

**EPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**



**Ministère de l'enseignement Supérieur
Et de la Recherche Scientifique
Université Kasdi Merbah Ouargla
Faculté des sciences appliquées
Département Génie Mécanique**



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Génie Mécanique

Option : Energétique

Présenté par :

Naili Ala Eddine

Messaoudi Lazhar

Thème

***Valorisation énergétique de la biomasse en Algérie et
prospective à l'horizon 2050***

Devant le jury composé de :

BOUBEKEUR Dokkar	MCB	UKMO	Président
Ghedasmi Rébha	MAA	UKMO	Examinatrice
RECIQUI Bakhta	MCA	UKMO	Encadrante

Année : 2017/2018

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier notre Allah, pour le courage et la force qu'il nous a donné pour effectuer ce travail. Au moment d'achever ce travail modeste, Nous remercions profondément la directrice du mémoire Mme **Bakhta RECIQUI**.

Nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué à la poursuite de ce travail, en particulier, le Docteur **Nadia SAIFI** le Docteur **Abderrahmane GOUAREH**, le professeur **Soumia. RAHMOUNI** et le doctorant **MESSAOUDI DJILAL I**.

Enfin, nous remercions tout ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions tous les étudiants(es) de master en génie mécanique. Nous remercions vivement nos parents pour leur aide et leur contribution à l'aboutissement de nos études et en témoignage de reconnaissance.

Résumé

Les énergies renouvelables sont une importante alternative à l'épuisement des énergies fossiles et un moyen primordial dans la lutte contre les effets néfastes des changements climatiques, notamment la réduction des émissions des gaz à effet de serre. Parmi ces sources d'énergie renouvelables et propres, la biomasse se présente comme l'une des sources d'énergie les plus prometteuses. Notre travail s'inscrit dans le cadre d'une étude prospective visant à développer une politique de Production de l'énergie par le biais de la biomasse en Algérie à l'horizon 2050, qui s'impose comme une nécessité face à une demande accrue d'énergie d'une part et aux enjeux environnementaux d'autre part. Dans ce cadre et pour déterminer à long terme les mesures pouvant être entreprises en matière de politique d'énergie et d'environnement, la mise en place de modèles de prospective énergétique pour notre pays s'avère incontournable avec l'intégration du système d'information géographique (SIG) pour l'aménagement énergétique du territoire national.

Mots clés : Energie renouvelable ; Biomasse ; Déchets végétales et animales ; Déchets ménagers ; Production électricité

تعد الطاقات المتجددة بديلاً هاماً لاستنفاد الوقود الأحفوري والوسيلة الرئيسية في مكافحة الآثار الضارة لتغير المناخ ، بما في ذلك الحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. من بين مصادر الطاقة المتجددة والنظيفة الكتلة الحيوية التي تعد أحد أكثر مصادر الطاقة الواعدة ، حيث يعد عملنا جزء من دراسة مستقبلية تهدف إلى تطوير سياسة إنتاج الطاقة من خلال الكتلة الحيوية في الجزائر بحلول عام 2050 ، والتي تبرز كضرورة في مواجهة الطلب المتزايد على الطاقة من ناحية والقضايا البيئية من ناحية أخرى. وفي هذا السياق نستطيع تحديد التدابير التي يمكن اتخاذها على المدى الطويل فيما يتعلق بالطاقة والسياسة البيئية. إن إنشاء نماذج للطاقة المستقبلية لبلدنا أمر لا مفر منه مع دمج نظام المعلومات الجغرافية (SIG) لإدارة الطاقة في الإقليم الوطني.

الكلمات المفتاحية : الطاقة المتجددة - الكتلة الحيوية - النفايات النباتية والحيوانية - النفايات المنزلية - إنتاج الكهرباء

Abstract

Renewable energies are an important alternative to fossil fuel depletion and a key means of combating the adverse effects of climate change, including reducing greenhouse gas emissions. One of the most promising sources of energy is clean and renewable energy.

Our work is part of a prospective study aimed at developing energy policy through biomass in Algeria by 2050, which is emerging as a necessity in the face of rising energy demand on the one hand And environmental issues. In this context, we can identify possible long-term measures in terms of energy and environmental policy. The creation of future energy models for our country is inevitable with the integration of the SIG into energy management in the national territory.

Keywords : Renewable energy - Biomass - Plant and animal waste - Household waste - Electricity production.

Sommaire

Remerciements

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction général.....1

Chapitre I

Contexte énergétique et environnemental algérien

I.1. Introduction.....3

I.2. Contexte énergétique.....3

I.2.1. production nationale d'énergie..3

I.2.1.1 Production d'énergie primaire..3

I.2.1.2 Production d'énergi dérivée4

I.2.2. consommation d'énergie6

I.2.2.1 Consommation nationale d'énergie.....6

I.2.2.2 Consommation finale d'énergie.....6

I.2.3. Potentiel national des énergies renouvelables.....8

I.2.3.1. Potentiel de la Biomasse8

I.3. Contexte environnemental.....10

I.3.1. Emissions de CO₂10

I.3.2. Engagement national contre les changements climatiques.....12

I.3.3. Programme National des Energies Renouvelables (PNER)12

I.4. Conclusion.....	13
-----------------------------	-----------

Chapitre II

La biomasse

II.1. Introduction.....	14
II.2. Biomasse	14
II.2.1. Définition de la biomasse.....	14
II.2.2. Types de biomasse.....	15
II.2.3. Que peut-on faire à partir de la biomasse ?.....	16
II.2.4. Avantages et inconvénients.....	17
II.2.4.1. Avantages de biomasse.....	17
II.2.4.2. Inconvénients de biomasse.....	17
II.3. Différentes technologies de conversion énergétique de la biomasse.....	18
II.3.1. Valorisation thermochimique de la biomasse.....	18
II.3.1.1. Combustion.....	19
II.3.1.1.1. Les étapes de combustion	20
II.3.1.2. Gazéification.....	20
II.3.1.3. Pyrolyse.....	22
II.3.2. Valorisation biochimiques de la biomasse.....	22
II.3.2.1. Fermentation alcoolique.....	23
II.3.2.2. Biométhanisation ou digestion anaérobie.....	23
II.4. Disponibilité de la biomasse.....	23
II.5. Conclusion	23

Chapitre III

potentiel énergétique de la biomasse

III.1 Introduction.....	25
III.2. Prospective : Notions et généralités.....	25
III.2.1. Définition.....	25
III.2.2. Modèles prospectifs.....	25
III.3. Potentiel énergétique de la biomasse.....	26
III.3.1. Estimation du potentiel énergétique (kWh).....	27
III.4. Etude Prospective à l’horizon de 2050.....	27
III.4.1. Rétrospective du secteur d’électricité.....	27
III.4.1.1. Production d’électricité.....	27
III.4.1.2. Consommation finale d’électricité.....	28
III.4.2. Prospective énergétique 2050.....	29
III.4.3. Description du modèle autonome.....	29
III.4.4. Construction de scénario.....	30
III.4.5. Hypothèses de modélisation.....	31
III.5. Déchets végétales.....	31
III.5.1. Oliviers.....	32
III.5.1.1. Potentiel oléicole.....	32
III.5.2. Palmier.....	35
III.5.2.1. Le rendement réel.....	37
III.5.2.2. Le rendement potentiel.....	37
III.5.3. Agrumes.....	38
III.6. Déchets animales.....	40
III.6.1. Bovins.....	40

III.7. Déchets ménagers.....	42
III.7.1. Production des déchets.....	43
III.8. Potentiel énergétique de la valorisation de la biomasse.....	51
III.8.1. Impact énergétique.....	51
III.8.2. Impact environnemental.....	52
III.8.3. Impact économique.....	54
III.9. Conclusion.....	55
Conclusion générale	56
Bibliographie	
Annexe	

Liste des figures

Chapitre I : Contexte énergétique et environnementale algérien

Figure I-1	Bilan de la Production nationale d'énergie primaire de (2000 à 2016)	4
Figure I-2	Bilan de la Production nationale d'énergie dérivée de (2000 à 2016)	4
Figure I-3	Evolution mensuelle de la production d'énergie primaire total ,et énergie dérivé total.	5
Figure I-4	Consommation nationale par forme d'énergie (2000 à 2016)	6
Figure I-5	Consommation énergétique finale en Algérie(Mtep)	6
Figure I-6	Consommation énergétique finale en Algérie par secteur d'activité	7
Figure I-7	consommation d'énergie finale par secteur d'activité	7
Figure I-8	Production nationale d'énergie renouvelable de 2010 à 2016	9
Figure I-9	Emissions totales (Mt de CO2)	10
Figure I-10	Emissions annuelles de CO ₂ par produit en Mt	11
Figure I-11	Emissions de CO ₂ par secteur en 2015	11
Figure I-12	Répartition des énergies renouvelables selon le PNER en 2015	12
Figure I-13	Evolution prospective de la production des énergies renouvelables selon le PNER	13

Chapitre II : la biomasse

Figure II-1	Les Sources de la biomasse.	15
Figure II-2	Différentes technologies de valorisation du bois par gazéification	21
Figure II-3	Produits issus de la pyrolyse de biomasse et leurs utilisations	22

Chapitre III : potentiel énergétique de la biomasse

Figure III -1	Classification de modèles de prospective	26
Figure III -2	Evolution de la production d'électricité	28
Figure III -3	Evolution de la consommation finale	29

Figure III -4	Evolution de la superficie oléicole (ha)	32
Figure III -5	Evolution du nombre de l'olivier complantée (arbre)	33
Figure III -6	Evolution du nombre de l'olivier en rapport (arbre)	33
Figure III -7	Evolution de la superficie des oliviers (2000-2006)	34
Figure III -8	Evolution prospective de la production d'énergie à partir déchets verts des oliviers à l'horizon 2050.	35
Figure III -9	Evolution de la superficie de palmier (2003-2017)	36
Figure III -10	Quantité annelle de déchet d'un seul palmier	36
Figure III -11	Evolution prospective de la production d'énergie à partir déchets verts des palmiers à l'horizon 2050.	38
Figure III -12	Evolution de la superficie des agrumes (2000-2006)	39
Figure III -13	Evolution prospective de la production d'énergie à partir déchets verts des agrumes à l'horizon 2050.	40
Figure III -14	Evolution de l'effectif des bovins de 2002 à 2009	40
Figure III -15	Evolution prospective de la production d'énergie à partir déchets animales (fumiers bovines) à l'horizon 2050.	42
Figure III -16	Evolution rétrospective de la population.	44
Figure III -17	Distribution géographique de la population a l'horizon 2050	45
Figure III -18	Evolution rétrospective des déchets en Algérie (Mt)	46
Figure III -19	Composition des déchets en Algérie (2010)	47
Figure III -20	Production de déchets en Algérie a l'horizon 2050	48
Figure III -21	Distribution géographique des principaux gisements déchets urbains d'Algérie de 2010 à 2050.	49
Figure III -22	Projection de la production d'électricité à partir du biogaz issus de déchets ménagers	50
Figure III -23	Répartition géographique du potentiel énergétique des déchets urbains en Algérie	50
Figure III -24	Evolution de la production d'électricité à partir de la biomasse à l'horizon 2050 (TWh).	51
Figure III -25	Evolution de la production d'électricité à l'horizon 2050 (TWh).	52
Figure III -26	Evolution des émissions évitées en Algérie à l'horizon 2050.	53

Figure III -27	Evolution prospective des émissions de CO ₂ (Mt).	53
Figure III -28	Répartition du gain économique pour chaque plan (M\$).	54

Liste des tableaux

Chapitre II : la biomasse

Tableau II-1	Recapitulatif des conditions operatoires des differentes transformations thermochimiques	19
--------------	--	-----------

Chapitre III : potentiel énergétique de la biomasse

Tableau III-1	Rendement des déchets	32
Tableau III-2	Base de calcul pour l'identification du potentiel énergétique théorique issu de déchets des oliviers dans Algérie 2015	34
Tableau III-3	Rendements réel et potentiel	37
Tableau III-4	Base de calcul pour l'identification du potentiel énergétique théorique issu de déchets des palmiers dans Algérie 2015	37
Tableau III-5	Base de calcul pour l'identification du potentiel énergétique théorique issu de la culture des agrumes dans Algérie 2015.	39
Tableau III-6	Rendement des déchets	41
Tableau III-7	Aperçu du potentiel: Excréments de l'élevage bovin en tant que substrat pour la production de biogaz 2015	41
Tableau III-8	La quantité journalière de déchets générée par habitant	45
Tableau III-9	Valorisation énergétique des déchets urbains en Algérie (2015).	47
Tableau III-10	Evolution des prix du gaz	54

Introduction générale

Le développement économique associé à une croissance démographique et de mode de vie ont engendré l'augmentation de la consommation d'énergie en Algérie au cours de ces dernières années. Le pays consomme l'énormément d'énergie fossile, dont plus que 90%. Ainsi, l'Algérie projetera d'orienter récemment sa politique énergétique et d'accroître entre autre l'utilisation des énergies renouvelables.

La capacité du programme d'énergie renouvelable nécessaire pour répondre aux besoins du marché national au cours durant la période 2030-2015 est estimée à 22 000 MW, La quantité suivante 4 500 MW sera atteinte d'ouverture d'année 2020 [1].

L'Algérie opte en particulier pour l'énergie solaire et l'énergie éolienne, mais également la biomasse est un potentiel important et efficace si on applique les technologies modernes. 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 [2].

Outre l'exploitation des sites potentiels spécifiques pour l'énergie solaire et éolienne en Algérie, l'utilisation de la biomasse comme source d'énergie renouvelable est essentielle à l'élaboration d'une politique énergétique durable. L'utilisation des résidus organiques ou des cultures énergétiques pour la production d'énergie est très variée, car la biomasse peut être utilisée sous les formes solides, liquides ou gazeuses, soit pour la production de chaleur et l'électricité ou pour la production de biocarburants certifiés. Outre la possibilité de transformer les déchets et résidus organiques de différents secteurs en ressources (énergétiques), la revalorisation énergétique de biomasse permet une production énergétique (électricité, chaleur, froid) qui est neutre sur le plan de l'émission de CO₂. L'utilisation et la valorisation énergétique de la biomasse peuvent contribuer considérablement à l'augmentation de la valeur ajoutée régionale, étant donné que par l'utilisation de la bioénergie [3].

Le travail suivant présente l'étude prospective sur les potentiels énergétiques de la biomasse en Algérie. Une évaluation des gisements des fractions organiques des déchets générés et leur potentiel de valorisation, a été réalisée selon une approche prospective à l'horizon 2050.

Le premier chapitre présentera la situation énergétique en Algérie et aura pour objectif de réaliser un état des lieux (productions et consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre résultantes de cette exploitation) ainsi qu'une aperçue sur les potentiels de développement des énergies renouvelables en Algérie, ainsi que la stratégie adoptée et les actions concrètes menées et réalisées par le gouvernement algérien.

Le deuxième chapitre présentera une étude bibliographique sur la récupération et la valorisation de la biomasse, ainsi que les principales notions relatives à ces déchets et leurs options de traitement seront abordées, qui permettra de fournir des informations générales sur la bioénergie.

L'objectif du troisième Chapitre, qui comprend l'analyse de matériaux, est d'offrir un aperçu des biomasses classées par secteur: agriculture, foresterie et gestion des déchets ainsi que par wilaya. L'aperçu chiffré permet l'évaluation d'ordres de grandeur, l'identification de potentiels valables et détermine le point de départ pour le développement et le renforcement de structures de valorisation. Les conséquences économiques, écologiques et sociales d'une stratégie d'utilisation de la biomasse optimisée seront évoquées ainsi que leur contribution possible à une politique énergétique durable pour l'Algérie.

I.1. Introduction

Le pétrole le gaz naturel et le charbon sont des matières présentes dans le sous-sol de la Terre. Leur particularité, c'est qu'ils brûlent très bien : ce sont d'excellents carburants. On les appelle "hydrocarbures". Ils ont aussi l'avantage de pouvoir être facilement stockés et transportés, ce qui en fait la source d'énergie la plus pratique à utiliser. A l'opposé des énergies fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon), et de l'énergie nucléaire, dont les stocks sont limités, les énergies renouvelables s'appuient sur des ressources inépuisables (rayonnement solaire, vent, mouvements de l'eau, chaleur terrestre) ou vite renouvelées (culture, forêts).

Dans ce chapitre, nous présenterons dans un premier temps le contexte algérien par la définition du profil de production, la transformation et la consommation de l'énergie. Ensuite, nous présenterons l'impact environnemental .Enfin, nous terminerons ce chapitre par la stratégie adoptée et les actions concrètes menées par le gouvernement algérien.

I.2. Contexte énergétique

I.2.1. Production nationale d'énergie

Les énergies primaires conventionnelles intègrent le pétrole, le charbon et le gaz naturel. Ce sont des énergies disponibles, faciles à transporter, à stocker et à utiliser. Leur maîtrise a permis le développement industriel et économique. Mais l'inégale répartition de ressources à la surface de la Terre, la fluctuation des coûts et leur épuisement prévisible posent aujourd'hui la question de leur préservation.

I.2.1.1 Production d'énergie primaire

La figure I.1 montre La production commerciale d'énergie primaire a renoué avec la croissance en 2016, mettant fin à la tendance baissière observée sur plusieurs années. Elle a fortement augmenté (+7,3%) par rapport aux réalisations de 2015, pour atteindre 166,2 M tep [4].

Car la production globale pour l'année 2016 voisine 166.18 Mtep. La distribution

de la production énergétique primaire comme suite :

- Gaz Naturel : avec une production de 54%
- Le pétrole : avec une production de 33.8%
- GPL aux champs : 5.9%.

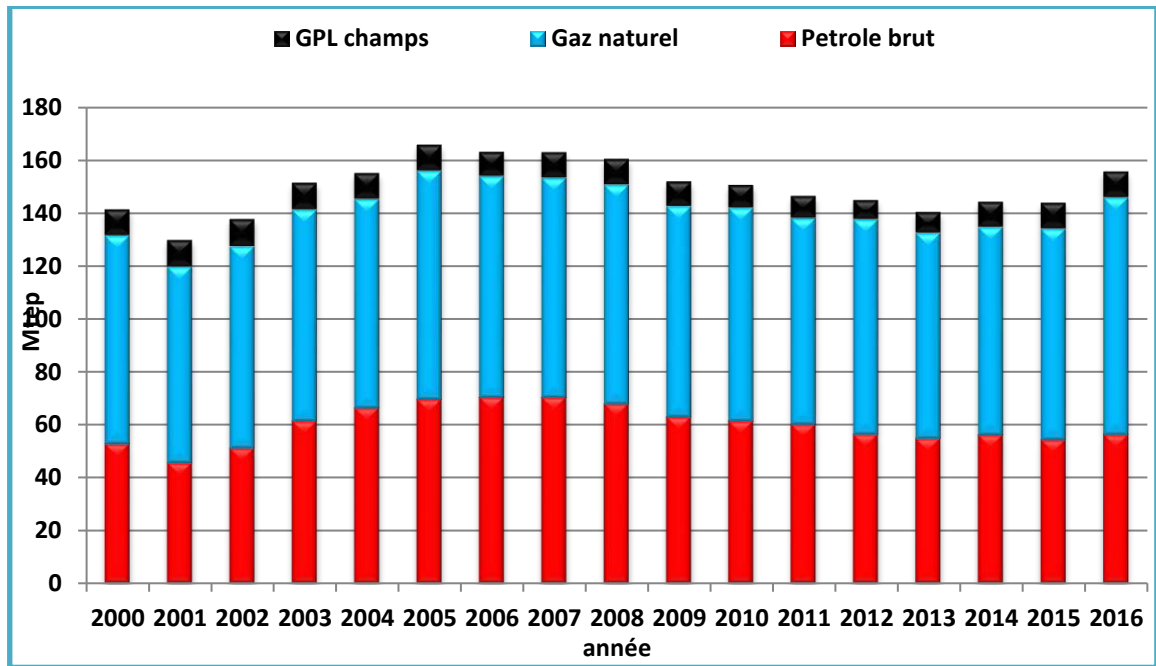


Figure I.1: Production nationale d'énergie primaire de (2000 à 2016)

I.2.1.2 Production d'énergie dérivée

La figure I.2 montre La production commerciale d'énergie primaire a renoué avec la croissance en 2016, mettant fin à la tendance baissière observée sur plusieurs années. Elle a fortement augmenté (+7,3%) par rapport aux réalisations de 2015, pour atteindre 166,2 M tep [4].

La production d'énergie dérivée a légèrement diminué (-1,0%) à 63,1 M Tep, suite à la baisse du gaz naturel liquéfié (-4,8%) et des produits pétroliers (-1,1%). Cette baisse a été en partie compensée par la hausse de production d'électricité (+3,0%) [4].

La production d'énergie dérivée en Algérie est de 63.09Mtep, la distribution des énergies dérivées est comme suite ;

- les produits pétroliers ; avec une production de 47.5%

- l'électricité : une production de 26.7%
- Le GNL ; une production de 23.7%

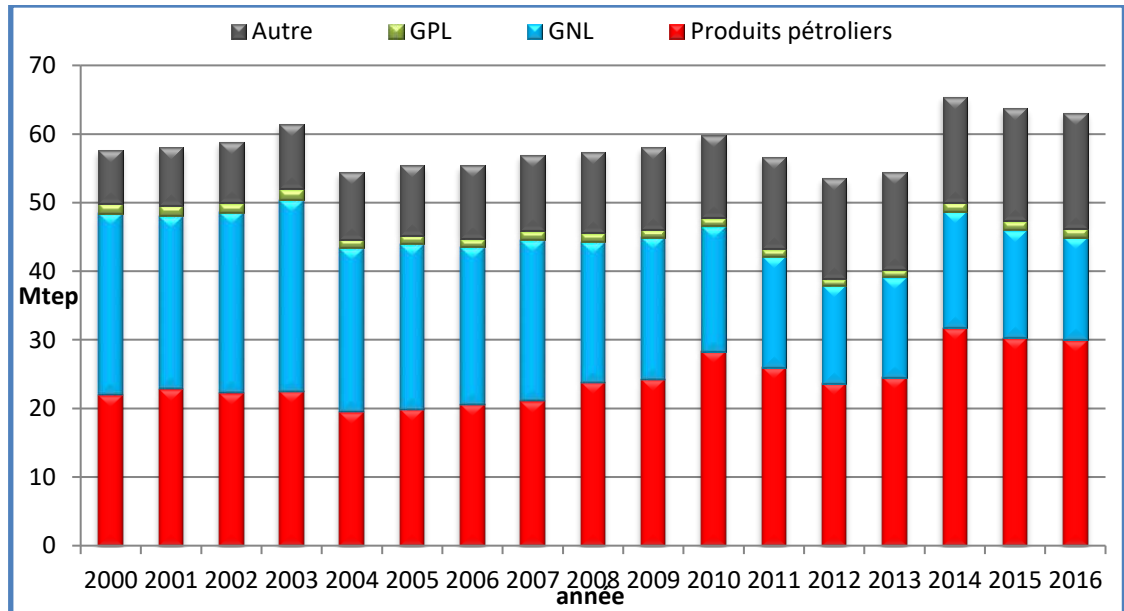


Figure I.2: Production nationale d'énergie dérivée de (2000 à 2016)

La figure I.3 montre les changements dans la production totale d'énergie primaire et la production totale d'énergie dérivée de 2000 à 2016(Mtep)

Selon la figure I.3, nous distinguons une augmentation remarquable de la production d'énergie primaire totale de 2001 à 2007. Ensuite une baisse de la production de 2007 à 2013 puis augmentation jusqu'en 2016. Pour le graphique de la production d'énergie dérivée totale, nous observons la stabilité avec une légère fluctuation de 2000 à 2016.

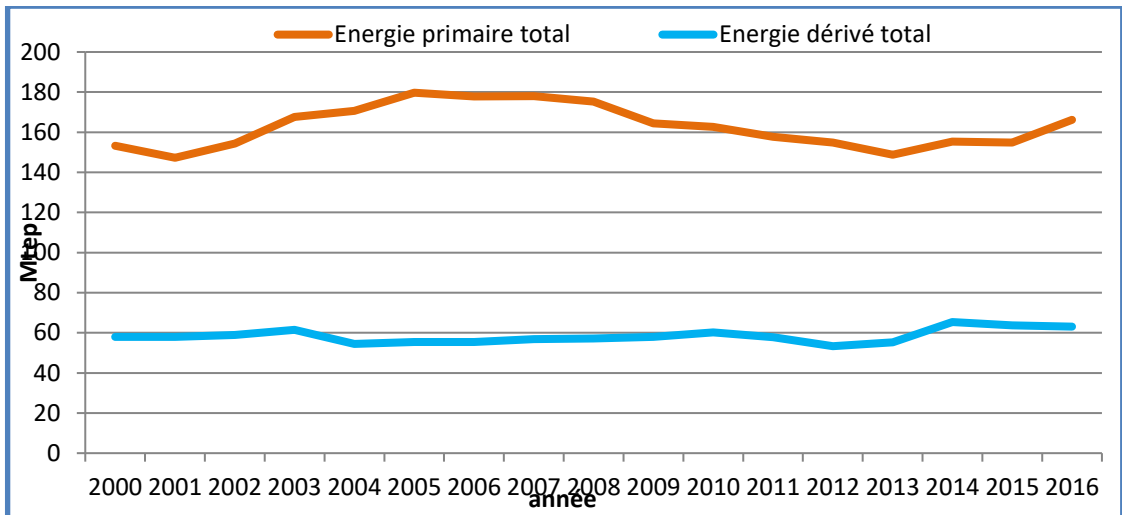


Figure I.3 : Evolution de la production d'énergie primaire total ,et énergie dérivé total.

I.2.2 Consommation d'énergie

I.2.2.1 Consommation nationale d'énergie

Nous notons sur la figure I.4 La consommation nationale d'énergie (y compris les pertes) est passée de 58.26 Mtep en 2015 à 58.34 Mtep en 2016, reflétant une hausse de 0.1%. [4]

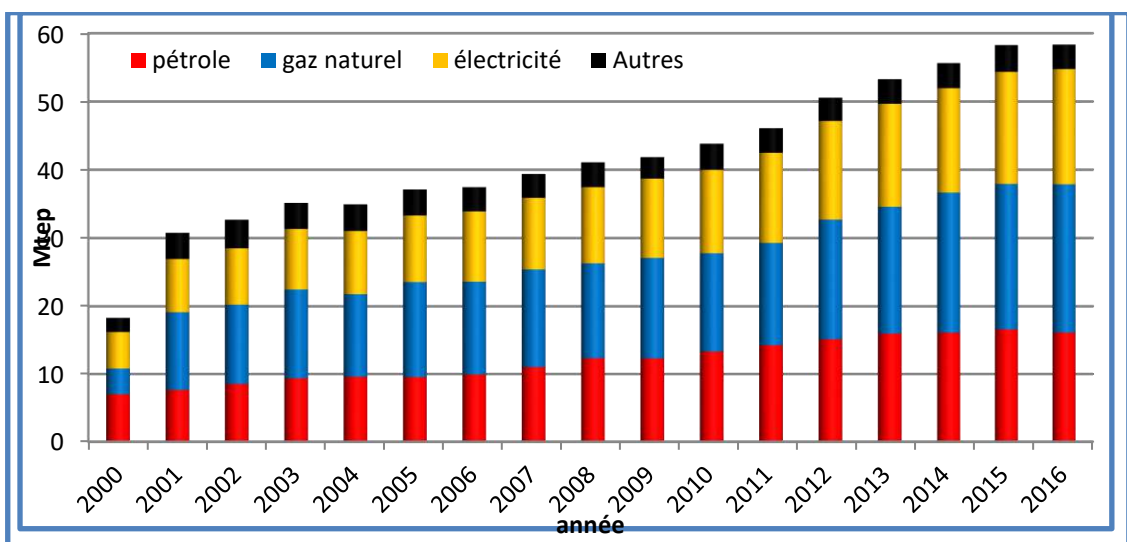


Figure I.4 : Consommation nationale par forme d'énergie (2000 à 2016) [5]

I.2.2.2 Consommation finale d'énergie

Nous notons sur la figure I.5 que la consommation d'énergie finale de l'Algérie augmente au cours des années 2000-2016.

La consommation finale est passée de 42,5 Mtep en 2015 à 42,9 Mtep en 2016, reflétant une légère hausse de 1,0%.

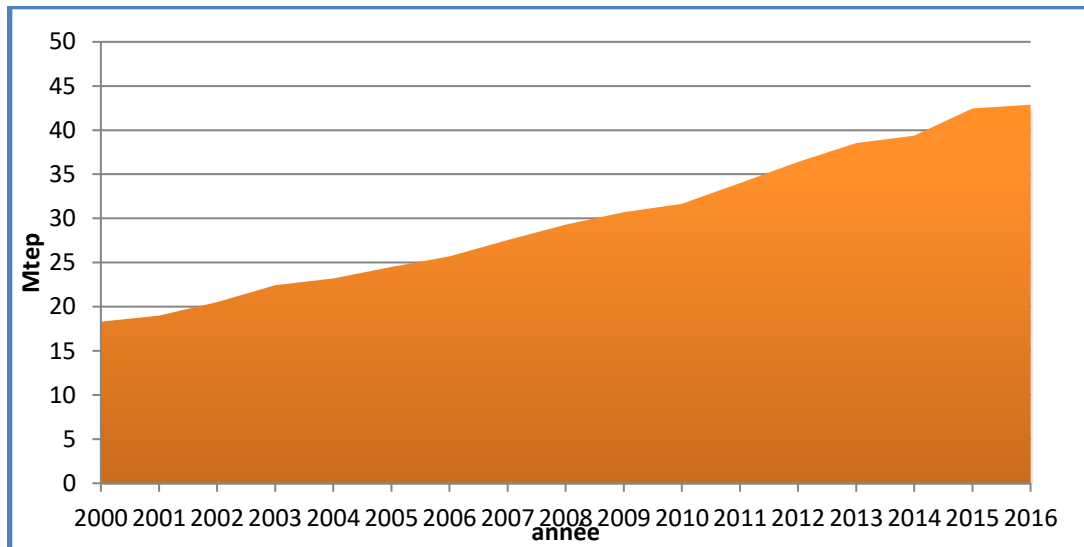


Figure I.5 : Consommation énergétique finale en Algérie [5].

La figure I.6 montre La consommation énergétique finale par secteur d'activité est présentée par 3 secteurs en Algérie, il s'agit de l'industrie et BTP, le transport, les ménages et autres.

D'après la figure I.6 précédente en remarque que le secteur le plus consommateur d'énergie est le résidentiel de 43.30%, ensuite le transport de 35.10% et enfin l'industrie avec 21.60%.

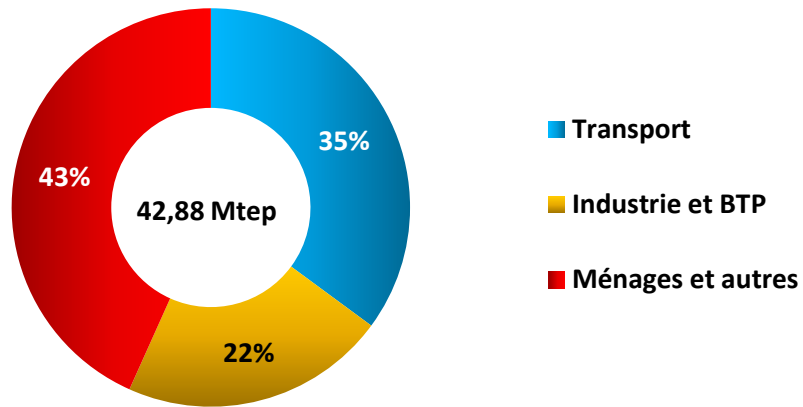


Figure I.6 : Consommation énergétique finale en Algérie par secteur d'activité [4]

La figure I.7 montre La consommation du secteur "Industrie et BTP" a connu une augmentation de deux fois plus que le 2016 d'après l'année 2000, en forte corrélation avec les industries grosses consommatrices d'énergie. Nous notons également que la consommation du secteur des transports, des ménages et autres augmente progressivement chaque année.

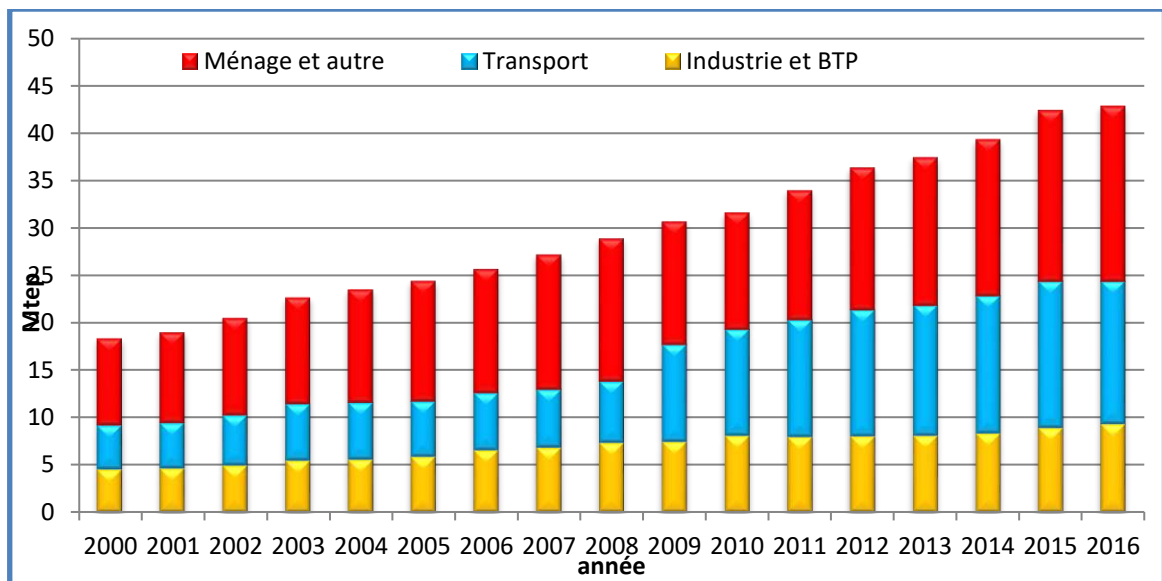


Figure I.7 : Consommation d'énergie finale par secteur d'activité [5]

I.2.3 Potentiel national des énergies renouvelables

L'Algérie étant un pays producteur de gaz et de pétrole, l'augmentation du prix du baril de pétrole à l'échelle mondiale n'encourage pas nécessairement l'utilisation des

énergies renouvelables. Toutefois, la signature des accords de Kyoto par l'Algérie et l'apparition des problèmes environnementaux ont fait qu'un programme gouvernemental a été mis en place pour investir dans le domaine de la production électrique à partir des énergies renouvelables. Le gouvernement algérien lance un plan de développement des énergies renouvelables très ambitieux, d'ici vingt ans, l'Algérie espère produire autant d'électricité à partir des énergies renouvelables qu'elle en produit actuellement à partir de ses centrales alimentées au gaz naturel. Les différents types de l'énergie renouvelable sont :

1. Energie éolienne
2. Energie solaire
3. Energie géothermique
4. Energie hydraulique
5. Energie de la biomasse

D'une manière globale, l'Algérie dispose d'un potentiel énergétique solaire d'environ 169 900 TWh/an, soit 3900 fois sa consommation actuelle en électricité pour le CSP et 13.9 TWh/an pour le PV [6]. Pour la géothermie, Le potentiel total de l'énergie en termes d'électricité est estimé à 700MW.

I.2.3.1. Potentiel de la Biomasse

Le potentiel de la biomasse est relativement limité. La surface boisée couvre environ 250 millions d'hectares et qui représente 10% de la superficie totale du pays ou le Sahara couvre presque 90% du territoire. Les forêts occupent une superficie de l'ordre de 4.2 millions d'hectares représentant ainsi 1.8% de cette surface, alors que les zones alfatières n'occupent que près de 2.5 millions d'hectares, c'est à dire un peu plus de 1% de l'étendue du territoire. Par contre, les terres dites improductives s'étendent sur plus de 188 millions d'hectares représentant 79% de la superficie totale [7].

Les énergies renouvelables restent aujourd'hui minoritaires dans la consommation et la production d'énergie en Algérie. Sur les 11,389 MW de capacité électrique installée dans le pays en 2011, 97% proviennent du gaz naturel, 0.9% des centrales diesels et 0.8% des installations hydrauliques tandis que les centrales hybrides

dont seulement une partie est produite par énergie solaire (le reste est produit par le gaz naturel) représentent 1.3% [8].

Selon la figure I.8, la production d'énergie a augmenté de 57,2 TWh en 2013 à 201 TWh en 2014 ce qui représente une croissance de 3,5 fois en un an pour arriver à presque 420 TWh en 2016. L'utilisation des énergies renouvelables reste négligeable devant les énergies fossiles malgré leurs inconvénients.

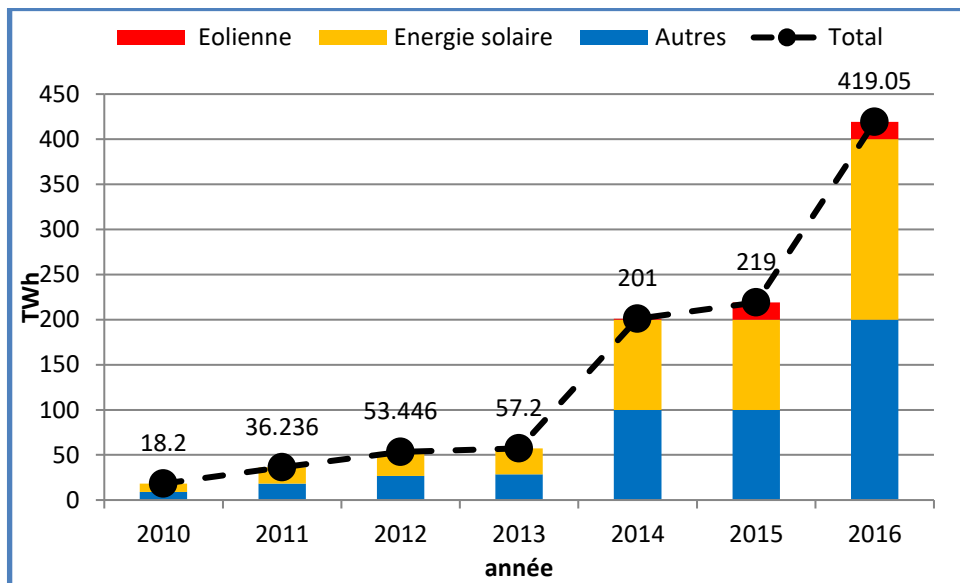


Figure I.8 : Production nationale d'énergie renouvelable de 2010 à 2016

I.3. Contexte environnemental

I.3.1. Emissions de CO₂

Depuis quelques années, les effets polluants relatifs à l'utilisation de carburant fossile dans les moyens de transport font l'objet d'une attention particulière. En effet, il a été maintes fois prouvé que les émissions polluantes provenant des tuyaux d'échappement des véhicules sont en grande partie responsables de l'effet de serre, et que les émissions des climatiseurs contribuent à l'amincissement de la couche d'ozone[9].

La figure I.9 montre Notez que la valeur des émissions CO₂ augmente chaque année, puisqu'elle était d'environ 62 Mt en 2000 et qu'elle est ensuite devenue 136 Mt en 2016 en raison de l'utilisation des énergies fossiles.

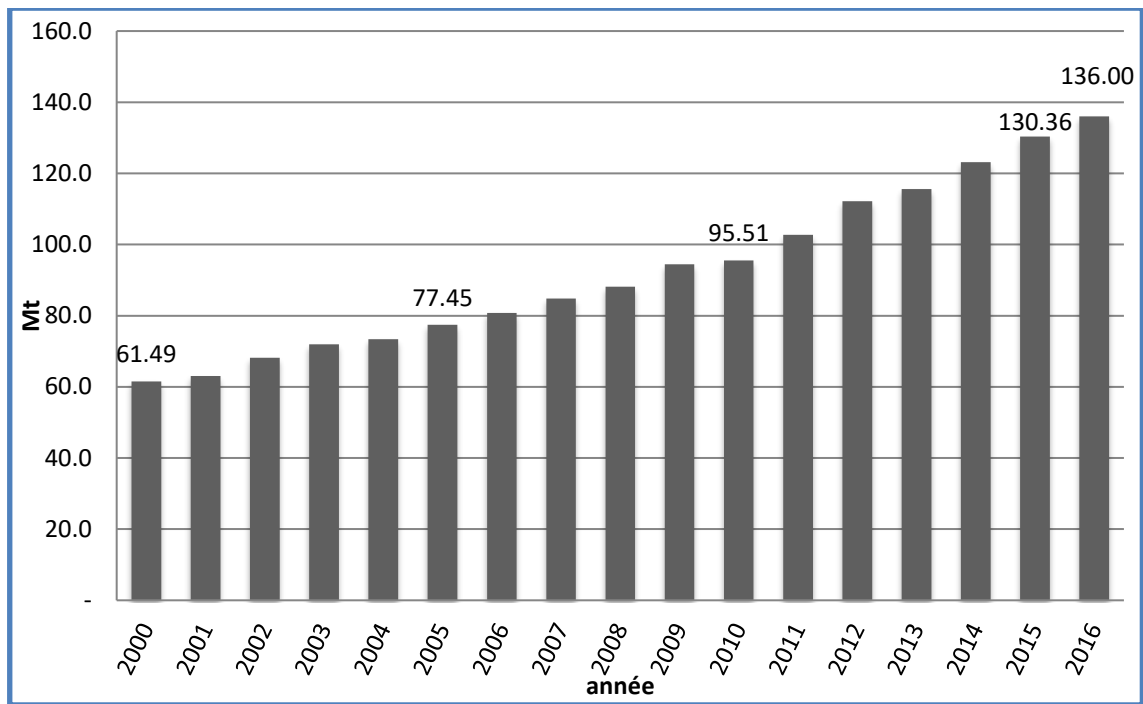


Figure I.9 : Emissions totales de CO₂ (Mt) [10]

La figure I.10 représente les valeurs d'émission CO₂ pour le secteur des transports, l'industrie et d'autres secteurs.

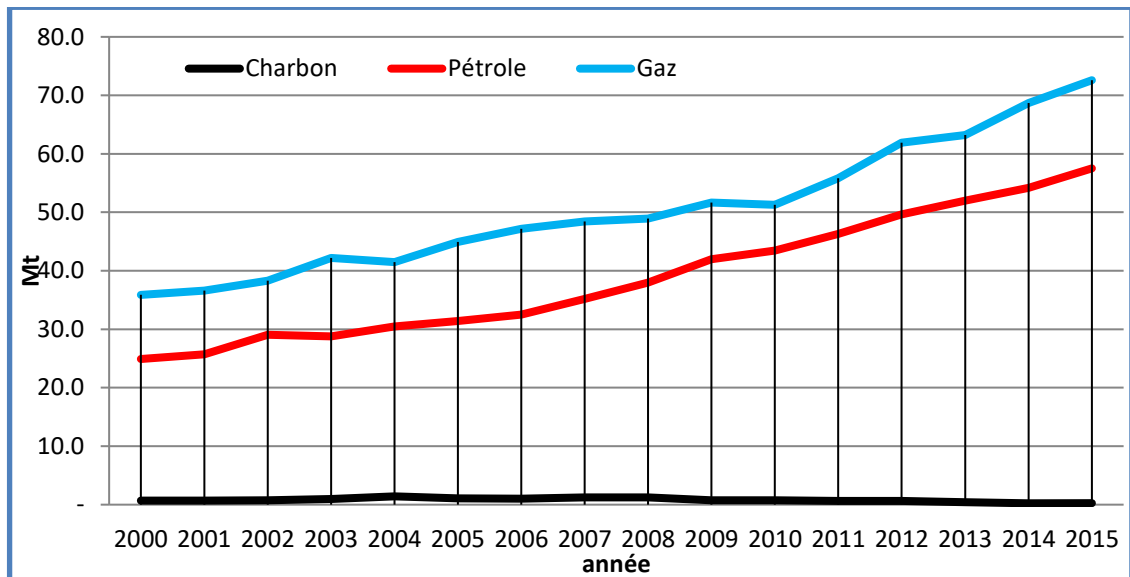


Figure I.10: Emissions annuelles de CO₂ par produit en Mt [11]

La figure I.11 montre Notez que le transport est le contributeur le plus important aux émissions de CO₂ jusqu'à 47.7 millions de tonnes, puis les industries jusqu'à 36,7 millions de tonnes et ensuite le résidentiels jusqu'à 34.6 Mt.

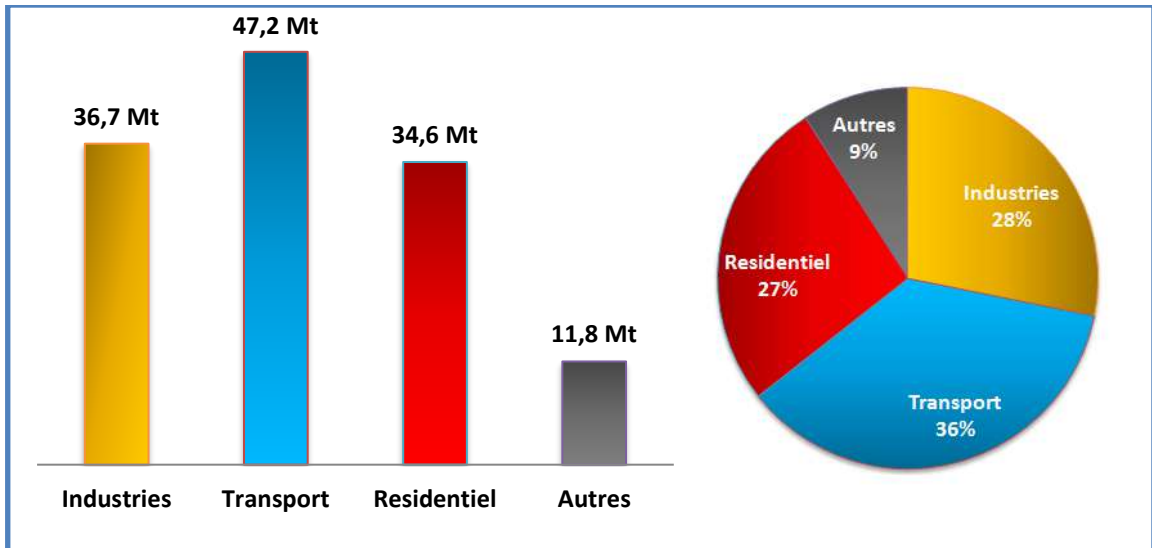


Figure I.11 : Emissions de CO₂ par secteur en 2015 [10]

I.3.2. Engagement national contre les changements climatiques

Certains problèmes environnementaux globaux comme le réchauffement climatique planétaire ou l'amincissement de la couche d'ozone ont nécessité l'application de mesures internationales telles que le protocole de Kyoto en 1997 visant à réduire les émissions anthropiques de gaz à effet de serre [10]. Ce protocole fixe comme objectif pour les 38 pays les plus industrialisés du monde une réduction de 5 % de leurs émissions globales de gaz à effet de serre par rapport aux niveaux observés en 1990 [13].

L'Algérie a été parmi les pays à soumettre au Secrétariat de la CCNUCC (Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques). Elle prévoit de réduire, à l'horizon 2030, ses émissions de gaz à effet de serre entre 7 % (avec ses fonds propres) à 22 % (conditionné à l'aide internationale) [14]. Pour coordonner l'effort national en la matière de lutte contre les changements climatiques, Le

gouvernement a adopté, récemment, un programme de développement des énergies renouvelables.

I.3.3. Programme National des Energies Renouvelables (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 [15]. 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.

La figure I.12 montre Par 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.

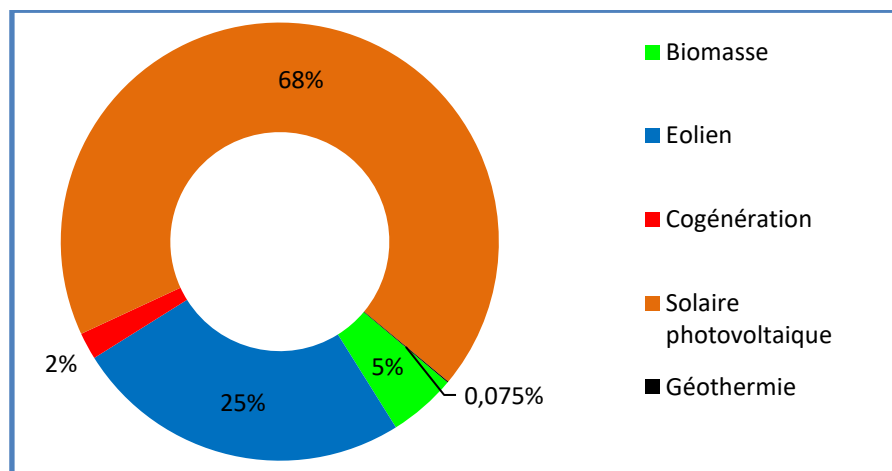


Figure I.12 : Répartition des énergies renouvelables selon le PNER en 2015

La figure I.13 montre 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 [2].

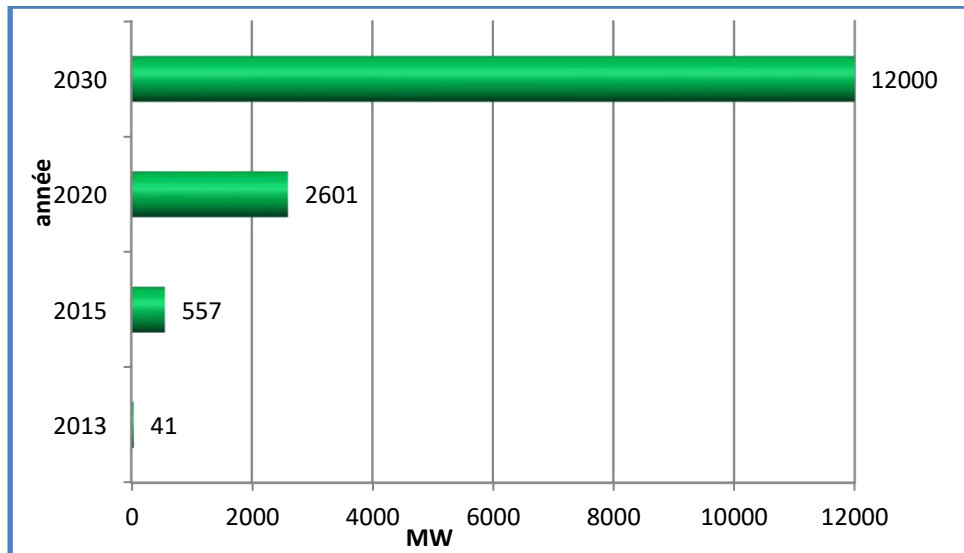


Figure I.13 : Evolution prospective de la production des énergies renouvelables selon le PNER

I.4. Conclusion

Le panorama qui vient d'être dressé ci-dessus permet de donner un aperçu sur situation énergétique et environnemental algérienne et de bien mettre en exergue toute l'importance des énergies renouvelables sur le plan économique, énergétique et environnemental en Algérie. Le recours à la modélisation prospective s'avère ainsi pertinent afin de mesurer l'apport de la récupération de ces énergies propres dans les engagements pris par l'Algérie en matière de consommations énergétiques et d'émissions de CO₂.

II.1. Introduction

Pendant longtemps la biomasse, fut la source d'énergie la plus exploitée par l'homme. Son utilisation remonte à la maîtrise du feu, il y a environ 450 000 ans [16]. Puis vint la révolution industrielle au 19eme siècle. L'énergie du bois fut alors remplacée par les énergies fossiles : le charbon et surtout les hydrocarbures. Cependant, la biomasse connaît aujourd'hui un renouveau. Depuis la conférence des Parties à la CCNUCC tenue à Kyoto, les bioénergies sont considérées comme un moyen privilégié pour lutter contre l'effet de serre. Outre un effet positif sur l'environnement, une utilisation accrue de bioénergies permet de réduire la dépendance vis à vis des énergies fossiles[17].

Ce chapitre présente un état des connaissances sur les principales notions relatives à la biomasse et leurs options de traitement sont abordées, afin de faciliter la compréhension de leur logique de gestion et de mise en œuvre dans le contexte Algérien en particulier.

II.2. Biomasse

II.2.1. Définition de la biomasse

L'énergie de la biomasse, ou bioénergie, est l'énergie qui est extraite des matières organiques non fossiles comme le bois, la paille, les huiles et les déchets végétaux des secteurs forestier, agricole et industriel. Tout comme l'énergie des combustibles fossiles, la bioénergie provient de l'énergie solaire emmagasinée dans les plantes par la photosynthèse. La principale différence entre les deux formes d'énergie tient au fait que les combustibles fossiles ne sont transformables en énergie utilisable qu'après des milliers d'années, alors que l'énergie de la biomasse bien gérée est renouvelable et peut être utilisée de façon continue. La biomasse se présente sous forme solide, liquide ou gazeuse et peut servir à de nombreuses applications. À l'heure actuelle, l'énergie de la biomasse provient en très grande partie des solides (copeaux, sciure, granulats, charbon, ordures ménagères) et des liquides (lessives de cuisson) provenant de la cuisson du bois dans l'industrie papetière [18].

II.2.2. Types de biomasse

Les chercheurs caractérisent les divers types de biomasses de différentes manières mais une méthode simple est de définir quatre types principaux, à savoir :

- plantes de type (bois)
- plantes herbacées
- plantes aquatiques
- engrais ou fumiers

La catégorie « plantes herbacées » peut encore être divisée en deux catégories: sèche et humide. Dès lors, les catégories « fumiers », « plantes aquatiques » et « herbacées humides » seront naturellement dirigées vers les procédés humides, tels que la fermentation, tandis que les catégories « herbacées sèches » et de type « bois » seront dirigées vers les procédés secs tels que gazéification, combustion et pyrolyse.

En règle générale, le processus de valorisation humide sera choisi, lorsque les besoins en énergie de séchage pour le processus sec, seront trop importants par rapport à l'énergie contenue dans le produit sec [19].

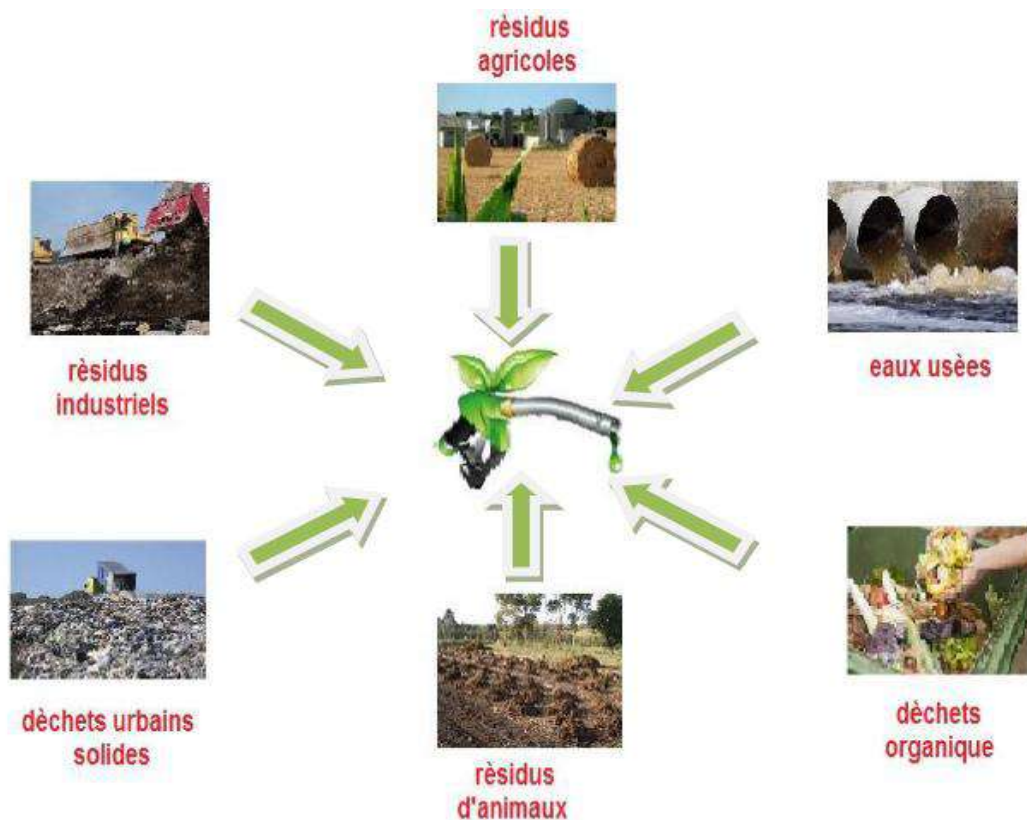


Figure II.1 Les Sources de la biomasse.

Les ressources en biomasse peuvent être classées en plusieurs catégories, selon origines:

- Le bois, la principale source d'énergie de la biomasse aujourd'hui [20]. Des exemples de résidus forestiers (tels que les arbres morts, les branches et les souches d'arbres), des coupures de cour, des copeaux de bois et de déchets solides ;
- Usine de biomasse ou de matières animales qui peuvent être converties en fibres ou d'autres produits chimiques industriels, y compris le bio-carburant comprend également [21].
- Les déchets organiques tels que les déchets urbains comprenant les boues d'épuration, ordures ménagères, et les déchets en provenance de l'agriculture tels que les effluents agricoles [22].

II.2.3. Que peut-on faire à partir de la biomasse ?

Les applications de la biomasse sont multiples et souvent anciennes. Hormis les usages alimentaires et pour la fumure des champs, la biomasse a de tout temps été utilisée comme combustible et comme matériau. Les applications de la biomasse comme matières premières de la chimie et comme carburants, importantes au 19ème et au début du 20ème siècle, redeviennent attractives, avec la hausse du prix du pétrole.

- **La biomasse comme biomatériau traditionnel ou innovant :** le bois et ses dérivés (papiers, cartons, panneaux de process), mais aussi le chanvre et autres plantes textiles, utilisés de plus en plus comme isolant y compris dans du béton composite. L'amidon de céréales ou de pomme de terre peut être utilisé pour la production de plastiques biodégradables et de nombreux autres polymères.
- **La biomasse comme matière première de la chimie :** elle est utilisée pour produire des tensioactifs, solvants, fluxants de bitumes, encres, peintures, résines, liants, lubrifiants, produits antigel... sans oublier les nombreux principes actifs et huiles essentielles utilisés en pharmacie et cosmétique.
- **La biomasse pour les biocarburants :** les huiles de colza, tournesol, soja ou palme sont les matières premières de base pour fabriquer du biodiesel. L'utilisation des huiles végétales pures comme carburant est possible mais rencontre des limites techniques. Le bioéthanol est aujourd'hui produit à partir de la fermentation de blé, maïs, betterave ou canne à sucre. A l'horizon 2015-

2020, des biocarburants dits "de seconde génération" pourront être produits à partir des matières cellulosiques que sont, par exemple, la paille et le bois.

➤ **La biomasse comme biocombustible pour produire de la chaleur et de l'électricité :**

- Le bois, sous la forme traditionnelle de bûches mais aussi de plaquettes forestières (sous-produits d'exploitation forestière broyés), d'écorces, de bois de récupération. Densifié, notamment pour les particuliers, le bois peut être présenté parfois sous forme de granulés ou de briquettes.
- La paille, mais aussi des résidus de culture et des productions dédiées, peuvent être utilisés comme combustibles.
- On peut également brûler à l'échelle industrielle du marc de raisin, des noyaux de fruits, des déchets d'usines papetières (liqueurs noires, boues papetières), des déchets de collectivités, etc. et aussi du biogaz issu de la fermentation de déchets divers mis en décharge ou traités dans des méthaniseurs (déchets verts, effluents d'usines agroalimentaires, déjections animales...) [23].

II.2.4. Avantages et inconvénient

II.2.4.1. Avantages de biomasse

- C'est qu'elle est renouvelable. Les plantes et les arbres peuvent être cultivés afin d'être utilisés.
- Le gaz obtenu nécessite moins de processus de purification que le gaz obtenu de l'incinération.
- Traite n'importe quel déchet ayant du carbone.
- Elle nécessite peu de surface pour être installée.
- Elle peut être installée proche des centres urbains
- Elle peut traiter des grandes quantités de déchets dans peu de temps.
- Elle a un bon rendement (35% de sa capacité).
- Elle produit de la matière sèche qui peut être utilisée pour fertiliser les sols.
- Tous les agriculteurs ayant des déchets organiques peuvent mettre en place un réacteur biogaz [24].

II.2.4.2. Inconvénients de biomasse

- Le coût d'une installation (individuelle) reste élevé malgré les aides de l'État

- Complexité administrative freine les lancements de projets
- Elle n'élimine pas complètement les déchets en laissant des impuretés dans les gazes et des cendres.
- Elle a besoin de processus de séparation de matériaux n'ayant pas du carbone (métaux vitres).
- Elle a besoin d'un apport d'énergie externe pour fonctionner.
- Elle a besoin de processus de stockage des cendres.
- Ensuite, il est important de distinguer les différentes sources de biomasse. Certains procédés de combustion, notamment avec le bois sont de forts Producteurs de CO₂, donc aussi nocifs que les énergies fossiles [24].

II.3. Différentes technologies de conversion énergétique de la biomasse

II.3.1. Valorisation thermochimique de la biomasse

La transformation thermochimique assure aujourd'hui probablement plus de 95% de la valorisation énergétique de la biomasse [25]. La nature même des constituants de la biomasse va induire de façon privilégiée, mais non exclusive, certaines filières de valorisation énergétique. Les trois principales conversions thermochimiques de la biomasse couramment développées correspondent à la combustion, la pyrolyse, et à la gazéification [26].

Ces trois voies sont rassemblées sous le terme de conversion thermochimique, qui fait référence à un ensemble de processus intervenant sous l'action de la chaleur et produisant des changements de nature chimique des composés constituant les produits d'origine.

Le tableau II.1 précise pour chaque transformation les conditions en température et atmosphère ainsi que les produits obtenus.

Transformations thermochimiques	Température	Atmosphère	Produits
Pyrolyse	< 700°C	Inerte (absence de O ₂)	Solide carboné (charbon) + liquide (goudrons) +gaz
Gazéification	>800°C	Gaz réactif air, O ₂ , CO ₂ , H ₂ O, etc..	Essentiellement mélange gazeux H ₂ , CO, CO ₂ et CH ₄
Combustion	>900°C	O ₂ (air)	CO ₂ +H ₂ O

Tableau II.1: Recapitulatif des conditions operatoires des differentes transformations thermochimiques [25]

II.3.1.1. Combustion

a. Définition :

La combustion est le moyen le plus simple pour la récupération de l'énergie contenue dans la biomasse. Elle libère directement la chaleur contenue dans la biomasse, tandis que les autres voies de valorisation fonctionnent suivant le principe de convertir la biomasse en un vecteur énergétique plus facilement stockable ou transportable et dont la transformation finale en énergie utile est effectuée à un autre moment et à un autre endroit.

C'est une réaction redox, exothermique réalisée grâce à la combinaison de trois éléments, un combustible (soit du bois), un comburant (le dioxygène...) et une énergie d'activation (quantité d'énergie nécessaire pour initier la réaction). La combustion du bois fut utilisée jusqu'au 18e siècle comme la principale source d'énergie dans le monde. La crise pétrolière de 1973 a favorisé de grandes améliorations dans ce domaine. Ces améliorations concernent surtout l'amélioration du rendement des appareils et aussi l'élargissement des ressources utilisées dans la combustion.

Actuellement la combustion utilise outre que le bois, la bagasse, les pailles, les coques d'arachides etc. [27].

b. Combustion directe

Pour que la combustion soit possible, il faut réunir en même temps une matière combustible, un corps comburant (oxygène, air...) qui, se combinant, produit la combustion et une énergie pour le démarrage de la réaction chimique de combustion. La conversion thermochimique est adaptée aux caractéristiques du bois. Elle permet de valoriser tous les composants du bois et utilise une matière première sèche [19].

II.3.1.1.1. Les étapes de combustion :

La combustion du bois se divise en différentes étapes relevant de divers processus chimiques et physiques. La combustion des matières solides comprend des réactions hétérogènes: la gazéification de la matière solide, et des réactions homogènes : la phase d'oxydation, le processus de combustion comprend plusieurs phases :

- Le séchage : l'eau résiduelle contenue dans la biomasse est évaporée à cause de la chaleur du foyer.
- Pyrolyse : La chaleur dégagée par le foyer décompose les constituants de la biomasse en gaz et en fines gouttelettes de goudrons qui se vaporisent. La majorité de ces composées sont combustibles.
- La combustion des gaz : Les gaz qui s'échappent de la pièce de biomasse se combinent rapidement à l'oxygène et brûlent.
- Combustion du résidu carboné : après que les gaz se sont dégagés, le résidu carboné brûle. Plus la pièce de biomasse est de dimension importante, plus ces quatre phases se chevauchent [19].

II.3.1.2. Gazéification

Définition : La gazéification est une réaction qui permet de transformer un solide (biomasse) en un gaz combustible essentiellement composé d'hydrogène, de monoxyde de carbone, et d'hydrocarbures légers (CH₄, C₂H₄, C₂H₆). La gazéification se déroule à haute température en présence d'un agent oxydant de gazéification. Ces agents oxydants sont généralement l'oxygène (de l'air) et/ou la vapeur d'eau et/ou le dioxyde de carbone. Comme pour la combustion, ces agents oxydants vont conduire à l'oxydation des vapeurs (gaz et goudrons) de pyrolyse et à une oxydation hétérogène du charbon [28].

D'un point de vue technique, la gazéification permet de transformer des combustibles solides hétérogènes en un combustible gazeux homogène et facilement

utilisable. Il convient de signaler que la gazéification est une technologie simple et largement éprouvée notamment à partir du charbon [29]. Les perspectives ouvertes alors sont l'utilisation de technologies de production d'électricité à fort rendement à la fois pour de petites et moyennes puissances (moteurs thermiques) ou de grandes puissances (turbine à gaz) à partir de la biomasse. L'utilisation des gazogènes présente pas mal d'avantages [27].

- Les gazogènes ne sont pas onéreux et sont très facile à utiliser.
- Ils sont capables de valoriser des sous produits variés de l'agriculture (les pailles, les coques d'arachides, les tiges de « pois Congo » ...).
- Les cendres qui en résultent peuvent être utilisés comme engrais potassique.
- Ils permettent d'obtenir des bénéfices dans des produits qui brûlent mal dans les chaudières (par exemple les pailles).
- Le gaz des gazogènes peut être utilisé à des fins diverses : ce gaz a été utilisé pendant la deuxième guerre pour faire avancer des voitures, il est actuellement utilisé pour la production de chaleur et d'électricité. La Figure 5 montre le schéma de fonctionnement d'un système de gazéification.

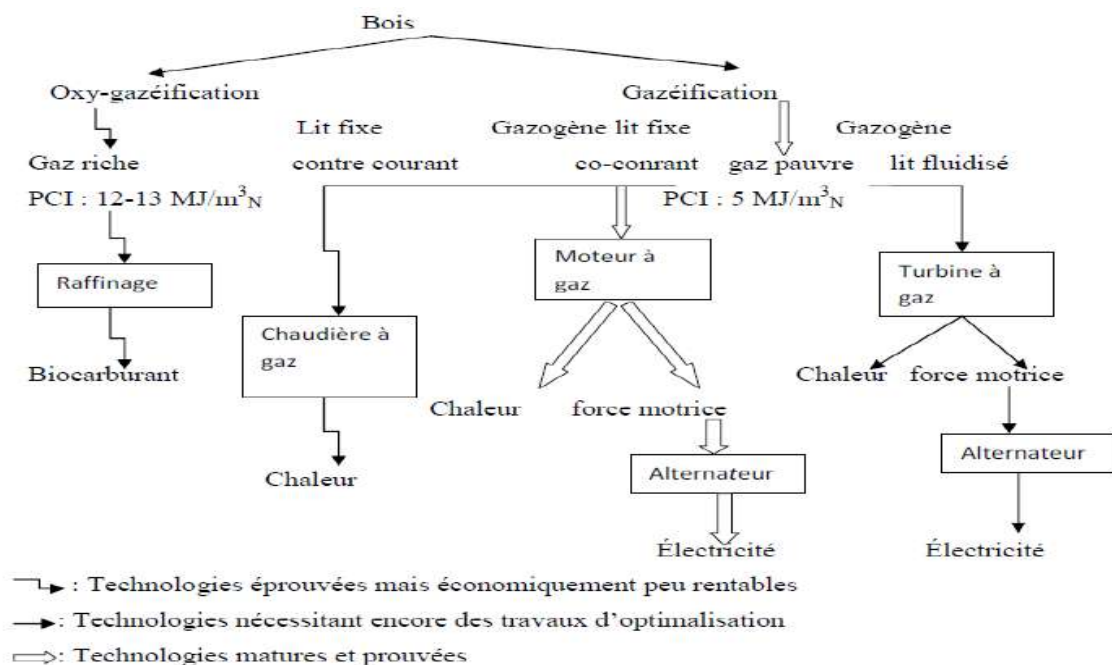


Figure II.2 Différentes technologies de valorisation du bois par gazéification [30]

II.3.1.3. Pyrolyse

Prise dans son sens étymologique de pyro (feu) et lyse (coupure), la pyrolyse est le processus primaire de décomposition thermique de la biomasse. Cette réaction produit des gaz permanents. Des vapeurs condensables et un solide en proportion variable selon les conditions opératoires et qui peuvent être valorisés à différents niveaux comme l'illustre la figure II.1. Par extension, elle recouvre les procédés de valorisation thermique de la biomasse en l'absence d'oxygène. Selon les conditions de réaction. [19]

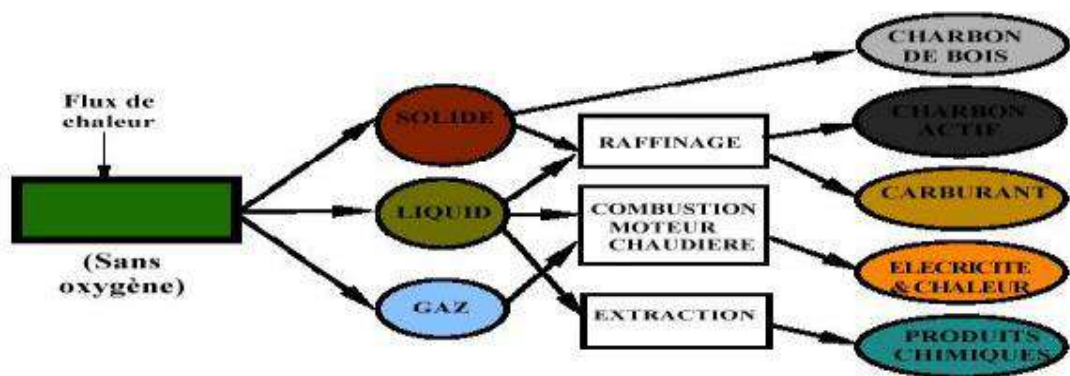


Figure II.3 Produits issus de la pyrolyse de biomasse et leurs utilisations.

La pyrolyse consiste en une transformation chimique du bois, qui chauffé à l'abri de l'air à une température de 500 à 700° C donne des produits volatiles qui sont des gaz, du goudron pyroligneux, de l'eau et laissant des résidus solides qui sont le charbon de bois [27]

II.3.2. Valorisation biochimiques de la biomasse

Après avoir étudié les conversions thermochimiques de biomasse qui représentent plus de 95% des valorisations énergétiques de biomasse, passons maintenant aux conversions biochimiques qui sont des processus naturel de décomposition par action des bactéries. Mais elles peuvent être contrôlées de façon à obtenir un combustible facilement exploitable. Deux filières de conversion biochimique de la biomasse sont particulièrement intéressantes [19]:

- 1 La fermentation alcoolique
- 2 La biométhanisation ou digestion anaérobie

II.3.2.1. Fermentation alcoolique

La fermentation de biomasse est un processus biochimique (est une réaction chimique) contenant du glucose, qui utilise des bactéries en l'absence d'air.

Le principe est le suivant : les déchets organiques sont stockés dans une cuve cylindrique et hermétique que l'on appelle « digesteur » ou « méthaniser » dans laquelle ils sont soumis à l'action de micro-organismes (bactéries) en l'absence d'oxygène [31].

II.3.2.2. Biométhanisation ou digestion anaérobie

La méthanisation est un procédé biochimique qui consiste à faire fermenter de la matière organique afin de la transformer en compost en l'absence d'air et par des bactéries, méthane et gaz carbonique, la méthanisation est réalisée sur des déchets organiques de diverses origines [32].

Les produits résultants de la dégradation peuvent être classés en deux catégories, le biogaz et le digeste. Le biogaz est un mélange de méthane (CH_4), de dioxyde de carbone (CO_2) et de vapeur d'eau (H_2O). Le méthane est le principal constituant du gaz naturel. Le digestat est le résidu liquide contenant les matières non dégradées.

II.4. Disponibilité de la biomasse

La disponibilité de la biomasse résiduelle (déchets agricoles) est très saisonnière et limitée à quelques mois dans l'année. Il est rare que plusieurs récoltes se succèdent sur les mêmes surfaces, dans la même année. Les sous produits agricoles doivent donc être récoltés, puis stockés. Dans certains cas, du fait des risques de développement et de prolifération de certains champignons ravageurs, ces produits ne peuvent être stockés et doivent être éliminés ou très rapidement. Cette situation peut donc conduire à une disponibilité de la matière première toute relative et en tout état de cause induire des coûts très élevés du au stockage [33].

II.5. Conclusion :

La biomasse est une source d'énergie alternative qui est une solution efficace à la crise énergétique La valorisation de la biomasse peut s'avérer utile dans le

développement durable du pays. Elle n'en est à l'heure actuelle qu'à ses prémices, mais devrait progresser dans un futur proche vu le nombre d'applications possibles. L'étude bibliographique a été faite sur des nombreuses formes de biomasse qui sont disponibles dans notre environnement et sont potentiellement valorisables (déchets végétales, animales, ménagers...etc).

L'exploitation de telles formes d'énergie permettra de préserver les ressources du pays tout en diminuant sensiblement la quantité de gaz à effet de serre émise dans l'atmosphère. L'Algérie possède un gisement important d'énergie perdu, la récupération de cette énergie est une solution qui peut apporter beaucoup de bénéfices soit en termes énergie, économie, environnement.

III.1 Introduction

La biomasse est la fraction biodégradable des produits composant les matières organiques soit les déchets et résidus provenant de l'agriculture, les substances végétales et animales, la sylviculture et les industries connexes ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers. Nous sommes intéressés dans ce travail à la valorisation des déchets par énergie biomasse appelée l'énergie verte. C'est une source énergétique propre sans effet néfaste sur l'environnement naturel.

Ce chapitre abordera une analyse et une comparaison des résultats des différents scénarios (tendanciel et volontariste) et ce en termes de gains énergétique, aspect économique et réduction des émissions des gaz polluants. Il sera consacré à identifier les caractéristiques des scénarios énergétiques et le lien entre l'objet scénario et le concept de vision à long terme d'une part et un cadre d'analyse qui permettra de mener une analyse comparative des scénarios dans le but d'identifier les enjeux et défis pour la politique algérienne future d'autre part .

III.2. Prospective : Notions et généralités

III.2.1. Définition

La prospective est la discipline qui traite du prospectif. La prospective est différente de la planification, qui a pour objet de définir un ensemble d'actions à mener de manière raisonnée et coordonnée pour répondre à un objectif politique donné [34]. Il faut noter que la projection et la prospective sont deux modes extrêmes de la prévision [35].

III.2.2. Modèles prospectifs

Boulangier et Bréchet ont distingué dans leur analyse six différentes classes de modèles: Modèles macro-économétriques, Modèles multi-agents, Modèles d'équilibre général calculable, Réseaux Bayésiens, Modèles d'optimisation, Dynamique des systèmes [36]. Par ailleurs, une autre distinction relative à leurs paradigmes, permet de distinguer trois grandes familles : les modèles IAM (Integrated Assessment Models) intégrés, les modèles économiques et l'approche descendante « Top-Down » (TD), et enfin les modèles technologiques et l'approche ascendante « Bottom- Up » (BU) [37].

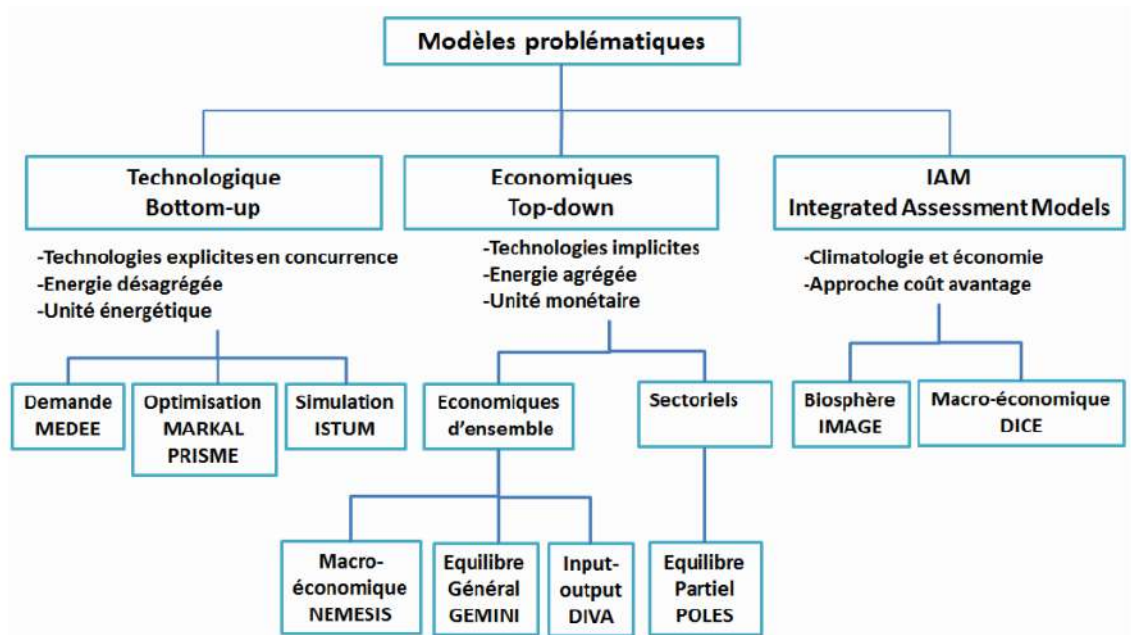


Figure III.1. Classification de modèles de prospective [38]

Les modèles de prospective énergétique décrivent le secteur énergétique en considérant tout ou partie de la chaîne précédente. Les approches proposées diffèrent selon le point de vue privilégié: économique, technologique ou climatique. En terme d'évaluation environnementale, les deux premières approches procèdent par des analyses coûts efficacité, l'intégration de la dimension climatique permet en plus d'effectuer des analyses de coûts des dommages [38].

III.3. Potentiel énergétique de la biomasse

L'étude sur les potentiels de biomasse l'objectif d'identifier et de quantifier les potentiels de biomasse déjà disponibles et de développer à partir de ces données de bases, des stratégies durables de revalorisation pour différents secteurs. Grâce à l'introduction efficace de biomasse locale dans l'approvisionnement énergétique, l'économie régionale en sera favorisée et l'indépendance par rapport aux énergies fossiles atteinte.

Plus particulièrement dans le cadre de cette étude, seront analysés les potentiels provenant des domaines de l'agriculture, de la foresterie, de la gestion des déchets (déchets ménagers) et seront évaluées des possibilités d'utilisation durable. Les conséquences économiques, écologiques et sociales d'une stratégie d'utilisation de la

biomasse optimisée seront évoquées ainsi que leur contribution possible à une politique énergétique durable pour l'Algérie.

III.3.1. Estimation du potentiel énergétique (kWh)

Pour calculer le potentiel énergétique émanant des quantités calculées, le moyen d'utilisation le plus approprié sera établi. Ainsi, les biomasses riches en eau (par exemple la part organique contenue dans les eaux usées) seront prioritaires pour une digestion alors que les biomasses sèches avec un contenu élevé en carbone (par exemple le bois) se prêtent mieux à une combustion. La valeur du rendement des installations est calculée sur la base des données indiquées dans le travail de Geletukha G.G., Tichaev S.V., Kurulenko V.V. (2001).

III.4. Etude Prospective à l'horizon de 2050

Afin de parvenir aux objectifs escomptés et pour réduire la dépendance en énergie fossiles, l'Algérie opte en particulier pour l'énergie solaire et l'énergie éolienne, mais également la biomasse est un potentiel important et efficace. Outre l'exploitation des sites potentiels spécifiques pour l'énergie solaire et éolienne en Algérie, l'utilisation de la biomasse comme source d'énergie renouvelable est essentielle à l'élaboration d'une politique énergétique durable. L'utilisation des déchets organiques pour la production d'énergie est très variée, soit pour la production de chaleur et l'électricité ou pour la production de biocarburants.

Dans le cadre de la réalisation des objectifs algérien en termes de production d'énergie renouvelable et de réduction des émissions de gaz à effet de serre, la valorisation énergétique de la biomasse permet d'agir efficacement sur les deux plans. La présente étude s'attache à déterminer le potentiel de production et valorisation de la biomasse en Algérie à l'horizon 2050.

III.4.1. Rétrospective du secteur d'électricité

III.4.1.1. Production d'électricité

En Algérie l'électricité est largement produite à partir de gaz (le gaz couvre 97 % de la demande en électricité). La puissance installée du parc national de production d'électricité a atteint 15097 MW en fin 2013 reflétant une croissance de plus de 4% et en hausse de 16% par rapport à 2012. A noter que de 2004 à 2014, la capacité de

production d'électricité est passée de 31TWh à 63 TWh, soit un taux d'évolution de 51% en dix ans [39].

à travers figure III.2 La consommation nationale d'énergie (y compris les pertes) est passée de 51.8 Mtep en 2013 à 55.9 Mtep en 2014, reflétant une hausse de 7.8%. La consommation nationale d'électricité (y compris celle des auto-producteurs et pertes) est passée de 59.8 TWh en 2013 à 64.05 TWh en 2014, soit un accroissement de 8.1% (ME, 2015a). La consommation finale d'électricité s'est élevée en Algérie à environ 10.914 Mtep (45.75 TWh) en 2014 [41].

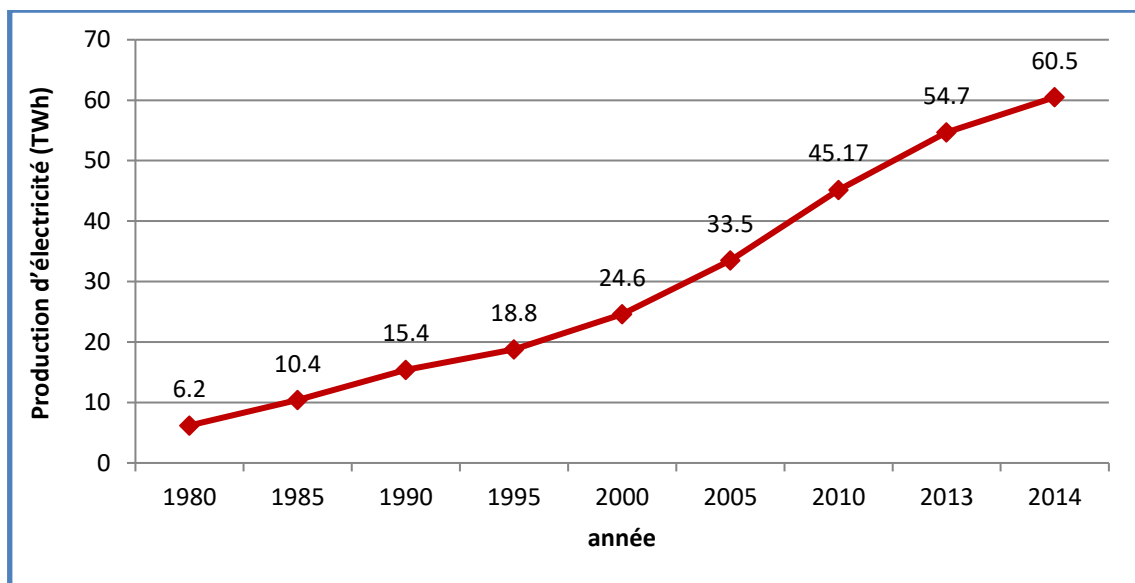


Figure. III.2. Evolution de la production d'électricité [40], [5]

III.4.1.2. Consommation finale d'électricité

La figure III.3 montre l'évolution de la consommation finale d'électricité de 2000 à 2016

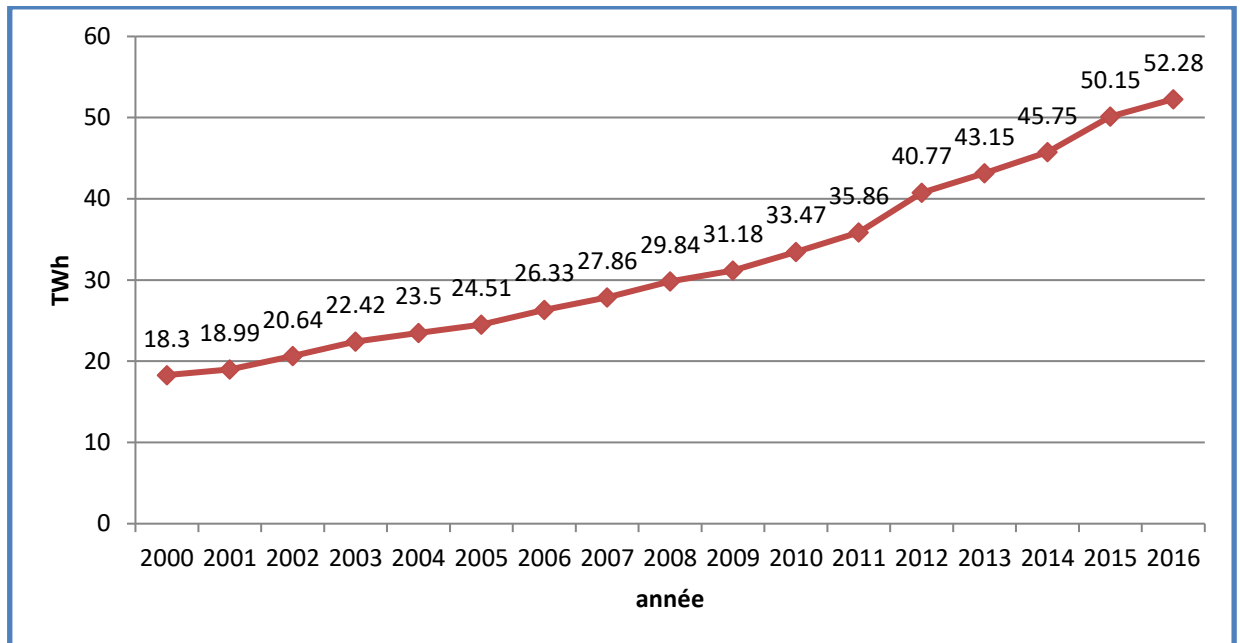


Figure.III.3. Evolution en la consommation finale d'électricité [5] ; [42]

III.4.2. Prospective énergétique 2050

Dans une problématique énergétique marquée par des contraintes environnementales et de disponibilité des ressources primaires croissantes, le potentiel d'ajustement offert par les technologies fait partie des leviers les plus prometteurs sur le long terme. Les modèles de prospective énergétique constituent alors des supports précieux à l'analyse chiffrée de scénarios énergétiques alternatifs [38]. Le modèle utilisé dans notre étude est le modèle autonome.

III.4.3. Description du modèle autonome

Quand on recourt à la modélisation pour l'analyse énergétique, la question du choix du modèle est parmi les plus délicates ; ils sont nombreux et on se retrouve facilement désorienté par la grande dispersion (qui peut atteindre plusieurs ordres de grandeurs) des résultats numériques auxquels ils conduisent. Les débats concernant cette disparité

ont parfois conduit à une méfiance à l'égard des modèles. Chaque modèle propose en effet une réponse formelle à la question (très large) des relations et implications pertinentes dans le système énergétique [38]. Pour notre cas d'étude, nous adaptons le modèle autonome pour faire la projection de la demande énergétique en Algérie à l'horizon 2050. Ce type de modèles met en œuvre une relation entre la grandeur étudiée et le temps qui est la seule variable explicative de l'évolution. La formulation la plus courante est la suivante :

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

Où E_t : représente la consommation observée de l'année t ,

E_0 : la consommation calculée de l'année origine $t = 0$,

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 origine $t = 0$.

III.4.4. Construction de scénario

Pour étudier l'impact de la valorisation de la biomasse en Algérie à moyen et long terme, nous avons élaboré deux scénarios, un scénario tendanciel et un scénario volontariste.

a. Scénario tendanciel ou de référence (Scénario sans valorisation de la biomasse)

Le scénario de référence présenté et analysé dans ce chapitre fournit une image cohérente de l'évolution de la consommation d'énergie du parc algérien à l'horizon 2050, basée sur un certain nombre d'hypothèses argumentées relatives au contexte démographique et économique (activité des secteurs, etc.) et sur les politiques et mesures en place concernant l'énergie, en supposant la poursuite des tendances actuelles. Dans ce cadre, le scénario de référence permet de pointer du doigt les problèmes à long terme concernant l'énergie et l'environnement et aide à identifier les actions à mettre en œuvre pour y apporter des solutions.

b. Scénario volontariste (Scénario avec valorisation de la biomasse)

Contrairement au scénario tendanciel, le scénario volontariste propose des actions de maîtrise d'énergie en matière de récupération d'énergie, telles que la récupération et valorisation énergétique de la biomasse (déchets végétales, animales et les déchets ménagers).

III.4.5. Hypothèses de modélisation

Bien que la valorisation des déchets fasse partie des prérogatives du plan national du développement des énergies renouvelables, le potentiel national des déchets reste toutefois conséquent. Nous allons nous concentrer dans notre étude sur le potentiel énergétique des déchets végétales, animales et les déchets ménagers. Cette source étant disponible de manière durable et en quantité, dans la mesure où la population algérienne continue de croître, de même pour son niveau de vie - consommation de biens. Par ailleurs, la valorisation énergétique de cette source, permet de répondre non seulement aux préoccupations énergétiques, mais aussi à des préoccupations environnementales et sanitaires [2]

III.5. Déchets végétales

On entend par déchets végétaux, les déchets de cuisine crus tel que marc de café, de thé, épluchures, restes de repas et les déchets de jardin comme le gazon et les branchages. Les déchets de cuisine cuits sont acceptés dans la méthanisation.

Les déchets végétaux valorisables selon deux techniques distinctes. Le compostage est le traitement en présence d'oxygène et la méthanisation, le traitement en absence d'oxygène. Ces deux modes de traitement permettent de remettre dans le cycle de la matière une partie de la matière organique prélevée par les activités humaines.

Pour le calcul du potentiel agricole de la biomasse, les déchets végétaux sont une source d'énergie, on peut considérer les types de déchets suivants:

- Ceux qui apparaissent dans les processus de traitement primaire de la récolte (tout ce qui reste après l'extraction des grains de céréales, des graines de tournesol etc.)
- Ceux qu'on laisse dans les champs pendant la récolte (paille etc.)
- Ceux qui restent dans la terre (racines etc.).

Tableau III.1 rendements des déchets [43]

Déchets végétales	Quantité de bois [t/ha*a]	Pouvoir calorifique [MWh/t]
Oliviers	2,7	3,96
Palmiers	3,5	3,28
Agrumes	2	3.96

III.5.1. Oliviers

III.5.1.1. Potentiel oléicole

à travers figure III.4 La superficie du verger oléicole au cours de la campagne 2015/2016 ; selon les chiffres provisoires de la DRDPA, s'élève à 471 657 ha. Cette superficie a connu une augmentation de près de 16% comparativement à la campagne écoulée ce qui correspond à la mise en place de plus de 64 000 ha de nouvelles plantations.

Il est à signaler que 75 % de cette superficie a été réalisée à travers 15 wilayas oléicoles. Parmi les wilayas traditionnellement oléicoles, la wilaya de Skikda, à elle seule, a réalisé une superficie de plus de 5000 ha. Tandis que dans les nouvelles zones oléicoles, la wilaya d'EL Bayadh, enregistre elle aussi, une superficie considérable de 4274 ha [44].

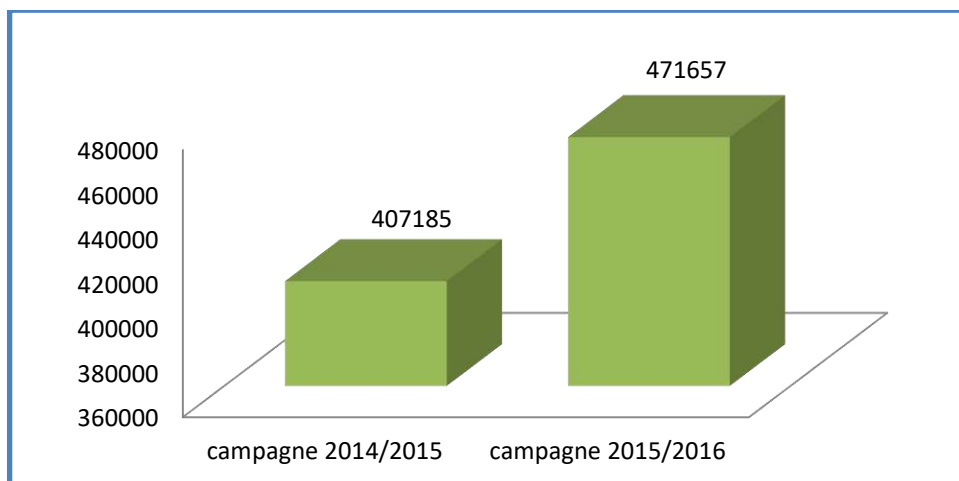


Figure III.4 Evolution de la superficie oléicole (ha)

à travers figure III.5 Le nombre total d'oliviers a enregistré une évolution de 10% comparativement à l'année écoulée pour atteindre près de 6 200 000 oliviers. L'augmentation du nombre total d'oliviers a été constatée essentiellement dans les wilayas de Béjaïa, Skikda, Saida, Djelfa et Chlef avec respectivement 1 417 877, 662 411, 571 182, 461 774 et 420 045 oliviers ce qui correspond à 64% des oliviers plantés à l'échelle nationale [44].

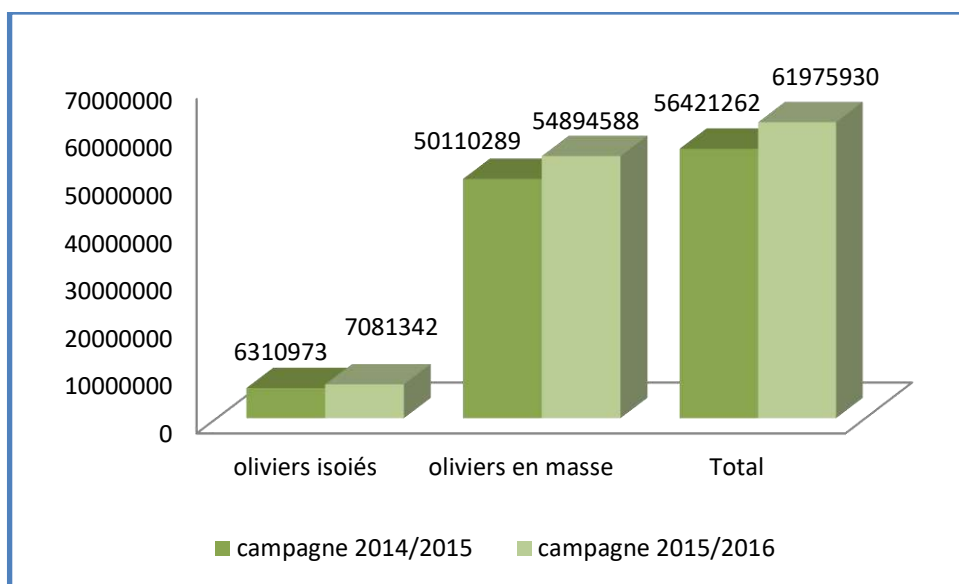


Figure III.5 Evolution en nombre de l'olivier complantée (arbre)

à travers figure III.6 Par ailleurs, le nombre d'oliviers en rapport a également augmenté passant de 32 millions d'arbres au cours de la campagne 2014/2015 à près de 35 millions au cours de la campagne 2015/2016, soit 2 439 033 oliviers qui sont rentrés en production au cours de cette campagne [44].

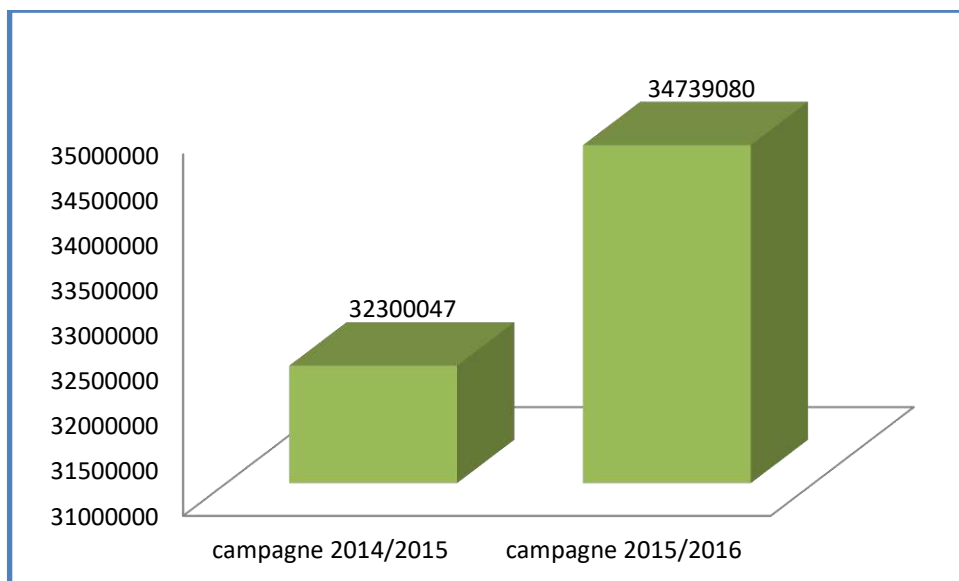


Figure III.6 Evolution en nombre de l'olivier en rapport (arbre)

Dans la figure III.7, nous illustrons le développement des oliviers en Algérie de 2000 à 2006.

à travers figure III.7 La superficie des oliviers en Algérie au cours de l'année 2000 est d'environ 175 000 hectares, cette superficie a augmenté de manière significative chaque année pour atteindre 285 000 hectares en 2006.

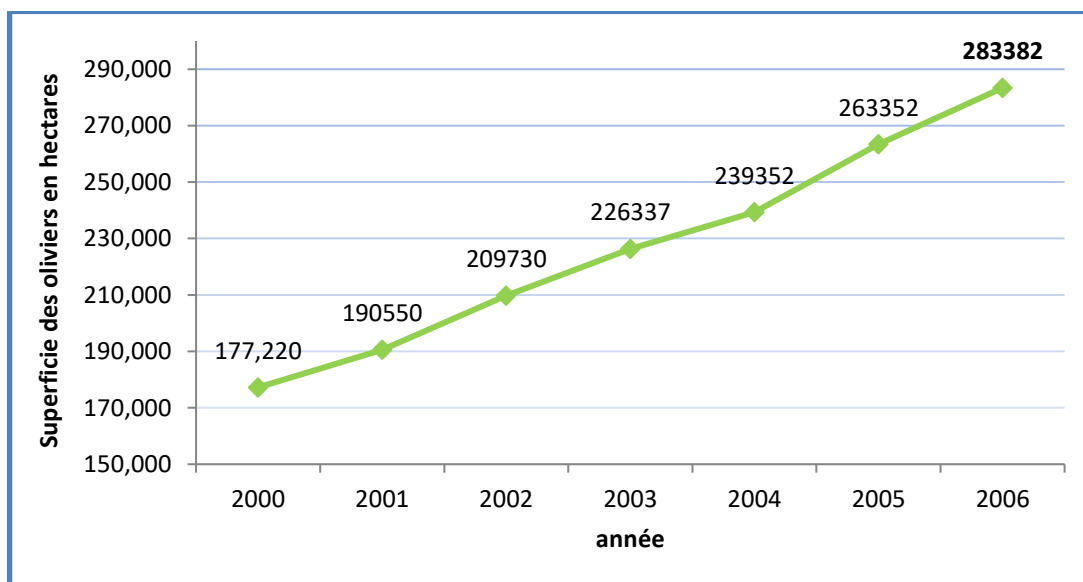


Figure III.7 Evolution de la superficie des oliviers (2000-2006)

Tableau III.2 Base de calcul pour l'identification du potentiel énergétique théorique issu de déchets des oliviers dans Algérie 2015

	Surface cultivée [ha]	Quantité de bois [t/ha*a]	Quantité de bois (total) [kt/a]	Pouvoir calorifique [MWh/t]	Potentiel énergétique théorique [TWh/a]
Bois résiduels, Olivier	548140,349	2,7	1479,978	3.96	5,86

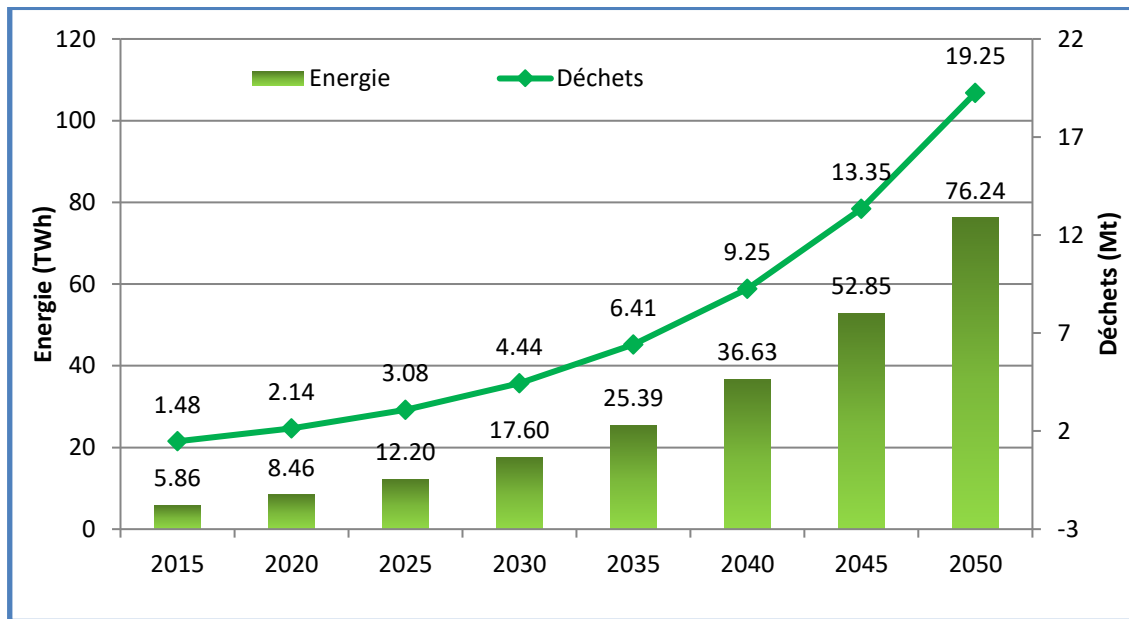


Figure II.8 Evolution en prospective de la production d'énergie à partir de déchets verts des oliviers à l'horizon 2050.

III.5.2. Palmier

En Algérie, la culture du palmier dattier est essentiellement localisée dans les wilayets sahariennes [45]. Le potentiel phoenicole algérien enregistre un accroissement important avec un effectif qui, en 2015, avoisine de 18,6 millions de palmiers dattiers pour une superficie de 166900 ha. Pour une campagne déterminée, la production nationale peut atteindre 990000 tonnes [46].

Les régions phoenicoles se situent généralement au sud de l'atlas saharien et couvrent 17 wilayas (en réalité 16 wilayas car la wilaya de M'Sila a perdu son potentiel phoenicole). La wilaya de Biskra est la première région phoenicole avec 27,4 % de

la superficie totale, 23,1 % du nombre total de palmiers dattiers et 41,2 % de la production nationale de dattes. Elle est suivie par la wilaya d'El Oued avec respectivement 22 %, 22,4 % et 25%. Ces deux wilayas totalisent à elles seules plus des deux tiers (2/3) de la production nationale de dattes [47].

à travers figure III.9 Nous remarquons un développement significatif dans la région des palmiers entre les années 2003 et 2007, qui a atteint 128800 ha en 2003 et augmenté à 159871 ha en 2007 puis prouvé entre 2007 et 2013 pour ensuite augmenter à environ 175000 hectares en 2017. Nous présentons la quantité annuelle par type de déchets d'un seul palmier en Algérie.

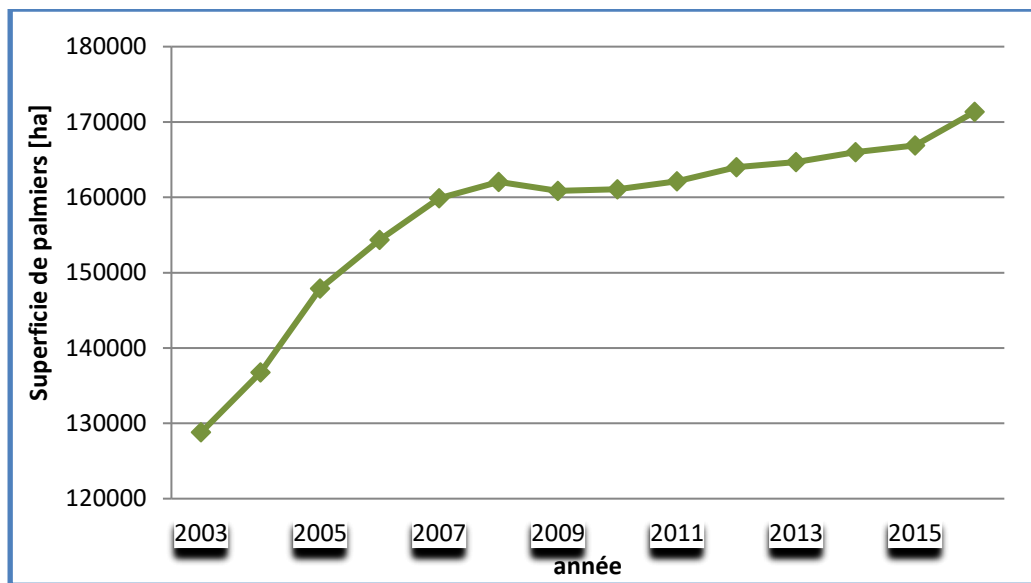


Figure III.9 Evolution de la superficie de palmier (2003-2017)

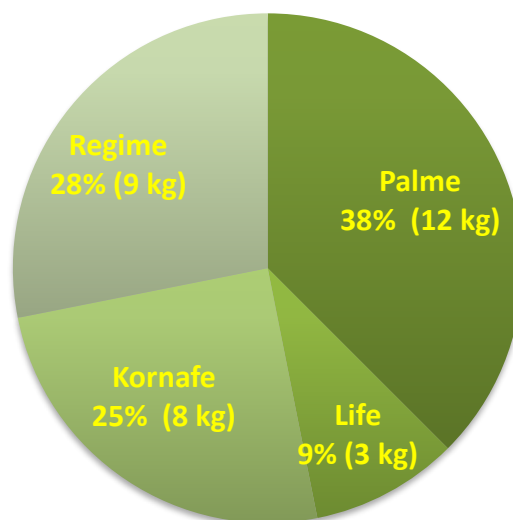


Figure III.10 : Quantité annelle de déchet d'un seul palmier [48].

L'efficacité de la production de dihydrogène par gazéification des déchets est évaluée à partir de deux rendements, dont les définitions sont précisées ensuite [49] :

- Le rendement réel.
- Le rendement potentiel.

III.5.2.1. Le rendement réel

Le rendement réel en dihydrogène correspond à la masse de dihydrogène réellement produite par unité de masse de déchet. Il est noté $\eta_{\text{réel}}$ et exprimé en [kg H₂ /kg déchet]. Cette grandeur dépend directement de la proportion de dihydrogène mesurée dans le gaz de synthèse en sortie de procédé [49].

III.5.2.2. Le rendement potentiel

Le rendement potentiel en dihydrogène, noté $\eta_{\text{potentiel}}$ et exprimé en [kg H₂ /kg déchet], correspond à la somme du rendement réel et des quantités supplémentaires de dihydrogène qui seraient obtenues par la conversion shift du monoxyde de carbone et le vaporeformage du méthane présents dans le gaz de synthèse [49].

Tableau III.3 Rendements réel et potentiel [49].

Eléments		Granulés de bois
Rendement réel [g H ₂ /kg gisement]	$\eta_{\text{H2réel}}$	22,6
Rendement potentiel [g H ₂ /kg gisement]	$\eta_{\text{H2potentiel}}$	98,5

Tableau III.4 Base de calcul pour l'identification du potentiel énergétique théorique issu de déchets des palmiers dans Algérie 2015

	Surface cultivée [ha]	Quantité de déchets [t/ha*a]	Quantité de bois (total) [kt/a]	Pouvoir calorifique [MWh/t]	Potentiel énergétique théorique [TWh/a]
Déchets palmiers	166900	3,5	584,150	3,28	1,92

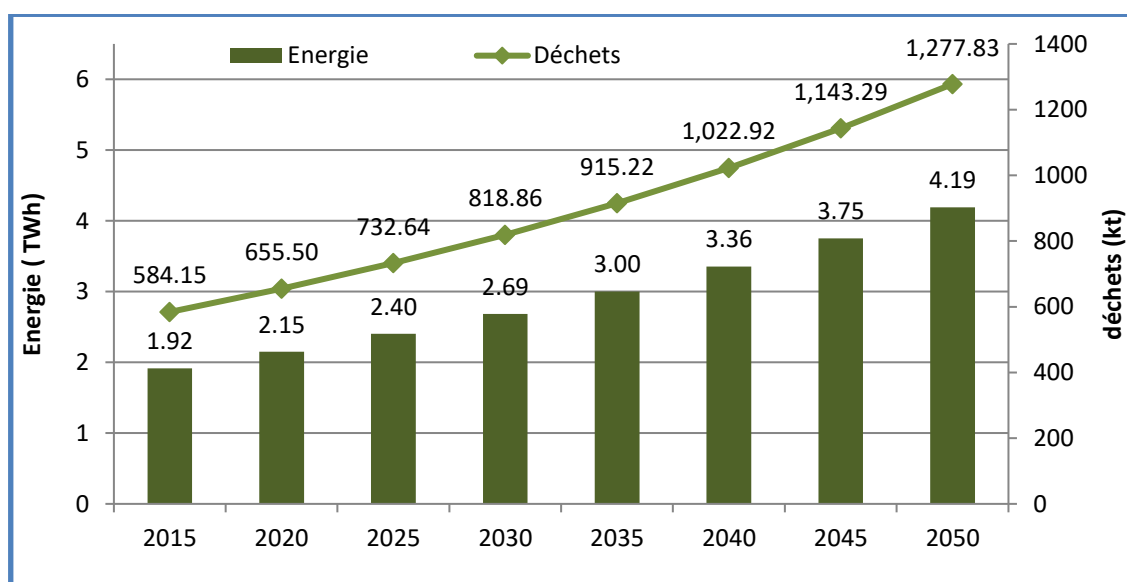


Figure .III.11 Evolution en prospective de la production d'énergie à partir de déchets verts des palmiers à l'horizon 2050.

III.5.3. Agrumes

Caractéristiques des agrumes Les agrumes sont des petits arbres ou arbustes, dont la taille peut varier de 2 à 10 mètres de haut suivant les espèces. Leur frondaison est généralement dense et leurs feuilles sont persistantes, à l'exception des poncirus. Leurs fruits, constitués de quartiers remplis de petites vésicules très juteuses, constituent leur principale originalité. Les botanistes lui ont donné un nom particulier : hesperidium, du nom du jardin des Hespérides de la mythologie. On ne connaît pas d'autres fruits ayant cette structure. Toutes les parties de l'arbre contiennent des glandes

à essence : écorce, feuilles, branches, fleurs, fruits, le parfum fait partie de l'agrume. Quant à leur durée de vie, les agrumes centenaires sont légions [50].

L'Algérie disposait d'une superficie de 45.000 ha en agrumes à l'indépendance. Certes en 2011, la superficie en agrumes s'étalait sur 63.323 ha, Actuellement, seuls 55.000 ha sont productifs sur 63.323 ha. Le centre du pays compte 56% de cette surface d'agrumes, 30% se trouvent à l'est du pays, et 14% à l'Ouest [51] insiste sur les bonnes pratiques utilisées dans les vergers par nos aînés dans le passé. D'ailleurs, le goût des oranges algériennes était très apprécié, indique-t-il.

Les principales wilayas agrumicoles sont : Blida (15809 ha), Chlef (5777 ha), Alger (5065ha), Relizane (4417 ha), Mascara (4232 ha), Mostaganem (4079 ha), Tipasa (3725 ha). En fin juillet 2011, il a été créé le premier Club des agrumiculteurs en Algérie à Tipasa [52].

Notez à travers figure III.12 La superficie des agrumes en Algérie était d'environ 48640 ha en 2000 et s'est ensuite progressivement développée pour atteindre 64089 ha en 2006.

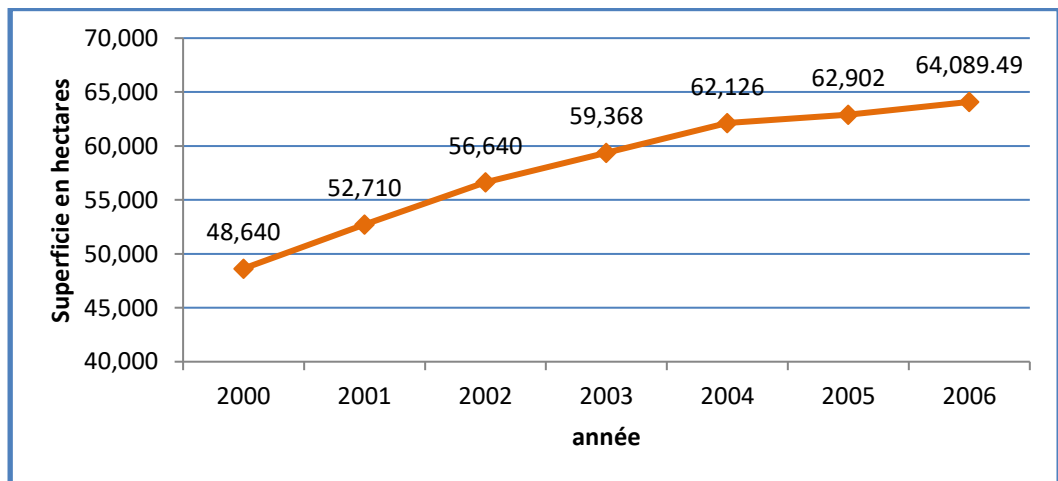


Figure III.12 Evolution de la superficie des agrumes (2000-2006)

Tableau III.5 Base de calcul pour l'identification du potentiel énergétique théorique issu de la culture des agrumes dans Algérie 2015.

	Surface cultivée [ha]	Quantité de bois [t/ha*a]	Quantité de bois (total) [kt/a]	Pouvoir calorifique [MWh/t]	Potentiel énergétique théorique [GWh/a]
Bois résiduels, agrumes	75838,17	2	151,67	3.96	600.6

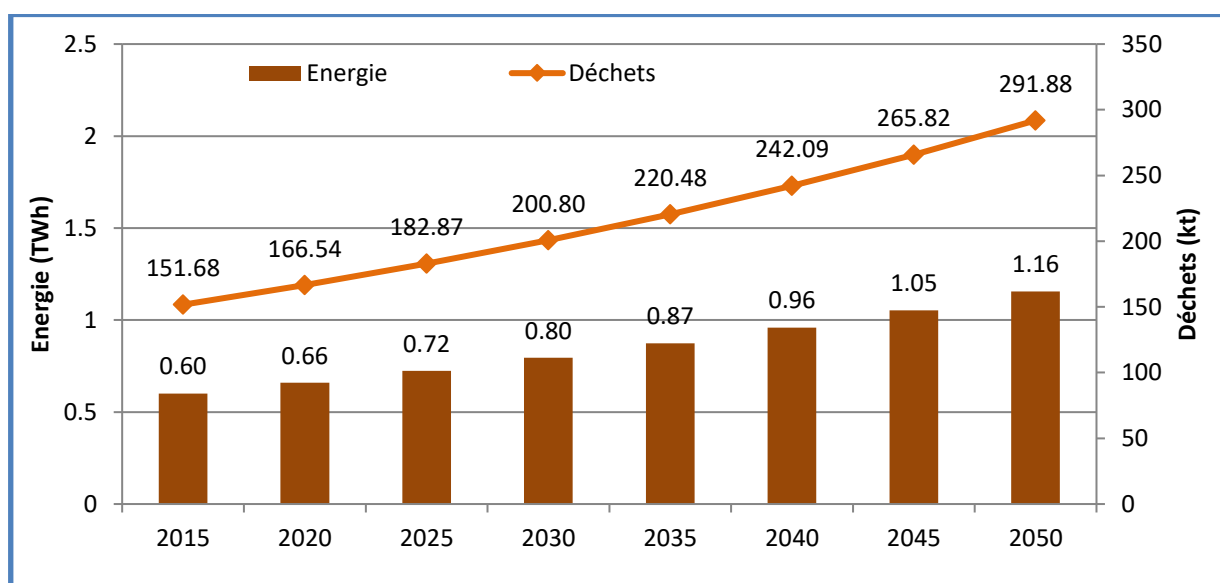


Figure III.13 Evolution en prospective de la production d'énergie à partir de déchets verts des agrumes à l'horizon 2050.

III.6. Déchets animaux

III.6.1. Bovins

La figure III.14 montre Le secteur de l'élevage, en particulier les moutons, les chèvres et les chameaux, joue un rôle important dans l'économie de certains pays en produisant du biogaz à partir du fumier animal. Dans cette étude, nous concentrons sur les déchets de bovin. L'élevage bovin en Algérie connaît un développement remarquable de 2002 à 2009 comme le montre la figure ci-dessous.

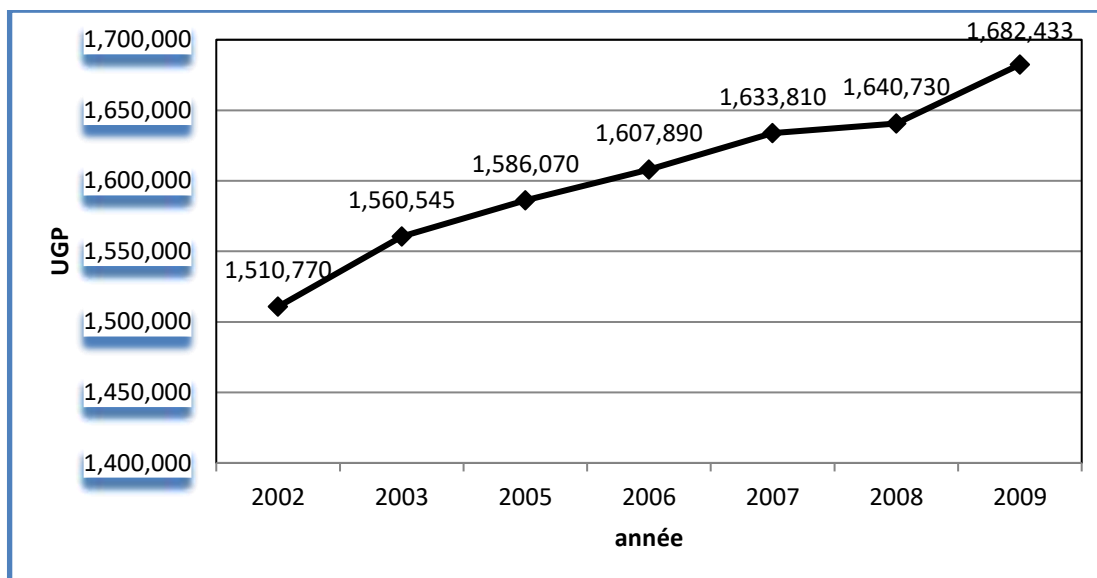


Figure III.14 Evolution de l'effectif des bovins de 2002 à 2009

Au niveau des chiffres pour l'élevage bovin on utilisera le facteur UGB (Unité Grand Bétail), qui correspond environ à 1 par bovin, afin de déterminer le nombre total d'unités. Une valeur approximative pour l'alimentation en biogaz à partir de résidus de l'élevage bovin se situe autour de 1,11 m³ par jour et par bovin [53].

Tableau III.6 rendements des déchets [43]

Déchets animales	Rendement de biogaz [m ³ /j*UGB]	Puissance calorifique du biogaz [KWh/m ³]
Bovins (Fumier bovine)	1.11	6

Tableau III.7 Aperçu du potentiel: Excréments de l'élevage bovin en tant que substrat pour la production de biogaz 2015

	Nbr d'animaux	UG B par tête	UGB total	Biogaz total [Mm ³ /j]	Jours L'étable	Biogaz total [Mm ³ /a]	Puissance calorifique (totale) [TWh/a]
Fumier bovine	1738360	1	1738360	1,93	215	414,86	2.49

La figure III.15 montre Comme on peut le constater, la production de biogaz issue du fumier ou lisier est une forme durable de production d'énergie. Il n'y aura pas lieu de réquisitionner des terres supplémentaires pour sa production et en fonction du management des résidus, grâce à l'unité de biogaz, il est possible de mettre en place un

management des nutriments efficient pour un épandage sur les champs et avec des pertes très faibles en comparaison avec le compostage. De cette façon, il est aussi possible d'économiser l'utilisation de fertilisant minéral.

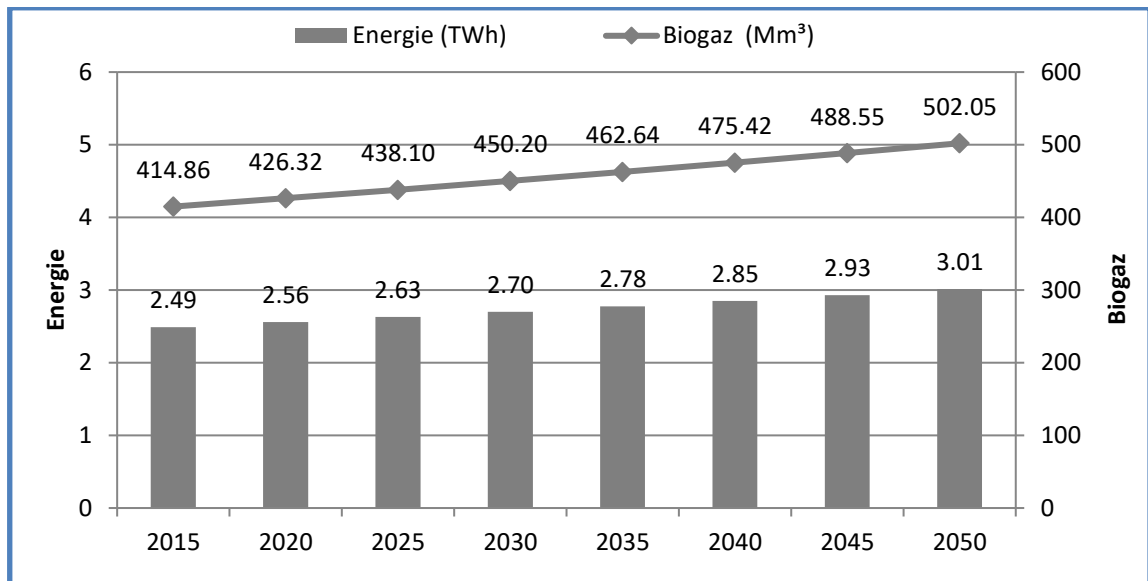


Figure .III.15 Evolution en prospective de la production d'énergie à partir de déchets animales (fumiers bovins) à l'horizon 2050.

III.7. Déchets ménagers

Selon la loi n° 01-19 du 12-12-2001, les déchets « ménagers et assimilés » ou « déchets municipaux » sont tous les déchets issus des ménages (déchets de consommation), ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales et autres qui par leur nature et leur composition, sont assimilables aux déchets ménagers.

Sur le plan énergétique : Le biogaz est une ressource énergétique qui peut être exploitée de différentes manières :

- comme combustible pour le chauffage de logements ou la production d'eau chaude [54].
- comme combustible pour produire de l'électricité [54].
- comme carburant alternatif dans les véhicules [55].

Sur le plan environnemental : La production de biogaz est un moyen de valoriser les déchets organiques et donc d'éviter des pollutions et des nuisances sur notre

environnement avec une réduction significative des émissions de CO₂ et de CH₄, en plus les produits résiduels issus de cette production peuvent être utilisés pour la production d'un compost fertilisant en agriculture [56].

Sur le plan économique : Le biogaz présente des avantages au niveau local comme complément d'activité pour les agriculteurs, qui peuvent valoriser économiquement et énergétiquement leurs déchets agricoles (de source végétale ou animale) ainsi l'introduction de cette technologie contribuera au développement durable et à l'autonomie économique pour les producteurs de biogaz. [57].

Sur le plan technique : la technologie du biogaz peut être facilement installée à petite échelle pour une meilleure adaptation au contexte national, comme c'est le cas dans plusieurs pays surtout lors des trente dernières années [58].

Le biogaz est également une source d'électricité. La production d'électricité peut être réalisée à partir d'une chaudière associée à une turbine à vapeur, à l'aide d'un moteur à combustion interne ou d'une turbine à combustion. En fonction du procédé utilisé, les conditions d'épuration sont variables, de peu contraignantes à exigeantes. Il peut être nécessaire d'enrichir le biogaz, c'est-à-dire, d'augmenter la part de méthane dans ce biogaz afin d'obtenir un rendement de production énergétique satisfaisant. La production d'énergie électrique peut être associée à un système de récupération de la chaleur pour la production d'énergie thermique. Il s'agit d'un procédé de cogénération qui offre l'avantage d'atteindre un rendement énergétique global élevé. Cette voie nécessite des investissements plus lourds [59].

III.7.1. Production des déchets

Au 1er janvier 2016, la population résidente totale en Algérie a atteint 40,4 millions d'habitants. L'année 2015 a été marquée par une augmentation conséquente du volume des naissances vivantes, qui a dépassé pour la seconde année consécutive le seuil d'un million de naissances. Cette année a connu également une hausse du volume des décès et un fléchissement assez significatif du nombre de mariages contractés comparativement aux dernières années [60].

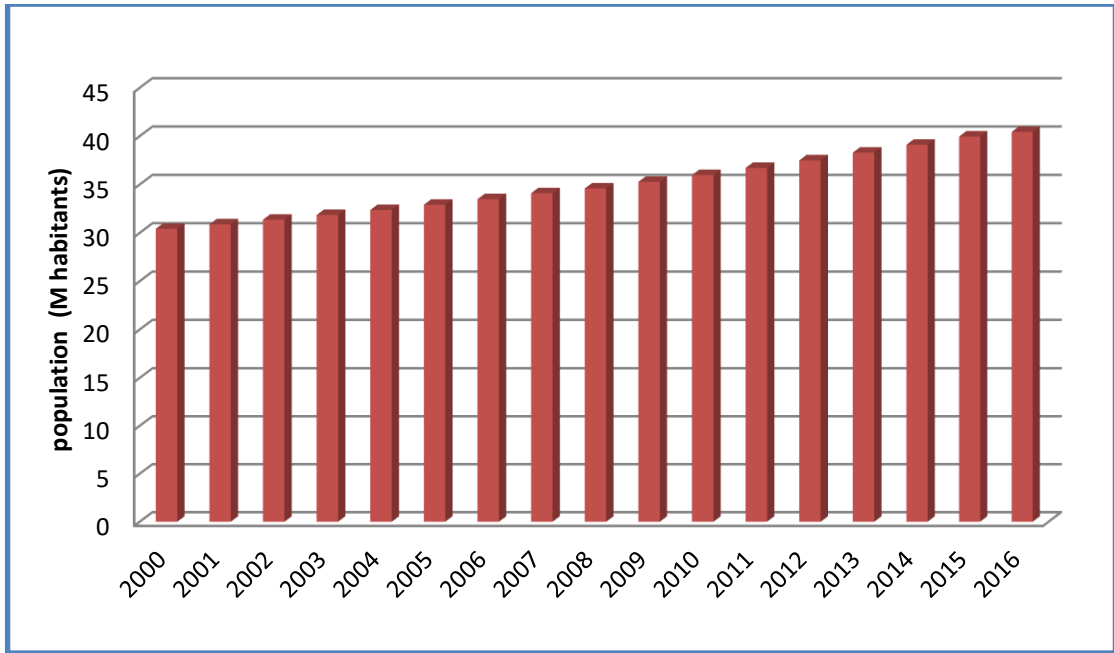
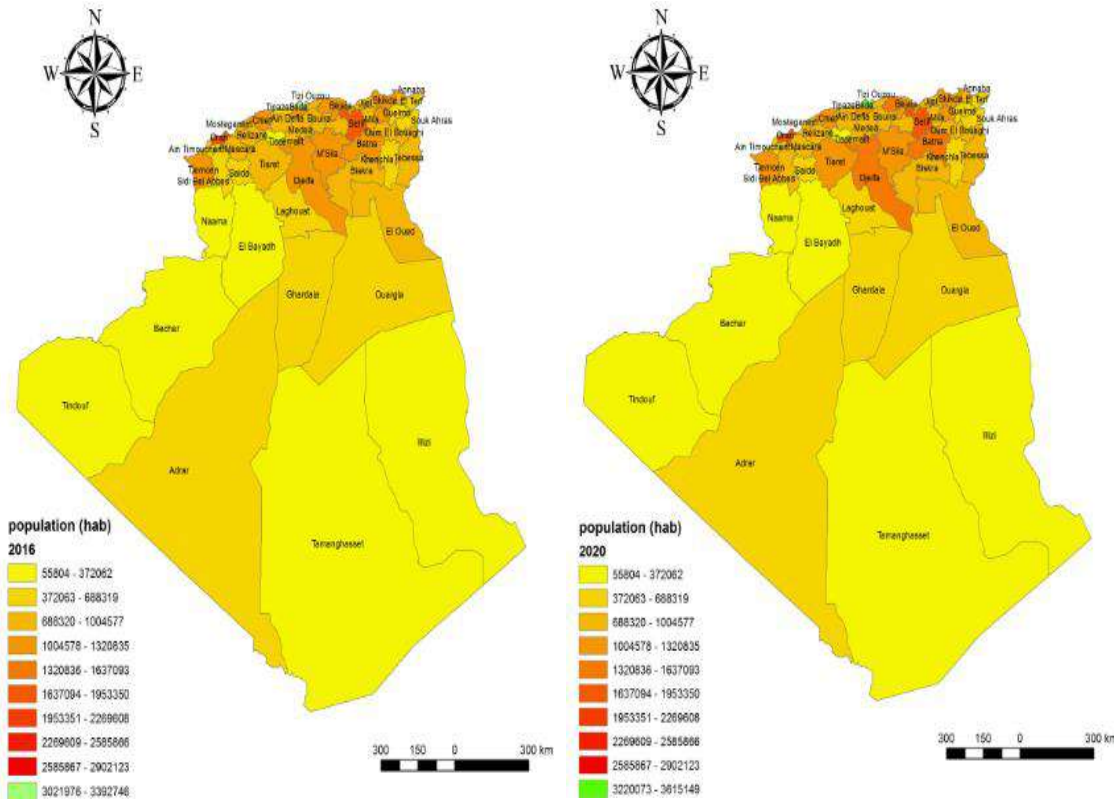


Figure III.16 Evolution rétrospective de la population [60]



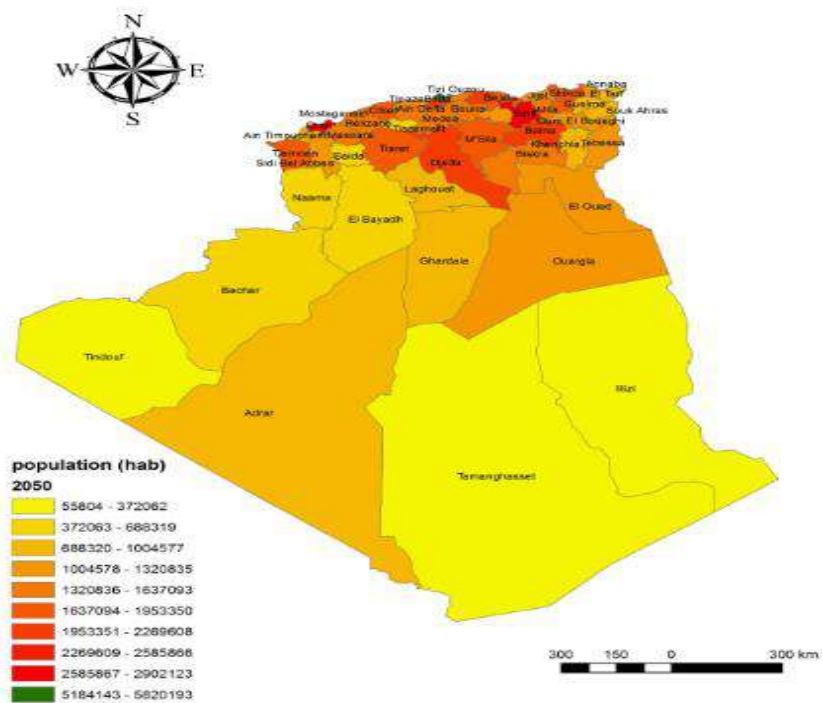
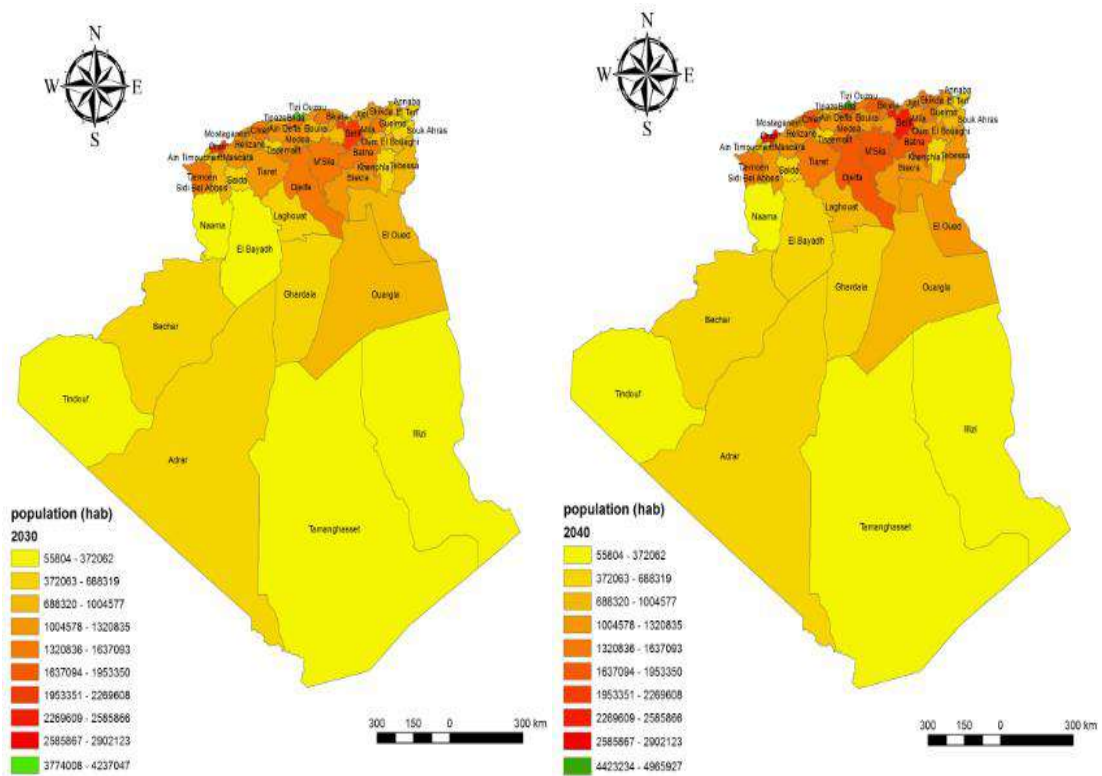


Figure III.17 Distribution géographique de la population a l’horizon 2050

La figure III.18 montre Entre 2000 et 2016, la population algérienne est passée de 30.41 à 40.43 millions d'habitants, entraînant en même temps, une augmentation des quantités de déchets.

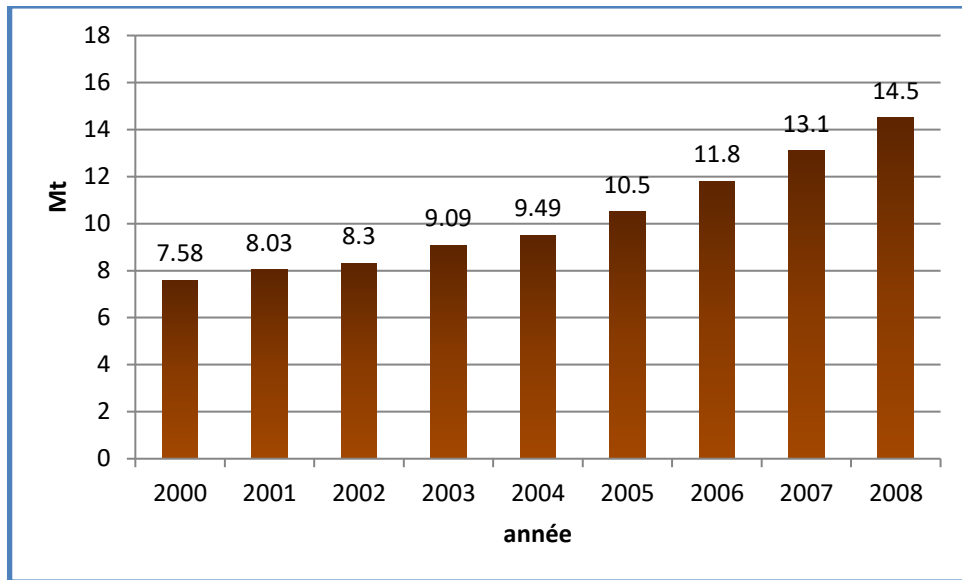


Figure III.18 Evolution rétrospective des déchets en Algérie (Mt)

L'accroissement du revenu moyen de la population algérienne et le changement d'habitude alimentaire, se traduisent par un accroissement considérable des déchets ménagers. La quantité de déchets produits dépend du niveau de vie des populations. Le tableau III.8 présente la quantité de déchets ménagers produits par jour dans les deux différentes catégories en Algérie. Plus le niveau de vie est élevé plus la production des déchets est forte. Même au sein d'un pays la production varie en fonction de la densité des villes. Les villes à forte densité ont un niveau de vie plus fort que les petites villes, par conséquent elle présente des valeurs plus élevées de production de déchets.

La tableau III. 8 montre Si bien que la quantité moyenne journalière de déchets générés par habitant a presque doublé entre 1980 et 2010, passant d'une moyenne de 0,63 kg/j/ habitant en 1980 à 1 kg/j/habitant en 2010. Selon le Ministère de l'Aménagement du Territoire de et l'Environnement (MATE), cette tendance devrait se poursuivre durant les prochaines années. En 2025, la moyenne journalière devra atteindre 1,25 kg/habitant [2]

Tableau III.8 La quantité journalière de déchets générée par habitant [61]

	1980	2002	2010	2025
Villes moyennes (kg/hab/j)	0,5	0,6	0,8	1,0
Grandes villes (kg/hab/j)	0,76	0,9	1,2	1,5

Selon l'agence nationale des déchets AND, le pourcentage de la matière organique MO est estimé à 67,7%. Le graphique suivant fournit des données sur la composition des déchets solides produits en Algérie.

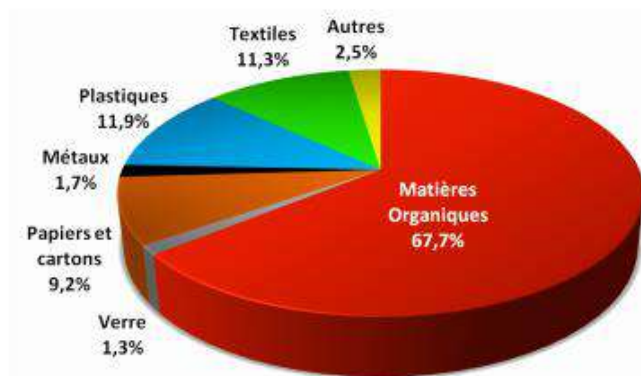


Figure.III.19 Composition des déchets en Algérie (2010)

Le coefficient de conversion CC varie de 100 à 300 m³ par tonne de déchets. Dans notre étude, nous avons pris la moyenne qui est de 200 m³/tonne. Cette approche a été utilisée pour l'évaluation de la conversion énergétique déchets solides urbains. Pour les substrats potentiels de biogaz, il sera appliqué un rendement spécifique en biogaz en normal mètre cube par tonne et une valeur calorifique de 6 kWh/m³ de biogaz [43]

Tableau III.9 Valorisation énergétique des déchets urbains en Algérie (2015).

	Population [hab]	Déchets Total [Mt /an]	Biogaz total [Mm ³ /a]	Puissance calorifique (totale) [TWh/a]
déchets urbains	38085171	12,96	1754,88	3,68

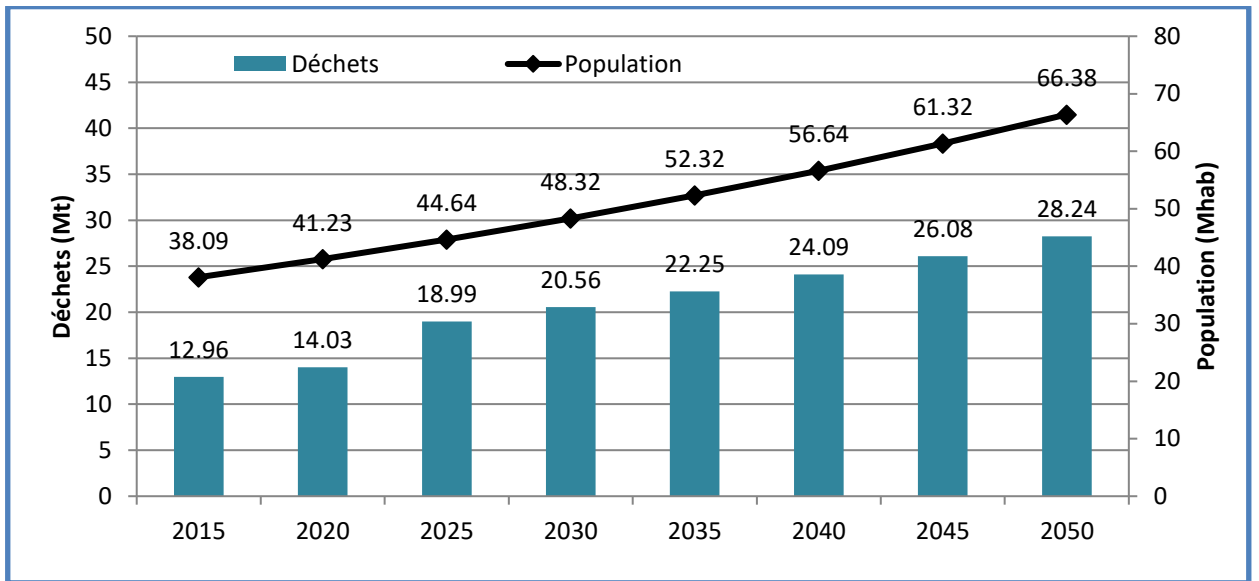


Figure III.20. Production de déchets en Algérie a l'horizon 2050

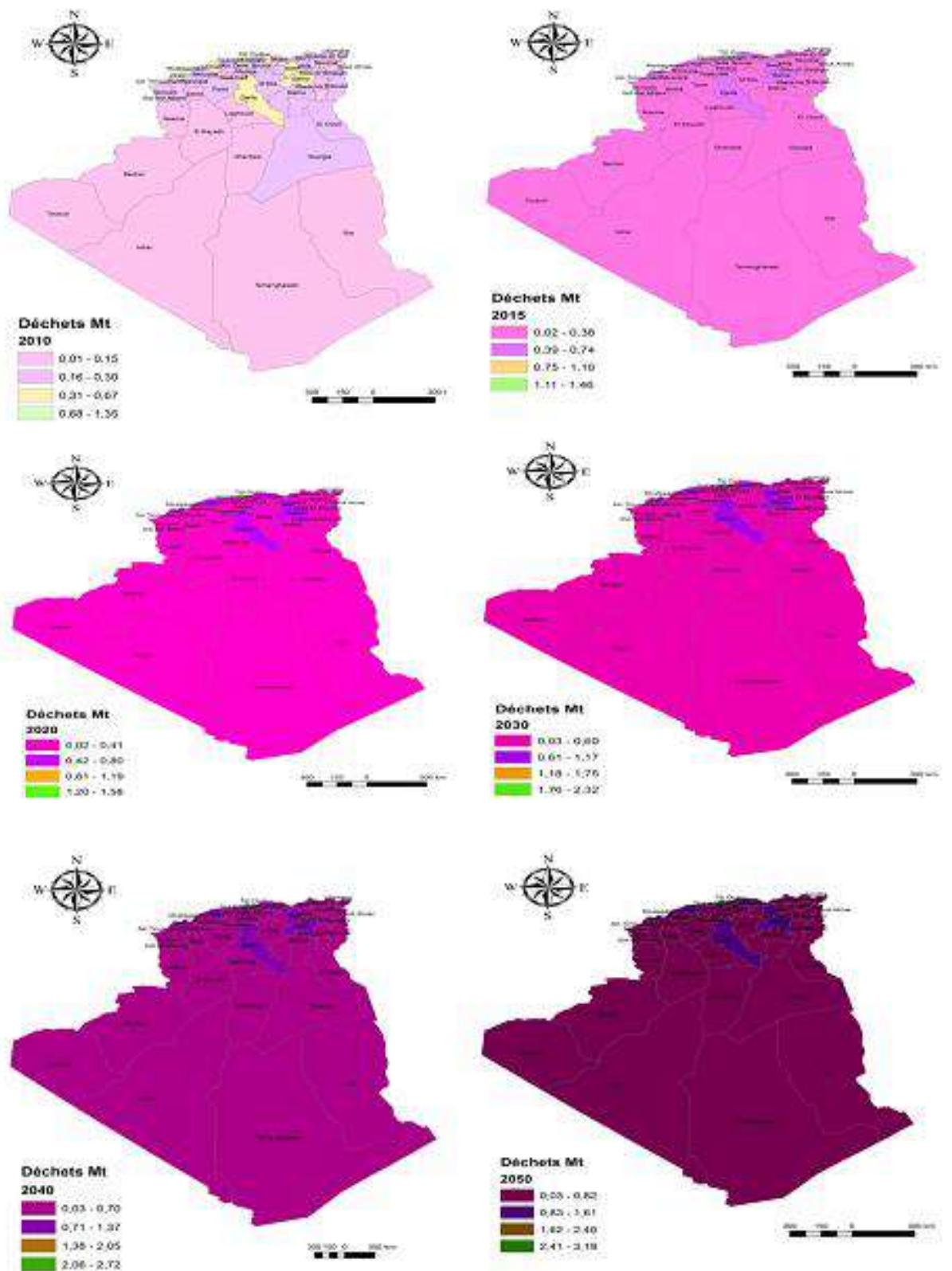


Figure III.21 Distribution géographique des principaux gisements déchets urbains d'Algérie de 2010 à 2050.

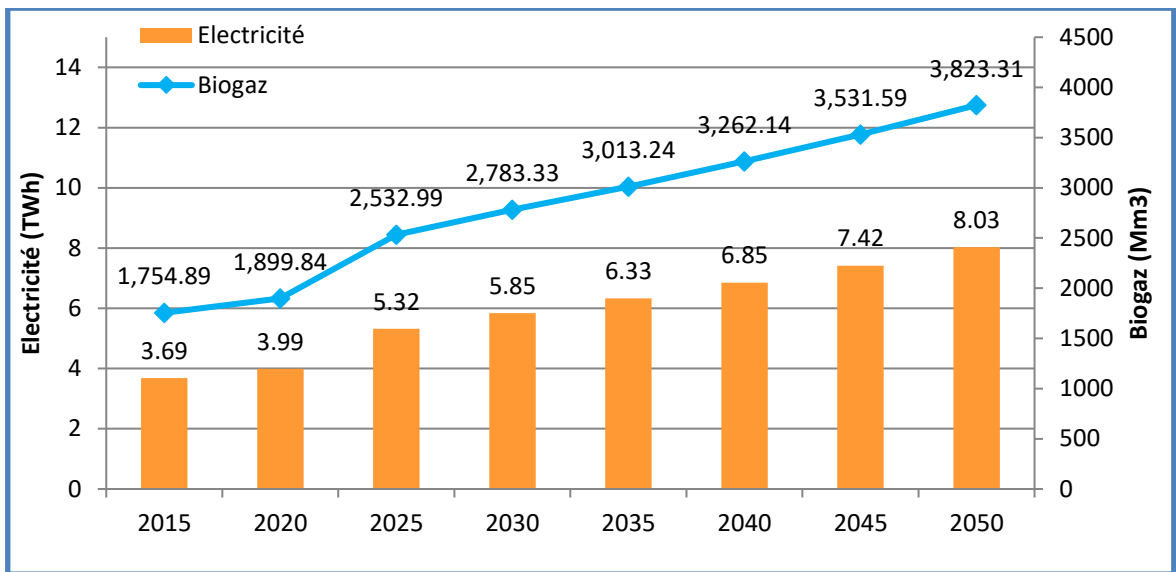


Figure III.22. Projection de la production d'électricité à partir du biogaz issus de déchets ménagers

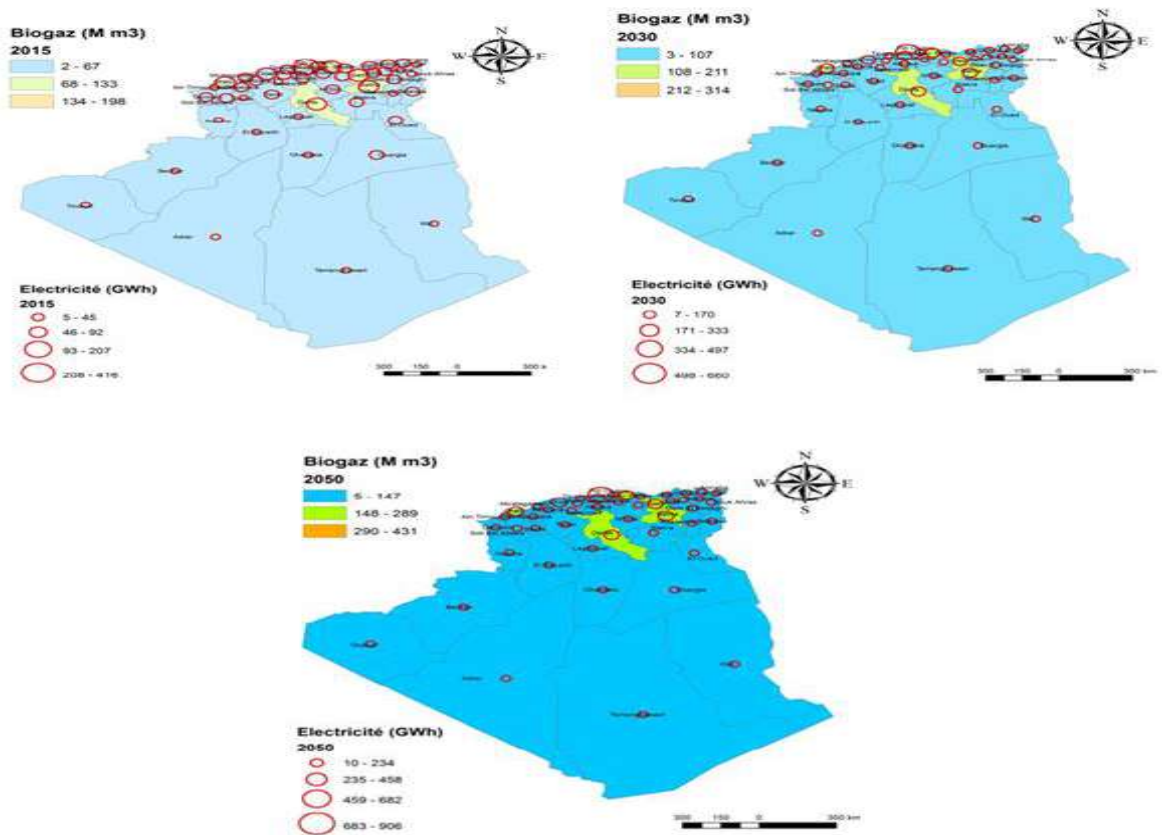


Figure III.23 Répartition géographique du potentiel énergétique des déchets urbains en Algérie

III.8. Potentiel énergétique de la valorisation de la biomasse

III.8.1. Impact énergétique

Bien que la valorisation énergétique de la biomasse fait partie des prérogatives du plan national du développement des énergies renouvelables, le potentiel national de bioénergie issue de ces déchets reste toutefois conséquent. La figure ci après illustre les quantités de l'énergie produite à partir de la biomasse de type déchets végétales (Déchets vers des oliviers, des agrumes et des palmiers), déchets animales (Fumiers bovins) et les déchets ménagers.

La figure III.24 montre La valorisation énergétique de la biomasse permettra de produire 14,55 TWh en 2015 pour arriver a presque 93 TWh en 2050, elle correspond presque 8 fois. La figure ci-dessous représente la projection de la consommation d'énergie en Algérie selon deux scénarios à l'horizon 2050.

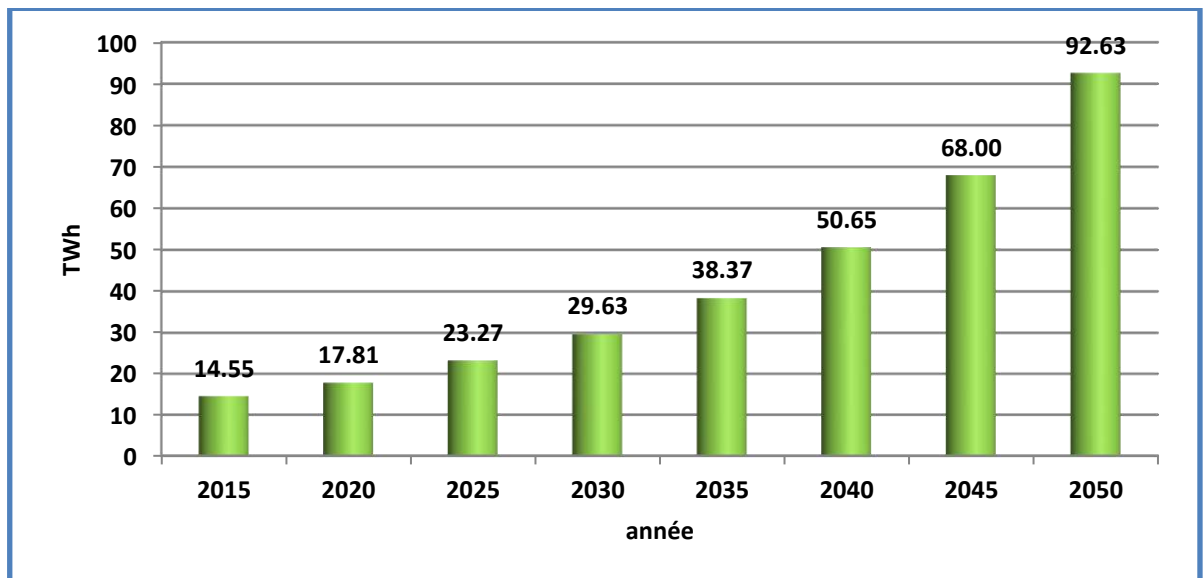


Figure III.24 Evolution de la production d'électricité à partir de la biomasse à l'horizon 2050 (TWh).

La figure III.25 montre Selon le scénario tendanciel, la production d'électricité augmentera de 68,8 TWh en 2015 à presque 530 TWh en 2050. Avec la valorisation de la biomasse, la production atteindra les 622,4 TWh en 2050 et qui représente une augmentation en énergie de 15 % par rapport au scénario tendanciel.

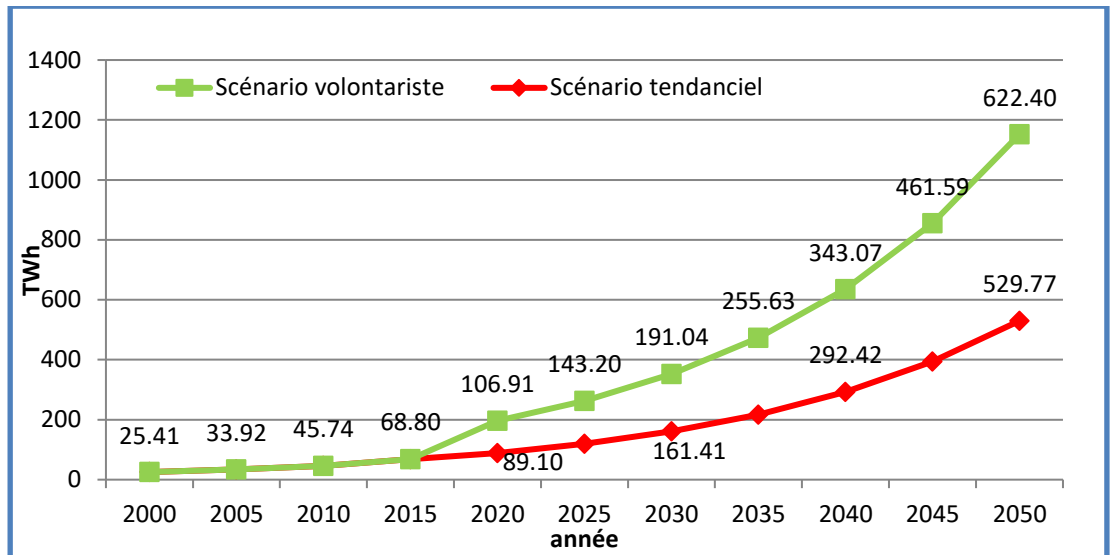


Figure III.25 Evolution de la production d'électricité à l'horizon 2050 (TWh).

III.8.2. Impact environnemental

Le calcul du contenu en carbone de l'énergie constitue un enjeu important pour l'évaluation des actions dans la lutte contre le changement climatique. L'utilisation de ce facteur d'émission de l'énergie 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'Energie (MDE).

Pour le secteur électrique algérien, le facteur d'émission est 548 g de CO₂ par kWh électrique en 2011 [62]. Dans notre étude, nous considérerons donc cette valeur comme étant une valeur moyenne.

La figure III.26 représente l'évolution de l'effort de baisse des émissions réalisé jusqu'à l'horizon 2050.

Suite à la réduction de la consommation de combustible fossile dans le secteur de production d'énergie, avec la valorisation de la biomasse, nous observerons ainsi une diminution des émissions de CO₂ de 50,76 Mt en 2050.

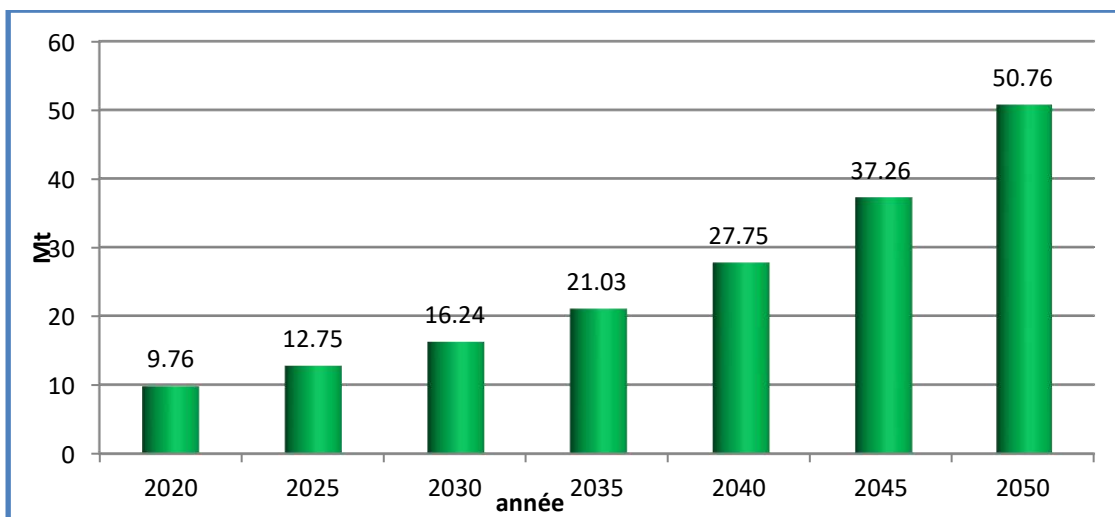


Figure III.26 Evolution des émissions évitées en Algérie à l’horizon 2050.

Notez à travers figure III.27 Le scénario de référence ou tendanciel montre que les émissions de CO₂ affichent une augmentation jusqu’en 2050. On constate ainsi un accroissement d’environ 253 Mt des émissions en 2050 par rapport au niveau de 2015. Il s’en est suivi une augmentation progressive des émissions pour atteindre 290,31 Mt de CO₂. Pour le deuxième scénario, les émissions vont croître légèrement et elles passeront de 37,7 Mt en 2015 à presque 340 Mt en 2050. Au-delà de 2015, la différence entre les deux scénarios se creuse et atteindrait 16,23 Mt en 2030 et presque 51 Mt en 2050. Cela représente une réduction de 17,5 % des émissions de CO₂ par rapport au scénario de tendance en 2050.

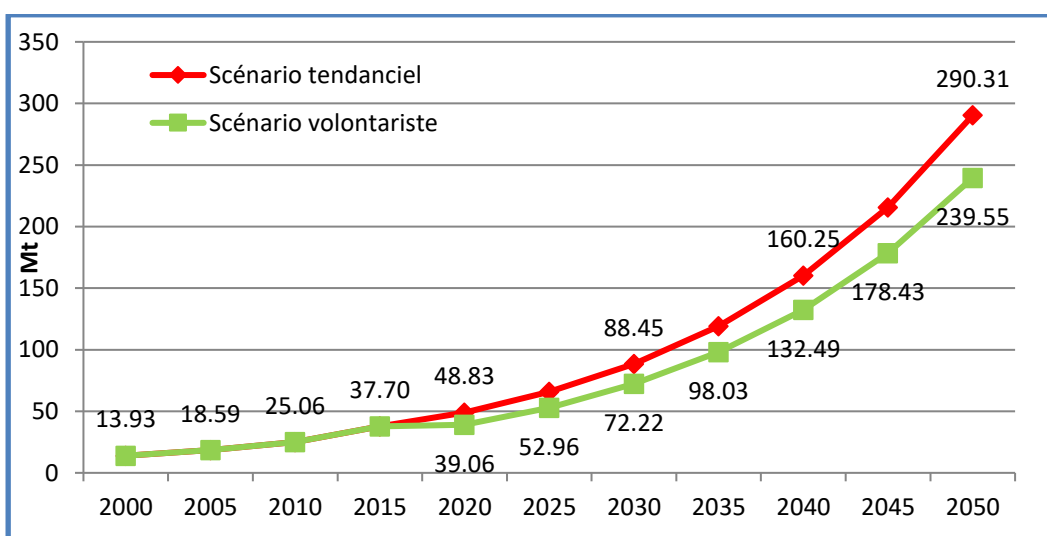


Figure III.27 Evolution prospective des émissions de CO₂ (Mt).

III.8.3. Impact économique

La valorisation de la biomasse se reflète par l'économie en matière première et la réduction des émissions du CO₂. 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 [62]

Tableau III.10 Evolution des prix du gaz [62]

	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 valeurs de 2040, 2045 et 2050 respecte une évolution tendancielle basée sur les années 2010 à 2035. Sur la base de ce scénario, le gain économique est représenté sur la figure III.28:

La figure III.28 montre La valorisation énergétique de la biomasse a permis de réduire la consommation en combustibles fossiles. Le gain économique passera de 14,75 M\$ du plan 1 à 153,69 M\$ du plan7. Entre les 7 plans, le gain évoluera progressivement. Le scénario volontariste élaboré dans notre étude présentera une image future du secteur électrique avec l'adaptation de la récupération d'énergie comme solution à moyen et long terme.

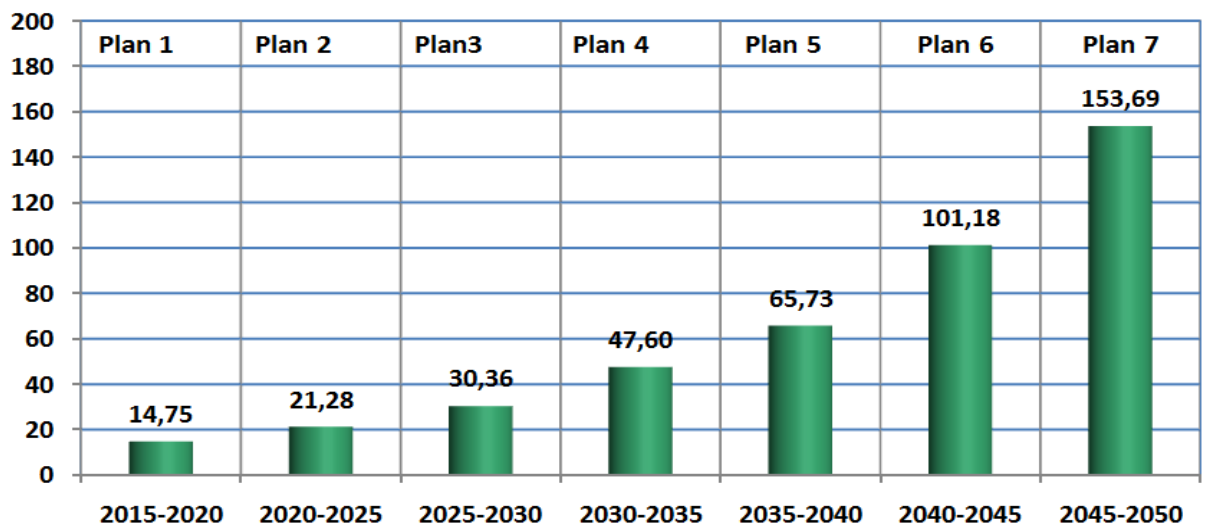


Figure III.28 Répartition du gain économique pour chaque plan (M\$).

III.9. Conclusion

Ce chapitre présente un aperçu sur les modèles de prospective énergétique ainsi qu'une analyse sur les principaux exercices de prospectives réalisées au niveau international et national. Il a été clôturé par un exercice de modélisation pour l'Algérie à l'horizon 2050. Deux scénarios énergétiques ont été élaborés, le scénario tendanciel et le scénario volontariste, qui ont permis d'analyser la consommation d'énergie, la consommation en matières premières dans le secteur de transformation et de consommation d'électricité et les émissions de CO₂. La valorisation de la biomasse a permis de produire 622,4 TWh en 2050 et qui représente un gain en électricité de 15% par rapport au scénario tendanciel. Une réduction des émissions de CO₂ est très remarquable à l'horizon 2050, elle est évaluée à 50,67 Mt de CO₂. En terme d'économie, un gain de 153,69 M\$ sera réalisé en 2050.

Cette étude prospective constitue un approfondissement de l'analyse, souvent nécessaire à la compréhension des politiques énergétiques. En outre, ce chapitre montre que l'Algérie doit faire face à plusieurs défis dans le futur. Elle doit surtout revoir sa politique de création d'énergie dans sa globalité et prendre conscience de ses possibilités de récupération et d'économies d'énergie en faisant recours à la valorisation de la biomasse, ainsi qu'à la réflexion sur la mise en œuvre d'énergies nouvelles renouvelables.

Conclusion générale

La biomasse a toujours contribué à la satisfaction des besoins énergétiques des hommes depuis qu'ils ont appris à maîtriser le feu. La biomasse est aujourd'hui la première ressource énergétique renouvelable sur la planète. De plus, son introduction dans les systèmes énergétiques présente des avantages certains en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Dans notre étude, nous avons calculé le potentiel énergétique de la biomasse des déchets ménagers, des fumiers bovins, des déchets végétaux issus des oliviers, des agrumes et des palmiers.

Une connaissance des différentes catégories de déchets, en termes quantitatifs, constitue une étape majeure dans l'atténuation des impacts environnementaux et sanitaires, dans la contribution à la réduction d'émission de gaz à effet de serre (GES) par rapport aux conditions actuelles de traitement des biomasse organiques et dans la planification de la logistique et de l'économie de la gestion. La méthodologie d'évaluation des déchets organiques, proposée dans le cadre de ce travail pour le cas de l'Algérie, se veut une approximation par défaut qui permet de conclure à des gisements autrement plus importants que les valeurs estimatives obtenues. Les résultats de la présente étude mettent en avant les intérêts réels de la valorisation énergétiques de la biomasse en Algérie, le potentiel des ressources pour la production de l'énergie issu de la biomasse en 2015 est de 14,55 TWh pour arriver à 92.63 TWh à l'horizon 2050, sans tenir compte des contraintes de rentabilité des installations. Ce potentiel doit toutefois être pris en considération différemment, en raison de leur composition matérielle et de la production souvent saisonnière.

Deux scénarios énergétiques ont été élaborés, le scénario tendanciel et le scénario volontariste, qui ont permis d'analyser la consommation d'énergie, la consommation en matières premières dans le secteur de transformation et de consommation d'électricité et les émissions de CO₂. La valorisation de la biomasse a permis de produire 622,4 TWh en 2050 et qui représente un gain en électricité de 15% par rapport au scénario tendanciel. Une réduction des émissions de CO₂ est très remarquable à l'horizon 2050, elle est évaluée à 50,67 Mt de CO₂. En terme d'économie, un gain de 153,69 M\$ sera réalisé en 2050.

Bibliographie

[1] ANDI.2015 Agence nationale de développement d'investissement

<http://www.andi.dz/>

[2] 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>

[3] GIZ ,2011 (Etude sur les potentiels de biomasse dans la région de l'Oriental , Rapport Final - Version Préliminaire), Katharina.Hay@giz.de.

[4] Billon énergétique 2016 du ministère des énergie et des mines

[5] MEM, 2000-2016. Bilan énergétique (consulté en 2017).

[6] Said . N, 2013. Potentiel solaire de l'Algérie : Photovoltaïque et CSP. Bulletin des Energies Renouvelables N° 26 – 2013. <http://www.cder.dz/bulletin/>

[7] ONS, 2015b. Statistiques sur l'environnement. Collections Statistiques N° 177/2013, Série C : Statistiques Régionales et Cartographie. <http://www.ons.dz>

[8] DG Trésor, 2013. Les énergies renouvelables en Algérie : chiffres clefs. Service Économique Régional d'Alger. publications des services économiques p1, Novembre 2013

[9] Mémoire sur les carburants de remplacement en Amérique du Nord

[10] AIE, 2017b. CO2 Emissions from Fuel Combustion Highlights.IEA Publications, Paris, <http://www.iea.org>

[11] BP, 2017.BP Statistical Review of World Energy June 2017 (London: British Petroleum).

[12] Dandres. T, 2012. Développement d'une méthode d'analyse du cycle de vie conséquentielle prospective macroscopique : évaluation d'une politique de bioénergie dans l'union européenne à l'horizon 2025. Thèse de Doctorat, Université de Montréal.

[13] Percebois.J, Mandil.C, 2012.Rapport énergie 2050. Commission Energies 2050. Février 2012

- [14] CDER, 2016. Ce qui a marqué le renouvelable en 2015. Extrait du portail Algérien des énergies renouvelables. <http://portail.cder.dz/spip.php?article5073>
- [15] SONELGAZ, 2013. Newsletter presse n°26 Point sur les réalisations Passage été 2013, projets en cours pour satisfaire la demande à l'horizon 2017 et stratégie de réalisation des ouvrages de production. Edition électronique – Septembre 2013
- [16] Casimir TOGBE Etude cinétique de l'oxydation de constituants de biocarburants et composés modèles – Formation de THÈSE dirigée par polluants, Paris, 27 Octobre 2010.
- [17] (CCNUCC), K., la-convention-cadre des nationsuniesur les changements climatiques.
- [18] A. Madoui, K.Haddane “ Étude et Réalisation d'une Eolienne de Faible Puissance pour Site Isolé Banc d'essai Pédagogique », Mémoire d'Ingénieur, Université de Batna, 2005.
- [19] K. Djamila. Contribution à la valorisation énergétique de la Biomasse. Thèse de Doctorat: Génie de procédé, Tlemcen : Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 11/07/2011, 136p.
- [20] B. Negrou., N. Settou., N. Chennouf., B. Dokkar. Valuation and development of the solar hydrogen production. Int. Journal of Hydrogen Energy, 2011; Vol. 36, p.4110-4116.
- [21] D. Yacine., B.Med. Lazhar. Estimation de la potentielle biomasse en Algérie. Mémoire de Master, Génie énergétique. Ouargla : Université Kasdi Merbah Ouargla, 07 /06/2015, 57p.
- [22] La France se penche sur le potentiel de la voiture à hydrogène [archive], Les Échos, 9 septembre 2015.
- [23] Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Hugues DE CHERISEY – Consultant agronome, Bordeaux Claude ROY – Coordinateur interministériel pour la valorisation de la biomasse Jean-Christophe POUET – Coordinateur du programme Bois Energie à l'ADEME (Contrat N°0701C0007).
- [24] Projet de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du Diplôme de Licence, Thème (énergie renouvelables) , 2015/2016 ; Université Kasdi Merbah Ouargla.

[25] RESEARCH IN THERMOCHEMICAL BIOMASS CONVERSION – AN INTERNATIONAL CONFERENCE, PHOENIX, ARIZONA, U.S.A., MAY 2-6, 1988. JOURNAL OF ANALYTICAL AND APPLIED PYROLYSIS, 1988. 13(1-2): P. 155-155.

[26] DÍAZ, C.J.G., UNDERSTANDING BIOMASS PYROLYSIS KINETICS: IMPROVED MODELING BASED ON COMPREHENSIVE THERMOKINETIC ANALYSIS THESE, 2006.

[27] CHRISTOPHE, W., et al.. 1981. Alternative pour aujourd'hui, la biomasse: énergie verte. Collection France des points chauds, F.G.A-CFDT, Paris, France, PP. 61.

[28] K. Zouhour. analyse de cycle de vie énergétique de système de valorisation de biomasse. Thèse de Doctorat : Génie Chimique Procédés. Lorraine : Université de Lorraine, 2014, 217p.

[29] MATSUMURA, Y., ET AL., BIOMASS GASIFICATION IN NEAR- AND SUPERCRITICAL WATER: STATUS AND PROSPECTS . BIOMASS AND BIOENERGY, 2005. 29(4): P. 269-292.

[30]Source : Adaptée de Crehay et Marchal, 2004

[31] Khalfa Anissa « Mémoire de doctorat etude des étapes primaires de la dégradation thermique de la biomasse lignocellulosique.30/11/2011 ».

[32] Mémoire De Fin d'Etudes ,En vue de l'obtention du diplôme de Master ,Filière: Génie Mécanique, Thème (ESTIMATION DU POTENTIEL BIOMASSE EN ALGERIE) ,2015 ;26p

[33] Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER , Spécialité : Génie Mécanique ; Option : Génie Energétique. Thème(Estimation du potentiel de la production d'hydrogène à partir de la biomasse), Soutenu publiquement le : 01 /06/2017,25p

[34] Ma. K, 2012. Système énergétique territorial face a la montée en puissance des énergies renouvelables : modélisation de la transition appliquée _a La Réunion. Géographie. Université de Rouen, 2012. Français. <tel-00732678>

- [35] Massé, P. (1959) Prévision et prospective, Paris : Presses universitaires de France, 4 novembre 1959, pp 91-120
- [36] Boulanger. P-M, Bréchet. T, 2003. Une analyse comparative des classes de modèles : modélisation et aide à la décision pour un développement durable.
- [37] Seck. G. S, 2012. Modélisation prospective de l'industrie diffuse pour l'évaluation de l'impact de politiques de Maîtrise De l'Energie (MDE) à partir du générateur de modèle TIMES La récupération de chaleur par Pompes à Chaleur (PAC) dans l'industrie agroalimentaire. Thèse de L'École Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- [38] 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.
- [39] ME, 2015. Bilan énergétique 2015
- [40] GRTG, 2012. Plan de Développement du Réseau de Transport du Gaz : Période 2012-2021
- [41] ME, 2015a. Premiers résultats 2014, secteur renoue avec la croissance. Algérie énergie, Revue Algérienne de l'Énergie n 1 Janvier 2015. www.mem-algeria.org
- [42] ME, 2014 – 2016 . Bilan énergétique (2014-2016)
- [43] GTZ , Etude sur les potentiels de biomasse pour la région Souss-Massa-Drâa et la province d'Essaouira, Birkenfeld/Allemagne, Janvier 2010 , Katharina.Hay@gtz.de
- [44] onfaa, 2016 . Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche, Observatoire National des Filières Agricoles et Agroalimentaires, Bilan de la campagne oléicole 2015/2016 « Segment huile d'olive »
- [45] A. Chehma., H. F. Longo. Valorisation des Sous-Produits du Palmier Dattier en Vue de leur Utilisation en Alimentation du Bétail. Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse, 2001 ; p. 59-64.
- [46] A. Boulal., Z. Benbrahim., B. Benali., S. Ladjel. Etude comparative de rendement de la production d'éthanol de deux variétés de dattes communes de faible valeur commerciale (Tinaceur et Aghmou) de Sud – Ouest de l'Algérie. Algeria. 2013; Vol. 16 N°3 p. 539 – 550.
- [47] La datte algérienne [en ligne]. Disponible sur : < <http://sidab.caci.dz>.> (Consulté 2015).

- [48] Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de Master ,Spécialité : Génie Mécanique ,Option : Génie Energétique , Thème Estimation du potentiel de la production d'hydrogène à partir de la biomasse. Soutenu publiquement le : 01/06/2017,46p
- [49] O. Megret., L. Hubert., M. Calbry., E. Trably., H. Carrere., D. Garcia-Bernet., N. bernet. Rapport de production d'hydrogène à partir de déchets état de l'art et potentiel d'émergence. septembre 2015, 227p.
- [50] Bénédicte., Michel, B., 2011. Agrumes, comment les choisir et les cultiver facilement. Édition Eugen Ulmer, 8 rue Blache, 75009 paris : 9P.
- [51] Houaoura(2013)-Production des agrumes :Comment augmenté le rendement ?
- [52] Anonyme(2013)-Production des agrumes :Comment augmenter le rendement
- [53] Eder & Schulz: Biogas-Praxis, 2006
- [54] Afilal M.E., N. Belkhadir, H. Daoudi, O. Elasri Fermentation méthanique des différents substrats organiques (Methanic fermentation of different organic substrates) J. Mater. Environ. Sci. 4 (1) (2013) 11-16
- [55] R. Moletta, La méthanisation de la matière organique Aspects généraux, 2002, <http://rene.moletta.perso.sfr.fr>
- [56] I. Tou, S. Igoud et A. Touzi, Production de Biométhane à Partir des Déjections Animales, Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse, (2001) 103-108.
- [57] Document, 'Données de Bases pour les Méthaniseurs à la Ferme en Allemagne', Edition,Mars 2005 sur : www.nachwachsende-rohstoffe.de
- [58] M. Monzambe, La problématique de la biométhanisation en République démocratique du Congo, publié dans le Bulletin de l'ANSD, volume 3, décembre 2002, pp. 7-34. Kinshasa : Académie nationale des sciences du développement
- [59] Meres. M, 2009. Analyse de la composition du biogaz en vue de l'optimisation de sa production et de son exploitation dans des centres de stockage des déchets ménagers. Environmental Sciences. Ecole Nationale Supérieur des Mines de Saint-Etienne; Université Jagiellone Cracovie, 2009. French. <tel-00793654>
- [60] ONS,2016 .<http://www.ons.dz/-Demographie-.html>.
- [61] Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. mate.gov.dz
- [62] AIE,2013 - Agence Internationale de l'Energie

Annexe : Présentation de L'ArcGIS :

Définition de L'ArcGIS :

ArcGIS Desktop est la nouvelle suite logicielle SIG produite par ESRI (Environmental Systems Research Institute). ArcGIS Desktop a trois niveaux (ou licences) de produits.

Système d'Information Géographique (SIG)

ArcMap représente l'information géographique comme une collection de couches et d'autres éléments dans une carte. Éléments cartographiques communs comprennent la trame de données contenant des couches cartographiques pour une mesure donnée plus une barre d'échelle, flèche nord, titre, texte descriptif, une légende de symbole, et ainsi de suite.

La principale application dans ArcGIS est ArcMap, qui est utilisé pour toutes les tâches de cartographie et d'édition ainsi que pour cartographie requête et d'analyse. Une carte est la vue la plus courante pour les utilisateurs de travailler avec l'information géographique. Il est la principale application dans tous les SIG à travailler avec l'information géographique.

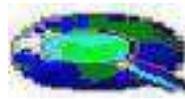
Les applications nécessaires de l'ArcGIS :

Quelques soit la licence utilisée, ArcGIS Desktop présente à peu près, la même ossature. Ainsi, deux applications se révèlent nécessaires dans l'utilisation de ArcGIS.

- ArcCatalog : est l'application qui aide les utilisateurs à gérer leurs données géographiques. Dans cette application, il est possible de créer, visualiser, d'importer ou exporter, rechercher et trouver une donnée.



- ArcMap : est l'application principale dans ArcGIS. Il permet l'édition, la modification de données géographiques, l'analyse, la conception et l'édition de cartes.



- Un troisième élément, qui n'est pas une application, mais tout aussi important, est ArcToolbox. Il contient les outils de géo-traitements et de conversion des données.

La figure 1 ci-dessous représente les interfaces de ces trois applications.

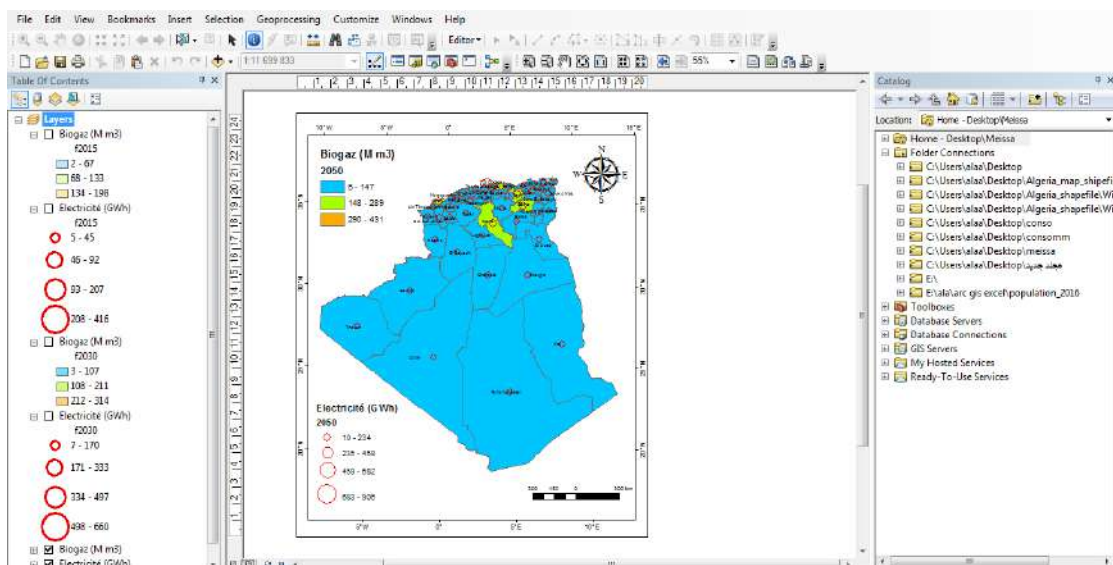
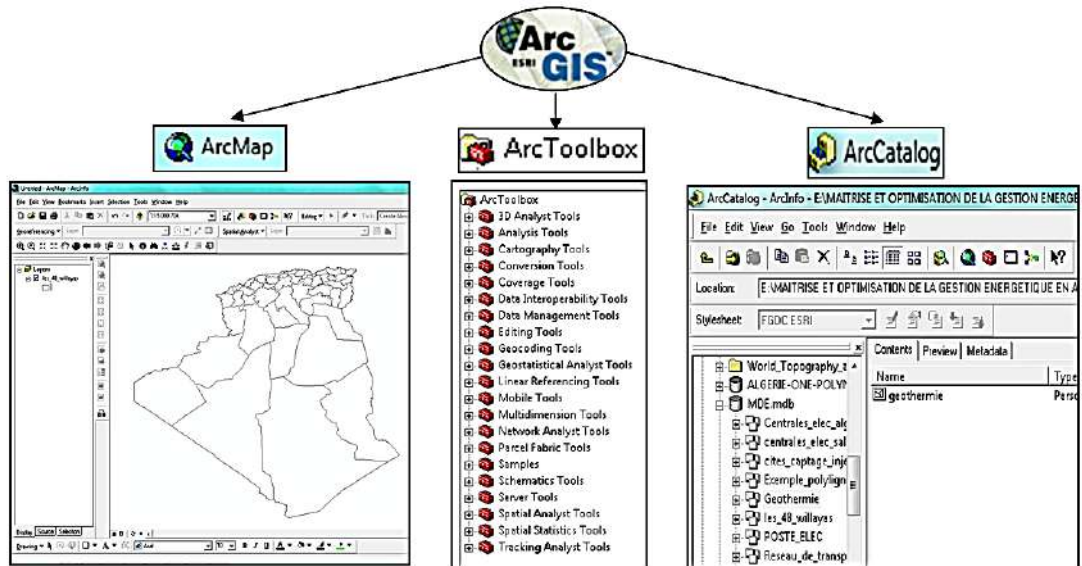


Figure 2 : ArcGIS

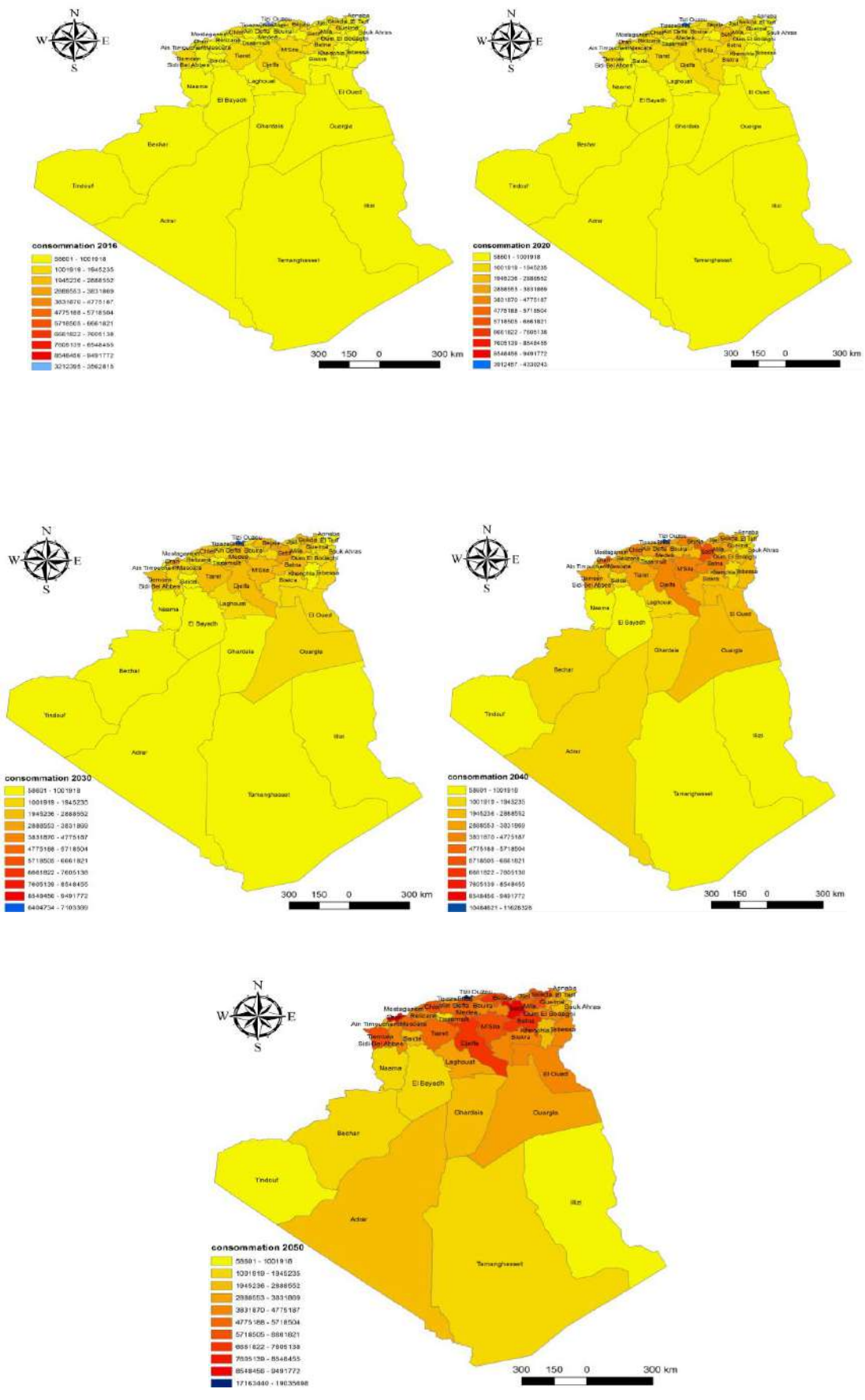


Figure .3 Distribution géographique de la consommation a l'horizon 2050

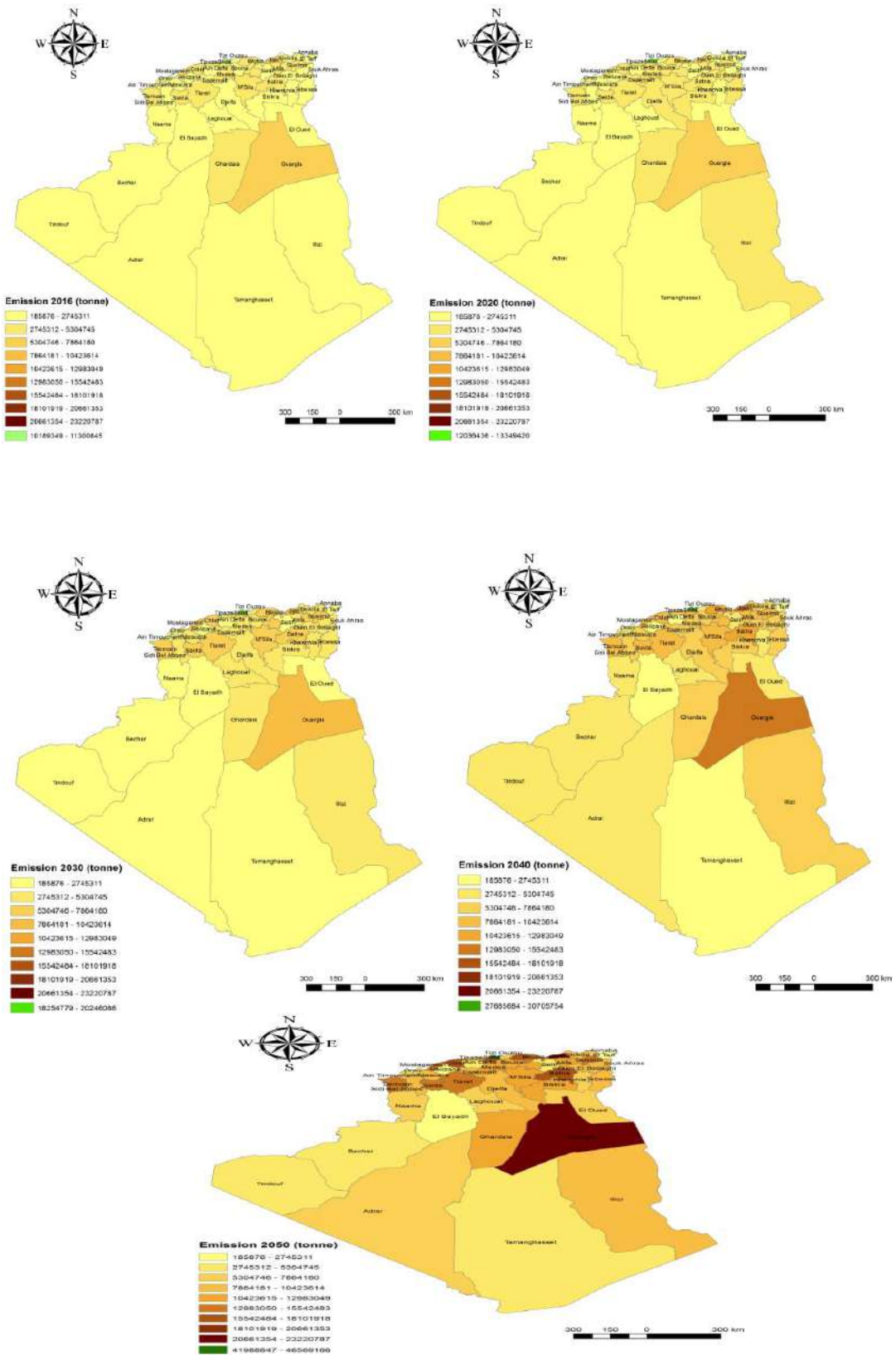


Figure 4 Distribution géographique de l'émission CO2 a l'horizon 2050