

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière: Génie Mécanique

Spécialité : Énergétique

Présenté par:

Trabelsi Mohammed Nacer-Eddine

Meissa Chaouki

Thème

**Etude de l'intégration de la cogénération
dans le secteur du bâtiment en Algérie**

Soutenu le : 11/06/2018

Devant le jury :

Mme. Ghedamsi Rébha	M.A.A	Université Kasdi Merbah Ouargla	Présidente
Mme. Reciouï Bakhta	M.A.B	Université Kasdi Merbah Ouargla	Encadreur
Mr. Gouareh Abderrahmane	M.A.B	Université Kasdi Merbah Ouargla	Examineur

Année universitaire: 2017/2018

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière: Génie Mécanique

Spécialité : Énergétique

Présenté par:

Trabelsi Mohammed Nacer-Eddine

Meissa Chaouki

Thème

**Etude de l'intégration de la cogénération
dans le secteur du bâtiment en Algérie**

Soutenu le : 11/06/2018

Devant le jury :

Mme. Ghedamsi Rébha	M.A.A	Université Kasdi Merbah Ouargla	Présidente
Mme. Reciouï Bakhta	M.A.B	Université Kasdi Merbah Ouargla	Encadreur
Mr. Gouareh Abderrahmane	M.A.B	Université Kasdi Merbah Ouargla	Examineur

Année universitaire: 2017/2018



Remerciements

Nous remercions Allah le tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté pour terminer ce travail.

*Nous remercions profondément le Directeur des Mémoires de Mme. **Reciouï Bakhta**, Professeur associé à l'Université de Ouargla, pour nos remerciements pour leur disponibilité, intérêt, encouragement, observations et conseils pour ces mémos et ses assistants.*

Nous remercions également tous les membres de jurys qui ont accepté de participer à la valorisation de ce travail.

Mme. Ghedamsi Rébha

Mr. Gouareh Abderrahmane

Grand remerciement sincèrement à nos familles surtout les pères et les mères qui ont donné la volonté et l'aide et le courage pour accomplir ce modeste travail.

Enfin nous tenons vivement à remercier tous nos amis et tous ceux qui nous ont aidés dans ce travail de près ou de loin.



Dédicace

Nous avons le grand plaisir de dédier ce modeste travail à:

Nos chers parents,

*Grand remerciement sincèrement à nos familles surtout
les pères et les mères qui ont donné la volonté et l'aide et le
courage pour accomplir ce modeste travail.*

Tous nos frères et sœurs chacun avec son nom,

Touts nos enseignants chacun avec son nom,

Touts nos collègues chacun avec son nom,

Chaque personne qui nous aidé

Résumé :

Le secteur résidentiel algérien consomme de 25 à 28 % de l'énergie finale et émet en moyenne 21 % des gaz à effet de serre. Or, il existe un important gisement d'économie d'énergie dans ce secteur. Ce constat conduit à rechercher comment rendre le secteur du logement plus efficace en matière de consommation d'énergie et d'émission de CO₂. Dans ce travail, nous montrons comment la pénétration des nouvelles technologies dans le parc de logements, au moyen du modèle bottom-up, permet, à l'horizon 2050, une approche prospective pertinente pour réduire la consommation énergétique et atténuer les émissions de CO₂ dans le secteur résidentiel. Pour cela, nous avons opté pour l'intégration de la cogénération de type pile à combustible dans les nouveaux logements ou nous estimerons, à travers un scénario tendanciel, la consommation d'énergie du secteur résidentiel en Algérie jusqu'en 2050. Ensuite, nous élaborerons un scénario volontariste de réduction de la consommation en énergie primaire et en émissions de CO₂ ainsi que le gain économique.

ملخص :

يستهلك القطاع السكني الجزائري من 25 إلى 28% من الطاقة النهائية ويصدر ما معدله 21% من غازات الدفيئة. ومع ذلك، هناك وديعة كبيرة توفير الطاقة في هذا القطاع. وهذا يؤدي إلى إجراء بحوث حول كيفية جعل قطاع الإسكان أكثر كفاءة من حيث استهلاك الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون. في هذا العمل، سوف نوضح كيف أن اختراق التكنولوجيات الجديدة في المخزون السكني، عن طريق النموذج التصاعدي، يسمح، بحلول عام 2050، بنهج مستقبلي مناسب لتقليل استهلاك الطاقة والتخفيف من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. القطاع السكني. ولهذا، فقد اخترنا دمج خلية الوقود في التوليد المشترك الجديد أو سنقَدّر، من خلال سيناريو الاتجاه، استهلاك الطاقة للقطاع السكني في الجزائر حتى عام 2050. ثم سوف نطور سيناريو استباقي لتقليل استهلاك الطاقة الأولية وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون بالإضافة إلى المكاسب الاقتصادية.

SOMMAIRE

	page
Nomenclature	i
Liste des tableaux	iii
Liste des figures	iv
Introduction générale	1
CHAPITRE I : SITUATION ENERGETIQUE ET ENVIRONNEMENTALE ALGERIENNE	
I.1 Introduction	3
I.2 Situation énergétique	3
I.2.1. Réserves	3
I.2.2 Production d'énergie	4
I.2.3 Consommation d'énergie finale	4
I.3 Situation environnementale	6
I.4. Energies renouvelables	7
I.4.1 Programme National des Energies Renouvelables (PNER)	7
a. Objectifs du PNER.	7
I.5.Conclusion	9
CHAPITRE II : COGENERATION	
II.1. Introduction	10
II.2. Généralités sur la cogénération	10
II.2.1. Définition de la cogénération	10
II.2.2. Principe de cogénération	10
II.2.3. Classification	11
II.2.4. Avantages de la cogénération	13
II.3. Micro-cogénération	14
II.3.1. Définition	14

II.3.2. Principales familles technologiques de micro-cogénération	14
II.3.2.1. Moteurs à combustion interne	15
II.3.2.2. Moteurs à combustion externe (cycle de Stirling)	15
II.3.2.3. Piles à combustibles	16
II.3.2.4. Turbines à gaz	16
II.3.2.5. Turbines à vapeur	17
II.3.3. Utilisation de micro-cogénération	18
II.4. Textes législatifs et réglementaires	19
II .5. Conclusion	21

Chapitre III: Intégration de la cogénération dans le secteur de bâtiment en Algérie

III.1 Introduction	22
III.2. Méthodologie	22
III.2.1. Définition	22
III.2.2. Modèles de prospective énergétique	22
III.3. Logiciel utilisé : ArcGIS 10.2	23
III.3.1. Définition du SIG	24
III.3.2. Etapes de travail	24
III.4 Démographie et parc de logements	25
III.4.1 Population	25
III.4.2. Parc de logements	26
III.5. Consommation d'énergie	28
III.6. Emissions du CO ₂ dans le secteur résidentiel algérien	29
III.7. Micro-cogénération dans un logement type	29
III.7.1. Présentation et description du logement étudié	29
III.7.2. Besoins énergétiques du logement type	30
III.7.3. Caractéristiques techniques d'une micro-cogénération	31
III.7.3.1. Dimensionnement de l'unité de micro-cogénération	32
III.7.3.2. Principe piles à combustibles	34

III.8. Prospective à l'horizon 2050	35
III.8.1. Description des scénarios pour la démarche prospective	36
III.8.1.1. Scénario tendanciel (scénario sans micro cogénération)	36
III.8.1.2. Scénario volontariste (scénario avec micro cogénération)	36
III.8.2. Hypothèses de modélisation	37
III.8.2.1. Nombre de logements	37
III.8.2.2. Evolution de la consommation d'énergie	37
III.8.2.3. Consommation d'énergie primaire	37
III.8.2.4. Emissions du CO ₂	38
III.8.2.5. Gains économique	38
III.9. Résultats et discussions	39
III.9.1. Projection du nombre de logements	40
III.9.2. Projection de la demande en énergie	43
III.9.3. Projection de la consommation en énergie primaire	43
III.9.4. Emission de CO ₂ du secteur résidentiel	46
III.9.5. Gains Economique	48
III.10. Conclusion	49
Conclusion générale	50

Liste des abréviations

Nomenclatures

A	Surface/Superficie	[m ²]
CC	Consommation de carburant	[tep]
DP	Densité de population	[habit / km ²]
E	Energie	[kWh]
ECO₂	Émissions de CO ₂ pour le carburant	[tCO ₂]
FE	Facteur d'émission par combustible	[tCO ₂ /tep]
TCAM	Taux de Croissance Annuel Moyen	[%]
TOL	Taux d'Occupation de Logement	[%]
E_{primaire}	Consommation d'énergie primaire	[kWh]
FE_{primaire}	Facteur de conversion, il est exprimée	[kWhEP /kWh]
E_{Finale}	Energie finale	[kWh]
NP	Nombre de la Population	[hab]
E_{Cogénération}	Electricité produite par la cogénération	[kWh]

Indice

H₂	Hydrogène
O₂	Oxygène
H₂O	Molécule d'eau
CO₂	Dioxyde de Carbone
Et	représente la consommation observée de l'année t,
E₀	Consommation calculée de l'année origine
α	Taux d'accroissement moyen annuel constaté sur la période étudiée.

t	Temps exprimé à l'année t par rapport à l'année origine
S	stations –service

Lettres grecques

η_e	Rendement Electrique
η_{th}	Rendement Thermique

Abréviation

PES	Primary Energy Saving
Pé	Puissances Electrique
Pth	Puissances Thermique
PNER	Programme National des Energies Renouvelables
Ep	Energie Primaire
E_F	Energie Finale
FEp	Facteur Energie Primaire
GNL	Gaz Naturel Liquéfié
SIG	Système Information Géographique
PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur
PCS	Pouvoir Calorifique Supérieur
TAG	Turbine à Gaz
TAV	Turbine à Vapeur
ER	Energie Renouvelable

Liste des tableaux

Chapitre 2

Tableau II.1 : Classification des modules de cogénération	13
Tableau II.2 : Principales familles technologiques de micro-cogénération	14

Chapitre 3

Tableau III.1 : Consommation énergétique annuelle moyenne des appareils ménagers en Algérie	30
Tableau III.2 : catalogue de technologie pile à combustible	33
Tableau III.3 : Fiche technique du projet de cogénération pour un logement type	33
Tableau III.4 : Evolution des prix du gaz	38
Tableau III.5 : Analyse énergétique et environnementale d'un logement type en Algérie selon deux scenarios	39

Liste des figures

Chapitre I : Situation énergétique et environnementale algérienne

Figure I.1: Réserves prouvées d'hydrocarbures (1980-2016)	3
Figure I.2: Production d'énergie totale par Mtep (2000 - 2016)	4
Figure I.3 : Evolution de la consommation d'énergie finale par Mtep en (2000-2016)	5
Figure I.4 : Structure de la consommation finale par secteur en 2016	5
Figure I.5: Evolution des émissions de dioxyde de carbone par Million Tonnes en (2000-2016)	6
Figure I.6 : Répartition des émissions de dioxyde de carbone par secteur en 2015	6
Figure I.7 : Répartition des énergies renouvelables selon le nouveau programme révisé en 2015	7
Figure I.8 : Evolution de la production des énergies renouvelables selon le PNER	8
Figure I.9 : Répartition des énergies renouvelables selon le nouveau programme révisé en 2015	9

Chapitre II : Cogénération

Figure II.1 : Principe de la cogénération (les valeurs ne sont données qu'à titre indicatif)	11
Figure II.2 : Comparaison entre centrale électricité et micro cogénération	11
Figure II.3 : Classification de la cogénération	12
Figure II.4 : Les moteurs à combustion externe	16
Figure II.5 : Turbine à gaz	17
Figure II.6 : Turbine à vapeur	18
Figure II.7: Utilisation de la micro-cogénération à l'échelle d'une maison individuelle	18
Figure II.8 : La micro cogénération pour plusieurs habitations	19
Figure II.9: La micro-cogénération en utilisation mixte	19

Chapitre III : Intégration de la cogénération dans le secteur de bâtiment algérien

Figure III.1: Classification de modèles de prospective	23
Figure III .2 : Présentation du Logiciel Arc Map	24
Figure III.3 : Evolution rétrospective de la population	25
Figure III.4 : Evolution du parc de logements en Algérie	26
Figure III. 5 : Evolution rétrospective du parc de logements	27
Figure III.6 : Evolution rétrospective du nombre de logement (1000 unités)	27
Figure III.7 : Evolution de la consommation d'énergie Electrique en TWh	28
Figure III .8 : Consommation d'énergie finale dans secteur résidentiel en Mtep	28
Figure III .9 : Emissions du CO ₂ dans le secteur résidentiel	29
Figure III.10: Description du logement type	29
Figure III.11: Mur typique	30
Figure III.12 : Consommation d'énergie pour un logement type	31
Figure III. 13 : Pile à combustible de la marque Viessmann « Vitovalor 300-P écorché »	32
FigureIII.14 : Principe de fonctionnement d'un piles à combustibles	35
Figure III.15: Méthode bottom-up	39
Figure III.16 : Projection de parc de logements algérien et la population (2000 - 2050)	40
Figure III.17 : Croissance prospective de nouveaux logements a l'horizon 2050	40
Figure III.18: Répartition géographique du nombre de nouveaux logements a l'horizon 2050	41
Figure III.19 : Répartition géographique de la population a l'horizon 2050	42
Figure III.20: Evolution prospective de la consommation d'énergie pour le secteur résidentiel	43

Figure III.21 : Evolution prospective de la consommation en énergie primaire pour le secteur résidentiel (TWh)	44
Figure III.22: Répartition géographique de la consommation l'horizon 2050	45
Figure III.23: Evolution prospective des émissions de CO ₂ pour le secteur résidentiel (Millions tonnes)	46
Figure III.24: Répartition géographique de l'émission de CO ₂ à l'horizon 2050	47
Figure III.25: Gain économique (Millions \$)	48

Introduction Générale

Introduction générale

La consommation mondiale d'énergie est d'environ 10 milliards de tonnes équivalent Pétrole (Gtep) avec une croissance annuelle de la consommation de l'ordre de 2%, selon l'Agence Internationale de l'Energie (AIE). En Algérie, selon le bilan énergétique national publié en 2014, la consommation finale d'énergie en Algérie a augmenté de 7,4%, pour atteindre 55,9 Mtep [1].

Avec cette croissance, le monde aura certainement atteint la limite des réserves prouvées (800 Gtep) à l'horizon 2050. Selon cette tendance, les réserves de pétrole mondiales commenceront à s'épuiser sans doute vers les années 2030 – 2050 et ne pourront satisfaire les besoins mondiaux que pendant 40 ou 50 ans seulement. La période de l'exploitation des réserves du gaz équivalent à peu près à 65 ans [2].

En Algérie, le secteur du bâtiment est le plus gros consommateur d'énergie parmi les secteurs économiques, avec 39% de l'énergie finale totale et 25% des émissions de CO₂ en 2014. Pour cela, l'émergence de politiques en matière d'utilisation des énergies renouvelables, de récupération et de réduction des consommations et de gaspillage d'énergie s'avère indispensable. Actuellement, les puissances de cogénération installées varient entre 5 et 1000 kW électrique et entre 10 et 1000 kW thermique suivant l'ampleur du projet. La cogénération est largement valorisée dans le secteur industriel mais elle est également de plus en plus dans le secteur tertiaire, comme dans les entreprises, hôpitaux, bâtiments administratifs, piscines, hôtels, maisons de repos etc. qui sont des grands consommateurs d'énergie. La cogénération peut aussi être mise en œuvre dans l'habitat individuel. On parle alors de micro-cogénération domestique. Une unité domestique présente, dans la plupart des cas, une puissance électrique de 1kWé avec une puissance thermique variant en fonction de chauffage du logement [3].

Dans le premier chapitre nous avons présenté tout d'abord la Situation énergétique et environnementale algérienne de réserves énergétiques et l'évolution de la production d'énergie totale et de la consommation finale d'énergie totale et par secteur ainsi que les émissions de CO₂ totale et par secteur et Programme National des Energies Renouvelables (PNER).

Le second chapitre sera consacré d'abord aux avancés technologique de la cogénération et ses principes et classification selon l'échelle de puissance ainsi que selon la technologie et leurs domaines d'application. Ensuite un état de l'art de la micro-cogénération qui amènera à sélectionner une technologie de pertinente pour l'équipement d'un bâtiment très performant.

Le troisième et le dernier chapitre sera consacré à l'intégration de la cogénération dans le secteur de bâtiment en Algérie et avec une étude prospective à l'horizon 2050. Ce chapitre se concentre d'abord à l'échelle du secteur résidentiel, afin de dresser la part des consommations énergétiques et des émissions dans le parc de logements. Ensuite, nous définissons les différents scénarios énergétiques, les principaux paramètres et les hypothèses retenus. Enfin, une analyse sera faite pour avoir l'impact de cogénération sur la consommation énergétique, les émissions de CO₂ et l'économie en Algérie à l'horizon 2050.

Finalement, sur la base des résultats obtenus, ce travail sera clôturé par une conclusion où il sera mentionné les perspectives quant à sa continuation ultérieure.

Chapitre I

Situation énergétique et environnementale algérienne

I.1 Introduction

L'accélération de l'activité humaine et l'accroissement des consommations énergétiques, notamment des énergies fossiles, est l'origine de l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES), et particulièrement du dioxyde de carbone (CO₂).

Ce chapitre illustre essentiellement les principaux enjeux de la croissance de la consommation d'énergie. Dans ce contexte, cette partie du travail de recherche expose une analyse rétrospective de l'évolution de la consommation énergétique par secteur d'activité et par source d'énergie, ainsi que de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre qui en découlent. On termine cette partie introductive par un examen rapide de la politique actuelle d'efficacité énergétique en Algérie.

I.2 Situation énergétique

I.2.1. Réserves

La position stratégique de l'Algérie en méditerranée et ses ressources en hydrocarbures sont des partenaires incontournables de la région méditerranéenne et de l'Europe pour satisfaire les besoins énergétiques en gaz naturel, et la figure ci dessous présente les Réserves prouvées fin 2016 [5].

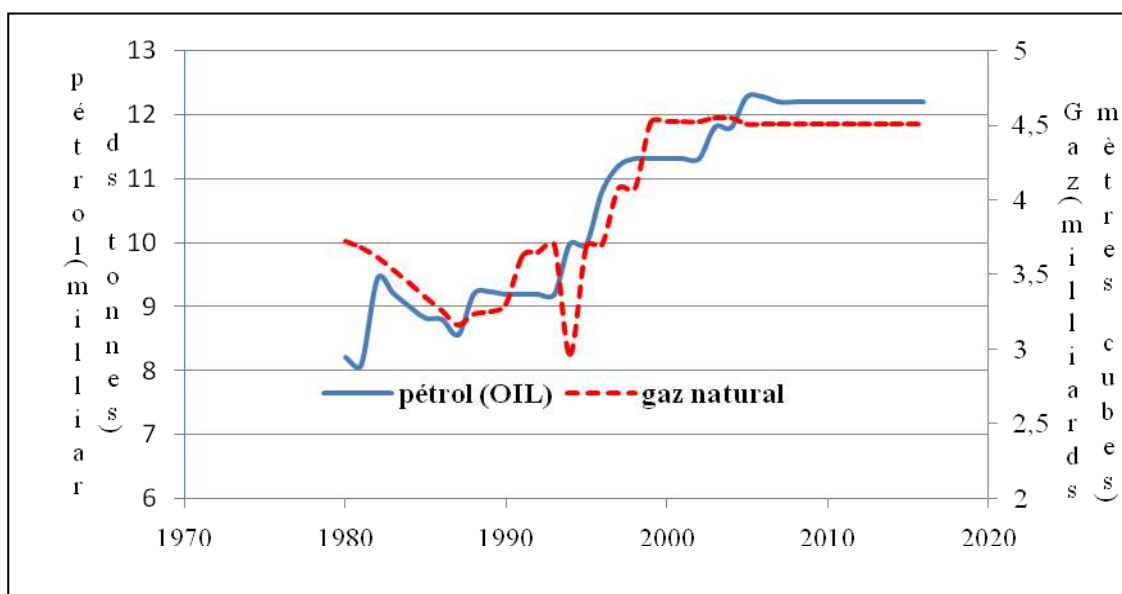


Figure I.1: Réserves prouvées d'hydrocarbures (1980-2016) [5]

En 2014, les réserves prouvées de pétrole ont augmenté à 1.5 milliards de tonnes, alors que les réserves de gaz naturel ont été de 4.52 milliards de mètres cubes [6].

Ces chiffres représentent plus de 0.7% des réserves mondiales de pétrole et de 2.4% des réserves de gaz [7]. L'Algérie se classe au cinquième rang mondial pour les réserves de gaz naturel.

Les réserves d'hydrocarbures non conventionnels (gaz de schiste) sont estimées pour 3 leur part à 700 trillions de m³ ce qui correspond à quatre fois le niveau de ses réserves gazières actuelles et représentant ainsi la troisième réserve plus importante au monde [8].

I.2.2 Production d'énergie

L'énergie primaire est une forme d'énergie trouvée dans la nature qui n'a pas été soumise à tout processus de conversion ou de transformation. C'est de l'énergie contenue dans les combustibles bruts, et d'autres formes d'énergie reçues en entrée d'un système [9]

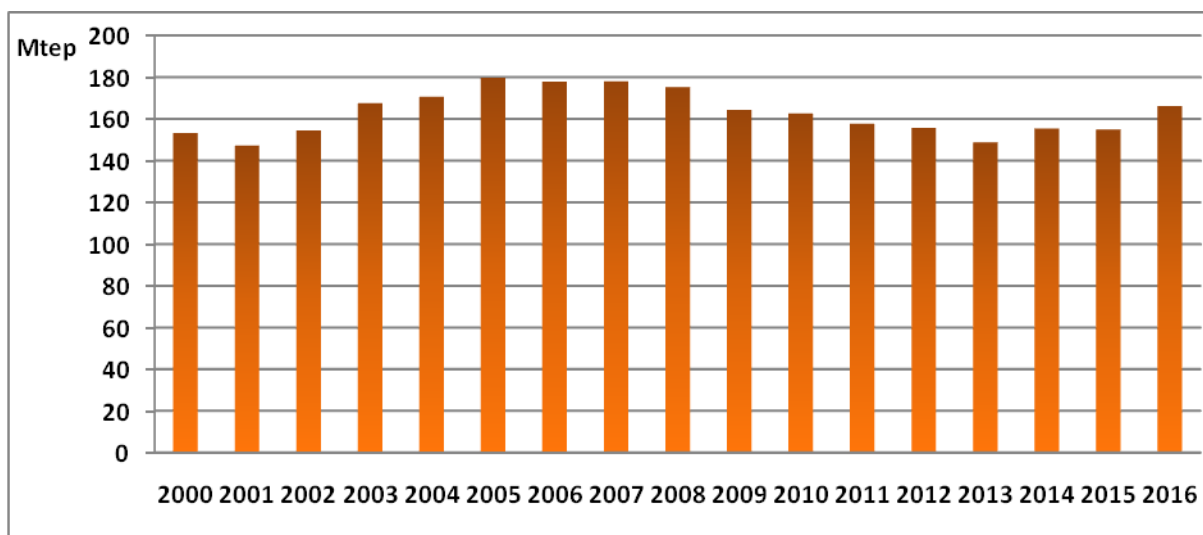


Figure I.2: Production d'énergie en Mtep (2000 - 2016) [9]

La production nationale d'énergie primaire a plus que doublé entre 1976 et 2014 passants de 65 Mtep en 1976 à 166.184 Mtep en 2016. La structure de la production a évolué au profit du gaz naturel. Pour cette même période, la production de gaz naturel a été multipliée par 8, passant de 9.4 Mtep en 1976 à 89.731Mtep en 2016. Cette évolution reflète la mise en adéquation de la structure de l'offre à celle des réserves actuelles. [9]

I.2.3 Consommation d'énergie finale

Les énergies fossiles représentent la part la plus importante de la consommation d'énergie en Algérie. En 2016, la consommation finale est passée de 18.3 Mtep en 2000 à 42.883 Mtep reflétant une croissance de 18 Mtep ou 5.3% [9].

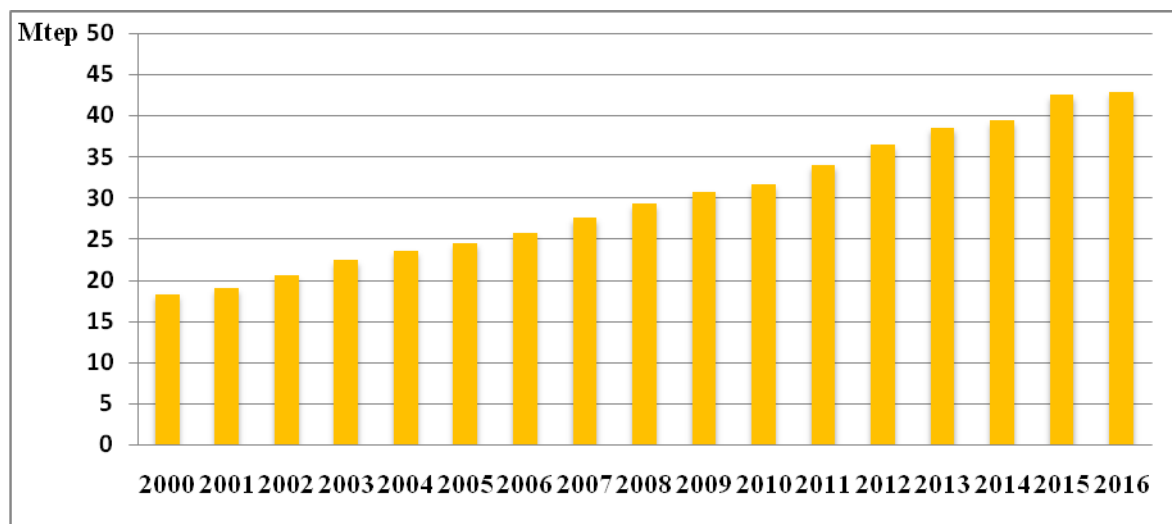


Figure I.3 : Evolution de la consommation d’énergie finale en Mtep [9]

Le secteur ménage et autres représente (résidentiel et agriculture) le grand secteur consommateur d’énergie en Algérie avec un taux de 43%. Dans ce secteur, la consommation s’est accrue de 2.4 % en 2016, pour atteindre 14.196 Mtep due essentiellement à la croissance de la consommation dans le secteur résidentiel (1.9%) en 2016. [10]

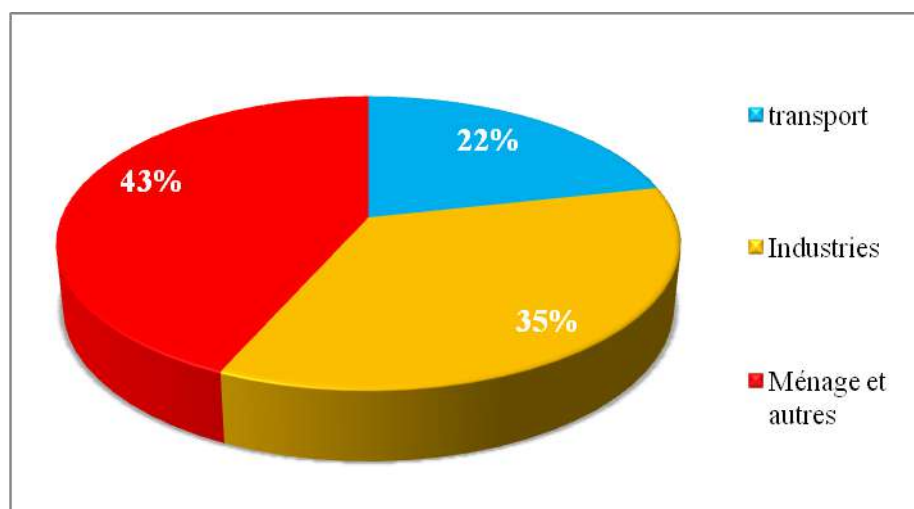


Figure I.4 : Structure de la consommation finale par secteur en 2016 [10]

Le secteur de Industries a atteint 9.242 Mtep en 2016, reflétant une forte hausse de (35%), tirée par l’accroissement de la consommation du l’industries et BTP [6]. Il représente le deuxième secteur le plus énergivore derrière le secteur ménage et autres avec 43% de la consommation d’énergie finale en 2016. La consommation dans le secteur de la fabrication et de la construction a légèrement diminué de 2,8% pour atteindre 14.293 Mtep

Secteurs résidentiel est le premier poste de consommation d'énergie en Algérie devant les secteurs de transports, de l'industrie et de l'agriculture, Au vu de cette analyse.

I.3 Situation environnementale

La production d'énergie à partir de combustibles fossiles est responsable des principales émissions de gaz à effet de serre dans le monde entier. La figure I.5 illustre les émissions de dioxyde de carbone en Algérie [11].

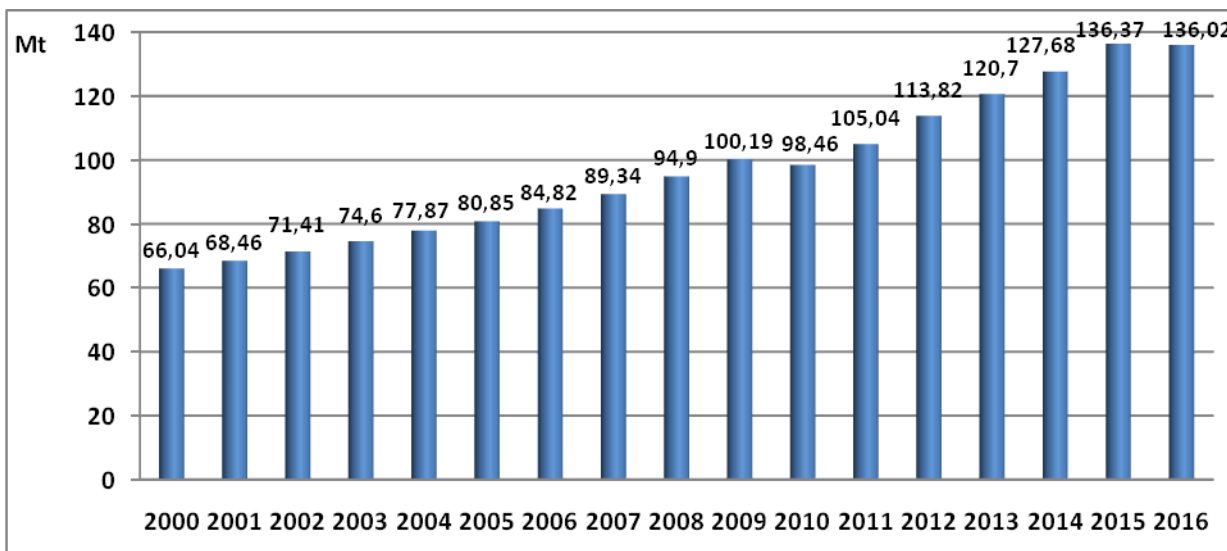


Figure I.5 : Evolution des émissions de dioxyde de carbone en Mt (2000-2016) [11]

En 2016, les émissions se sont établies à 136 Mt (Millions de tonnes) alors qu'elle était de 66 Mt en 2000, soit une hausse de 51,47 % au cours de cette période.

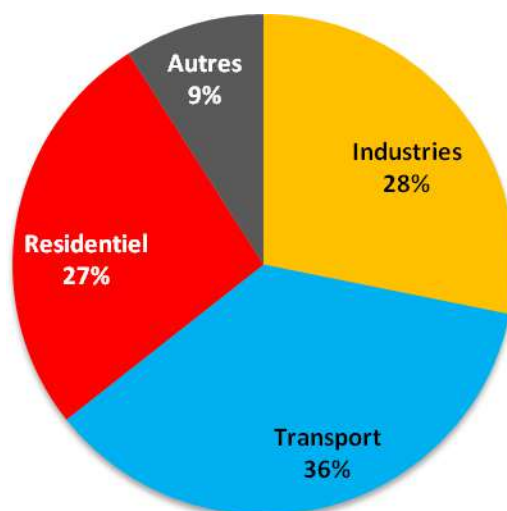


Figure I.6 : Répartition des émissions de dioxyde de carbone par secteur en 2015 [12]

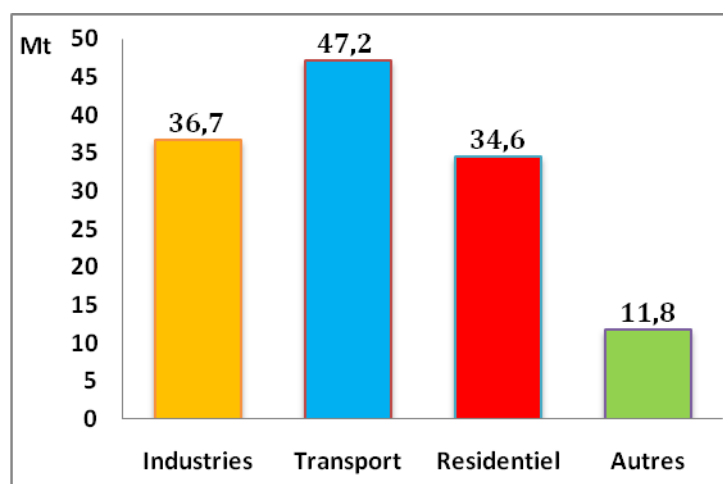


Figure I.7 : Répartition des émissions de dioxyde de carbone par secteur en 2015 [12]

La figure I.7 montre que c'est essentiellement le secteur de transport qui est responsable à plus de un tiers des émissions (36%). Le deuxième secteur émetteur du CO₂ est l'industrie avec un montant de 36,7 Mt (28%) suivi par le secteur résidentiel (27%) avec 34,6 Mt en 2015.

Les voies d'action pour remédier aux problèmes liés à l'approvisionnement énergétique sont globalement orientées vers l'efficacité énergétique et l'utilisation des énergies renouvelables [13]

I.4. Energies renouvelables

Le plan d'action national relatif aux changements climatiques, qui s'inscrit dans le développement durable, vise à protéger l'environnement et les ressources naturelles. Il s'agit de mettre en œuvre des mesures pour limiter l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre et de polluants qui perturbent le climat.

I.4.1 Programme National des Energies Renouvelables (PNER)

a. Objectifs du PNER.

Le Programme national de développement des énergies nouvelles et renouvelables (ER) et d'efficacité énergétique pour la période 2011-2030 ambitionne de produire 40% de la consommation nationale d'électricité à partir des filières solaire et éolienne [14]. Ce programme prévoit l'installation d'une puissance de près de 22,000 MW, avec 12 000 MW destinés à la satisfaction de la demande nationale et 10,000 MW à l'exportation.

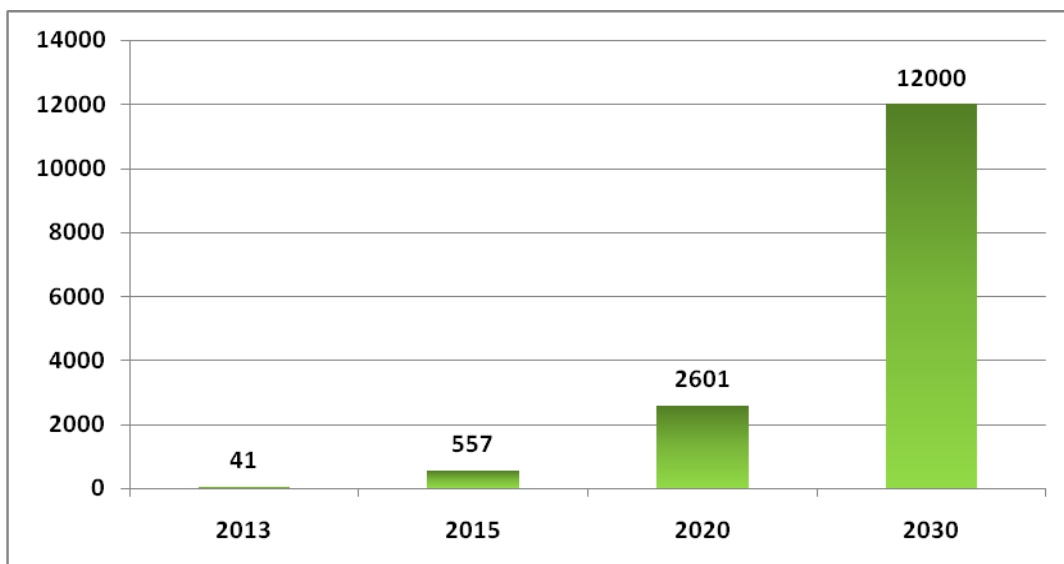


Figure I.8 : Evolution de la production des énergies renouvelables selon le PNER

Le gouvernement a adopté, récemment, un programme de développement des énergies renouvelables dans une version actualisée qui prévoit de produire 22,000 MW sur la période 2015-2030 avec une part de près de 27% dans la production d'électricité. La révision de ce programme porte essentiellement sur le développement du photovoltaïque et de l'éolien à grande échelle, sur l'introduction des filières de biomasse (valorisation des déchets), de la cogénération et de la géothermie et sur le report du développement du solaire thermique (CSP) jusqu'à 2021 en raison de ses coûts encore élevés, précise le ministère [15].

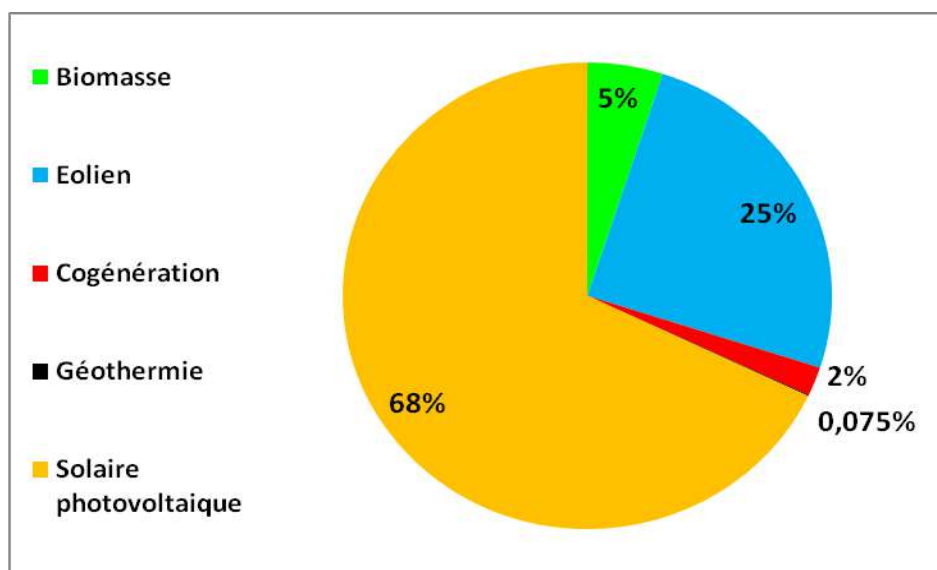


Figure I.9 : Répartition des énergies renouvelables selon le nouveau programme révisé en 2015.

Par filières technologiques, le solaire photovoltaïque participera à la réalisation de ce programme à hauteur de 13,575 MW, l'éolien à 5,010 MW, la biomasse à 1,000 MW, la cogénération à 400 MW et la géothermie à 15 MW. La réalisation de ce programme permettra d'atteindre, à l'horizon 2030, une part de renouvelables de près de 27% dans le bilan national de production d'électricité [15].

I.5. Conclusion

Les énergies fossiles représentent la part la plus importante de la consommation d'énergie en Algérie. En 2016, la consommation finale est passée de 18.3 Mtep en 2000 à 42,8 Mtep reflétant une croissance de 24,5 Mtep ou 57% [1]. Elle est plus doublée en 17 ans. L'utilisation de l'énergie, aux niveaux des différents secteurs et usagers, est la première source d'émissions de gaz à effet de serre. Dans ce contexte, le secteur résidentiel consomme l'équivalent de 25 % et émet en moyenne 21 % des gaz à effets de serre. Il est à ce titre considéré comme la deuxième source d'émissions de CO₂ après les transports. Les bâtiments du secteur résidentiel disposent néanmoins d'un important potentiel d'économies d'énergie et d'atténuation des émissions de CO₂.

Chapitre II

Cogénération

II.1 Introduction

L'amélioration des performances thermiques de l'enveloppe des bâtiments et la limitation des déperditions par renouvellement d'air induisent des besoins de chauffage réduits et concentrés sur de courtes périodes. Les équipements de chauffage conventionnels sont alors plus difficilement rentabilisés, ce qui constitue un frein à la réduction des impacts environnementaux. Un système multi-fonctionnel, assurant à la fois le chauffage, la préparation d'eau chaude sanitaire et en partie la génération d'électricité peut constituer une réponse adaptée aux logements très économes. La production d'électricité est corrélée aux besoins de chauffage, et donc plus importante en période de pointe ce qui est intéressant en terme de bilan environnemental dès lors que la source d'énergie est du gaz naturel ou du bois, par exemple. La production combinée de chaleur et d'électricité — ou cogénération — est un moyen de conversion d'énergie permettant d'atteindre un taux de valorisation de l'énergie élevé. Une unité de cogénération s'intègre aisément au bâtiment et son efficacité globale est supérieure à celle d'une chaudière à condensation. Pour les logements individuels, les petits collectifs ou les petits bâtiments tertiaires performants, les niveaux de puissance requis amènent à s'orienter vers des unités de micro-cogénération [16]

Dans ce chapitre, nous évoquons tout d'abord un rappel des généralités sur la cogénération : définition, classification et les avantages. Ensuite, nous présenterons les différentes technologies de la cogénération pour pouvoir choisir la meilleure pour l'application domestique.

II.2. Généralités sur la cogénération

II.2.1. Définition Cogénération

La cogénération est, de façon générale, la production simultanée d'électricité et de chaleur en utilisant, à la fois, la même solution énergétique de production et le même combustible. La cogénération par rapport à la production séparée permet de récupérer la chaleur contenue dans les gaz évacués dans l'atmosphère par un moteur à gaz ou une turbine à gaz (cycles ouverts) [17]

II.2.2. Principe de cogénération

L'énergie mécanique générée par une turbine ou un moteur est transformée en énergie électrique, donc en production autonome d'électricité. L'énergie thermique provient de la récupération de chaleur (à travers des échangeurs) des gaz d'échappement de la turbine ou du moteur et sur le circuit de refroidissement du moteur [18]

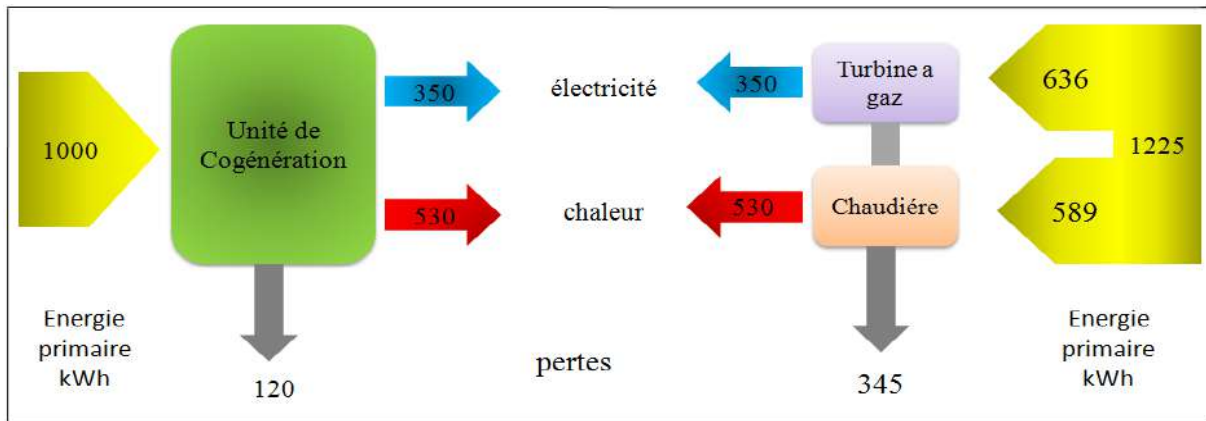


Figure II.1. Principe de la cogénération (les valeurs ne sont données qu'à titre indicatif)

Economie d'énergie primaire devient alors égale à : $1\ 225 - 1\ 000 = 225$ kWh

Exprimée par rapport à la consommation totale d'énergie primaire des filières séparées, la

$$\text{fraction économisée est de : } \frac{225}{1225} =$$

18%



Figure II.2. Comparaison entre centrale électricité et micro cogénération [19]

La cogénération est une technologie qui présente le double avantage de limiter les pertes en ligne et l'investissement dans des lignes à très haute tension. La cogénération présente un grand intérêt économique qui se traduit par une plus grande maîtrise de l'énergie et une réduction des émissions polluantes.

II.2.3. Classification

L'échelle de puissance va de l'unité de micro-cogénération de quelques centaines de watts à la centrale électrique avec réseau de chaleur de plusieurs centaines de mégawatts [20]. La grosse et la moyenne cogénération (1 à 50 MW) sont aujourd'hui très répandues dans les

chaufferies collectives, alors que la mini et la micro (<1 MW) devraient se développer dans les prochaines décennies (probablement avec la pile à combustible)

La cogénération (implicitement de chaleur et d'électricité) existe actuellement dans une large gamme de puissance: de la micro-cogénération dont la puissance électrique est inférieure à 36 kW à la grande-cogénération dont la puissance électrique peut dépasser 12 MW, elle couvre des besoins énergétiques pour diverses applications : quartiers, usines, centres commerciaux, piscines, habitats collectifs, maisons individuelles ou bateaux, etc [21].

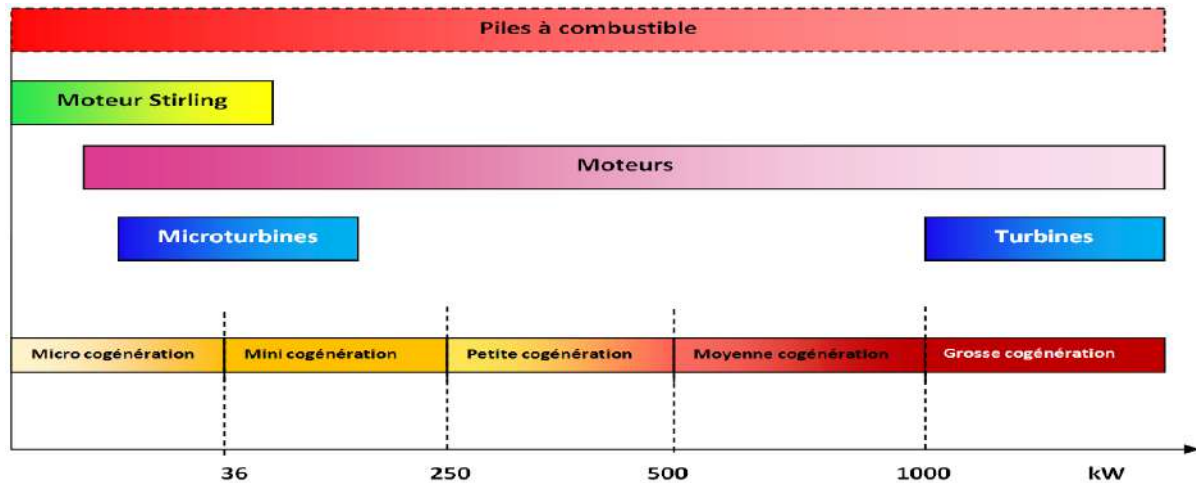





Figure II.3.classification de la cogénération [22].

Pour la cogénération mini-cogénération ou de moyenne puissance, la gamme de puissance électrique est supérieure à 36 kW et ne dépasse pas 250 kW. Elle peut aussi être envisagée pour des applications plus importantes ou lorsque le nombre d'unités de micro-cogénération devient trop important. Pour une puissance électrique entre 250 et 500 kW, la petite cogénération constitue un mode de production de semi-base, son dimensionnement ne pouvant être déterminé en fonction de besoins exceptionnels pour des raisons économiques. La petite cogénération est-elle pour l'essentiel associée à la production de chaleur des bâtiments du résidentiel et du tertiaire. Dans certaines branches, cette petite cogénération est davantage présente en base (secteur hospitalier, branches industrielles). [23]

Tableau II.1 : classification des modules de cogénération [24]

Module cogénération	Type de Moteur	Production électrique	Domaine utilisé	Image de module
Ecogénérateur	Moteur Stirling	1kWe	particuliers et petites chaufferies	
Micro / Mini cogénération	Moteur combustion interne	5kWe – 1 MWe	chaufferies collectives et tertiaire	
Grosse cogénération	MAG ou TAG	Supérieur à 1 MWe (> 1 MWe)	industries	

II.2.4. Avantages de la cogénération

Les avantages de cogénération sont [25]

- Le rendement d'une centrale de production électrique, qu'elle fonctionne au combustible nucléaire, au fioul ou au charbon, ne dépasse guère les 40%, le reste de l'énergie produite étant dispersée dans l'environnement (cours d'eau, atmosphère) sous forme de chaleur. La cogénération fait donc une meilleure utilisation de l'énergie primaire contenue dans le combustible. Le gain en énergie primaire par rapport à des productions séparées d'électricité et de chaleur est de 12 à 30 %.
- La cogénération amène alors à faire des économies d'énergie fossile grâce à sa meilleure utilisation de l'énergie primaire du combustible.
- Le transport sur de longues distances de l'énergie électrique produite de façon centralisée génère d'importantes pertes supplémentaires en ligne, par effet Joule, et implique des infrastructures coûteuses, polluantes visuellement.
- La cogénération, lorsqu'elle se substitue à une production d'énergie à partir de charbon, de pétrole ou de gaz, limite l'émission des polluants et de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

- La production simultanée permet d'optimiser le rendement global d'une installation en minimisant la consommation d'énergies primaires par rapport à des productions distinctes et diminuant les émissions dans l'environnement. Pour illustrer ces propos, la figure 4.1 présente un bilan énergétique d'un système classique de cogénération avec turbine à gaz et d'un système de production séparée d'énergie électrique et thermique.

II.3. Micro-cogénération

II.3.1. Définition

Un système de micro-cogénération est défini comme un système de cogénération dont la puissance électrique nominale est inférieure à 36 kW. La cogénération de petite puissance (micro-cogénération) couvre en général les besoins depuis une maison individuelle jusqu'à ceux d'un groupe de maisons ou d'un petit immeuble, bureau, hôtel, magasin, PME, clinique, piscine, école. Selon la définition européenne (directive 2004/8/CE du Parlement européen), la micro-cogénération couvre une puissance électrique allant jusqu'à 50 kW [20]. Il existe actuellement cinq familles de systèmes de micro-cogénération qui diffèrent par leur système de conversion. Leurs sources d'énergie et leurs rendements typiques sont présentés dans le Tableau 2 suivants :

II.3.2. Principales familles technologiques de micro-cogénération

Tableau II.2 : Principales caractéristique des déferont de micro cogénération [19]

	Cycle moteur à combustion externe (stirling, vapeur, rankine etc.)	Moteur à combustion interne	Pile à combustible
Maturité technique	+++	++++	+
Puissance électrique	1-30 kw	3-36 kw	de 1 kw à kw
Puissance thermique utile	6-300 kw	8-70 kw	0.5 à 2 kw
Puissance global (PCI)	90- 107%	80 à 100%	85- 95%
Ratio E / C (électricité / chaleur utile)	de 1/10 à 1/5	de 1/3 à 1/2	de 1/2 à3
Efficacité sur énergie primaire	115 à 130 %	130 à 145%	140 à 180 %

ATOUTS	Compatible tous combustibles intégration thermique faibles émissions faible maintenance.	Maturité technologique, ratio E/C élevé	Ration E/C très élevé même à très faible puissance, très silencieux
LIMITES	Faible ratio E/c technologique	Emission, bruit, faible intégration maintenance moteur	Prix, durée de vie

II.3.2.1. Moteurs à combustion interne

Il s'agit d'un moteur à explosion classique, couplé mécaniquement à un alternateur produisant de l'électricité. La chaleur des gaz d'échappement à 500°C peut être récupérée à plus de 70% par refroidissement à 120°C pour les moteurs à gaz et 200°C pour les moteurs à diesel. La chaleur de l'eau de refroidissement et de l'huile du moteur à ~100°C peut être entièrement récupérée, alors que la chaleur de refroidissement du turbo à 55°C l'est plus difficilement (dans les moteurs à gaz). [26]

La récupération de chaleur de ce type de moteur se prête bien à des utilisations à des températures inférieures à 100°C, bien qu'une petite quantité de vapeur puisse néanmoins être générée (gaz d'échappement). Les moteurs à combustion interne sont bien adaptés à des applications de cogénération dans le secteur résidentiel. Les niveaux de température obtenus et les puissances caractéristiques sont compatibles avec ces usages. [26]

II.3.2.2. Moteurs à combustion externe (cycle de Stirling)

Les principes de fonctionnement et les premières applications du moteur à combustion externe de type Stirling remontent au XIXème siècle. Ce moteur est aujourd'hui réétudié avec intérêt pour les perspectives qu'il ouvre dans le domaine de la micro cogénération.

Les développements récents permettent d'espérer des puissances électriques caractéristiques égales voire inférieures au kW. Ce moteur présente l'avantage d'être silencieux (pas d'explosion) et de pouvoir être alimentés par tous types de combustibles (combustion externe). Par contre, les temps de démarrage sont relativement longs, inconvénient que ne présentent pas les moteurs à combustion interne. [26]

Les rendements électriques caractéristiques sont de l'ordre de 15% et les rendements thermiques de l'ordre de 75% ce qui porte donc le rendement global du cycle thermodynamique à 90%. [26]

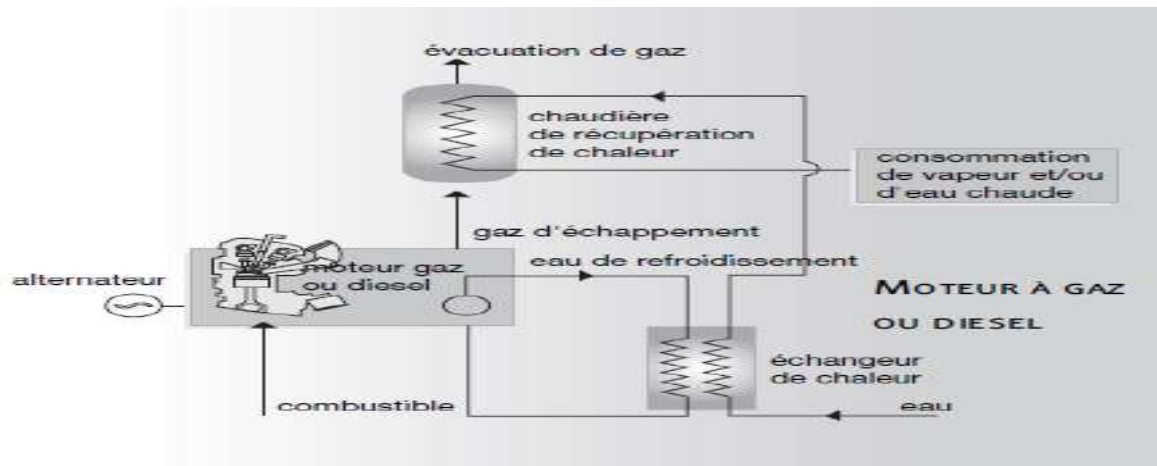


Figure II.4. Les moteurs à combustion externe [27]

II.3.2.3. Piles à combustibles

La pile à combustible (fuel cell) est également promise à un bel avenir dans la cogénération résidentielle. Là aussi, on attend des développements technologiques abaissant les seuils de puissance électriques caractéristiques aux environs du kW. A ces niveaux de puissance, on devrait pouvoir équiper des ménages individuellement [26]. Cette technologie sera décrite en détails dans le chapitre 3.

II.3.2.4. Turbines à gaz

Le gaz utilisé (gaz naturel généralement) est brûlé dans une chambre de combustion alimentée en air sous pression en provenance d'un compresseur. Les gaz produits sont introduits dans une turbine où leur énergie est transformée en énergie mécanique pour l'entraînement du compresseur d'air et d'un générateur d'électricité. La turbine à gaz peut aussi être alimentée par du fuel.[26]

L'énergie résiduelle, sous forme de gaz chauds (environ 500 °C), peut être utilisée pour rencontrer des besoins de chaleur (vapeur ou eau chaude). Une post-combustion éventuelle de ces gaz, fortement chargés en oxygène, permet d'obtenir plus de chaleur, de moduler la production de calories en fonction des besoins et d'augmenter le rendement global de l'installation. Contrairement aux moteurs, la turbine à gaz se prête très bien à la production de vapeur à haute température (110 bar / 525 °C).[26]

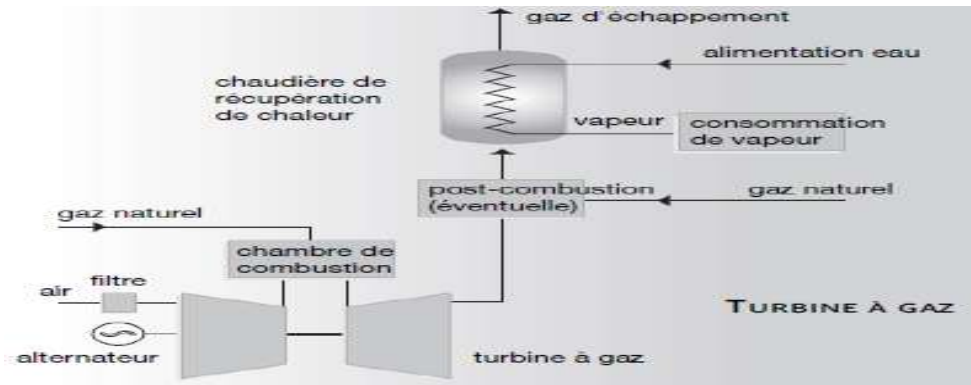


Figure II.5. Turbine à gaz [27]

Le rendement électrique d'une turbine à gaz varie entre 19% et 38% voire 40% pour les meilleures réalisations dérivées de la technologie aéronautique. Cependant, les rendements électriques élevés sont actuellement réservés aux turbines à gaz de forte puissance (plusieurs dizaines de MW). [26]

II.3.2.5. Turbines à vapeur

Dans ces turbines, l'énergie mécanique actionnant l'alternateur est fournie par la détente de vapeur haute pression produite dans une chaudière conventionnelle, utilisant n'importe quel combustible (combustion externe). La chaleur est récupérée à la sortie de la turbine, soit sous forme liquide, soit sous forme de vapeur. Ces installations qui produisent beaucoup de chaleur et peu d'électricité (15 à 25%), sont réservées à des applications spécifiques permettant de valoriser n'importe quel combustible, y compris des combustibles "résiduels". Elles sont également utilisées pour des applications industrielles d'une puissance suffisante dont les besoins en chaleur sont élevés (sucreries et industrie agro-alimentaire en général, industrie textile,...). [26]

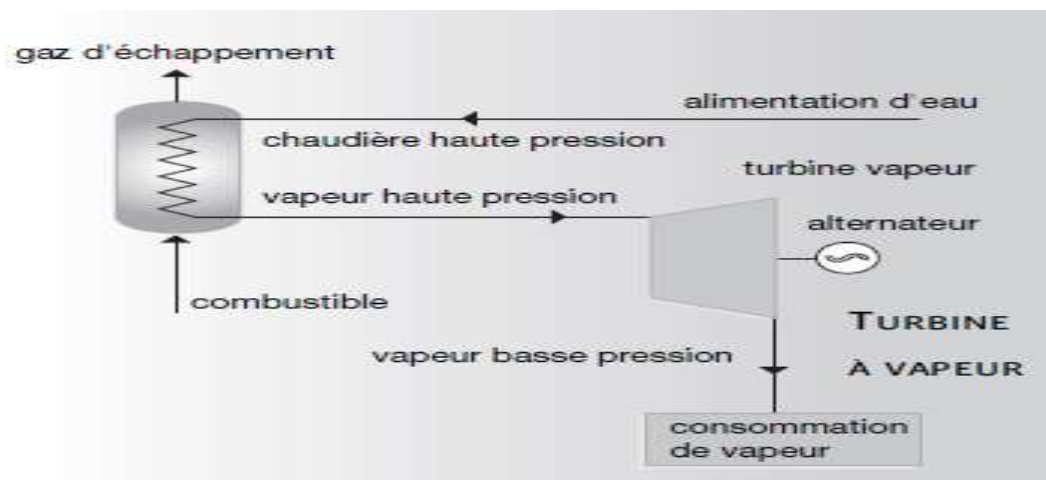


Figure II.6. Turbine à vapeur [27]

Cette technologie peut aussi être mise en œuvre pour le secteur résidentiel dans le cas des réseaux de chauffage urbain. Ceux-ci nécessitent néanmoins de gros investissements. De plus, il n'est pas évident que le gain en énergie primaire soit réel à cause des pertes importantes que peut présenter le circuit de distribution. Une gestion professionnelle et un entretien régulier sont nécessaires pour garantir une bonne efficacité énergétique de l'ensemble du dispositif. [26]

II.3.3. Utilisation de micro-cogénération

Imaginer un mini central électrique chez soi ou pour un magasin, hôtel, bureau ou PME ? Cela peut sembler paradoxal ; cependant cela est non seulement envisageable, mais aussi faisable, car de tels équipements sont commercialisés aujourd'hui. [28]

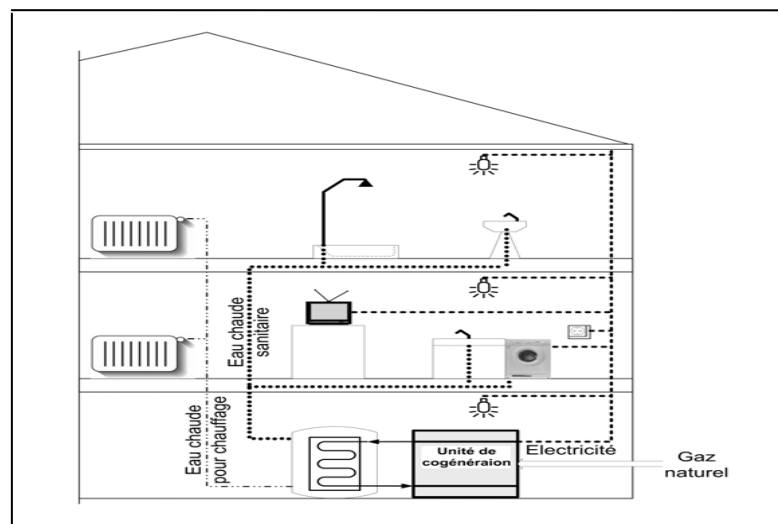


Figure II.7: Utilisation de la micro-cogénération à l'échelle d'une maison individuelle. [28]

Comment peut se présenter une unité de micro-cogénération intégrée à une habitation ? (La figure II.7) montre une unité alimentée au gaz naturel et fournissant électricité, eau chaude pour le chauffage et eau chaude sanitaire. La micro-cogénération peut aussi s'envisager pour des applications « mixtes » combinant divers types d'habitations et/ou d'activités. [28]

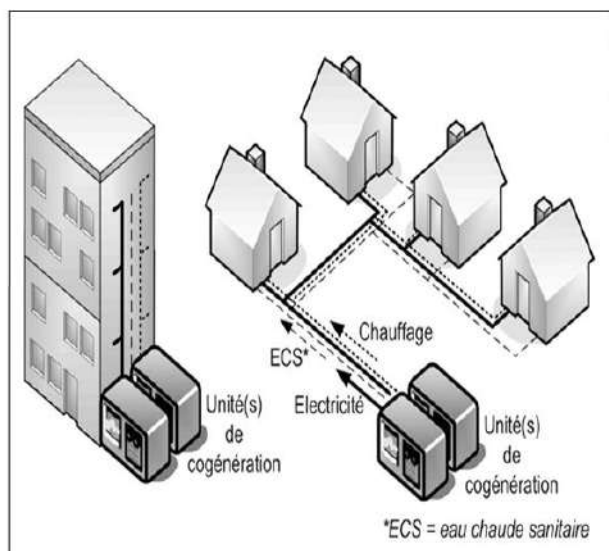


Figure II.8 : La micro cogénération pour plusieurs habitations [28]

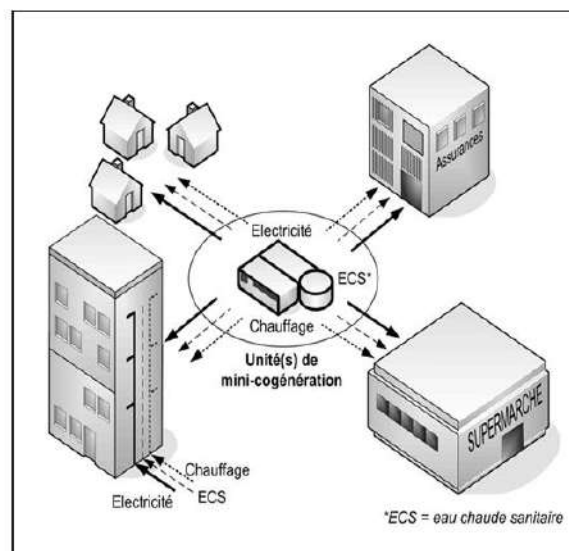


Figure II.9: La micro-cogénération en utilisation mixte. [28]

(La figure II.8) montre un exemple d'habitations individuelles ou collectives. Une autre option est d'avoir la ou les unité(s) de micro-cogénération centralisées localement (figure. II.9). Cette diversification permet de mieux optimiser la production d'énergie par rapport aux besoins en utilisant plusieurs unités de micro-cogénération, si nécessaire [28]

II.4. Textes législatifs et réglementaires

Avec l'adaptation du programme national de développement des énergies nouvelles et renouvelables et de l'efficacité énergétique pour la période 2011-2030, le cadre réglementaire actuel a connu différentes modifications par le choix d'un nouveau mécanisme d'encouragement et la proposition d'un nouveau dispositif réglementaire.[29]

- Décret exécutif n°13-218 du juin 2013 : fixant les conditions d'octroi des primes au titre des coûts de diversification de la production d'électricité.
- Décret exécutif n°13-424 du 18 décembre 2013 : modifiant et complétant le décret exécutif n° 05-495 du 26 décembre 2005 relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie.
- Arrêtés ministériels du 02 février 2014 : fixant les tarifs d'achat garantis pour la production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables ou de cogénération et les conditions de leurs applications.

L'Art. 21 autorise, sous réserve des dispositions légales et réglementaires en matière d'environnement, toute personne physique ou morale et notamment les collectivités territoriales à exploiter toute nouvelle installation de valorisation énergétique des déchets ménagers ou assimilés ou toute nouvelle installation de cogénération ou de récupération d'énergie provenant d'installations visant l'alimentation d'un réseau de chaleur lorsque ces nouvelles installations se traduisent par une économie d'énergie et une réduction des pollutions atmosphériques.[29]

Selon l'Art. 95, les producteurs utilisant les énergies renouvelables et/ou la cogénération peuvent bénéficier de primes. Ces primes sont considérées comme coûts de diversification conformément à l'article 98 ci-dessous.[29]

L'Art. 2 autorise l'exploitation des installations de production d'électricité lorsque l'énergie produite est destinée à la commercialisation, exception faite des installations de production objet de l'article 12 de la loi n° 02-01 du 22 Dhou El Kaada 1422 correspondant au 5 février 2002, susvisée. L'autorisation d'exploiter concerne :[29]

- toute installation de production d'électricité dont l'énergie est destinée à la commercialisation.
- toute installation dont la puissance installée est supérieure ou égale à 25 MW ; tout aménagement ou extension de l'installation engendrant une augmentation de plus de 10% de la capacité installée ; toute extension de capacité de l'installation faisant passer d'un régime de déclaration à un régime d'autorisation.
- toute installation de valorisation énergétique des déchets ménagers ou assimilés, de cogénération ou de récupération d'énergie dont la puissance installée est supérieure ou égale à 25 MW. Pour des puissances installées inférieures à 25 MW, les installations sont soumises à un régime de déclaration lorsque l'énergie produite est destinée à l'autoconsommation. On entend par puissance installée d'une installation de production d'électricité: la somme des puissances nominales aux conditions ISO de l'ensemble des équipements de production implantés sur un même site.

Selon l'Art. 17, pour l'électricité produite à partir d'installation de cogénération de vapeur et/ ou d'eau chaude, le montant s'élève à 160% du prix par kWh de l'électricité tel qu'élaboré par l'opérateur du marché défini par la loi n° 02-01 du 22 Dhou El Kaada 1422

correspondant au 5 février 2002, susvisée, en tenant compte d'une production d'énergie thermique utilisable de 20% de l'ensemble des énergies primaires utilisées. [29]

Selon cet article, les capacités de production en électricité ne doivent pas dépasser les 50 MW. Pour les installations produisant moins de 20% d'énergie utilisable, la prime sera réduite de 25% par tranche, de 5% d'énergie thermique en dessous de 20% en tenant compte d'un minimum de production d'énergie thermique de 10% : [29]

- pour une production d'énergie utilisable de 15 à 19% la prime sera de 120%.
- pour une production d'énergie utilisable de 10 à 15% la prime sera de 80%.
- pour une production d'énergie utilisable inférieure à 10% la prime sera nulle.

II .5. Conclusion

Ainsi que nous l'avons vu, les piles à combustible apparaissent comme d'excellentes solutions technologiques pour les applications cogénération. À ce jour, dans le cas de la micro-cogénération domestique, la majeure partie des ventes de nouveaux systèmes concernent les technologies pile à combustible. Il est donc légitime aujourd'hui de dire que cette technologie a désormais atteint la maturité technico-économique, en particulier, grâce aux incitations publiques de certains pays (Algérie) qui ont permis la percée de ces technologies auprès du grand public en dépit d'un coût d'investissement plus élevé que les produits concurrents. La production décentralisée de l'électricité par la micro cogénération dans le secteur de bâtiments est une solution qui permet premièrement d'économiser l'énergie et préserver les réserves fossiles et deuxièmement de réduire les émissions du CO₂.

Chapitre III

Intégration de la cogénération dans le secteur de bâtiment algérien

III .1 Introduction

La cogénération est une production combinée d'énergie électrique et thermique à partir d'une même source d'énergie primaire. Elle se réalise par récupération de la chaleur dégagée lors de la production d'électricité et permet ainsi une économie d'énergie primaire par rapport à une production découplée. Comme définit par l'Europe, le critère de qualité pour une cogénération est un minimum d'économie d'énergie de 10% par rapport à la production séparée. Ainsi, à partir d'une économie de 10%, on considère que l'électricité produite est de « l'électricité verte » et la cogénération est dite à « haut rendement » [3].

L'objectif de ce chapitre est d'estimer le potentiel théorique de la coproduction d'électricité et de la chaleur dans le secteur résidentiel, c'est-à-dire la capacité maximale de cogénération qu'il serait techniquement possible d'installer et l'évolution du parc de cogénération d'ici 2050.

Après une étude de faisabilité d'un système de cogénération dans un logement type en Algérie et qui est pris comme système de référence, nous étudions une projection national de la production d'énergie (électricité et chaleur) aux niveaux du parc (nouveaux logements) qui présente un potentiel énergétique important à ne pas négliger. Enfin nous définissons les différents scénarios énergétiques, les principaux paramètres et les hypothèses retenus pour montrer la pertinence dans l'analyse de l'impact de cogénération dans la consommation énergétique, les émissions de CO₂ et l'économie en Algérie à l'horizon 2050.

III.2. Méthodologie

III.2.1. Définition

La prospective est considérée comme un ensemble de techniques d'aide à la décision, dans le but d'accompagner les décideurs dans la sélection et l'approbation d'une ou plusieurs actions. La prospective peut s'intégrer à toutes sortes de disciplines. En effet, au regard de certaines situations d'incertitude, l'éventail des domaines contraints de se servir de cette démarche dans leurs prises de décision est vaste [30].

III.2.2. Modèles de prospective énergétique

Modèles sont classés en six catégories [13]

- Modèles macro-économétriques
- Modèles multi agents

- Modèles d'équilibre général calculable
- Les réseaux bayésiens,
- Modèles d'optimisation centralisée,
- Modèles de dynamique des systèmes.

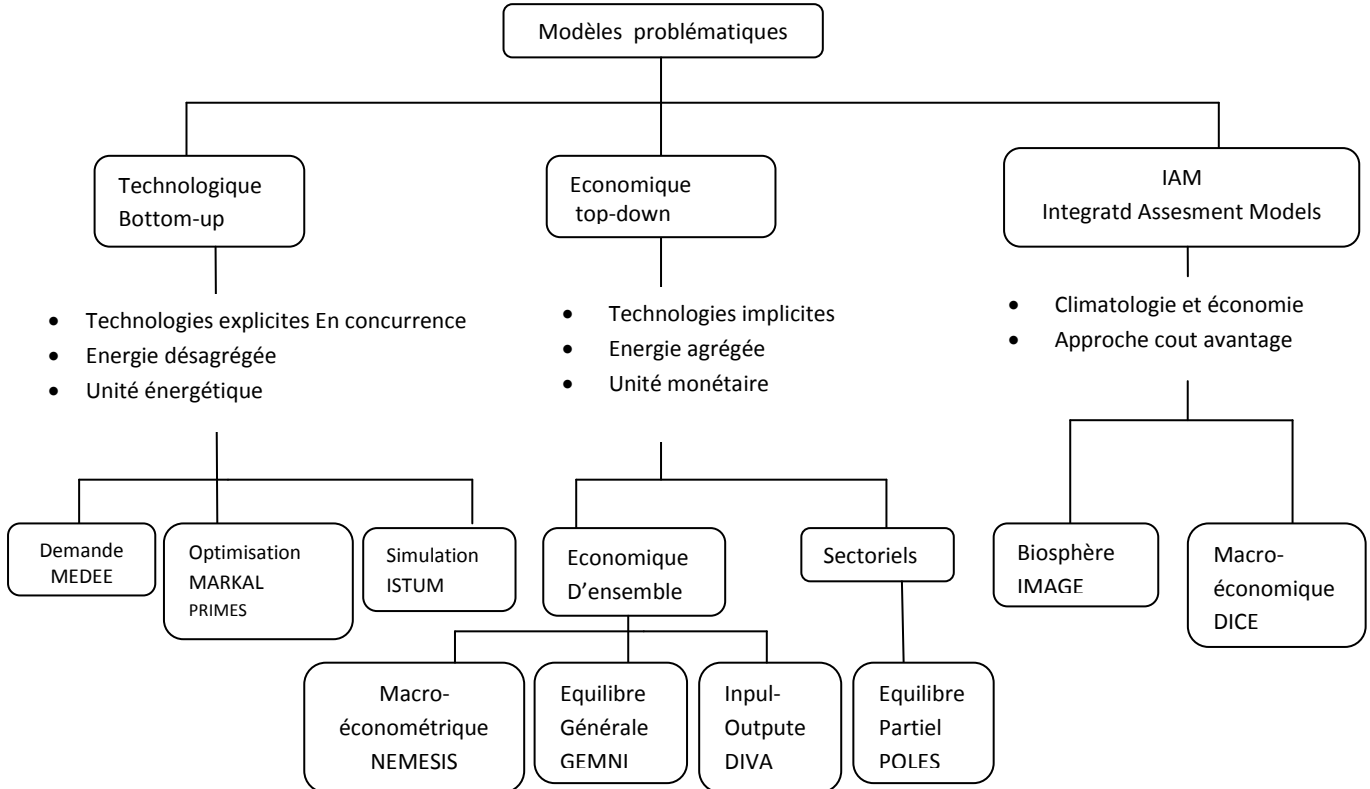


Figure III.1 Classification de modèles de prospective [31].

L'ensemble de ces modèles se répartit en trois grandes familles de modèles « Top-down », « Bottom-up » et « intégrés ». La différence essentielle des deux approches « Top-down » et « Bottom-up » réside dans la description technologique détaillée de la représentation du système énergétique pour l'approche Bottom-up, et la description théoriquement cohérente de l'économie générale pour l'approche Top-down [32] [13].

III.3. Logiciel utilisé : ArcGIS 10.2

ArcGIS Desktop comprend une suite d'applications intégrées : ArcMap, ArcCatalog et ArcToolbox. A l'aide de ces trois applications, vous pouvez effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus avancée, y compris la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, la mise à jour des données et le géo traitement. De plus, ArcGIS 10.2 vous donne l'accès à une abondance de données et ressources spatiales par le biais des services ArcIMS sur internet. ArcGIS Desktop est un système complet, intégré et à géométrie variable conçu pour répondre aux besoins d'une grande variété d'utilisateurs SIG [33].

III.3.1. Définition du SIG (Système d'information Géographique)

Un système d'informatique qui stocke géographiquement des données référencées, le relie avec des attributs non graphiques (données dans les tableaux) permettant un large éventail d'informations traitement comprenant manipulation, analyse et la modélisation. Un SIG aussi fournit l'affichage de la carte et production.

SIG est un outil puissant utilisé pour la cartographie informatisée et l'analyse spatiale. Un SIG fournit des fonctionnalités pour capturer, stocker, interroger, analyser, afficher et produire des informations géographiques.

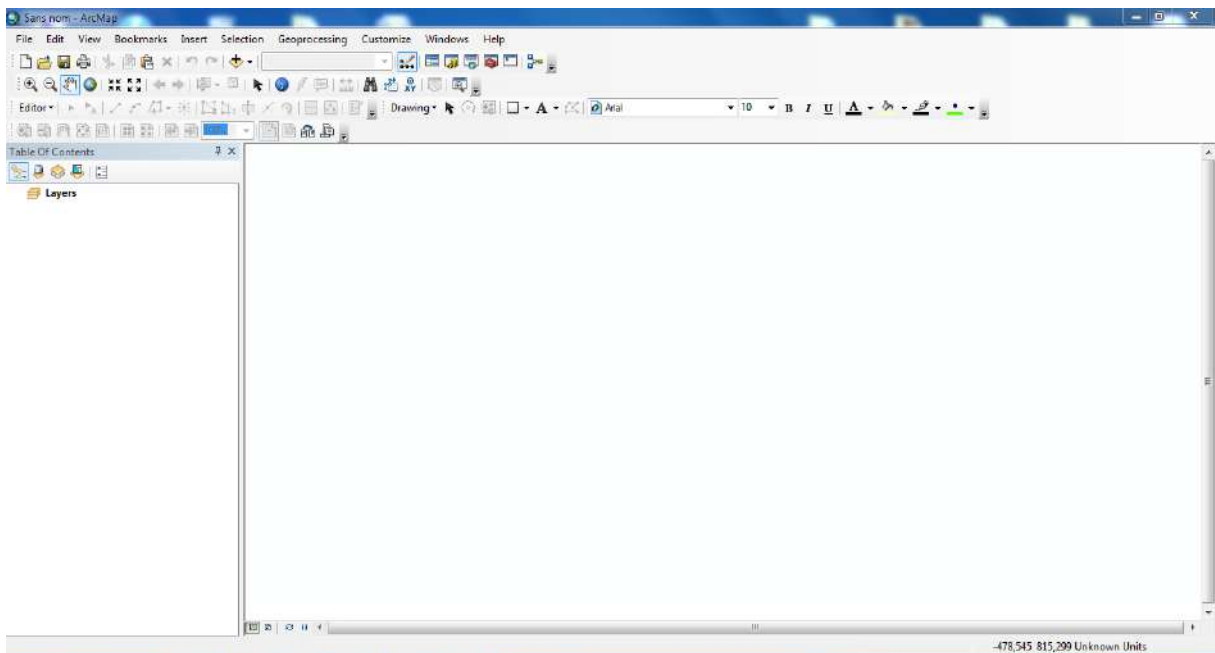


Figure III .2 présentation de l'interface Arc Map .

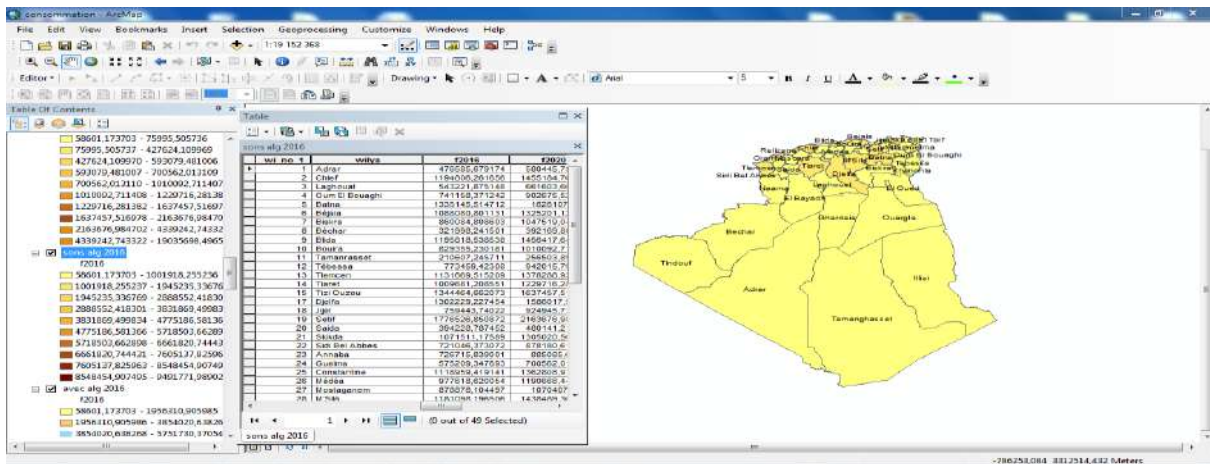
III.3.2. Etapes de travail

Deux Etapes principales ont été suivie pour réalisée la carte de consommation

1. **Assurer les données :** Consommation d'énergie primaire par willaya (2016 – 2050)

wi_no	Willaya	F2016	F 2020	F 2030	F 2040	F 2050
1	Adrar	1511676	1785706	2708250	4007404	6229399
2	Chlef	3789790	4476788	6789617	10297314	15617181
3	Laghouat	1723038	2035384	3086918	4681701	7100393
.....
48	Relizane	2746335	3244180	4920211	7462123	11317254

2. **Injecter la page Excel :** Injecter la page Excel dans Arc SIG et suivre les instructions requis, nous obtenons les résultats suivants :



III.4 Démographie et parc de logements

III.4.1 Population

Selon l'Office National des Statistiques (ONS), le nombre d'habitants pour l'année 2015 est estimé à environ 40 millions d'habitants avec un taux de croissance démographique d'environ 1.43%.

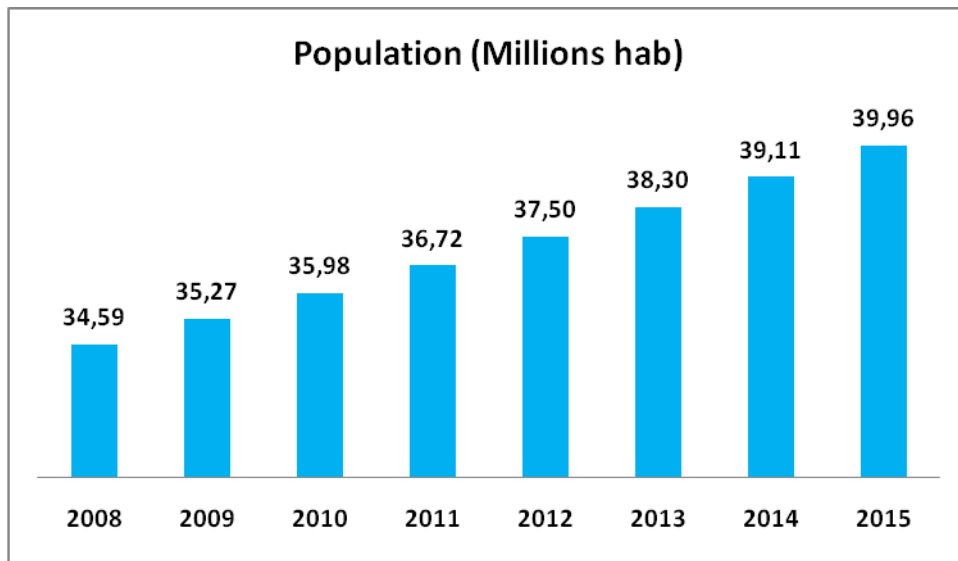


Figure III.3. Evolution rétrospective de la population [34]

Cette population est concentrée essentiellement dans le nord, qui représente environ 65% de la population globale. D'où un très fort taux d'urbanisation dans cette région et une densité d'occupation dépassant 300 hab/km² [34]. Entre 2008 et 2015, la population algérienne est passée de 34,59 à 39,96 millions d'habitants, entraînant en même temps, une augmentation de la consommation d'énergie.

III.4.2. Parc de logements

La Figure III.4 montre l'évolution du parc de logements en Algérie depuis 2000 jusqu'à 2015. En 2015 le nombre de logements s'élève à plus de 8 millions unités. Le parc national de logements a atteint 8.325.186 logements en fin 2014. Il atteindra à fin 2019 un nombre de 9.900.000 logements, enregistrant une augmentation de 18,92%. Comparativement au parc à fin 2009 évalué à 7.281.121 logements, cette augmentation n'était que de 14,34% entre 2009 et 2014[35].

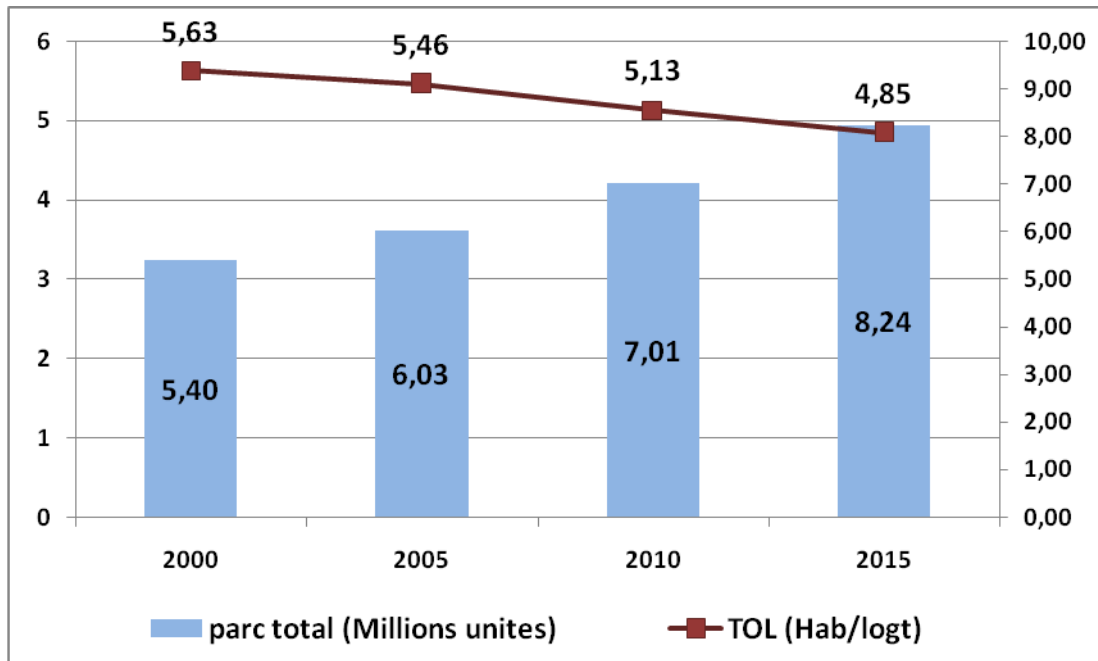


Figure III.4. Evolution du parc de logements en Algérie [36]

Parallèlement à cette évolution du parc logements, il est important de souligner que l'indice de confort que représente le taux d'occupation du logement (TOL), est passé de 4,89 personnes par logement à la fin de l'année 2009 à 4,55 à fin 2014 enregistrant une diminution de 0,34 (TOL)[35]. A fin 2019, pour un parc estimé à 9,9 et une population de 41 millions selon les projections de l'ONS à horizon 2030, le TOL serait de 4,14 personnes par logement, enregistrant une diminution de 0,41 point et améliorant d'autant les conditions d'habitat [35].

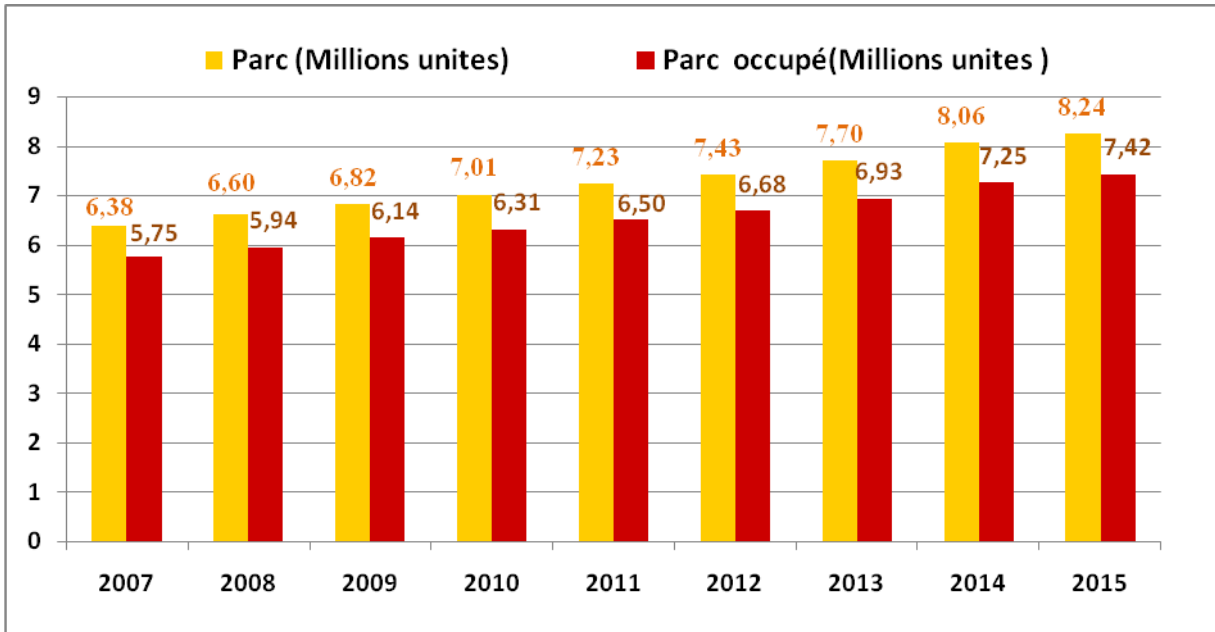


Figure III. 5 : Evolution rétrospective du parc de logements [37]

Parc totale est augmenter en parallèle avec l'augmentation de population ou' le nombre de logements en 2007 est 6.30 million et en 2015 est 8.24 million avec un taux de croissance annuel plus de 3% par an. Parc occupé représente 90% du parc totale, en 2007 est 5.75 million est en 2015 7.42 million.

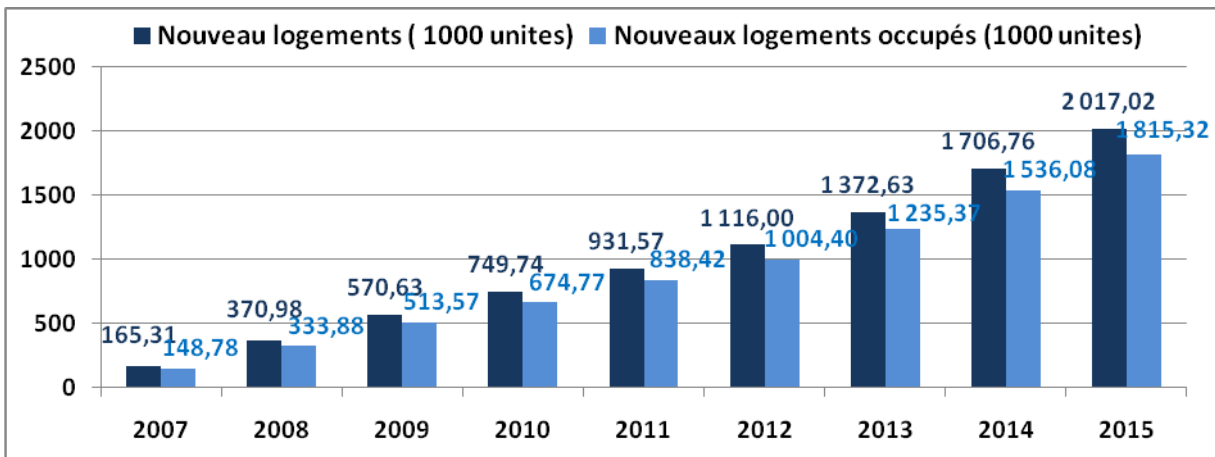


Figure III.6 : Evolution rétrospective du nombre de logement (1000 unités). [37]

Les nouveaux logements totaux livrés en 2007 est 165.31 (1000 unités) à 2017.02 en 2015. Le nombre de nouveaux logements occupés a été rincé de 148.78 (1000 unités) maisons en 2007 à 1815.32 en 2040.

III.5. Consommation d'énergie

L'électricité est largement produite à partir de gaz en Algérie (le gaz couvre 97 % de la demande en électricité en Algérie). La puissance installée du parc national de production d'électricité a atteint 17,238.6 MW en 2015 reflétant une croissance de plus de 4% et en hausse de 16% par rapport à 2012 [1].

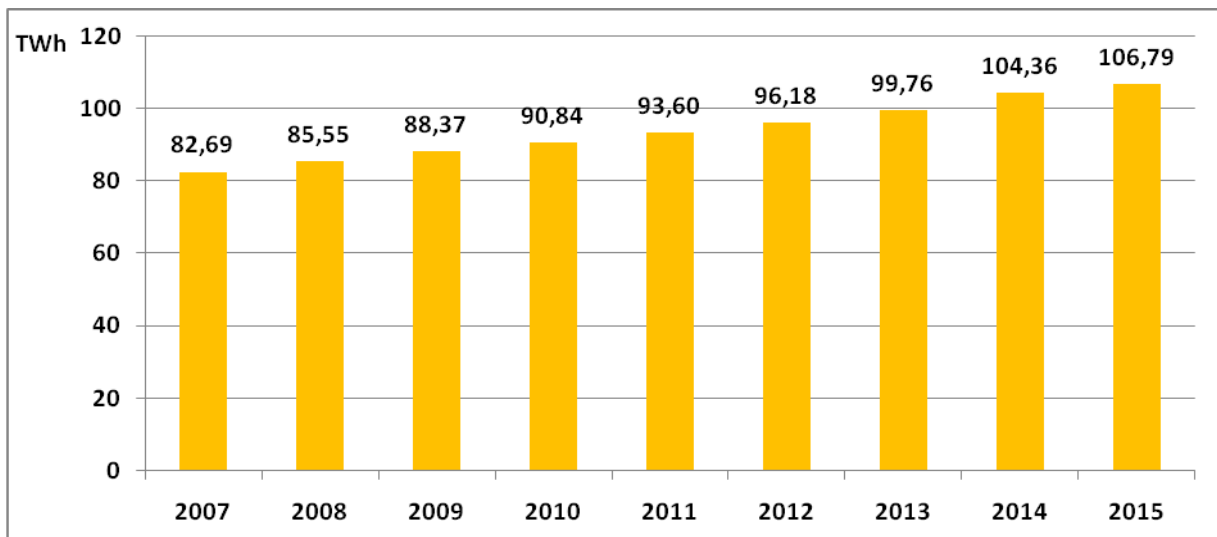


Figure III.7. Evolution de la consommation d'énergie Electrique en TWh.

Selon la figure III.8 ci dessous la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel algérien a évolué passant de 8,86 Mtep en 2010 a presque 14 Mtep en 2015 cela représente une augmentation de 5Mtep en 5 ans pour arriver a 14,2 Mtep en 2016.

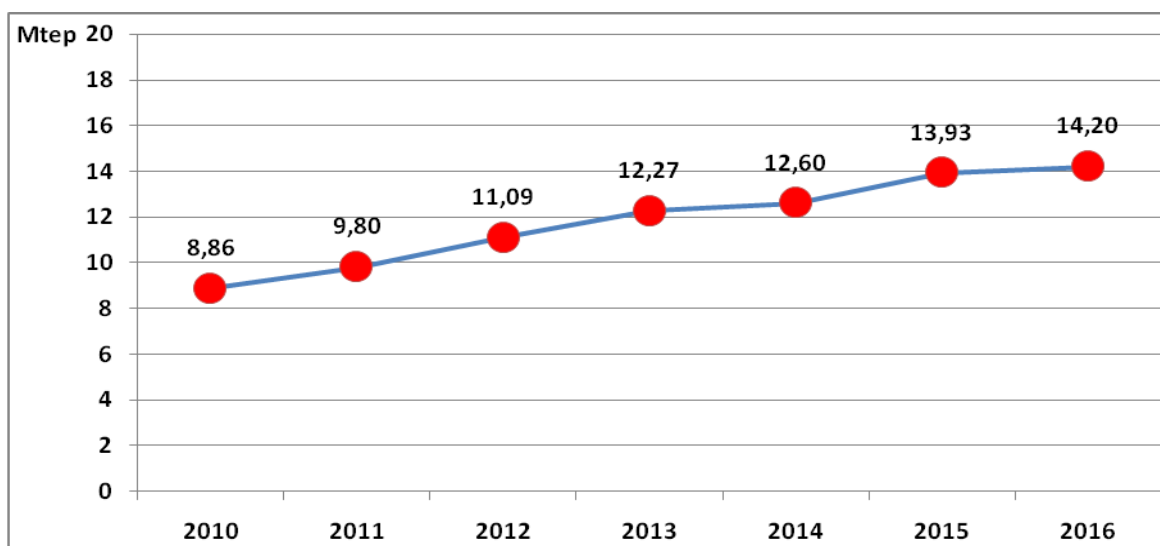


Figure III .8 Consommation d'énergie finale dans secteur résidentiel en Mtep [38]

III.6. Emissions du CO₂ dans le secteur résidentiel algérien

Selon la figure III.9 ci-dessous l'évolution des émissions du CO₂ dans le secteur résidentiel Algérien entre 2010 et 2015.

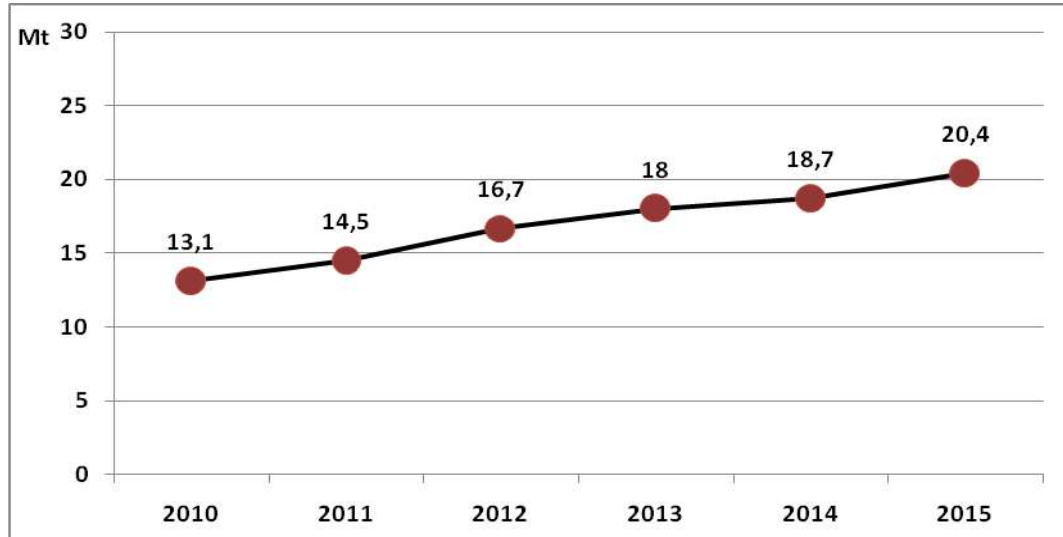


Figure III .9 Emissions du CO₂ dans le secteur résidentiel [39]

III.7. Micro-cogénération dans un logement type

III.7.1. Présentation et description du logement étudié

Un type de logement unifamilial a été choisi pour effectuer des simulations thermiques (figure 10); superficie totale de 80 m², et avait une superficie totale utilisable de 40 m², avec 3 m de hauteur de mur, la zone de mur impliquer deviennent 54 m² [40].

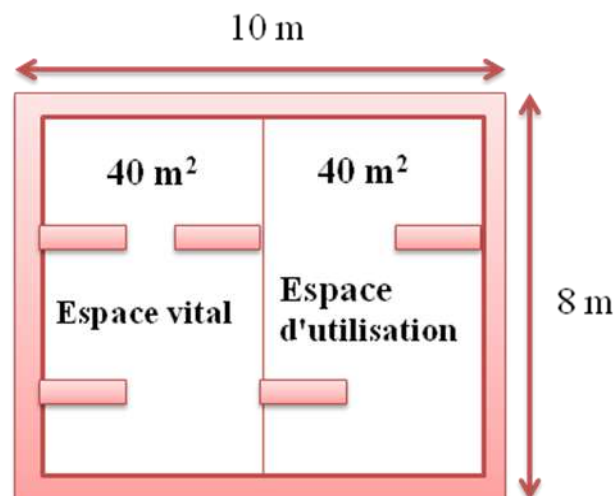


Figure III.10: Description du logement type [40]

La structure de la paroi est composée de 2 cm de ciment externe, de 10 cm de briques, de 5 cm d'air, de 15 cm, d'un bloc de briques et d'un plâtre interne de 1,5 cm (figure III.11).

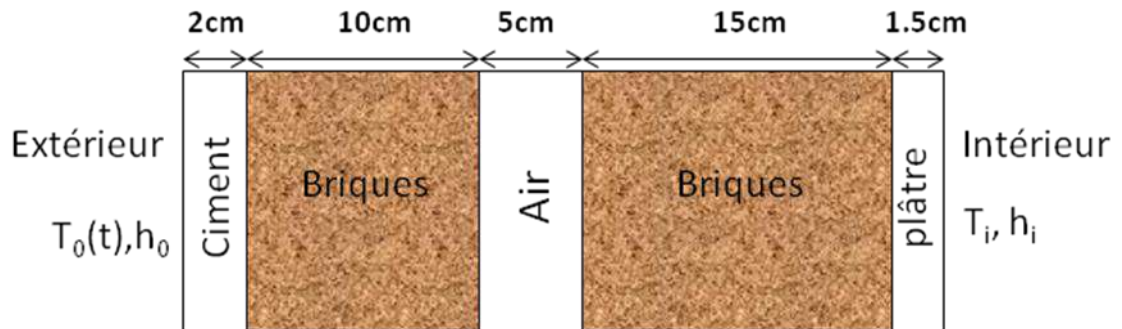


Figure III.11: Mur typique. [40]

III.7.2. Besoins énergétiques du logement type

Tableau III.1 : Consommation énergétique annuelle moyenne des appareils ménagers en Algérie [40].

Bilan énergétique tous usages 80 m ²	Bilan énergie			Bilan carbone	
	E _{finale} KWh/an	E _{primaire} KWh/an	E _{primaire} KWh /m ²	Tonnes de CO ₂ /an	Kg CO ₂ / m ²
Eclairage	518	1336,44	16,70	283,86	3,54
Réfrigération	353	910,74	11,38	193,44	2,41
Congélation	478	1233,24	15,41	261,94	3,27
TV	278	717,24	8,96	152,34	1,90
Machine à laver	653	1684,74	21,06	357,84	4,47
Micro-ondes	8,4	21,67	0,27	4,60	0,057
Fer à repasser	103	265,74	3,32	56,44	0,705
Ventilateur	14	36,12	0,45	7,67	0,095
Eau chaude	1074	1074	13,42	267,42	3,34
Cuisine	7925	7925	99,06	1973,32	24,66
Climatisation	1543,59	3982,46	49,78	845,88	10,57
Chauffage	1443,5	1443,5	18,04	359,43	4,49
Total consommation usages	14391,5	20630,89	257,88	4764,23	59,55

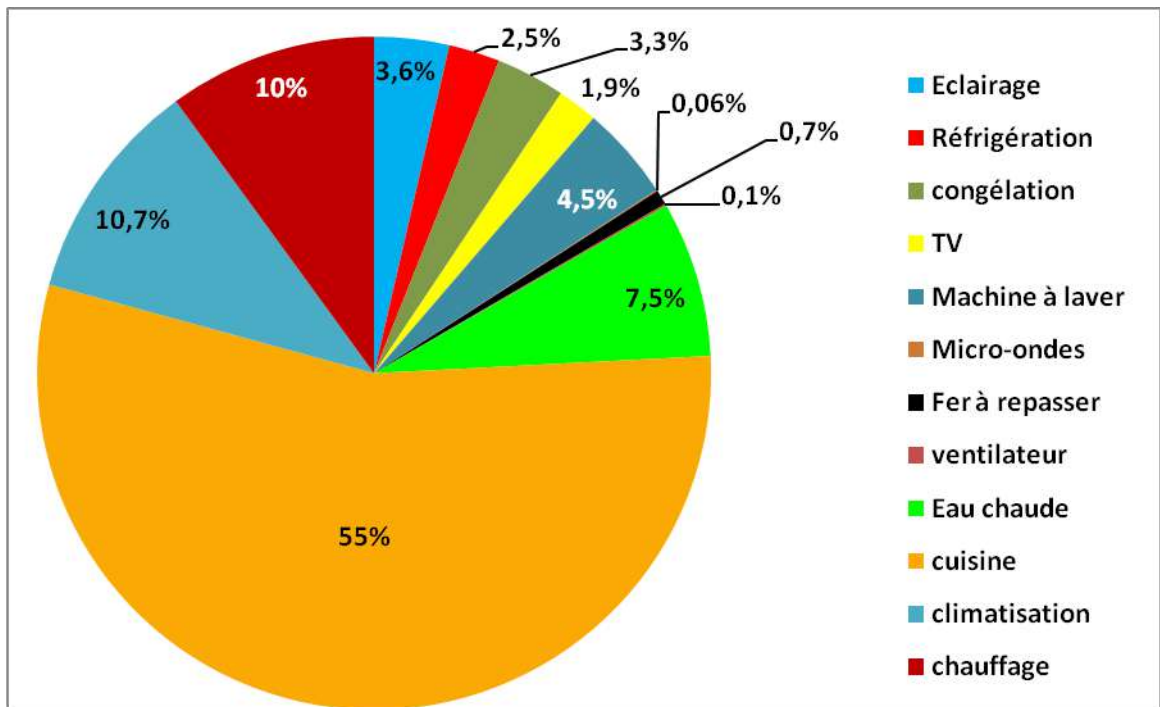


Figure III.12 : Consommation d'énergie pour un logement type [40]

La figure III.12 montre la répartition de la consommation d'énergie d'une maison. Comme il apparaît sur la figure, la consommation d'énergie peut être classée en deux types de déterminants [40] :

- Consommation fixe: contient, l'eau chaude, l'éclairage, la réfrigération, congélation, TV, micro-ondes, fer à repasser et autres appareils.
- Consommation variable: contient la climatisation et le chauffage ou le changement d'une zone à l'autre a une forte relation avec le climat.

En Algérie, la consommation annuelle moyenne d'une maison est d'environ 14 392 kWh [40].

III.7.3. Caractéristiques techniques d'une micro-cogénération

Généralement, on définit une unité de cogénération suivant les puissances électrique (P_e) et thermique (P_{th}) installées ainsi que suivant le rendement électrique (η_e), le rendement thermique (η_{th}) et/ou le rendement globale ($\eta_{cog} = \eta_e + \eta_{th}$). Une unité de cogénération peut également être caractérisée par son PES (Primary Energy Saving) qui exprime les économies d'énergie primaire réalisées par rapport à un système classique de production hors site de l'électricité [3].

Techniquement, la source de combustible employée, le type de moteur, le générateur, la dimension de l'unité ou encore le bruit sont des caractéristiques qui sont couramment renseignées par les différents fabricants. Le rendement global d'une unité de cogénération dépasse souvent les 85%. L'efficacité, et donc les gains d'énergie, varie surtout suivant la technologie employée, le combustible utilisé et les systèmes de production de chaleur et d'électricité initialement utilisés [3].

III.7.3.1. Dimensionnement de l'unité de micro-cogénération

Dimensionner une unité de cogénération c'est déterminer les puissances thermique et électrique de l'unité ainsi que sa plage de fonctionnement sur l'année. Toutefois il n'y pas de règles de dimensionnement prédéfinies et donc une unité de cogénération est toujours dimensionnée au cas par cas suivant les besoins, thermiques ou électriques, du consommateur ainsi que suivant ses profils de consommation quotidien, hebdomadaire et annuel. Deux contraintes majeures vont intervenir. D'une part, le système dimensionné doit fournir, en même temps, la meilleure rentabilité économique, les économies d'énergie primaire maximales et le meilleur rendement global [3].

En effet, aujourd'hui, de plus en plus de fabricants proposent des unités de micro cogénération domestiques destinées aux ménages individuels. Et, si elle est correctement dimensionnée au regard des besoins du logement [26]. La phase d'étude et de dimensionnement a abouti à l'installation d'une cogénération possédant une pile à combustible de la marque Viessmann d'une puissance électrique de 750 W_e pour une puissance thermique de 1000 W_{th}, et les caractéristiques technologiques de la pile à combustible indiquées dans le tableau III.2.



Figure III. 13 : Pile à combustible de la marque Viessmann « Vitocalor 300-P écorché »

Tableau III.2: catalogue de technologie pile à combustible [41]



Puissance thermique totale (50/30°C)	kW_{th}	1 – 20
Puissance électrique du module pile à combustible	W_{el}	750
Puissance thermique du module pile à combustible	kW_{th}	1
Puissance thermique de la chaudière d'appoint	kW_{th}	5 – 19
Raccordement électrique	V AC	230
Fréquence	Hz	50
Rendement total	%	90 (PCI)
Rendement thermique de la chaudière d'appoint	%	98 (PCS)/109 (PCI)
Niveau sonore de la chaudière d'appoint	dB(A)	< 49
Ballon tampon	l	170
Réservoir d'eau chaude sanitaire	l	46
Combustible		Gaz naturel H/L
Dimensions		
Pile à combustible longueur (profondeur) x largeur x hauteur	mm	516 x 480 x 1667
Chaudière longueur (profondeur) x largeur x hauteur	mm	595 x 600 x 1932
Hauteur minimale requise de la pièce (avec système d'évacuation des fumées)	mm	2250
Poids module pile à combustible	kg	125
Poids chaudière d'appoint	kg	165
Encombrement	m^2	0,65
Classe d'efficacité énergétique		
– chauffage		A ⁺⁺
– production d'eau chaude sanitaire (profil de soutirage XL)		A ⁺

Tableau III.3: Fiche technique du projet de cogénération pour un logement type

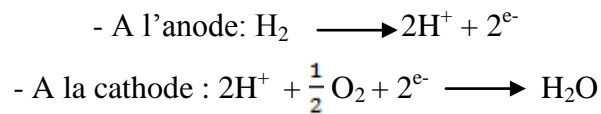
Fiche technique du projet	
Technologie installée	
Technologie de cogénération	Pile à combustible
Puissance et rendement électrique	750 Wh_{el} et 37%
Puissance et rendement thermique	1000 Wh_{th} et 90%
Durée de fonctionnement	7183,2 heures /an
Gains environnementaux	
Production d'électricité	5387,4 kWh_{el} /an
Production de la chaleur	7183,2 kWh_{th} /an
Economie en énergie primaire	4127,53 kWh/an
Taux d'économie en énergie primaire	20 %
Economie d'émissions de CO₂	1393,5 tonnes/an
Taux d'économie de CO₂	30 %

III.7.3.2. Principe piles à combustibles

Dans l'état actuel de la technique, les piles à combustible sont généralement alimentées en hydrogène. D'autres carburants sont envisagés, mais leur utilisation ne sera pas considérée dans le cadre de cette étude, leur utilisation étant encore au stade purement expérimental. Toutes les piles à combustible fonctionnent suivant des principes similaires. Elles comportent deux électrodes séparées par un électrolyte. Aux électrodes se produisent des réactions chimiques, d'oxydation à l'anode et de réduction à la cathode [26].

Les réactions d'oxydation et de réduction sont caractérisées par des échanges d'électrons entre les espèces chimiques qui réagissent. L'électrolyte qui sépare l'anode et la cathode est imperméable aux électrons, mais perméable aux ions positifs qui doivent passer de l'anode à la cathode. Pour que la réaction ait lieu, les électrons doivent passer de l'anode vers la cathode, créant ainsi un courant électrique [26].

Dans le cas de piles fonctionnant à l'hydrogène, ce gaz est introduit dans la pile à l'anode, tandis que de l'oxygène, provenant généralement de l'air, est introduit du côté de la cathode. Les réactions qui se produisent aux électrodes sont :



Ces réactions ne se produisent que lorsque les électrons peuvent passer de l'anode vers la cathode, produisant ainsi un courant électrique continu. Les ions H^+ migrent au travers de l'électrolyte, comme le montre la figure suivante qui schématise le fonctionnement d'une pile à combustible fonctionnant au moyen d'hydrogène. Pour obtenir une vitesse de réaction suffisante, l'emploi de catalyseurs est nécessaire. De plus, les électrodes qui véhiculent le courant électrique, doivent également laisser passer les gaz vers le catalyseur et permettre l'évacuation de l'eau formée. Elles doivent donc être suffisamment poreuses [26].

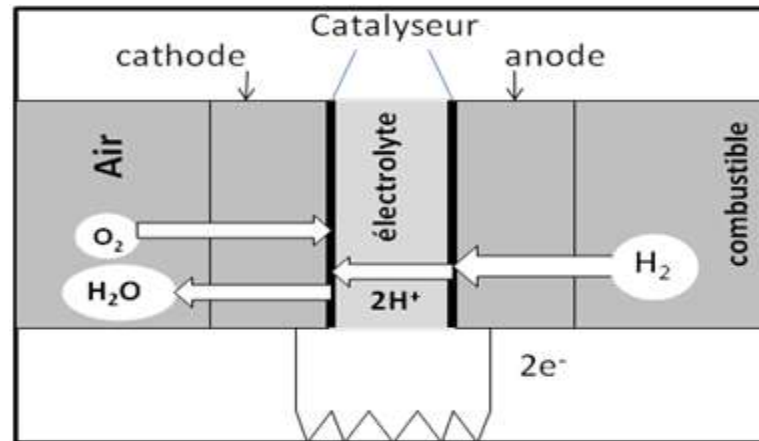


Figure III .14 Principe de fonctionnement d'une pile à combustibles [26]

L'ensemble composé d'un compartiment anodique, d'une anode, d'un séparateur électrolytique, d'une cathode et d'un compartiment cathodique forme une cellule d'une pile à combustible. Etant donné les caractéristiques électrochimiques de la réaction mise en œuvre, chaque cellule ainsi constituée ne peut cependant produire qu'une différence de potentiel compris entre 0,5 et 1,2 volt. Afin d'obtenir une tension suffisante, les cellules sont empilées en alternance avec des plaques à la fois conductrices et imperméables, destinées à séparer le flux d'hydrogène dans une cellule du flux d'air dans la cellule voisine. L'assemblage des cellules et le soin apporté à l'alimentation en réactifs (air et hydrogène), ainsi qu'à l'élimination des résidus (eau et gaz inertes) conditionneront le bon fonctionnement de la pile [26].

III.8. Prospective à l'horizon 2050

L'horizon de temps que nous avons choisi s'étend de 2015 à 2050. Pour faciliter la modélisation à long terme nous avons découpé l'horizon temporel en multi-périodes équivalentes à six plans de cinq ans chacune.

Méthodologie et approche prospective

$$E_t = E_0 \cdot (1 + \alpha)^t \quad (1)$$

E_t : représente la consommation observée de l'année t.

E_0 : la consommation calculée de l'année de base.

α : le taux d'accroissement moyen annuel constaté sur la période étudiée.

t: le temps exprimé à l'année t par rapport à l'année de base.

III.8.1. Description des scénarios pour la démarche prospective

Face aux inévitables tensions sur les ressources pétrolières et fossiles, avec une raréfaction progressive de ces dernières et des contraintes sur les émissions de CO₂ qui ne peuvent que se renforcer, le secteur énergétique doit poursuivre les efforts en matière d'efficacité énergétique.

A l'heure où nous parlons économie d'énergie et réduction des émissions de gaz à effet de serre, la récupération et la valorisation des rejets thermiques au niveau des secteurs de production et conversion d'énergie (centrales électriques, stations de compression et de pompage) devient nécessaire pour une meilleure gestion de cette dernière. Les rejets de gaz d'échappement dont la température est particulièrement élevée pourront être récupérés grâce à la cogénération. Il y a donc des opportunités d'économie en consommation primaire au niveau de ces centrales et particulièrement au niveau des turbines à gaz. Ainsi, la cogénération apparaît comme une technologie à même d'apporter une contribution significative pour répondre aux grands défis de demain. Dans le cadre de notre étude nous avons envisagé deux scénarios.

III.8.1.1. Scénario tendanciel (scénario sans micro cogénération)

C'est un scénario dans lequel aucune nouvelle politique ou mesure n'est jugée nécessaire ou n'est adoptée. Ce scénario de prospective dont les évolutions futures reposent sur une continuité des tendances du passé sert de ligne directrice autour de laquelle l'impact d'une nouvelle politique ou mesure peut être évalué.

III.8.1.2. Scénario volontariste (scénario avec micro cogénération)

Il se caractérise par l'intégration de la micro cogénération dans le secteur résidentiel jusqu'en 2050. Ce scénario permet de représenter et mesurer le potentiel de récupération d'énergie au niveau des logements.

Dans ce qui suit, nous définissons les différentes hypothèses retenues pour la modélisation des secteurs de production d'électricité. Ces hypothèses seront communes aux deux scénarios définis ci-dessus.

III.8.2. Hypothèses de modélisation

III.8.2.1. Nombre de logements

Pour étayer ces hypothèses et afin d'atteindre l'objectif de notre scénario de référence on maintient la dynamique actuelle dans la construction de logements neufs, soit 220 000 logements par an (logements en immeubles collectifs et maisons individuelles). La projection du nombre de logements se fera selon le système constructif actuel tout en conservant la typologie existante des logements. On retient la même hypothèse à l'horizon 2050.

III.8.2.2. Evolution de la consommation d'énergie

Dans le cas de notre modélisation pour étudier la pénétration de la cogénération, nous avons opté pour un certain nombre de calculs. La saisonnalité dans la production d'électricité n'est pas un facteur déterminant pour la variation des consommations énergétiques. Le rythme de production est généralement soutenu par un régime de production durant toute l'année (7183,2 heures de fonctionnement). La consommation annuelle d'un logement type en Algérie est de 14 392 kWh [40]. Cette valeur sera utilisée pour calculer la consommation d'énergie pour l'ensemble de logements.

III.8.2.3. Consommation d'énergie primaire

Le gaz naturel est le combustible le plus utilisé pour la production d'électricité en Algérie, il couvre presque 97 % de la demande. Les facteurs de conversion sont respectivement de $FE_{\text{primaire}\text{élec}} = 2.58 \text{ kWhEP.kWh}$ pour le gaz naturel [42]. Pour l'électricité et de $FE_{\text{primaire}\text{gaz}} = 1 \text{ kWhEP.kWh}$.

$$E_{\text{primaire}} = FE_{\text{primaire}} \cdot E_{\text{Finale}} \quad (1)$$

E_{primaire} : Consommation d'énergie primaire en kWh

FE_{primaire} : Facteur de conversion, il est exprimée en kWhEP /kWh

E_{Finale} : Energie finale en kWh.

Durée de fonctionnement annuelle en heures de la pile a combustible est 7183,2 heures pour calculer l'énergie finale et primaire [40].

III.8.2.4. Emissions du CO₂

Le calcul du contenu en carbone de l'électricité constitue un enjeu important pour l'évaluation des actions dans la lutte contre le changement climatique. En général, les émissions de CO₂ sont calculées à partir du produit entre le facteur d'émission associés au combustible (FE) et la consommation l'énergie finale (E_{Finale}) [13].

$$E_{\text{CO}_2} = \text{FE} \cdot E_{\text{Finale}} \quad (2)$$

L'utilisation de ce facteur d'émission de l'électricité dans la modélisation permettra de rendre compte de l'impact en termes d'effet de serre des projets visant à encourager des actions de maîtrise de l'énergie. Pour le secteur électrique algérien, le facteur d'émission est 548 gCO₂ par kWh électrique en 2011 [43]. Dans notre étude, nous considérerons donc cette valeur comme étant une valeur moyenne. Le facteur d'émissions CO₂ du gaz naturel est pris égal à $E_{\text{gaz}} = 0.249$ kg par kWh du gaz [44.45]. Ce facteur correspond à une moyenne des émissions de la combustion réelle du gaz naturel.

III.8.2.5. Gains économique

L'intégration de la cogénération de type pile a combustible dans le secteur de bâtiment se reflète par l'économie en gaz naturel et la réduction des émissions du CO₂. Dans notre étude, le gain calculé représente la consommation en énergie primaire qui se réside à la consommation en gaz naturel. Le prix d'approvisionnement de gaz naturel dépend fortement du contrat liant le fournisseur à l'acheteur, il n'y a donc pas de prix uniformisé et aisément accessible comme c'est le cas pour le pétrole [29].

Tableau III.4 : Evolution des prix du gaz [43]

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Prix (\$/MBTU)	11,7	14,9	17,3	20,2	23,6	26,25	29,15	32,1
Prix (\$/Mtep)	468000	596000	692000	808000	944000	1050000	1166000	1284000

Les projections de prix du gaz (2020, 2025, 2030 et 2035) sont celles du scénario « Current Policies » présenté dans le World Energy Outlook 2013, secteur Europe [40]. La valeur de 2045 et 2050 respecte une évolution tendancielle basée sur les années 2010 à 2040.

III.9. Résultats et discussions

Après une analyse de chaque ouvrage de production d'électricité, une extrapolation du potentiel énergétique sur l'ensemble de pays a été faite. Le potentiel énergétique représente la somme de toutes les unités de cogénération qu'il est énergétiquement possible d'installer.

Tableau III.5 : Analyse énergétique et environnementale d'un logement type en Algérie selon deux scenarios

	Consommation d'énergie finale (kWh)	Consommation d'énergie primaire (kWh)	Emissions de CO ₂ (Tonnes)
Scenario tendanciel	14 392	20630,89	4764,23
Scenario volontariste		16503,36	3370,72
Economie	-	4127,53	1393,5
Economie (%)	-	20	30

D'après le tableau mentionné ci-dessus, l'intégration de la cogénération de type pile à combustible permettra de réduire la consommation en énergie primaire de plus de 4000 kWh par an dans une maison de superficie de 80 m² et qui représente 20%. Cette réduction en énergie primaire conduira à une économie en CO₂ de 30% (presque 1400 tonnes de CO₂ par an).

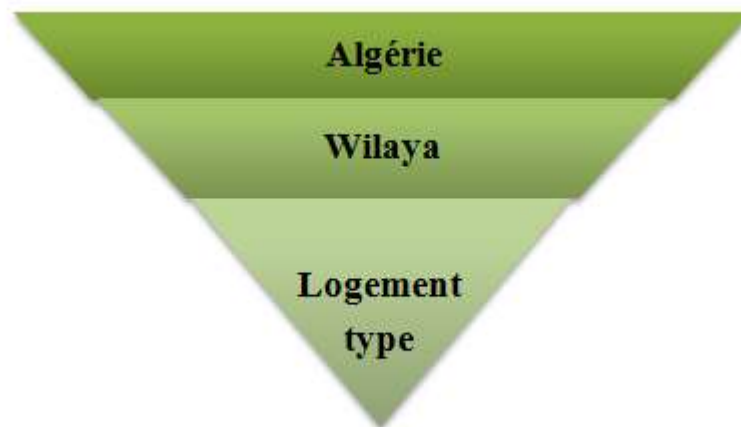


Figure III.15: Méthode bottom-up

Dans notre étude, nous allons appliquer ces résultats sur tout les nouveaux logements du parc à partir de l'année de référence 2015 jusqu'à l'horizon 2050. Par la méthode de bottom-up c'est dire par extrapolation d'une seule maison vers l'ensemble des nouveaux logements (voir figure III.15).

III.9.1. Projection du nombre de logements

Le nombre de logements est le principal facteur indicatif de la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel.

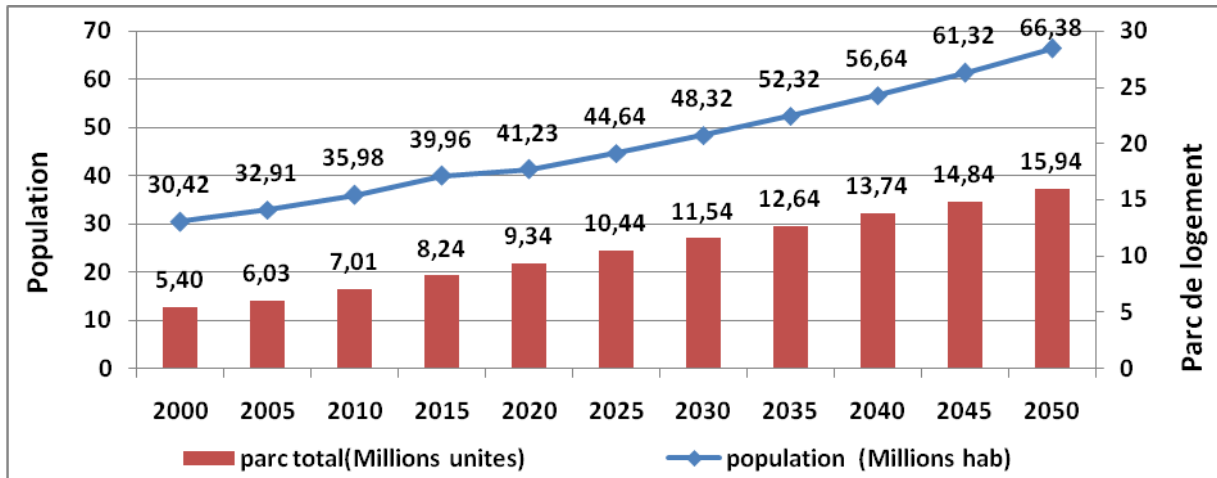


Figure III.16 Projection de parc de logements algérien et la population (2000 - 2050)

La figure III.16 montre la croissance des unités de logement, le nombre de maisons avait augmenté de 5,4 millions 2000 à 7,01 millions en 2010, et selon les cinq plans de l'année et le régime national d'aménagement du territoire 2030 le nombre Les maisons seront augmentées à 11,54 en 2030 et 15,94 en 2050.

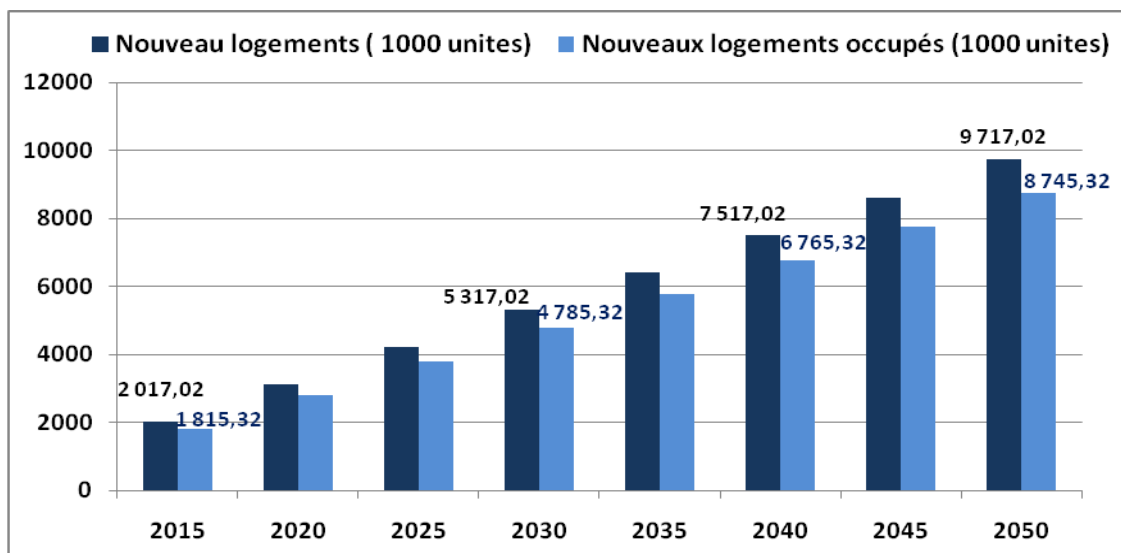


Figure III.17 : Croissance prospective de nouveaux logements a l'horizon 2050

Dans notre étude, l'intégration de la technologie de cogénération de type pile a combustible sera au niveau des nouveaux logements avec le taux d'occupation de 90%.

Nous avons utilisé le SIG pour bien comprendre la distribution des logements par wilaya on voit qu'il ya une augmentation dans le secteur bâtiment entre 2015 et 2050.

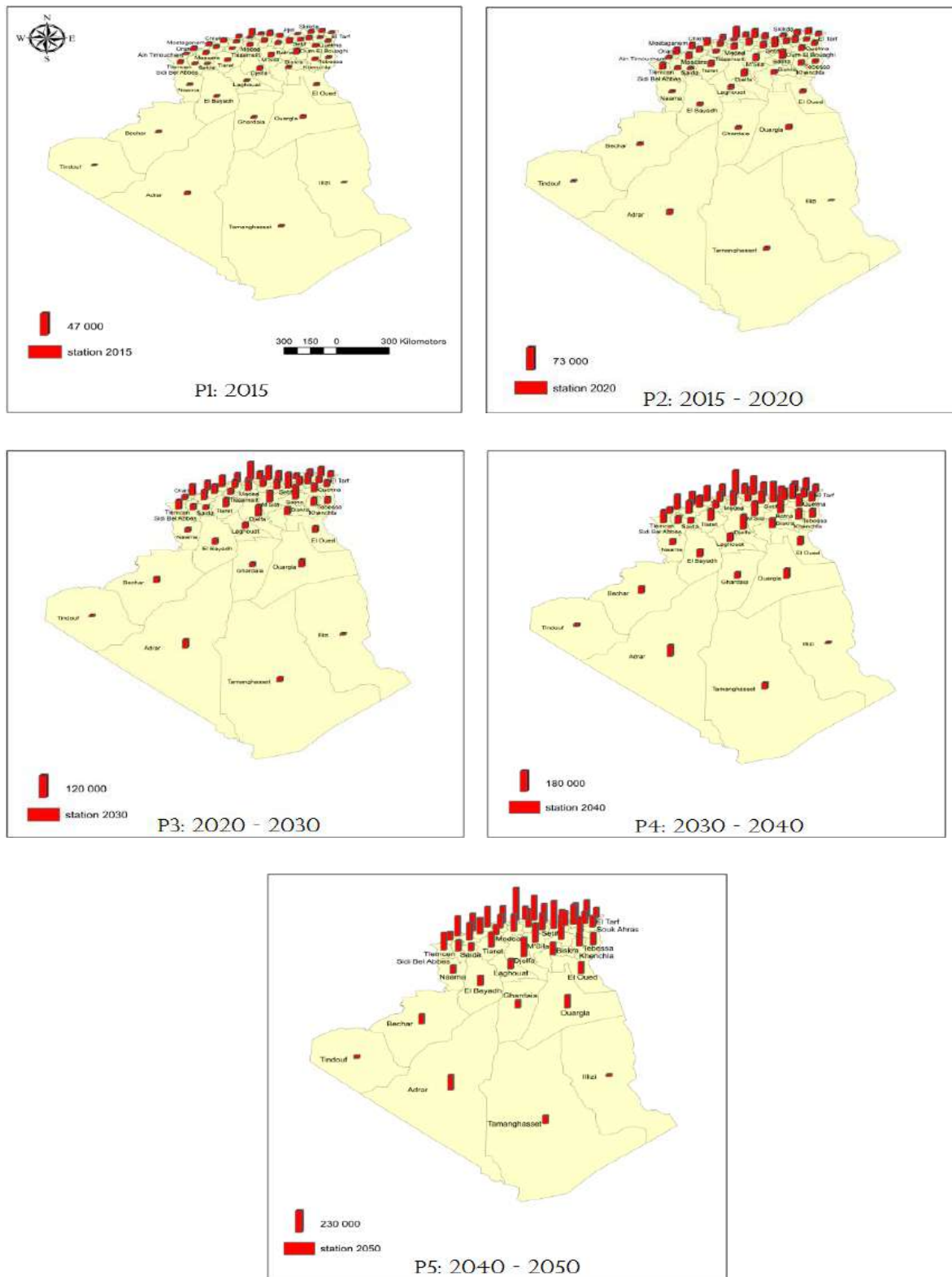


Figure III.18. Répartition géographique nombre de nouveaux logements a l'horizon 2050

Pour bien comprendre la répartition de la population par wilaya nous avons utilisé le SIG entre 2016 et 2050. Tant que la couleur est foncée la population augmente.

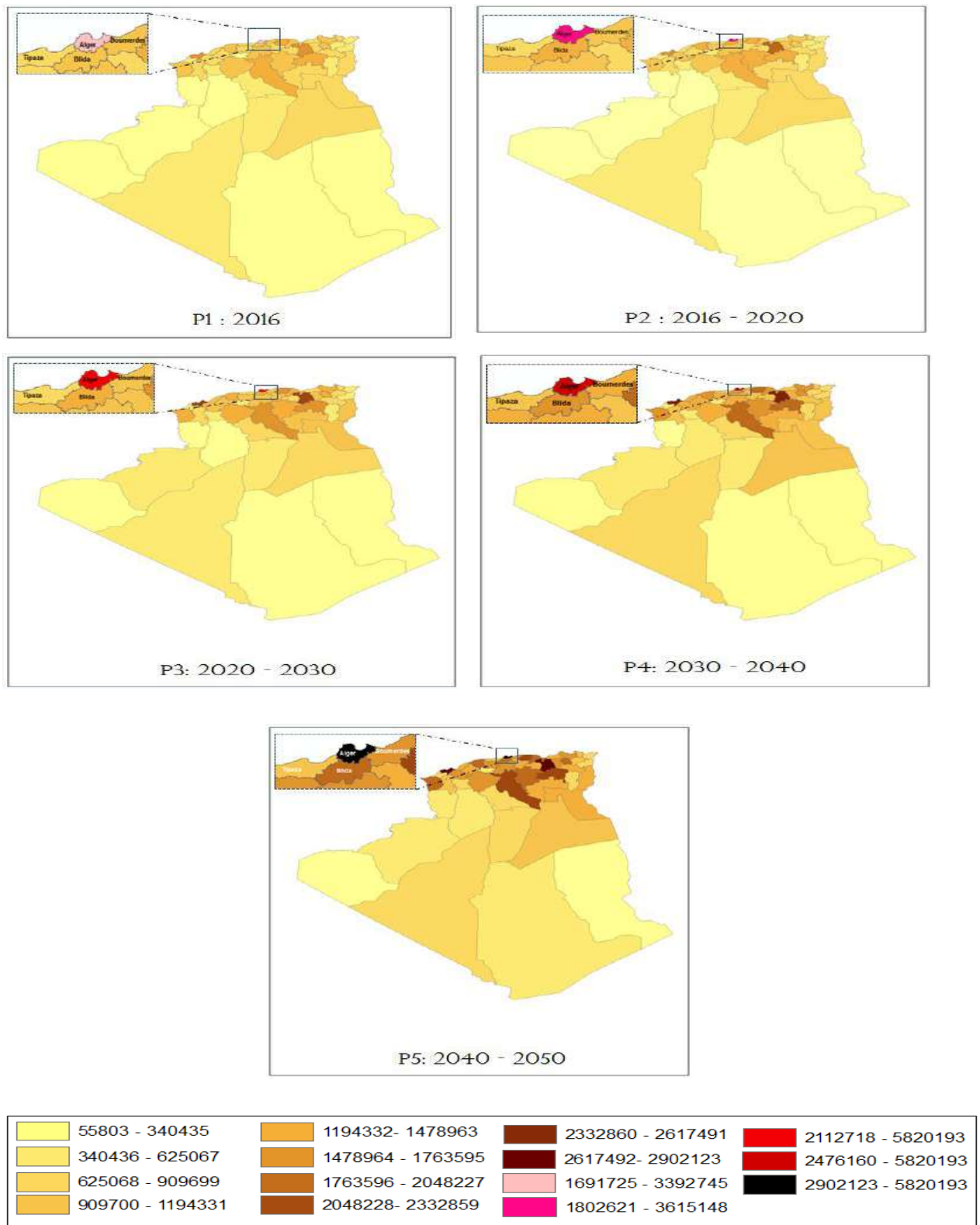


Figure III.19. Répartition géographique de la population a l’horizon 2050

III.9.2. Projection de la demande en énergie

Ces dernières années, la demande en énergie a connu une évolution importante particulièrement en périodes estivale, atteignant des pics de consommation importants. Cette forte augmentation de la demande est une conséquence directe du changement des habitudes du consommateur et l'amélioration de sa qualité de vie, ainsi que la pulsion donnée au secteur économique et industriel [46]. La projection de la demande en électricité est représentée dans la figure suivante :

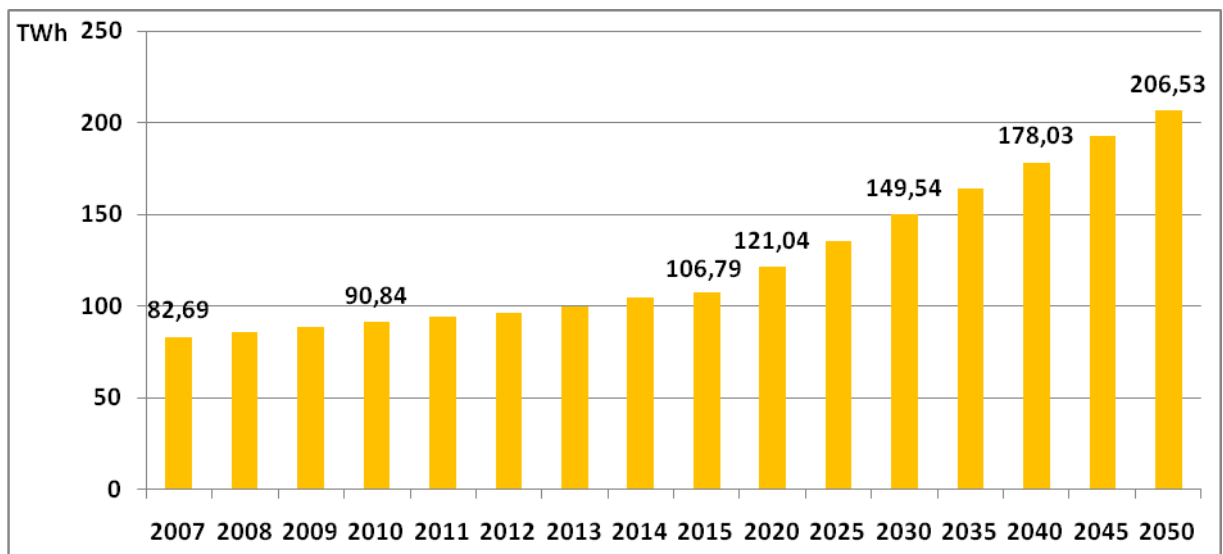


Figure III.20: Evolution prospective de la consommation d'énergie Electrique pour le secteur résidentiel

La demande en énergie est calculée tendanciellement à partir des années 2015. Elle est en progression, elle passera de 106,79 TWh en 2015 à 206,53 TWh en 2050 où le taux de croissance moyenne sur la période 2015-2045 est d'environ 5,86 % par an.

III.9.3. Projection de la consommation en énergie primaire

Avec l'intégration de la cogénération dans le secteur de bâtiment, la consommation de gaz naturel diminuera. On passera ainsi d'une consommation de 296,06 TWh dans le scénario tendanciel (Scénario sans cogénération) à environ 259,96 TWh dans le scénario volontariste (Scénario avec cogénération) en 2050.

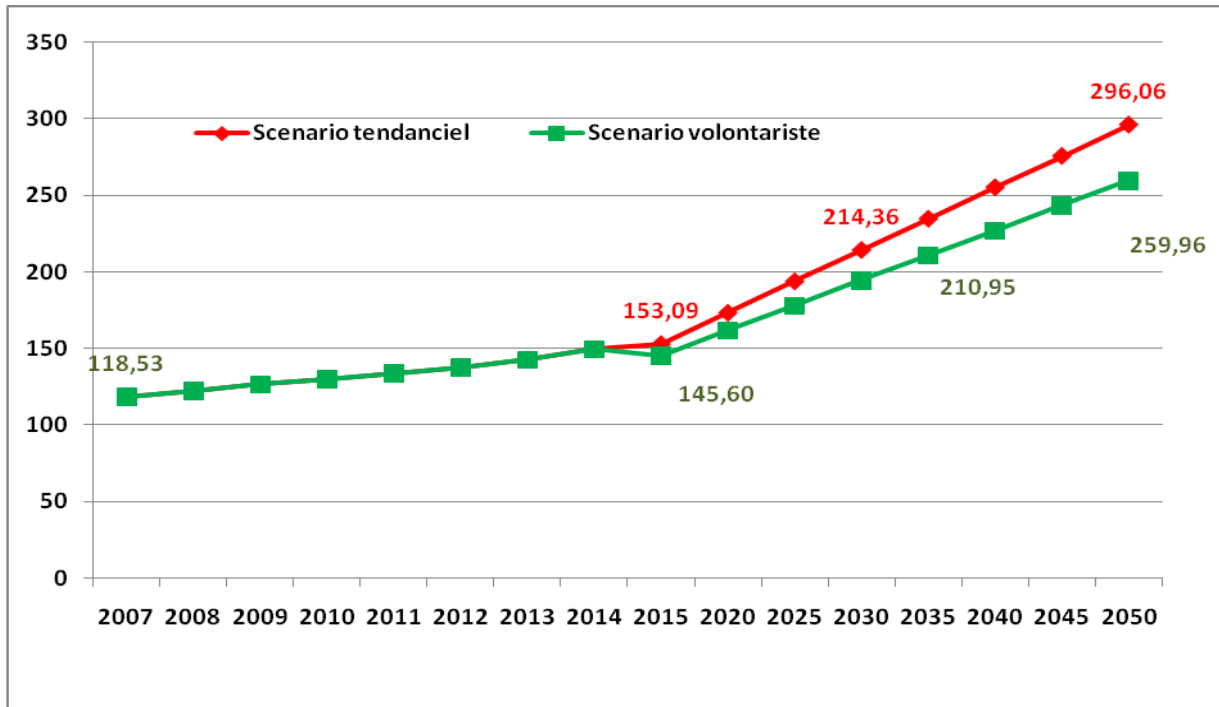


Figure III.21: Evolution prospective de la consommation en énergie primaire pour le secteur résidentiel (TWh)

La cogénération est une technologie qui permet de économiser l'énergie et la matière première. Son influence est remarquable selon la figure ci-dessus où le gain en matière passera de 7,5 TWh en 2015 à 36,1 TWh en 2050. L'économie en combustible progressera légèrement avec l'augmentation du taux d'intégration de la technologie de pile à combustible dans le parc. Elle évoluera de 5 en 2015 à 12,3% en 2050.

Pour la présentation de la consommation d'énergie par wilaya nous avons utilisé le SIG. Tant que la couleur est foncée la consommation d'énergie augmente.

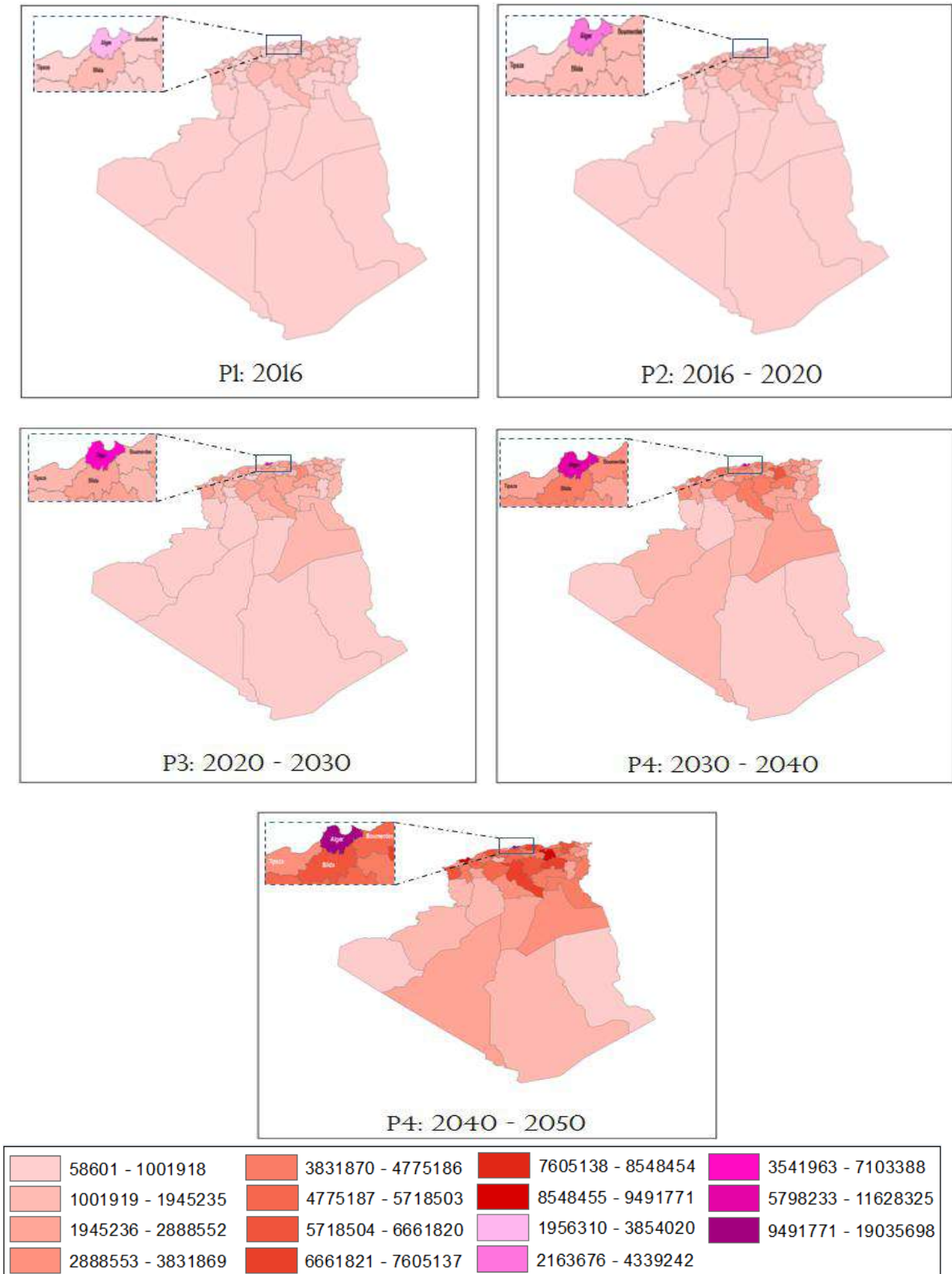


Figure III.22: Répartition géographique de la consommation l'horizon 2050

III.9.4. Emission de CO₂ du secteur résidentiel

Suite à la réduction de la consommation de gaz naturel dans le secteur de production d'électricité avec l'intégration de la cogénération, nous observerons ainsi une diminution des émissions de CO₂. La figure III.15 montre l'évolution de l'effort de baisse des émissions réalisé jusqu'à l'horizon 2050.

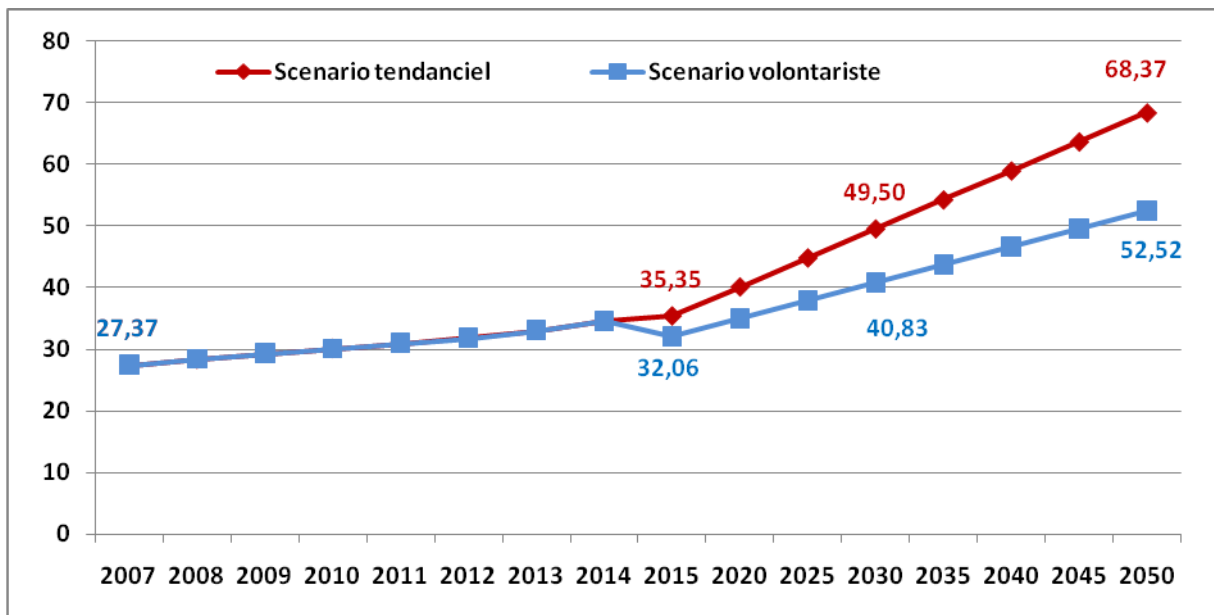


Figure III.23: Evolution prospective des émissions de CO₂ pour le secteur résidentiel (Millions tonnes)

Le scénario tendanciel (Scénario sans cogénération) montre que les émissions de CO₂ pour le secteur de bâtiment affichent une augmentation jusqu'en 2050. On constate ainsi un accroissement de 33 Mt des émissions en 2050 par rapport au niveau de 2015. Il s'en est suivi une augmentation progressive des émissions pour atteindre 68,37 Mt de CO₂.

L'introduction de la cogénération dans les bâtiments a permis d'obtenir une réduction des émissions de CO₂ d'environ 3,28 Mt en 2015 correspondant à un effort de réduction de 9,3 % par rapport au scénario de référence. Cette réduction des émissions va augmenter et atteindre 15,8 Mt et qui correspond à une diminution des émissions de CO₂ d'environ 23,2 % par rapport au scénario tendanciel en 2050.

En adoptant les données de site AIE pour connaître Emission de CO₂ du secteur résidentiel dans chaque wilaya et nous utilisons un programme qui combine l'information géographique pour comprendre la répartition à travers les 48 wilayas.

Pour la présentation de la répartition géographique de l'émission de CO2 par wilaya entre 2016 et 2050 nous avons utilisé le SIG. Tant que la couleur est foncée l'émission de CO2 augmente.

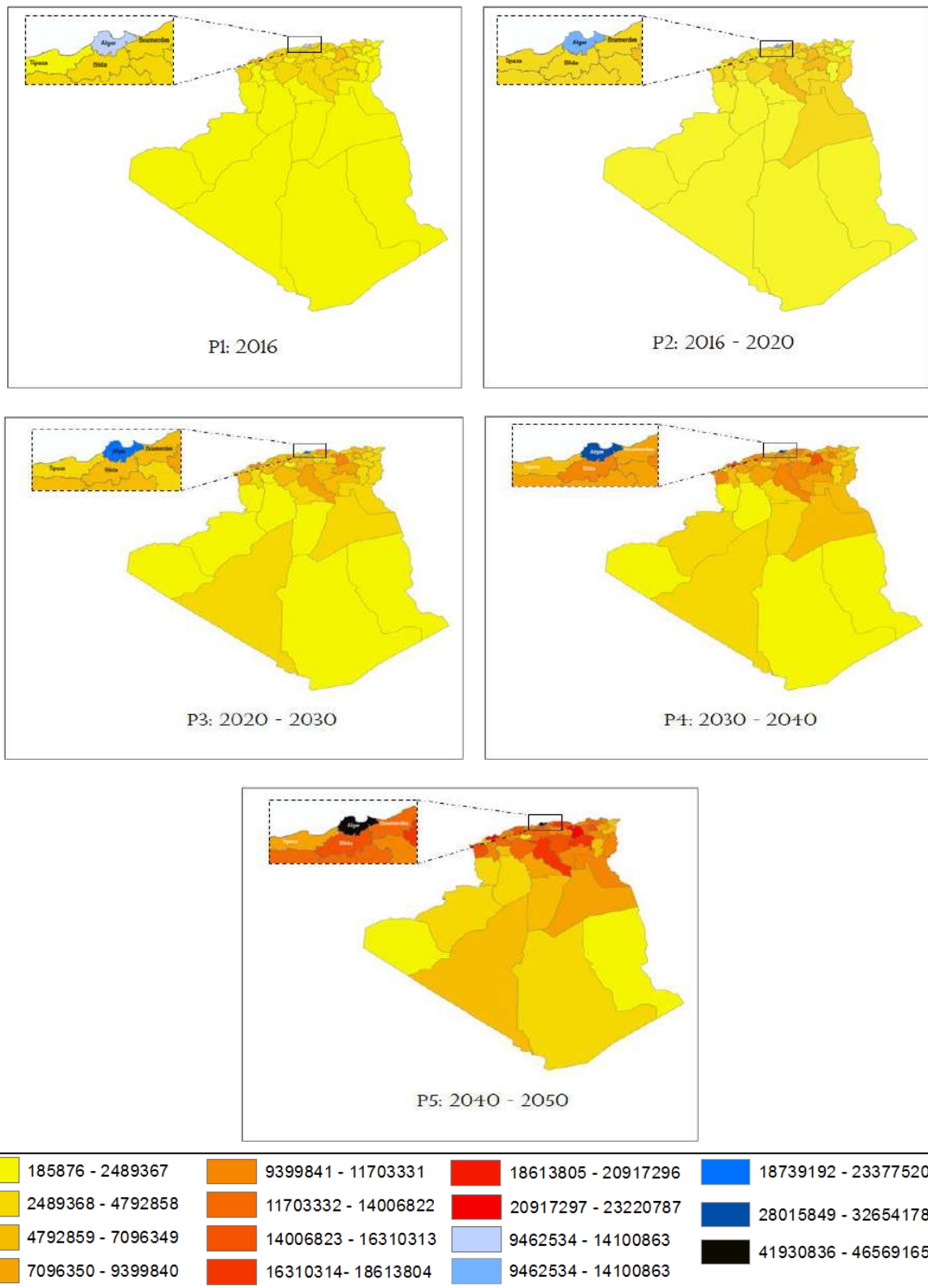


Figure III.24: Répartition géographique de l'émission de CO2 à l'horizon 2050

III.9.5. Gains Economique

L'intégration de la cogénération de type cycle combiné dans le parc national se reflète par l'économie en gaz naturel et la réduction des émissions du CO₂. Dans notre étude, le gain calculé représente la consommation en gaz naturel.

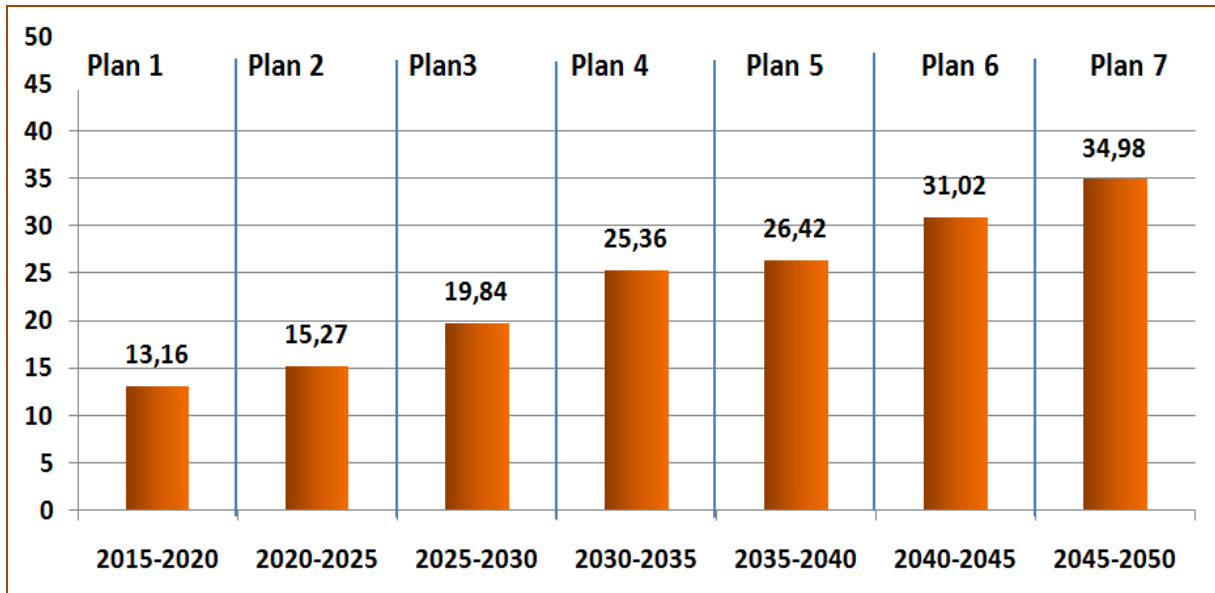


Figure III.25: Gain économique (Millions \$)

La cogénération a permis de réduire la consommation en matières premières, ce qui explique la réduction de coûts de production d'électricité. L'amélioration du rendement électrique par le biais de la cogénération de type pile à combustible permettra des gains allant de 13,16 M\$ sur le plan 1 à presque 35 M\$ pour le plan 7. La technologie de la cogénération adoptée pour le scénario volontariste va jouer à long terme un rôle important en terme énergie, climat et économie.

III.10. Conclusion

La cogénération, et plus particulièrement la micro-cogénération, permet de fournir à la fois de la chaleur et de l'électricité pour rencontrer les besoins en chauffage, en eau chaude sanitaire et en électricité d'un ou plusieurs logements. Grâce à cette production combinée, du combustible sera économisé, les émissions de CO₂ seront réduites et les coûts liés aux dépenses énergétiques du ménage pourront être diminués. Toutefois, à l'échelle domestique, la technologie de cogénération nécessite de garder un réseau parallèle. Il faudra donc 1/conservé une chaudière pour couvrir, en addition à la cogénération, les pics de chaleurs ou pour rencontrer les faibles demandes, par exemple à l'entre saison et 2/garder une connexion au réseau électrique pour revendre l'électricité produite en surplus ou combler les besoins électriques lorsque l'unité de micro-cogénération est à l'arrêt. Actuellement, les modèles d'unité de micro-cogénération domestique proposés par les fabricants emploient principalement des moteurs Stirling, soit des moteurs à combustion externe. Ceux-ci sont généralement alimentés au fioul ou au gaz mais l'utilisation conjointe de la cogénération et de la biomasse permettrait d'allier haut rendement de production et énergie renouvelable, c'est-à-dire de réduire drastiquement l'utilisation de combustible fossile et les émissions de CO₂.

L'amélioration du rendement électrique par le biais de la cogénération de type cycle combiné permettra des gains allant de 13,16 M\$ sur le plan 1 (2015-2020) à 35M\$ pour le plan 7 (2045-2050). Les deux technologies adoptées pour le scénario volontariste vont jouer à moyen et long terme un rôle important en terme énergie, climat et économie.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les combustibles fossiles sont largement responsables de la production de CO₂ émis dans l'atmosphère, et du changement induit sur le climat. Les énergies renouvelables représentent une solution à ce problème. Cependant, seules, elles n'arriveront pas à répondre à nos besoins futurs en énergie et à remplacer les ressources fossiles. La constatation de pertes considérables d'énergie a poussé la recherche à découvrir des solutions alternatives pour les récupérer et d'augmenter l'efficacité énergétique des équipements. Parmi ces découvertes, la cogénération. D'un point de vu global, la cogénération contribue activement à une politique pour la maîtrise durable de l'énergie. Par son économie d'énergie primaire significative, elle permet de réduire la dépendance énergétique d'une part et d'autre part, cette technologie permet de réduire les émissions de CO₂ pour la production d'une même quantité de chaleur et d'électricité.

Avec la mise en place de la technologie cogénération dans le secteur de bâtiment pour la production d'électricité et de la chaleur, une forte variation du mix énergétique final est constatée à moyen et long terme. La cogénération est une technologie qui permette d'économiser l'énergie et la matière première. L'intégration de la cogénération de type pile a combustible entraînerait une baisse importante des émissions de CO₂ par rapport à la situation de référence. Elle a permis d'obtenir une réduction des émissions de CO₂ d'environ 3,28 Mt en 2015 correspondant à un effort de réduction de 9,3 % par rapport au scénario de référence. Cette réduction des émissions va augmenter et atteindre 15,8 Mt et qui correspond à une diminution des émissions de CO₂ d'environ 23,2 % par rapport au scénario tendanciel en 2050.

L'amélioration du rendement électrique par le biais de la cogénération de type pile a combustible permettra des gains allant de 13,16 M\$ sur le plan 1 à presque 35 M\$ pour le plan 6. La technologie de la cogénération adoptée pour le scénario volontariste va jouer à long terme un rôle important en terme énergie, climat et économie. Cette technologie adoptée pour le scénario volontariste va jouer à moyen et long terme un rôle important en terme énergie, climat et économie.

Bibliographie

Bibliographie

[1]	Bilan Energetique National (MEM, 2004- 2013 ; ME, 2015a)
[2]	Agence internationale d'énergie (AIE 2015)
[3]	Solutions for Low Energy Neighborhoods SOLEN, 2014
[4]	MATE, 2001. Elaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques. www.mate.gov.dz
[5]	Bp-statistical-review-of-world-energy-2017-underpinning-data
[6]	Organization of the Petroleum Exporting Countries. (OPEC, 2015)
[7]	(BP Statistical Review of World Energy June 2015).
[8]	DG Trésor , 2013. Les énergies renouvelables en Algérie : chiffres clefs. Service Économique Régional d'Alger. publications des services économiques p1, Novembre 2013
[9]	Ministère de l'Énergie : Bilans énergétiques national (2000-2016).
[10]	Bilan Energetique National 2016 edition 2017
[11]	bp-statistical-review-of-world-energy-2017
[12]	Agence internationale d'énergie (AIE 2017)
[13]	Ahcène Djemaa. Modélisation bottom-up, un outil d'aide à la décision long terme pour les mesures politiques en matière d'énergie et d'environnement : le modèle TIMES appliqué aux industries grandes consommatrices d'énergie. Sciences de l'Homme et Société. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2009. (Djemaa, 2009)
[14]	Le PDG de Sonelgaz confirme les objectifs du Programme National des Energies Renouvelables (Sonore) Dimanche 4 novembre 2012
[15]	CDER , 2015. Le SIG au service de la gestion des déchets. Extrait du Portail algérien des énergies renouvelables. http://portail.cder.dz/spip.php?article4838
[16]	Stéphane Thiers. Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive. Sciences de l'ingénieur [physics]. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2008.
[17]	Environnementale et technico-économique du cycle de vie de la combustion du gaz naturel et propositions d'améliorations techniques. Thèse de l'École Doctorale de Chimie de Lyon (Dinca. C– F , 2006)
[18]	Schneider , 1999, La cogénération, Guide Technique, Intersections - Mai 1999.

[19]	Charles-Emile HUBERT, Direction de la Recherche et de l'Innovation Journées micro-cogénérations - 26 et 27 janvier 2011
[20]	Cogénération et micro-cogénération Solutions pour améliorer l'efficacité énergétique, 2e édition, Dunod, Paris, 2013. (Boudellal , 2013)
[21]	Optimisation de l'ensemble convertisseur-générateur-commande intègre _a un système de micro-cogénération thermo-mécano-électrique. Electronics. Thèse Doctorat de l'Ecole normale supérieure de Cachan - ENS Cachan, French. (Dang . T-T, 2013)
[22]	Modélisation et comparaison thermo-énergétique de systèmes de cogénération. Thèse de Doctorat Université Henri Poincaré, Nancy I. (Descieux.2007).
[23]	Cogénération et émissions de CO2: Impact de la pénétration de la cogénération décentralisée de faible puissance sur les émissions de CO2 en France, Les Cahiers du CLIP N° 15 - Janvier 2004. (CLIP , 2004)
[24]	Journée micro et mini-cogénération 2015
[25]	La cogénération : des technologies éprouvées et performantes au développement encore trop limité en France, Juin 2010 (IDF , 2010).
[26]	Inventaire des techniques de substitution permettant de réduire les émissions de CO2. Rapport final - Février 2000)
[27]	guide cogénération comment estimer la pertinence d'une installation de cogénération
[28]	Méziane Boudellal Cogénération et micro-cogénération Solutions pour améliorer l'efficacité énergétique 2e édition , Paris, 2013
[29]	Reciouï Bakhta, Etude prospective de la récupération d'énergie en Algérie. Thèse de Doctorat (2015-2016).
[30]	Ouahab A, 2015. Modélisation des consommations d'énergie et des émissions de CO2 à long terme appliquée au secteur résidentiel algérien. thèse de Doctorat, l'université François – Rabelais de Tours, 2015
[31]	Assoumou E.,2006. Modélisation MARKAL pour la Planification Energétique Long Terme dans le Contexte Français, thèse de Doctorat, l'Ecole des Mines de Paris, 2006
[32]	Löschel A., Technological change in economic models of environmental policy: a survey, 105- 126, Ecological Economics 43, 2002
[33]	https://cdn.uclouvain.be/public/exports%20reddot/mila/documents/arcgis_desktop.pdf
[34]	l'Office National des Statistiques (ONS, 2016).
[35]	Ministère de l'habitat, de l'urbanisme et de la ville (MHUV, 2015).

[36]	l'Office National des Statistiques (ONS, 2010-2016)
[37]	l'Office National des Statistiques ONS (2007 - 2015).
[38]	Bilan Energetique National (ME2010 – 2016)
[39]	Agence Internationale d'Energie (AIE, 2017)
[40]	Ghedamsi, 2016. Modeling and forecasting energy consumption for residential buildings in Algeria using bottom-up approach. Energy and building, 121 (2016)
[41]	Chaudière à micro-cogénération (pile à combustible) VITOTALOR 300-P
[42]	RT. 2005. Réglementation thermique 2005, CSTB, France. (RT 2005).
[43]	AIE, 2013. World Energy Outlook 2013. www.worldenergyoutlook.org
[44]	Dorer, V et Weber, A. 2009. Energy and carbon emission footprint of micro-CHP systems in residential buildings of different energy demand levels. Journal of Building Performance Simulation, 2, pp. 31 – 46 (Weber, 2009).
[45]	Benoît Andlauer. Optimisation systémique de micro-cogénérateurs intégrés au bâtiment. Génie des procédés. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2011.
[46]	ME, 2017. Bilan Energetique National 2016 (ME, 2016). http// :www.me.gov