif visé par la gestion optimisée de l'énergie dans le bâtiment est d'atteindre la meilleure configuration possible des flux énergétiques qui s'y trouvent pour répondre au mieux aux trois critères de MDE présentés dans [46]. Ils sont les suivants :

- **Confort de l'utilisateur** - le but est d'assurer un environnement de vie paisible et sécuritaire.

Le système de gestion des flux énergétiques dans le bâtiment doit garantir au minimum la sécurité d'approvisionnement en ressource et une partie essentielle des besoins de confort des habitants (thermique, visuel, ...)

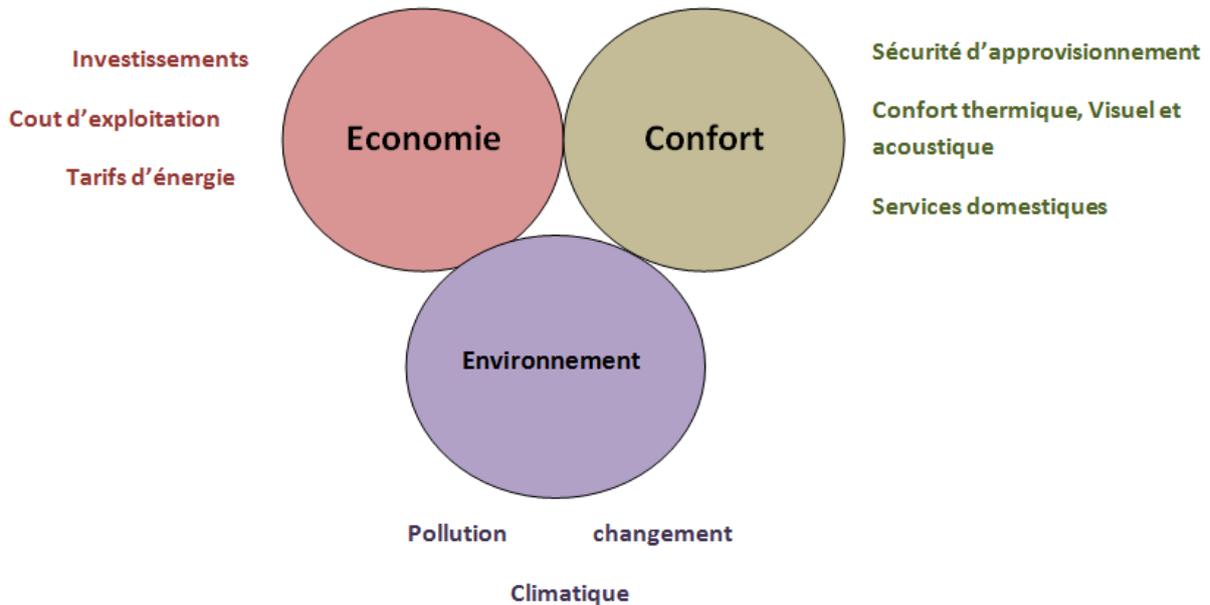


Figure IV.1 : Trois critères de la Maîtrise De l'Energie (MDE) dans l'habitat

- **Critères économiques et financiers** - ils englobent les coûts d'investissement et de fonctionnement du système. Les critères considérés peuvent être le retour sur investissement, le coût d'exploitation ou le coût de l'énergie consommée. Ces critères sont fortement tributaires du coût d'achat et de rachat de l'énergie mais aussi de l'investissement dans les appareils ;

- **Enjeux environnementaux** - ils se rapportent essentiellement à la diminution de la pollution au sens des normes écologiques. A l'heure actuelle, il n'y a aucune obligation sur le niveau des émissions des gaz à effet de serre dans le secteur résidentiel-tertiaire.

Le développement durable repose sur le sens de responsabilité de chacun. Toutefois il est possible d'envisager dans la perspective du protocole de Kyoto, un quota sur les émissions de gaz polluants pour chaque bâtiment ; ou encore imaginer un mécanisme de certification des bâtiments respectueux de l'environnement.

IV.2.2 Variables de décision

Les variables d'optimisation sont un ensemble de grandeurs, souvent le niveau d'une ressource ou d'une activité, dont la valeur optimale sera déterminée par la procédure d'optimisation.

Ces variables sont parfois qualifiées de "variables de décision", non aléatoires et contrôlables et qui représentent les degrés de liberté sur lesquels on peut jouer pour atteindre la meilleure performance du système au sens du critère recherché.

Dans un bâtiment, toute possibilité de modifier les paramètres de flux énergétiques constitue un degré de liberté pour la gestion de l'énergie. A titre d'exemple, la diversification des ressources d'énergie dans les bâtiments modernes offre une liberté supplémentaire. Par ailleurs, dans l'ensemble des équipements du bâtiment, certains possèdent des flexibilités de fonctionnement qui peuvent être contrôlées ou modifiées. En cela, l'énergie puisée dans différentes sources disponibles, ainsi que la consommation des équipements peuvent être modélisées comme des variables de décision dans le problème d'optimisation des flux énergétiques du bâtiment.

IV.2.3 Contraintes

Les contraintes sont la traduction mathématique des conditions qu'une solution à un problème d'optimisation doit satisfaire. Elles relèvent souvent des considérations physiques, techniques ou économiques ainsi que d'autres considérations [47] et circonscrivent l'espace de solutions faisable. En principe, les contraintes imposées à un problème de gestion des flux énergétiques sont typiquement :

- Des contraintes de la disponibilité des ressources énergétiques résultant principalement des limites de fonctionnement des équipements, au même titre que les limites de production et de transmission d'énergie totale des fournisseurs pour les systèmes raccordés au réseau publique. Ce type de contraintes se traduit en général par des inégalités.
- Des contraintes qui veillent au principe de conservation d'énergie aux différents nœuds du système, de même que l'équilibre entre la production et la consommation d'énergie au niveau global du système énergétique. Celles-ci sont formulées par des équations d'égalité.

IV.2.4 Paramètres d'optimisation

Les paramètres sont des grandeurs de valeur connue qui constituent les données d'entrée d'un problème d'optimisation. Leur valeur ne change pas au cours du processus d'optimisation et reste stable contrairement aux variables. Le problème de gestion d'énergie dans le bâtiment

prend en entrée un ensemble de données qui peuvent être groupées en trois catégories distinctes :

- Les paramètres environnementaux comme la température de l'air, la radiation solaire, la vitesse du vent qui influencent fortement la production des renouvelables. Ils ont également un impact direct sur le besoin énergétique des individus et induisent certains comportements chez eux comme, par exemple, le fait de démarrer le chauffage ou la climatisation. Les paramètres météorologiques sont donc un facteur très important à prendre en compte dans la problématique de gestion de production et de consommation d'énergie dans un bâtiment.
- Les paramètres techniques qui représentent les spécificités des équipements de fourniture d'énergie du bâtiment comme la puissance maximale admissible, le rendement et autres caractéristiques indispensables pour la bonne exploitation du système.
- Les paramètres économiques qui englobent les différents coûts comme le prix d'achat de l'énergie au fournisseur et éventuellement le montant payé au producteur local pour la revente du surplus et l'autoconsommation de l'énergie renouvelable.

IV.3 Différentes classes de problèmes d'optimisation

L'optimisation est découpée en sous-domaines qui se différencient en fonction de la nature des contraintes et de la "fonction objectif". Dans les paragraphes qui vont suivre les principales classes des problèmes d'optimisation sont passées en revue. L'étude des structures générales des problèmes est d'autant plus importante qu'elle sera utilisée plus tard dans cette thèse pour formuler le problème de gestion des flux énergétiques.

IV.3.1 Programmation linéaire

Le problème de programmation linéaire (PL) est un problème d'optimisation dans lequel le critère de la "fonction objectif" et les fonctions définissant les contraintes sont toutes de forme linéaire [48]. Sa résolution consiste à maximiser ou minimiser le critère sur un polyèdre convexe engendré par les contraintes linéaires. Les problèmes d'optimisation linéaires peuvent être écrits sous forme standard :

$$\min_x / \max_x JX \quad (\text{IV.1})$$

$$AX = B \quad (\text{IV.2})$$

$$X \geq 0 \quad (\text{IV.3})$$

Où:

$X \in \mathbb{R}^n$ est vecteur (1 x n) des variables réelles x_1, \dots, x_n à optimiser.

A représente la matrice des coefficients de dimension (m x n)

$B \in \mathbb{R}^m$ est le vecteur (m x 1) des constantes de second membre

La programmation linéaire est utilisée dans une large variété d'applications d'ingénierie des systèmes électriques. La planification de systèmes de production [49] la planification de système d'alimentation [50] et l'allocation de puissance réactive [51] visant à minimiser les pertes et ajuster le profil de tension grâce à une utilisation judicieuse de condensateurs, sont des types de problèmes en étude des systèmes de puissance qui peuvent être formulés au moyen de la programmation LP.

IV.3.2 Programmation linéaire en nombres entiers

Les problèmes de programmation linéaire en nombres entiers (PLNE) sont une classe particulière des problèmes d'optimisation dans laquelle la "fonction objectif" et les contraintes sont de forme linéaire mais certaines variables ont des domaines de valeur entière [52] la forme canonique des problèmes est :

$$\min_{x,y} / \max_{x,y} = J_1 X + J_2 Y \quad (\text{IV.4})$$

$$AX + EY = B \quad (\text{IV.5})$$

$$X \geq 0 \quad (\text{IV.6})$$

$X \in \mathbb{R}^n$ est le vecteur (1 x n) des variables x_1, \dots, x_n à optimiser.

$Y \in \mathbb{I}^m$ est le vecteur (1 x m) des variables discrètes y_1, \dots, y_m à optimiser.

A et E représentent des matrices de coefficients de dimension (m x n) et (m x m).

$B \in \mathbb{R}^m$ est le vecteur (m x 1) des constantes de second membre.

La programmation PLNE est particulièrement adaptée aux problèmes d'optimisation comportant à la fois des prises de décision de nature discrète et variables continues. Elle est une méthode très utilisée en ingénierie, notamment pour l'ordonnancement de processus [53].

La raison de son succès situe dans sa capacité à traiter des problèmes de très grande dimension et sa capacité à trouver des optimaux globaux.

IV.3.3 Programmation non linéaire continue

En mathématique, la programmation non linéaire (NLP) est le processus de résolution d'un problème d'optimisation dans lequel certaines contraintes ou la "fonction objectif" ne sont pas linéaires [50]. Les problèmes NLP avec des variables de décision continues

$x_i \in \mathbb{R}$ sont mathématiquement décrits de la façon globale suivante :

$$\min_x / \max_x f(x) \quad (\text{IV.7})$$

$$\text{Soumis à} \quad g(x) \leq 0 \quad (\text{IV.8})$$

$$h(x) = 0 \quad (\text{IV.9})$$

$$x \in X \quad (\text{IV.10})$$

$X \in \mathbb{R}^{\text{UR}}$ est le vecteur (1 x u) des variables continues d'optimisation.

$f(x): \mathbb{R}^{\text{UR}}$ \mathbb{R} est fonction objectif de valeurs scalaire.

$g(x): \mathbb{R}^{\text{UR}}$ \mathbb{R}^v le vecteur (v x 1) des contraintes d'inégalité.

$H(x): \mathbb{R}^{\text{UR}}$ \mathbb{R}^w est le vecteur (w x 1) des contraintes d'égalité.

Une application typique de NLP est le problème du dispatch-économique des centrales électriques [54] où la fonction objectif (IV.7) reflète le cout des générateurs présents dans le système. La conservation de l'énergie entraîne des contraintes d'égalité de type (IV.9) ; et les limites de puissance des générateurs sont couvertes par des inéquations de la forme (IV.8).

IV.3.4 Programmation non linéaire en nombre entier

La programmation non linéaire en nombre entier (PNLNE) fait référence à la programmation mathématique d'un problème d'optimisation avec des variables continues et discrètes et des non linéarités dans la "fonction objectif" ou les contraintes [55]

La forme générique d'un problème MINLP est la suivante :

$$\min_{xy} / \max_{xy} f(x, y) \quad (\text{IV.11})$$

$$\text{Soumis à :} \quad g(x, y) \leq 0 \quad (\text{IV.12})$$

$$h(x, y) = 0 \quad (\text{IV.13})$$

$$x \in X \quad (\text{IV.14})$$

$$y \in Y \quad (\text{IV.15})$$

$X \in \mathbb{R}^{\text{UR}}$ est le vecteur (1 x UR) des variables continues d'optimisation.

$Y \in \mathbb{I}^{\text{UI}}$ est le vecteur (1 x UI) des variables discrètes d'optimisation.

$$F(x, y) \left\{ \mathbb{R}^{\text{UR}} \right\}$$

L'utilisation de MINLP permet la formulation des problèmes où il est nécessaire d'optimiser simultanément la structure du système (en discret) et les paramètres (en continu) [53]. Les problèmes MINLP sont très utilisés pour déterminer l'emplacement optimal des générateurs distribués [56] et des contrôleurs [57] dans les systèmes électriques.

IV.4 Méthode d'optimisation pour la gestion des charges

Cette partie analyse quelques références bibliographiques sur les méthodes d'optimisation pour la gestion des charges.

Le premier groupe [58] de gestion optimale des charges dans un bâtiment comprend les méthodes de minimisation du cout. Ce cout est la combinaison du cout d'électricité et du confort humain exprimé sous forme de pénalité. Le principe de ces méthodes est d'identifier les stratégies importantes de délestage et d'émettre des préconisations pour que les opérateurs du bâtiment en délestent convenablement la charge.

Le deuxième groupe consiste en la réalisation de simulations étendues avec différentes combinaisons de paramètres ; la comparaison entre ces simulations désigne le point optimal, qui constitue une solution sub-optimale.

Par exemple [59] a développé un environnement de simulation qui étudier un éventail de paramètres principaux qui influencent les couts d'exploitation du système. La stratégie de commande optimale sui consiste à réduire au minimum tous les couts d'électricité a été validée par les simulations [60] cet article décrit l'utilisation d'un algorithme génétique pour l'identification et le choix des actions de commande directe de charge dans des réseaux de distribution électrique. Cette méthode est appliquée pour déterminer les stratégies de délestage/reléstage d'un groupe de bâtiments sur un réseau de distribution afin de minimiser les pics de consommation. [61] cet article présente la gestion directe de charge de climatiseur en utilisant la programmation dynamique. L'objectif est de programmer la commande de la climatisation afin de réduire le pic de consommation sur le réseau Taïwanais. [62] donne une application de la programmation linéaire pour la gestion des charges afin de minimiser les

couts de consommation et dans un autre article, il propose une stratégie de délestage des charges en utilisant de la programmation non-linéaire afin d'éliminer les surcharges sur les lignes.

Nous pouvons faire les remarques suivantes, sur les méthodes relevés précédemment :

- L'échelle de temps de la simulation de ces méthodes est de l'ordre d'une heure. Cela n'est pas valable pour les variations de charge réelle dans les bâtiments.
- La plupart des méthodes n'ont pas pris en compte la notion de confort.

De ce fait, nous avons au cours de notre travail développé une méthode d'optimisation pour contrôler le temps de fonctionnement du système de climatisation qui permet de réduire la consommation électrique en maintenant le confort thermique d'une maison.

IV.5 Méthode d'optimisation proposée pour la gestion de climatiseur

IV.5.1 Description du cas d'étude

IV.5.1.1 Développement des modèles

Le modèle thermodynamique d'une salle conditionnée [42] abordé dans la partie (III.2.2.1), est basée sur le principe physique du fonctionnement du climatiseur et sur le modèle électrique. Pour assurer une précision acceptable du modèle les variables importantes devront comme la température, la radiation solaire devront être prises en compte, par contre l'infiltration, la source de chaleur interne, les sources thermiques des autres équipements et des gens sont négligées. La charge exigé des climatiseurs de zone k (salle k) pour maintenir une température intérieur indiquée de zone k est décrite par le système d'équation différentielle suivant :

$$\frac{dT^m}{dt} = \frac{I^s}{C^m} + \frac{T^{int}}{R^m C^m} + \frac{T^{ext}}{R^m C^m} - \frac{2T^m}{R^m C^m} \quad (IV.16)$$

$$\frac{dT^{int}}{dt} = \frac{I^{inst}}{C_o} - \frac{I^{ac} S(t)}{C_o} + \frac{T^{ext}}{R^f C_o} + \frac{T^m}{R^m C_o} - \frac{T^{int}}{C_o} \left(\frac{1}{R^m} + \frac{1}{R^s} \right) \quad (IV.17)$$

Avec T_m et T_{int} sont les variables inconnues

Où :

R_m : la résistance thermique de conduction de la salle k (mur, base et toit) [$^{\circ}K/W$]

C_m : la capacité thermique de la salle k (mur, base et toit) [J/°K]

R_f : la résistance thermique de conduction de l'infiltration moyen d'air de la salle k (fenêtres, vitre...) [°K/W]

C₀ : la capacité thermique de l'air à l'intérieur de la salle k [J/°K]

T_{int} : la température intérieure de la salle k [°K]

T_{ext} : la température extérieure [°K]

I_s : la source de courant de rayonnement solaire de la salle k [W]

I_{inst} : la source de courant de chaleur produite par des équipements, des gens et du système de l'éclairage [W]

I_{ac} : la source de courant de la chaleur produite par le climatiseur [W]

S(t) : la fonction de commutation (=1 quand le compresseur est mis en marche et=0 quand le compresseur est arrêté)

Pour la salle k au moment i, la température intérieure est déterminée par la résolution du système d'équations différentielles (IV.16) et (IV.17)

IV.5.2 Formulation du problème d'optimisation

IV.5.2.1 Fonction objectif

L'objectif du problème est de réduire la consommation électrique d'une maison équipée d'un climatiseur, en optimisant le temps de fonctionnement du climatiseur.

Par conséquent, la "fonction objectif" peut être résumée comme suit :

$$\underbrace{\text{Min}}_{x_i \in \{0,1\}} [E] = \sum_{i=1}^D E x_i \quad (\text{IV.18})$$

Avec :

E : l'énergie électrique consommé [kW]

D : le temps de simulation

X_i : état du fonctionnement du climatiseur k au moment i.

IV.5.2.2 Contraintes

a. Contrainte du confort thermique

Puisque le confort thermique humain est fortement lié au bâtiment, l'exigence de confort thermique est généralement considérée comme une contrainte principale dans le problème d'optimisation dans les bâtiments.

$$T^{\min} \leq T^{\text{int}} = f(\mathbf{E}, \mathbf{x}_i) \leq T^{\max} \quad (\text{IV.19})$$

$T^{\text{int}} = f(\mathbf{E}, \mathbf{x}_i)$: la température intérieure de la salle k au moment i , elle est déterminée par la résolution du système d'équations différentielles (IV.16) et (IV.17)

b. Contrainte de la puissance permisible

$$P \leq P_{\text{perm}} \quad (\text{IV.20})$$

Où :

P_{perm} : la puissance permisible

La puissance totale de consommation des climatiseurs doit être toujours inférieure à la puissance permisible.

IV.5.2.3 Résultats

Pour valider la méthode d'optimisation proposée, une maison avec les usages électriques est utilisée.

Cette maison est de 300m² de surface habitable, elle est située à NEVADA (USA)

Les appareils électriques qu'il contient **tableau (IV.1)**



Figure IV.2 : la photo réelle de la maison

Nom d'usage	Puissance	Fonctionnement
Une unité de climatisation	5000W	Varie en fonction de la demande de fonctionnement du compresseur
Une unité de climatisation	3500W	Varie en fonction de la demande de fonctionnement du compresseur
Un réfrigérateur	700W	variable
Une pompe de piscine	0.75hp	8 heures/jour en été
Un four électrique	3000W	Utilisé occasionnellement
Une lave vaisselle	500W	Utilisé occasionnellement
Une lave linge	750W	Utilisé occasionnellement
Un sèche linge	2500W	Utilisé occasionnellement
Deux téléviseurs	300W	Utilisé occasionnellement
4 ventilateurs de plafond	100W	variable
Charges électroniques (ordinateur, portables, horloge, système d'alarme...)		variable

Tableau IV.1 : les appareils électriques dans la maison

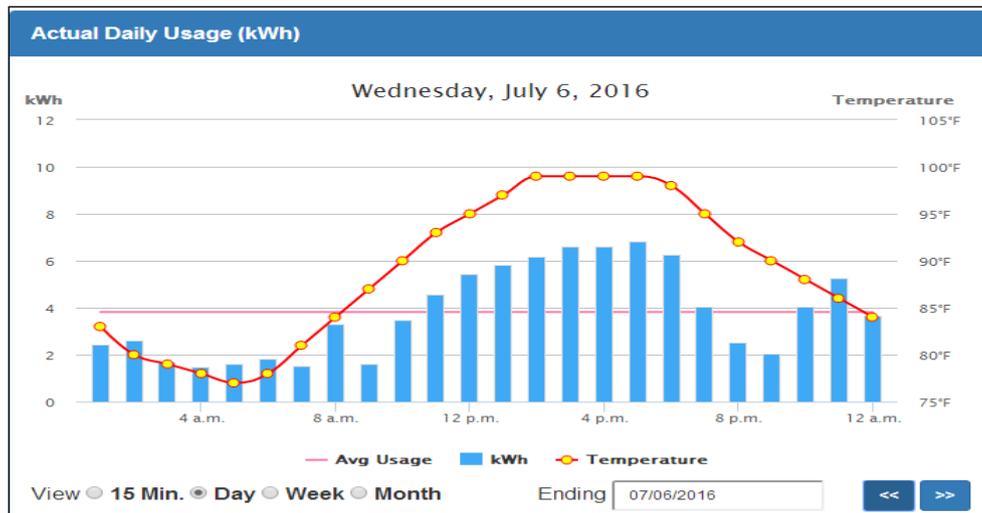


Figure IV.3 : la température extérieure et la consommation électrique

IV.5.3 Discussion des résultats d'optimisation

La fonction **dsolve** a été utilisée pour résoudre le système d'équations différentielles

a. Avant l'optimisation

La consommation totale de la maison dans la journée du 06 Juillet 2016 atteint 94.1 kWh

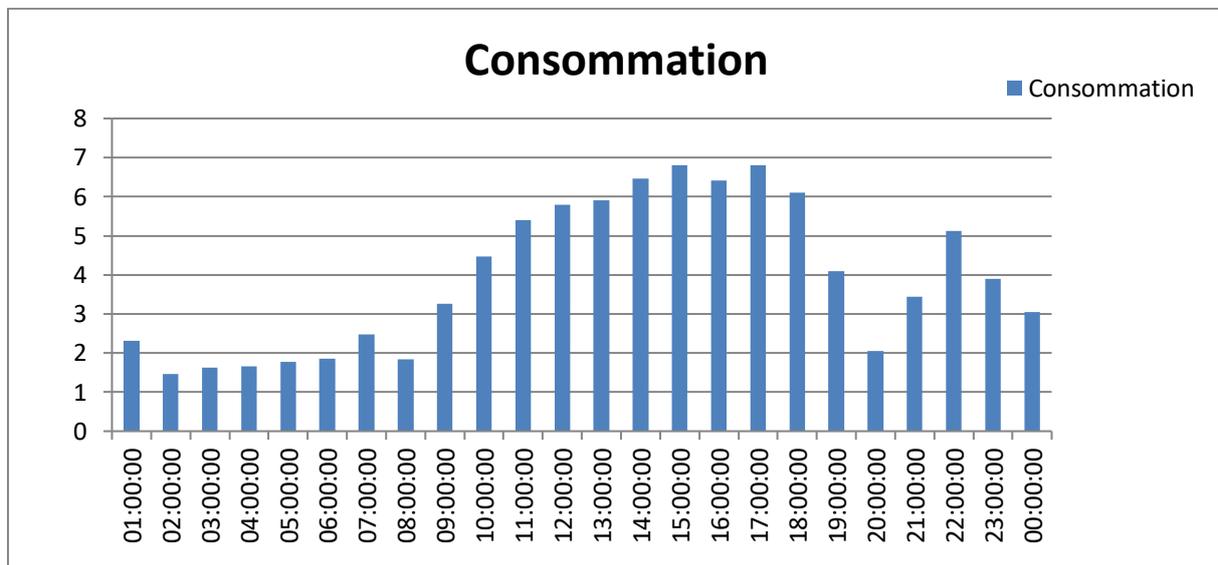


Figure IV.4: la consommation totale de la maison avant l'optimisation

b. Après l'optimisation

- Le temps de fonctionnement du climatiseur : 3h
- La consommation électrique des autres charges : 55.111kWh
- La consommation électrique du climatiseur : 15 kWh
- La consommation totale de la maison : 70.111 kWh

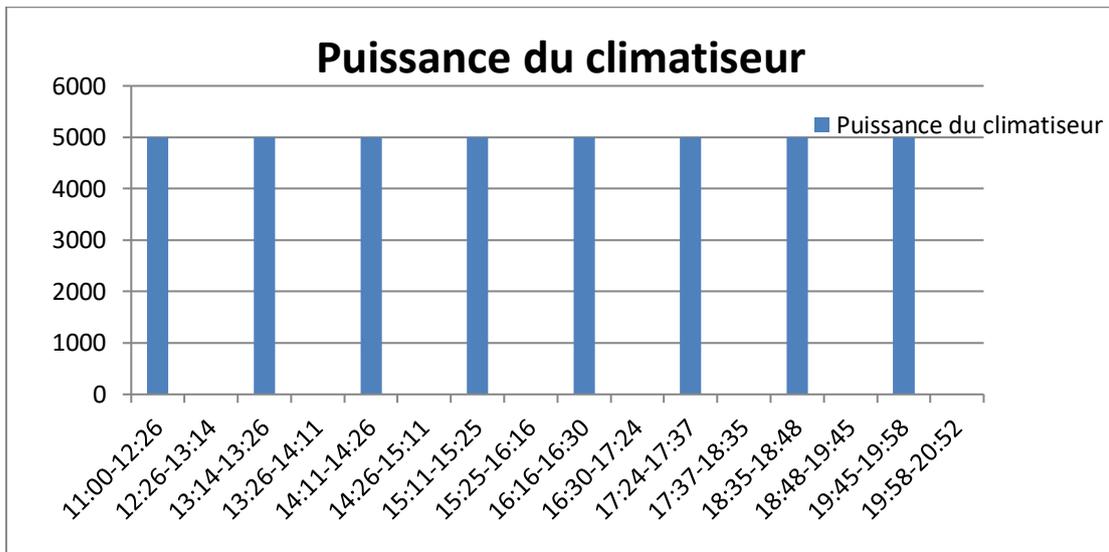


Figure IV.5 : le temps de fonctionnement du climatiseur

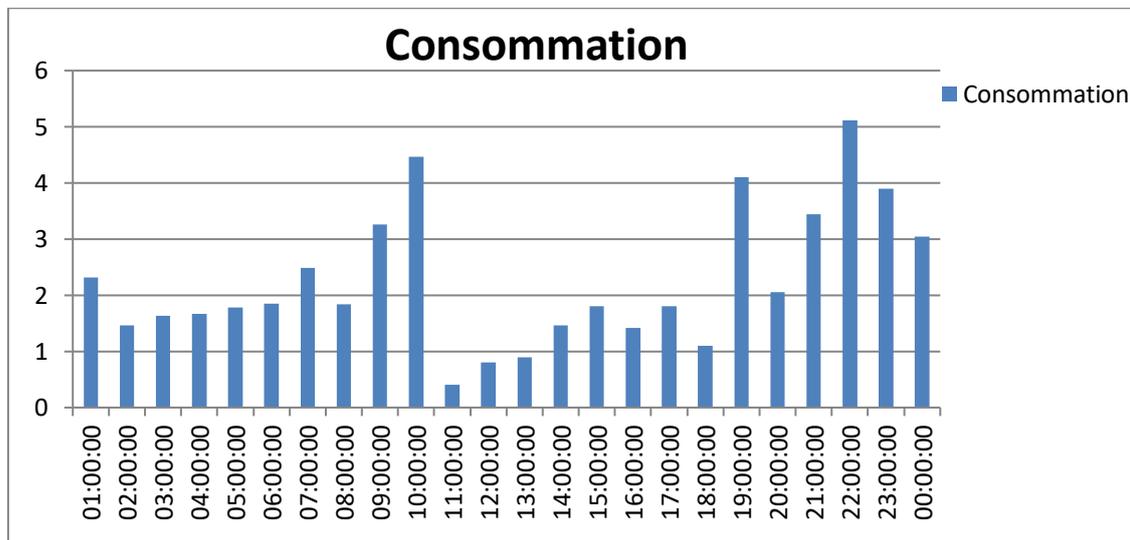


Figure IV.6 : La consommation électrique des autres charges

Grace à cette méthode d'optimisation, nous avons pu réduire l'énergie consommée de 94.11kWh à 70.111kWh en économisant 25.5% de l'énergie consommée pendant 24 heures.

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié les différentes stratégies proposées pour la gestion optimale de la climatisation. Le point focal de la méthode proposée est la prise en compte du fonctionnement réelle des charges de la maison ainsi que les changements de températures extérieures.

L'application de la méthode proposée nous a permet de réduire la consommation électrique total de l'habitat. Parmi les avantages de cette méthode d'optimisation est la réduction du cout d'abonnement, de la facture globale de la consommation et surtout le confort thermique des habitants soit assuré.

Les résultats de la simulation montrent que le système de climatisation peut considérablement économiser de l'énergie et également maintenir le confort thermique. Cette méthode peut s'adapter à toute la maison.

Chapitre V

Application de la méthode de la gestion énergétique

Chapitre V : Application de la méthode de gestion énergétique

V.1 Introduction

V.2 Application de la méthode proposée pour la gestion des climatisations

V.2.1 Principe de la méthode proposée

V.2.2 Description du système de régulation de climatisation

V.2.3 Principe de fonctionnement du système proposé

V.2.4 Modèle d'une salle conditionnée

V.2.5 Résultats de la simulation

a. En fonctionnement normal

b. Avec le système de régulation

V.3 Conclusion

V.1 Introduction

La consommation électrique par climatisation devient très importante en particulier en été. C'est pourquoi dans ce chapitre, nous allons aborder une méthode de gestion du climatiseur.

L'objectif de cette phase est de proposer une méthode de gestion en temps réel de la consommation basée sur un système de régulation adaptatif des climatiseurs.

Cette méthode est valable pour une durée de quelques heures. Le système proposé doit assurer le confort des habitants et tout en respectant une contrainte de puissance permise autorisée.

V.2 Application de la méthode proposée pour la gestion des climatisations

V.2.1 Principe de la méthode proposée

L'objectif de la méthode proposée est de :

- Piloter les climatisations pour que le confort thermique soit assuré.
- Réduire la puissance appelée en limitant le pic de consommation.

La méthode proposée tient compte du comportement réel des autres charges dans l'habitat et des conditions météorologiques.

V.2.2 Description du système de régulation de climatisation

Le modèle proposé est un système de climatisation **figure (V.1)** se compose de trois parties :

- Un modèle d'une pièce climatisée fonctionnant par la tension du circuit d'alimentation électrique est de 220V.
- Un système de contrôle contient deux thermocouples alimentés par un circuit de contrôle de tension (12V).
- Un système de régulation automatique.

Dans les conditions normales sans dépasser la puissance permissible (6000W), la température recommence à augmenter à $T\text{-set}2 = 22^\circ\text{C}$ et le cycle recommence et la température oscille entre $T\text{-set}1$ et $T\text{-set}2$.

Lorsque la T_{ext} augmente donc le redémarrage du compresseur, le processus de refroidissement est répété.

En cas de dépassement de la puissance permissible, le régulateur intervient sur le fonctionnement du compresseur du climatiseur ON/OFF selon la boucle fermée suivante :

- Mesurez la puissance totale.
- Comparaison entre la puissance totale et la valeur autorisée.
- Envoyer un signal de contrôle au thermocouple1 ($T\text{-set}1 = 20^\circ\text{C}$) qui permet l'ouverture et la fermeture du circuit de puissance du climatiseur.
- Mise en marche/arrêt du climatiseur.
-

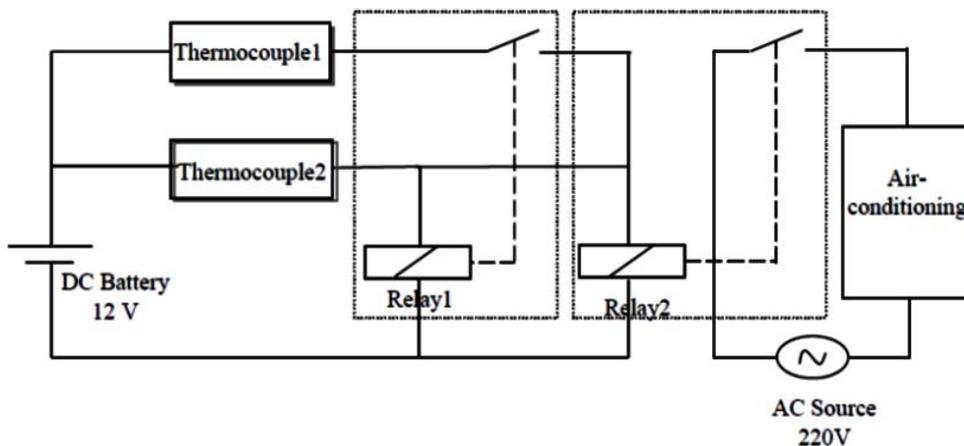


Figure V.2 : Modèle analogique électrique pour le système de régulation du climatiseur

V.2.4 Modèle d'une salle conditionnée

La méthode proposée est appliquée pour la gestion des climatiseurs d'une maison (présentée dans le chapitre précédent) l'application est faite sur un climatiseur de 5kW.

A partir du modèle thermodynamique d'une salle conditionnée abordé à la **partie (III.2.2)** au chapitre III.

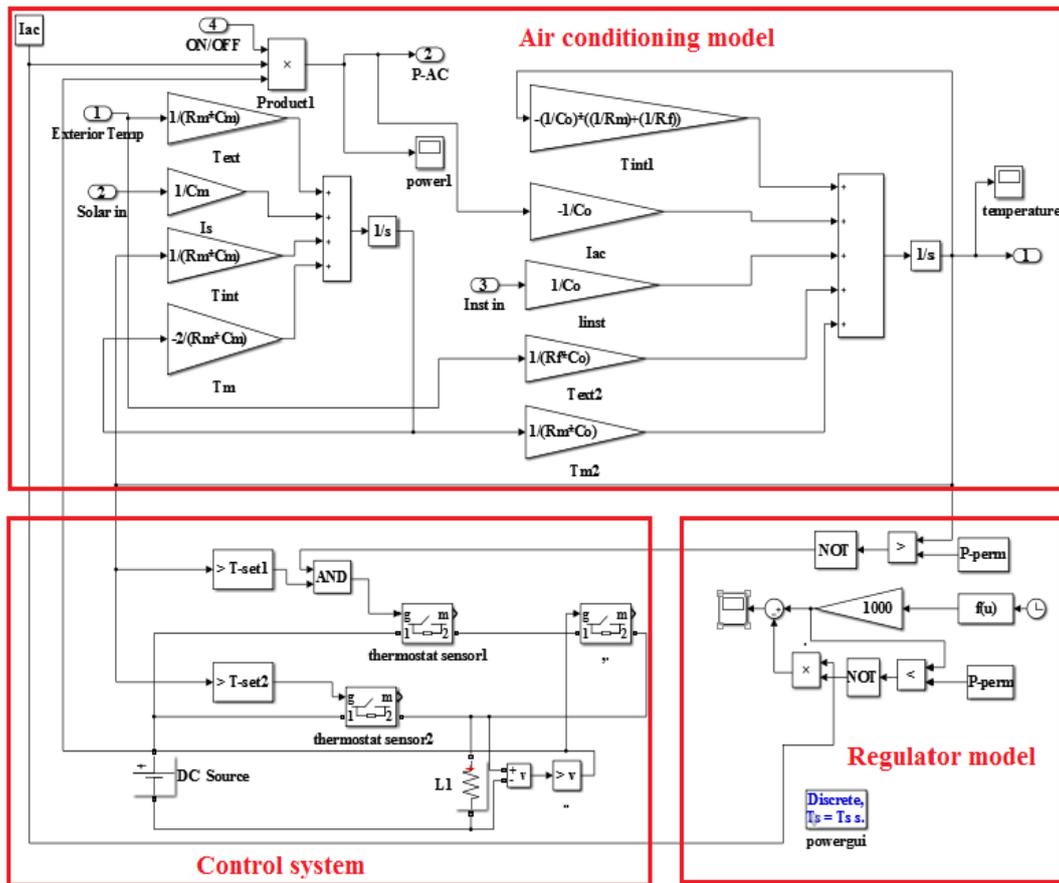


Figure V.3: Modèle du système de régulation proposé sous Matlab/Simulink

a. Hypothèse

- La simulation est effectuée en réglant la température de la pièce à 20°C.
- La température extérieure à la région de Nevada pour la journée de 06 Juillet 2016 est mentionnée sur la **figure (V.4)**
- La consommation totale de la maison pendant la journée de 06 Juillet 2016 est indiquée sur la **figure (V.5)**
- La simulation dure 24 heures (de 0h à 24h =86400s)
- La puissance permissible est fixée à 6000W

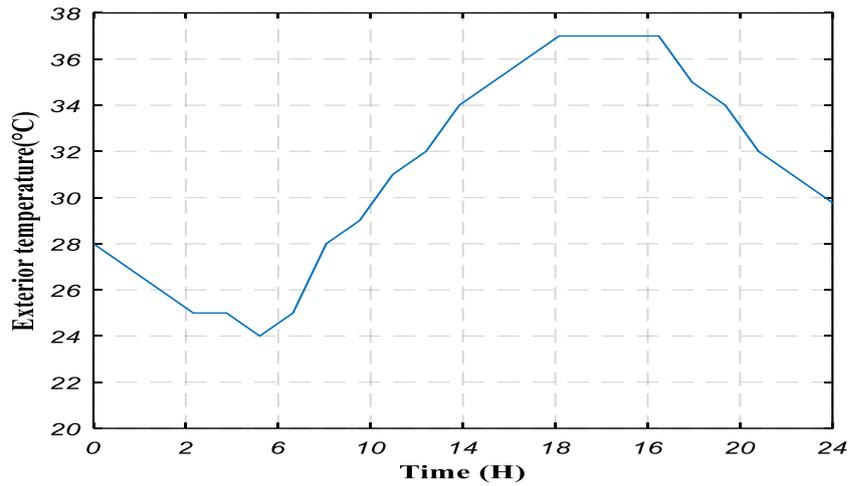


Figure V.4 : La température extérieure

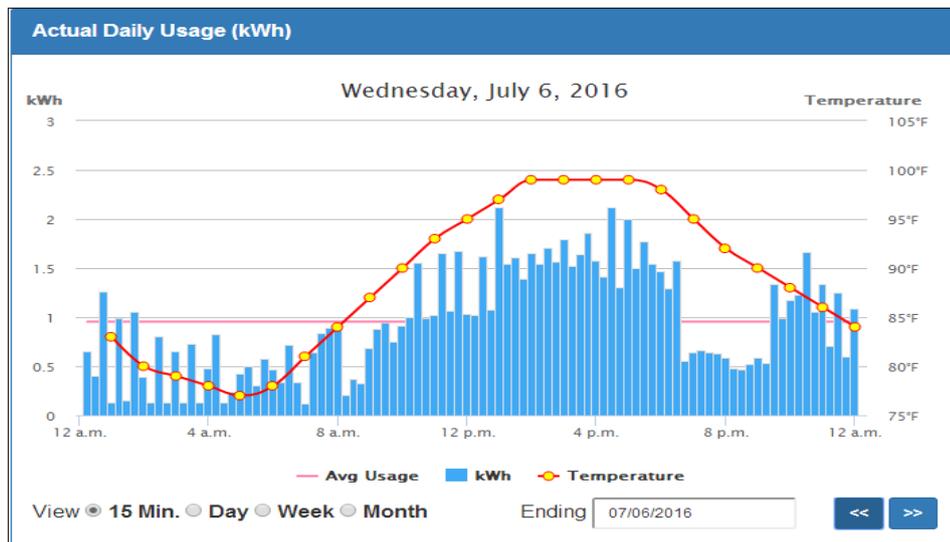


Figure V.5.a : La consommation électrique totale de la maison chaque 15mn

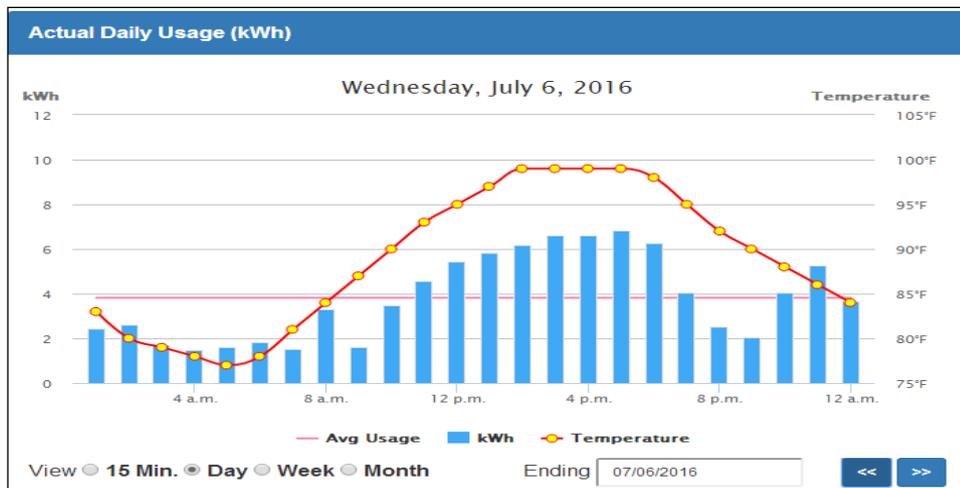


Figure V.5.b : La consommation électrique totale de la maison chaque heure

A partir de la **figure (V.5)**, nous pouvons voir que la consommation électrique dans l'intervalle de temps [14h-18h] est beaucoup plus élevée par rapport à l'autre heure de la journée et cela en raison de l'utilisation de climatisation.

V.2.5 Résultats de la simulation

a. En fonctionnement normal

La **figure (V.6)** montre la puissance totale consommée de la maison pendant 24h pour la journée du 06 Juillet 2016.

Dans la **figure (V.7)** la température de la salle en utilisant le climatiseur a été montré. La **figure (V.8)** montre la puissance de fonctionnement de la climatisation.

De même, on peut également observer que dans le fonctionnement normal, la consommation totale de la maison atteint 94.11 kWh dans cette journée.

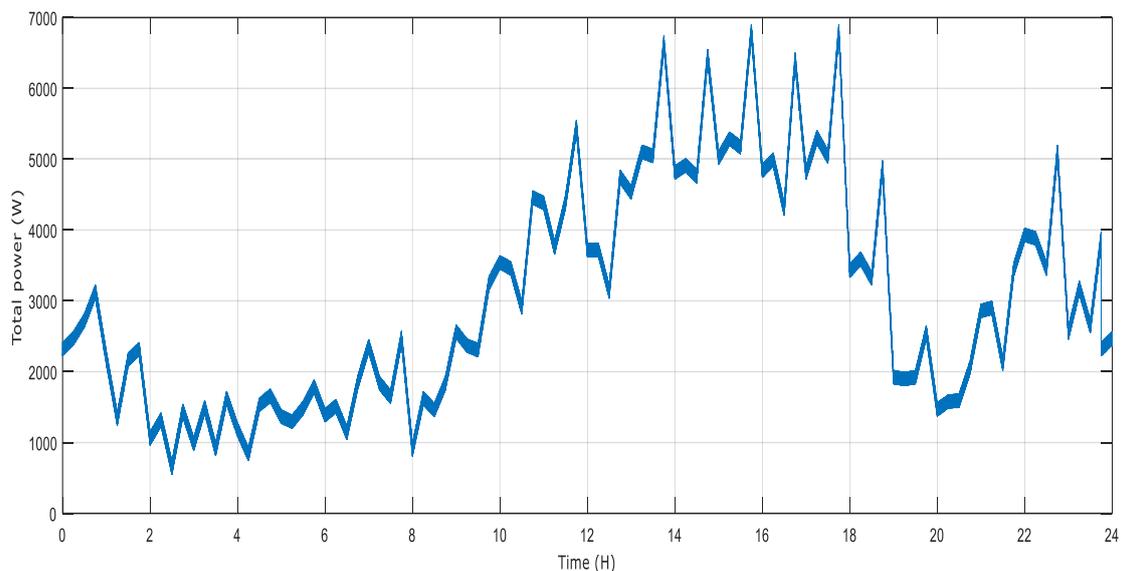


Figure V.6 : La consommation électrique totale de la maison

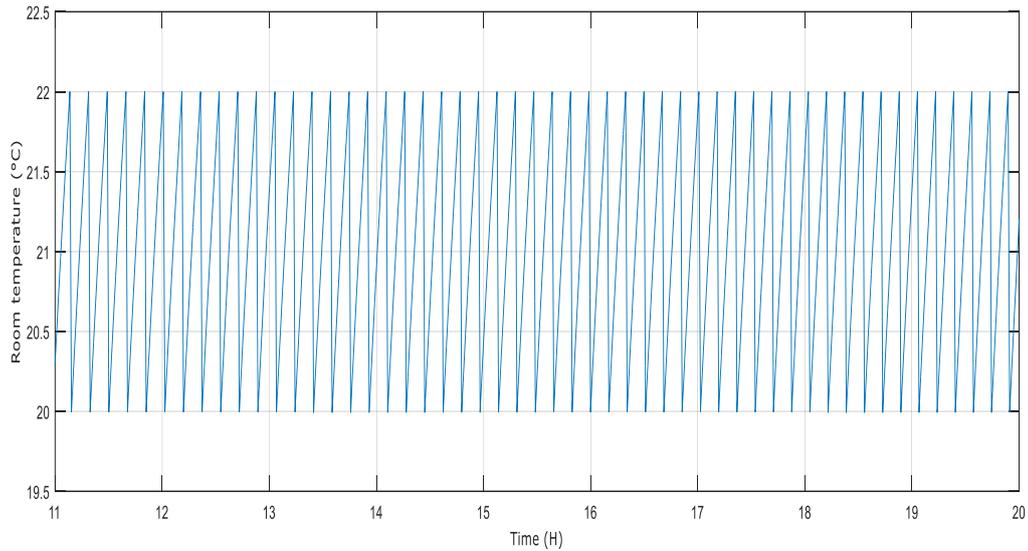


Figure V.7 : La Température intérieure de la pièce

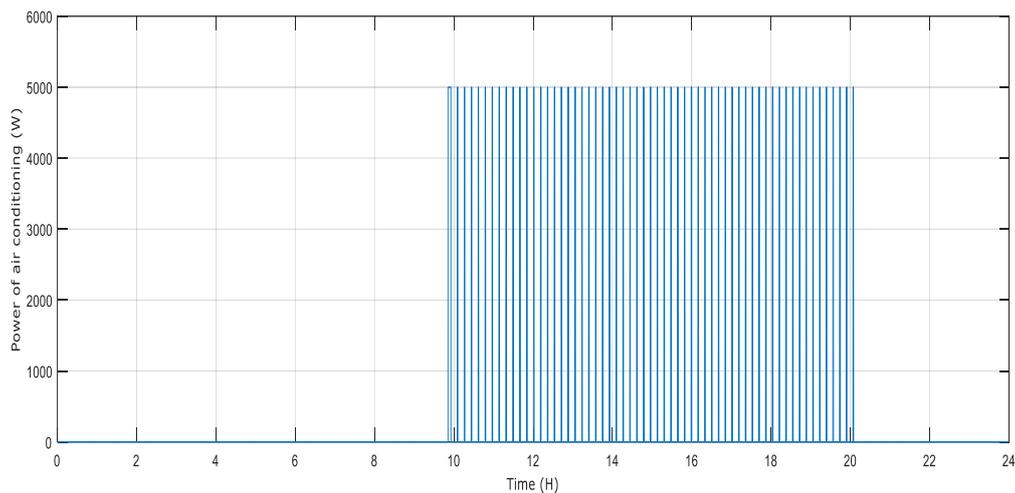


Figure V.8 : La puissance de fonctionnement du climatiseur

Les résultats obtenues montrent que en l'absence de la gestion du climatiseur, la puissance totale dépasse la puissance permise pour 5 fois comme l'indique la figure (V.6), les pics supérieurs qui sont : 6.65 kW, 6.46 kW, 6.46 kW, 6.81 kW, 6.41 kW et 6.81 kW.

Bien entendu, que dans la courbe de la température intérieure de la pièce le confort est toujours entre (20°C et 22°C).

La consommation totale de la maison est de 94.11 kWh par jour.

b. Avec système de régulation

Avec la gestion de la climatisation (la méthode de régulation proposée), la puissance totale consommée de la maison est illustrée sur la **figure (V.9)**, les **figures (V.10)** et **(V.11)** présentent la température intérieure de la pièce et la **figure (V.12)** montre le fonctionnement du climatiseur.

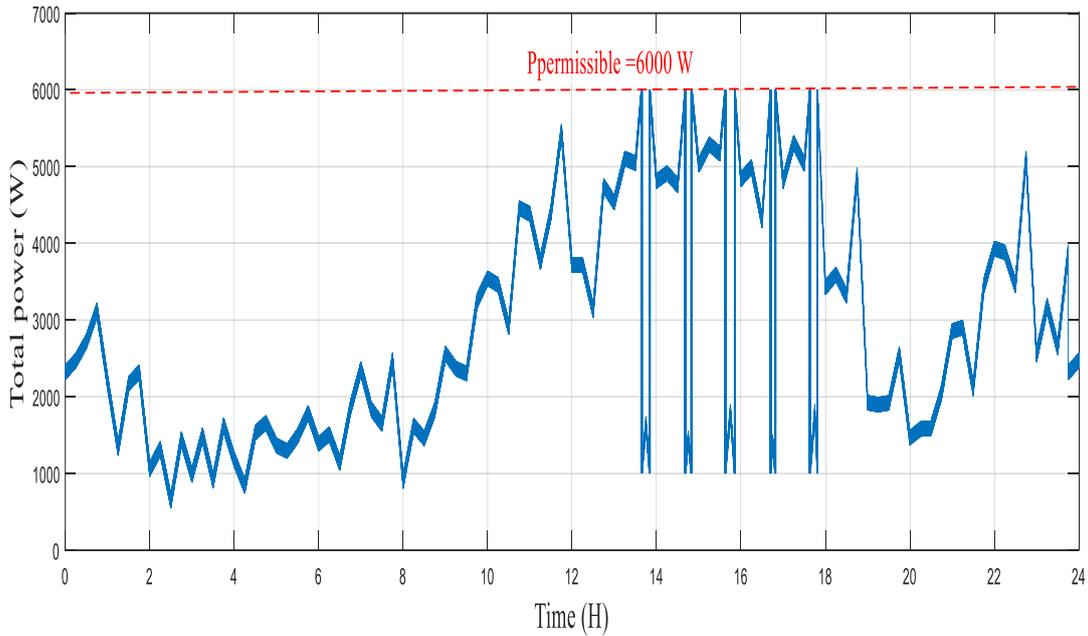


Figure V.9 : La consommation électrique totale de la maison

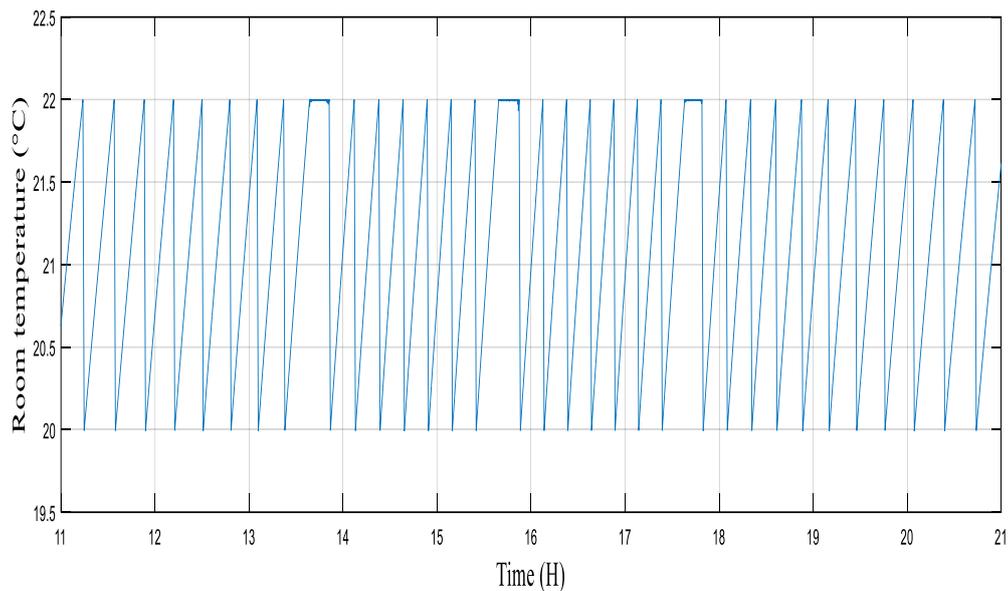


Figure V.10 : La température intérieure de la pièce

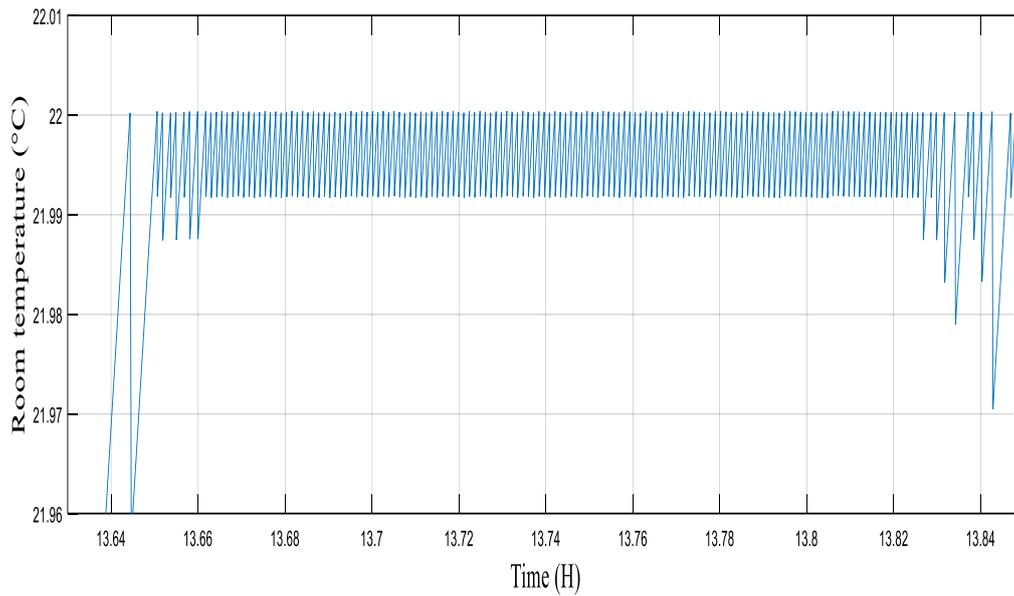


Figure V.11 : Zoom sur la température intérieure de la pièce

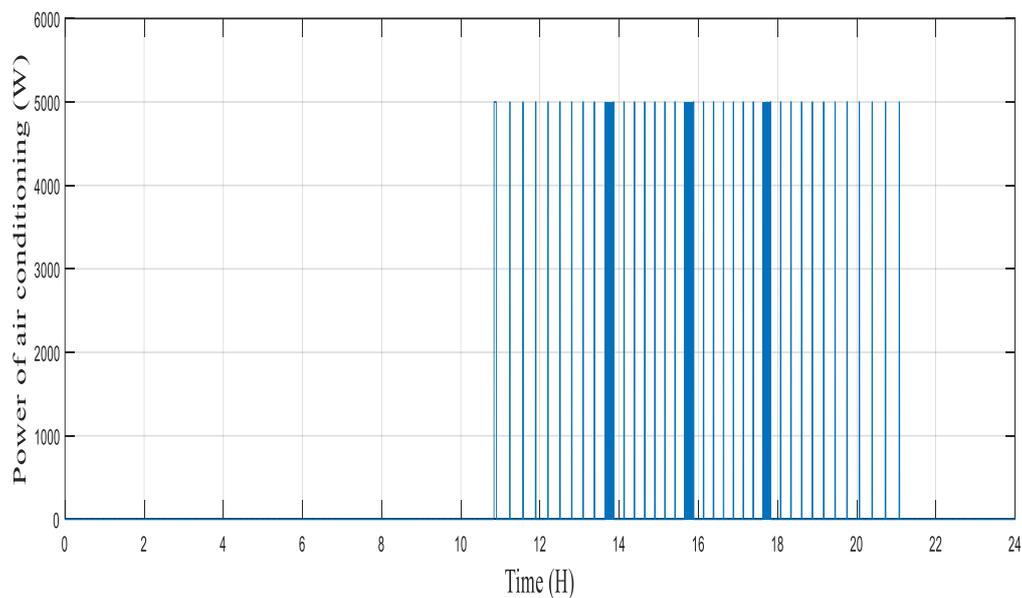


Figure V.12 : La puissance de fonctionnement du climatiseur

Avec le système de régulation proposé la puissance totale de la maison ne dépasse jamais la puissance permise 6 kW (les pics sont illuminés) **figure (V.9)**. Le confort est assuré **figure (V.10 et V.11)**, la consommation totale de la maison est réduite à 83.048 kWh.

On constate qu'avec la méthode de régulation proposée de gestion de climatisation :

- Les charges de pointe sont totalement éliminées.
- La température est toujours inférieure à 22°C donc le confort thermique est maintenu.

Nous pouvons dire que lors de l'utilisation du climatiseur :

- Le système de régulation proposé permet de réduire la puissance consommée de 94.11 kWh à 83.048 kWh (environ 9% de la consommation totale) et cela lorsqu'on applique notre méthode à une seule pièce.
- La charge maximale sur le transformateur est réduite car la puissance totale est toujours inférieure à la puissance permmissible.
- Le confort thermique est toujours maintenu car la température varie mais toujours inférieur à T^{\max} .

V.3 Conclusion :

Une nouvelle méthode de gestion de charge en temps réel a été mise au point et développées sous Matlab/Simulink. Le système proposé présente des avantages importants par rapport aux méthodes classiques (fonctionnement automatique avec respect du confort, meilleure gestion des pics de puissance .La méthode proposée permette une gestion de charge sans effectuer de délestage de charge comme les méthodes classique.

La méthode proposée a pris en compte le comportement réel des charges et les conditions météorologiques ont été prises en compte pour notre méthode.

La méthode représente le développement d'un système de climatisation. Un tel système se compose de trois parties: la première partie est le modèle de la salle climatisée, la seconde est un système de contrôle basé sur des thermocouples; la troisième et dernière partie est un système de régulation contraint par la valeur de la puissance autorisée. L'idée maîtresse du système proposé est basée sur une réduction efficace de la consommation électrique totale sans sacrifier le confort thermique des occupants.

La méthode proposée a été appliqués pour les systèmes de gestion énergétique dans le secteur résidentiel (maison individuelle) avec les résultats satisfaisants. Les principes proposés peuvent être appliqués pour un groupe de charge d'inter bâtiments ou un centre de consommation virtuelle.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Les travaux réalisés pendant ce doctorat ont été menés dans l'objectif de faciliter la gestion des flux énergétiques dans le bâtiment. Les sources d'énergie renouvelables présentent beaucoup d'avantages par rapport aux sources de conversion classique du point de vue environnementale et économique. L'étude du potentiel énergétique en Algérie nous a permis d'identifier les besoins ainsi que la maîtrise de la consommation au sein de l'habitat Algérie.

Aujourd'hui, le bâtiment intègre de plus en plus de sources d'énergie renouvelables dans son système de production et moyens de stockage. Cela induit une complexité croissante des stratégies de gestion de la consommation et donc des outils d'aide technologiquement performant, facile, acceptable et gérable pour les exploitants/occupants des bâtiments. Cette complexité est d'autant plus importante que le système de tarification se complexifie : tarif variable, paliers, tarifaires....

Les modèles de charge que nous avons développés dans ce travail de thèse ont été validés et leurs courbes de fonctionnement de la puissance active par rapport au temps des modèles de charges proposés ont été logique ce qui a ouvert le champ à une approche nouvelle en vue d'optimiser la gestion énergétique d'un habitat.

Les méthodes de gestion des flux énergétiques dans le bâtiment proposées présentent des avantages importants par rapport aux méthodes classiques, ils ont pris en compte le comportement réel des charges et les conditions météorologiques.

L'application de la méthode proposée nous a permis de réduire la consommation électrique totale de l'habitat. Parmi les avantages de cette méthode d'optimisation par rapport aux méthodes classiques c'est : un fonctionnement automatique avec respect du confort, meilleure gestion des pics de puissance. La méthode proposée permet une gestion de charge sans effectuer de délestage de charge comme les méthodes classiques.

La méthode représente le développement d'un système de climatisation. Un tel système se compose de trois parties: la première partie est le modèle de la salle climatisée, la seconde est un système de contrôle basé sur des thermocouples; la troisième et dernière partie est un système de régulation contraint par la valeur de la puissance autorisée. L'idée maîtresse

du système proposé est basée sur une réduction efficace de la consommation électrique totale sans sacrifier le confort thermique des occupants.

La méthode proposée a été appliqués pour les systèmes de gestion énergétique dans le secteur résidentiel (maison individuelle) avec les résultats satisfaisants. Les principes proposés peuvent être appliqués pour un groupe de charge d'inter bâtiments ou un centre de consommation virtuelle.

Les résultats de la simulation montrent que le système de climatisation peut considérablement économiser de l'énergie et également maintenir le confort thermique.

Ces résultats confirment l'efficacité de la méthode proposée pour l'amélioration de la gestion énergétique dans l'habitat.

Comme perspectives, nous espérons que notre contribution pourra être élargie à une implémentation en temps réel en association avec un système expert de contrôle thermique, ainsi qu'à la généralisation des techniques de commande développées dans ce travail sur d'autres types de charges variables dans l'habitat.

RECOMMANDATIONS

Généralement, pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments et réduire les émissions de gaz à effet de serre, un intérêt particulier devrait être accordé à:

- Utilisation des énergies renouvelables
- Réduire le gain solaire en été
- Assurer une bonne isolation

Pour les recommandations, il serait très intéressant d'effectuer d'autres investigations dans les points suivants:

- Plusieurs types de bâtiment où les profils de consommation d'énergie sont différents (hôtels, bureaux, hôpitaux, écoles ...)
- Effet des protections solaires sur la consommation d'énergie
- Refroidissement par ventilation naturelle
- Introduire l'aspect économique dans l'étude
- Utilisation d'un logiciel plus approprié pour une meilleure efficacité

Démarches effectuées par l'Algérie

L'Algérie œuvre, comme c'est le cas d'autres pays du monde (l'Algérie a ratifié La Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) en juin 1992 [63]) dans l'efficacité énergétique et spécialement dans le bâtiment par des programmes (programme ECOBATPROGRAMME

TRIENNAL D'EFFICACITE ENERGETIQUE « 2011-2013 » Aprue) [64] Le programme porte sur la réalisation de 600 logements a haute performance énergétique à travers le pays.

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables (EnR) et d'efficacité énergétique (Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, Ministère de l'Energie et des Mines, [65])

Perspectives

Utiliser une nouvelle approche pour intégrer les énergies renouvelables dans les bâtiments afin de les rendre plus efficaces [66], plus rentables, plus écologiques et plus attrayants.

Système solaire thermique et photovoltaïque pour couvrir les besoins énergétiques totaux de la maison.

Concernant le refroidissement un système au froid solaire serait intéressant et compléterai l'autonomie de la maison solaire.

Des capteurs photovoltaïques / thermiques intégrés dans le bâtiment pour couvrir les besoins en eau chaude / chauffage et électricité ont été testés, leur efficacité pouvant atteindre 19% et 34% [67].

Un système solaire assisté par CVC à haut rendement énergétique du bâtiment a été étudié [68], dans cette étude un système d'absorption est utilisé pour le refroidissement.

La performance énergétique des bâtiments solaires a été démontrée dans de nombreuses études [69]. Un important niveau d'économies d'énergie est réalisé: la comparaison des bâtiments solaires et traditionnels en termes de consommation d'autres énergies conventionnelles illustre l'ampleur de ce potentiel.

La performance des systèmes de chauffage et de refroidissement solaires assistés est analysée par simulation sous TRNSYS [70].

Bibliographies

Bibliographies:

- [1] International energy agency, Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets 2002. <http://gasunie.eldoc.ub.rug.nl/FILES/root/2002/3125958/3125958.pdf>.
- [2] B. Multon, O. Gergaud, G. Robin and H. Ben Ahmed, « Consommation d'énergie et ressources énergétiques », Technique de l'ingénieur, D3900, 2.
- [3] Site internet, " <http://fr.wikipedia.org/wiki> " Ressource non renouvelable.
- [4] Y. Thiaux, « Optimisation des profils de consommation pour minimiser les couts économique et énergétique sur cycle de vie des systèmes photovoltaïque autonomes et hybrides- Evaluation de la technologie Li-ion », Thèse de doctorat, Juillet 2010.
- [5] Key world Energy statistics, International Energy Agency, 2009.
- [6] World Energy outlook 2004, International Energy Agency, 2004.
- [7] Observ ER, « La production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde » Collection chiffres et statistiques, Onzième inventaire, Edition 2011.
- [8] Bénéfices économiques d'un renforcement de la coopération des échanges au Maghreb. Rapport définitif, Juin 2010, SOFRECO.
- [9] Site officiel du SONELGAZ, <http://www.Sonelgaz.dz>.
- [10] « Guide des énergies renouvelables », Ministère de l'Energie et des Mines, Edition 2007.
- [11] L. Khattache, « Etude et commande d'un système éolien à base d'une machine électrique à double alimentée », mémoire de magister, Batna, 2007.
- [12] « Programme des énergies renouvelables et l'efficacité énergétique », Ministère de l'énergie et des mines, Mars 2011.
- [13] Agence International de l'Energie, Key World Energy Statistics 2010, Rapport Annuel, http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key_stats_2010.pdf.
- [14] Science et vie hors série « 2005-2015 » les révolutions de la maison individuelle 2005.
- [15] : Documentation Technique de Référence, Chapitre 4, « Contribution des utilisateurs aux performances du RPT », Article 4.1, Réglage Fréquence/Puissance ; RTE 2009. http://clients.rte-france.com/htm/fr/mediatheque/telecharge/reftech/26-0711_article_41__v4.pdf
- [16] : Collection Chiffres clés, « BATIMENT ENERGIE ENVIRONNEMENT », Edition 2010.
- [17] R. Pacheco, J. Ordóñez, G. Martinez, "Energy efficient design of building", A review, Renewable and Sustainable Energy, Reviews 16 (2012) 3559– 3573.

- [18]: S. Helal, B. Winkler, C. Lee, Y. Kaddoura, L. Ran, C. Giraldo, S. Kuchibhotla, W. Mann, “Enabling location-aware pervasive computing applications for the elderly”, Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2003, (PerCom 2003). pp 531 – 536, Mars 2003.
- [19]: S. Helal, W. Mann, H. El-Zabadani, J. King, Y. Kaddoura, E. Jansen, “The Gator Tech Smart House: a programmable pervasive space”, Journal Computer, vol 38, no 3, pp 50–60; (2005).
- http://www.icta.ufl.edu/projects/publications/helal_GTSH_IEEE_Computer_March_2005.pdf
- [20]: M. Santamouris, C. Pavlou, P. Doukas, G. Mihalakakou, A. Synnefa, A. Hatzibiros, P. Patargias, “Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece”, Energy 32 (2007) 1781–1788.
- [21]: C.D. Kidd, R.J. Orr, G.D. Abowd, C.G. Atkeson, I.A. Essa, B. MacIntyre, E. Mynatt, T.E. Starner, W. Newstetter, “The aware home: a living laboratory for ubiquitous computing research”, in: Proceedings of 2nd International Workshop on Cooperative buildings (CoBuild’99), 1999.<file:///C:/Documents%20and%20Settings/missaour/Bureau/url.htm>
- [22]: Y. Jinghua, Y. Changzhi, T. Liwei, L. Dan, « Evaluation on energy and thermal performance for residential envelopes in hot summer and cold winter zone of China”, Applied Energy 86 (2009) 1970–1985.
- [23]: M.C. Mozer, “The neural network house: an environment that’s adapts to its inhabitants”, in Proceedings of the AAAI Spring Symposium on Intelligent Environments, Technical Report SS-98-02, AAAI Press, Menlo Park, CA, U.S.A, pp. 110–114, 1998.
- [24]: Z.F. Roberto, M. Walter, O.A. Marc, N. Mendes, “Capacitive effect on the heat transfer through building glazing systems”, Applied Energy 88 (2011) 4310–4319.
- [25]: E. Znouda, N. Ghrab-Morcos, A. Hadj-Alouane, “Optimization of Mediterranean building design using genetic algorithms” ,Energy and Buildings 39 (2007) 148–153.
- [26]: L. Marshall, J. Sweet, T. McLeskey , “Numerical simulation of underground Seasonal Solar Thermal Energy Storage (SSTES) for a single family dwelling using TRNSYS”, Solar Energy 86 (2012) 289–300.
- [27]: C. Ménézo, J.-B. Saulnier, D. Lincot, et G. Guarracino, “Energy, domotics, materials welcome to the home of the future”. CNRS international magazine, vol 5, pp 18_27, (2007).
- [28] : C. Hamouda, A. Malek, « Analyse théorique et expérimentale de la consommation d’énergie d’une habitation individuelle dans la ville de Batna», Revue des Energies Renouvelables Vol. 9 N°3(2006) 211 – 228.

- [29]: J.M. House, T.F. Smith, “Optimal control of building and hvac systems. In American”, Control Conference, Proceedings of the 1995, volume 6, pages 4326–4330. IEEE, 1995.
- [30]: G. Zhou, M. Krarti, and G.P. Henze, “Parametric analysis of active and passive building thermal storage utilization”. *Journal of Solar Energy Engineering*, 127(1):37–46, 2005.
- [31]: K.Y. Huang, Y.-C. Huang; “Integrating direct load control with interruptible load management to provide instantaneous reserves for ancillary services”. *IEEE Transactions on power systems*, vol 19, no 3, pp 1626_1634, Aout 2004.
- [32]: Eudeep Project, <http://www.eudeep.com/index.php?id=397>.
- [33]: O. Ameri Sianaki, O. Hussain, T. Dillon, A. Rajabian Tabesh. “Intelligent decision support system for including consumer’s preferences in residential energy consumption in smart grid”. In *Computational Intelligence, Modeling and Simulation (CIMSIM)*, 2010 Second International Conference on, pages 154–159. IEEE, 2010.
- [34]: A.H. Mohsenian-Rad, A. Leon-Garcia, “Optimal residential load control with price prediction in real-time electricity pricing environments”. *Smart Grid, IEEE Transactions on*, 1(2):120–133, 2010.
- [35]: D.L. Ha, S. Ploix, E. Zamai, M. Jacomino. « A home automation system to improve household energy control”. In *INCOM2006 12th IFAC symposium on information control problems in manufacturing*, 2006a.
- [36]: K. Stum, R. Mosier, T. Haasl, “Energy management systems”. *Rap. tech., Porland Energy Conservation Inc.(PECI)*, 1997.
- [37]: P. Palensky, D. Dietrich, R. Posta, H. Reiter, “Demand side management in private homes by using lonworks”. In *Factory Communication Systems, Proceedings IEEE 1997, International Workshop on*, pages 341–347.
- [38]: H. Doukas, K.D. Patlitzianas, K. Iatropoulos, J. Psarras, “Intelligent building energy management system using rule sets”. *Building and Environment*, 42(10):3562–3569, 2007.
- [39]: J.M. Lujano-Rojas, C. Monteiro, R. Dufo-López, J.L. Bernal-Agustín, “Optimum residential load management strategy for real time pricing (rtp) demand response programs”. *Energy Policy*, 45 :671–679, 2012.
- [40] : RTE, réseau de transport d’électricité. 2011. “Bilan prévisionnel de l’équilibre offre-demande d’électricité en France”. *Tech. rept. Réseau de transport d’électricité*.
- [41] : K. Le, T. Tran-Quoc, JC. Sabonnadiere, C. Kieny, N. Hadjsaid, « Peak load reduction by using heating regulators », *CIGRED/ CIRED*, Vienna, Austria, May 2007.

- [42] : K. Le, T. Tran-Quoc, J.C. Sabonnadiere, C. Kieny, N. Hadjsaid, « Peak load reduction by using air conditioning regulators », IEEE /MELECON, Ajaccio, France, 5-7 May 2008.
- [43] : Thèse de doctorat de K. Le, « Gestion optimal des consommations d'énergie dans les bâtiments », Juillet 2008.
- [44] : André Castagoni, « Application électro-domestiques ».1995.
- [45]: J. Nocedal, S. J. Wright. “Penalty and Augmented Lagrangian Methods”. Springer, 2006.
- [46] : S. Abras, « Coopération entre agents embarqués pour la gestion d'énergie dans l'habitat ». PhD thesis, Institut polytechnique de Grenoble, 2009.
- [47]: J.D. Pintér, “Global optimization: software, test problems, and applications. In Handbook of global optimization”, pages 515–569. Springer, 2002.
- [48]: G.B. Dantzig, “Linear programming and extensions”. Princeton university press, 1998.
- [49]: H.P. Van Meeteren, “Scheduling of generation and allocation of fuel, using dynamic and linear programming”. Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on, (7):1562–1568, 1984.
- [50]: J.K. Delson, S.M. Shahidehpour, “Linear programming applications to power system economics, planning and operations”. Power Systems, IEEE Transactions on, 7(3):1155–1163,1992.
- [51]: K. Iba, H. Suzuki, K-I. Suzuki, K. Suzuki. “Practical reactive power allocation/operation planning using successive linear programming”. Power Systems, IEEE Transactions on, 3 (2):558–566, 1988.
- [52]: C.A. Floudas, X. Lin. “Mixed integer linear programming in process scheduling: Modeling, algorithms, and applications”. Annals of Operations Research, 139(1):131–162, 2005.
- [53]: M.S. Bazaraa, H.D. Sherali, C.M. Shetty, “Nonlinear programming : theory and algorithms”.John Wiley & Sons, 2013.

-
- [54]: A.J. Wood, B.F. Wollenberg. “Power generation, operation, and control”. John Wiley & Sons, 2012.
- [55]: M.R. Bussieck, A. Pruessner, “Mixed-integer nonlinear programming”. SIAG/OPT Newsletter: Views & News, 14(1):19–22, 2003.
- [56]: A. Kumar, W. Gao, “Optimal distributed generation location using mixed integer non-linear programming in hybrid electricity markets”. IET generation, transmission & distribution, 4 (2):281–298, 2010.
- [57]: A. K. Sharma, “Optimal number and location of tcsc and load ability enhancement in deregulated electricity markets using minlp”. International Journal of Emerging Electric Power Systems, 5(1), 2006.
- [58]: K. Keeney, J. Braun, “A simplified method for determining optimal cooling control strategies for thermal storage in building mass”, Intl. J. of HVAC&R Research. Vol.2, No.1, 59-78.
- [59]: G. Henze, R. Dodier, M. Krarti, “Development of a predictive optimal controller for thermal energy storage systems,” Intl. J. of HVAC&R Research, Vol.3, No.3,233-264, 1997.
- [60]: A. Gomes, C. H. Antunes, A. G. Martins, “A Multiple Objective Approach to Direct Load Control Using an Interactive Evolutionary Algorithm”, IEEE transaction on power systems, Vol.22, No.3, August 2007.
- [61]: D. Wei, N. Chen, “Air conditioner direct load control by multi-pass dynamic programming”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No. 1, February 1995.
- [62]: Ng. Kah-Hoe, G.B. Sheblé, “Direct load control – a profit-based load management using linear programming”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, No. 2, May 1998.
- [63] http://unfccc.int/essential_background/convention/status_of_ratification/items/2631.php.
- [64] <http://www.aprue.org.dz/prg-eco-bat.html>.
- [65] http://www.memalgeria.org/francais/uploads/enr/Programme_ENR_et_efficacite_energetique_fr.pdf.
- [66] R. Behnaz, E. Esmailzadeh, I. Dincer, “Renewable Energy Options for Buildings: Case Studies”, Energy and Buildings, Volume 43, Issue 1, January 2011, Pages 56–65.
- [67] D. Charles Corbin, Z. John Zhai, « Experimental and numerical investigation on thermal and electrical performance of a building integrated photovoltaic–thermal collector system, Energy and Buildings 42 (2010) 76–82.

- [68] A. Mammolia, P. Vorobieffa, H. Barsuna, R. Burnettb, D. Fishera, “Energetic, economic and environmental performance of a solar-thermal-assisted HVAC system », *Energy and Buildings* 42(2010) 1524–1535.
- [69] C. Filippin, S. Flores Larsen, M. Canori, « Energy consumption of bioclimatic buildings in Argentina during the period 2001–2008 », *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (2010)1216–1228.
- [70] F. Calise, A. Palombo, L. Vanoli, “Maximization of primary energy savings of solar heating and cooling systems by transient simulations and computer design of experiments”, *Applied Energy* 87 (2010) 524–540.