



REPUBLIQUE ALGERIENNE
DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique

Université KASDI Merbah d'Ouargla

Faculté des Mathématiques et des Sciences
de la Matière

Département de physique

Filière : Physique

Spécialité : Physique Energétique et Energies Renouvelables

Mémoire Présenté pour l'obtention du
Diplôme

MASTER ACADEMIQUE

Présenté par :

BENABDELKADER Fatima Elhadia

Intitule de mémoire

**Potentiel de maitrise de l'énergie dans
le domaine des transports en Algérie**

Soutenu publiquement Le : 19/06/2022

Devant le Jury :

SETTOU Noureddine

Pr

Président

MOHCENE Hocine

MCA

Examineur

NEGROU Belkhir

Pr

Encadreur

CHETOUANE M^{ed} Amine

Doctorant

Co-encadreur

Année Universitaire : 2021 /2022

Dédicaces

Je dédie cette mémoire :

A ma chère mère Hamid Yasmina

A mon cher père Abdeldjbar

A ma chère sœur, Ghizlaneloudjaina

A mon cher frère Mohamed Yazid

Qui n'ont pas cessé de prier pour moi, de me soutenir et de m'aider afin que je puisse atteindre mes objectifs, leur soutien moral et leurs précieux conseils tout au long de mes études.

A ma chère grand-mère

A qui je souhaite une bonne santé

A ma chère tante Nabila

Pour son aide et son soutien dans les moments difficiles

A Mr. Atik Laala et sa famille

Qui m'ont aidé et soutenu dans les moments difficiles

Remerciements

Je tiens à exprimer ma gratitude et mes remerciements à **ALLAH** qui m'a donné la force et le pouvoir pour effectuer ce modeste travail.

Tout d'abord, je voudrais remercier mon encadreur Directeur de l'Institut de Technologie **Dr. NEGROU Belkhir**, pour avoir suggéré ce sujet, et pour sa contribution et son assistance dans la réalisation de ce travail ainsi que toutes ces observations constructives qui nous ont permis d'approfondir nos connaissances scientifiques.

Je tiens à remercier le **Pr. SETTOU Noureddine**, de l'université Kasdi Merbah Ouargla Faculté des mathématiques et sciences de la matière, d'avoir fait l'honneur de présider ma jury de mémoire.

Un grand merci au **Dr. MOHCEN Hocine** de l'université Kasdi Merbah Ouargla Faculté des mathématiques et sciences de la matière, pour avoir accepté de revoir ce travail.

J'adresse également mes sincères remerciements à **Mr. CHETOUANE Med Amine** pour son suivi, son soutien et ses bons conseils tout au long de ce travail, et pour avoir partagé avec moi ses précieux avis.

Et enfin, ma sincère gratitude à tous ceux qui m'ont aidé directement ou indirectement dans la réalisation de ce travail.

Contents

Liste des figures.....	I
Liste des tableaux	I
Liste des abréviations	I
Introduction Générale	I
Chapitre 1: Situation énergétique en Algérie	1
1.1. Introduction	3
1.2. Secteur des hydrocarbures en Algérie.....	3
1.2.1. Gaz naturel.....	3
1.2.2. Pétrole.....	7
1.3. Production d'énergie dérivée.....	9
1.4. Exportations d'énergie	10
1.5. Importations d'énergie	11
1.6. La consommation d'énergie en Algérie	11
1.7. La consommation d'énergie par secteur.....	12
1.8. Emissions de CO2 :.....	12
1.9. Potentiel national des énergies renouvelables	13
1.9.1. Potentiel solaire	13
1.9.2. Potentiel éolien	14
1.9.3. Potentiel de l'énergie géothermique.....	14
1.9.4. Potentiel de la biomasse.....	15
1.10. Transition énergétique.....	15
1.11. Programme National des Énergies Renouvelables (PNER).....	15
1.11.1. Objectives du PNER	15
1.11.2. Pour le secteur des transports	16
1.12. Conclusion.....	16
Chapitre 2: Transition énergétique dans le secteur des transports.....	5
2.1. Introduction	17

2.2.	Les carburants alternatifs.....	17
2.2.1.	Biodiesel	17
2.2.2.	Éthanol.....	18
2.2.3.	Electricité	20
2.2.4.	Gaz naturel.....	23
2.2.5.	Méthanol.....	24
2.2.6.	Hydrogène.....	25
2.3.	La technologie des véhicules à carburant alternatif.....	32
2.3.1.	Véhicules à carburant alternative	32
2.3.2.	Véhicules à gas.....	33
2.3.3.	Véhicules électriques	34
2.3.4.	Véhicules électriques à pile à combustible	35
2.4	Conclusion :.....	35
Chapitre 3: Estimation de la production d'hydrogène pour le secteur de transport routier ..		43
3.1.	Introduction	36
3.2.	Secteur des transports en Algérie.....	36
3.2.1.	Axes du secteur des transports en Algeria	36
3.3.	Analyse rétrospective du secteur de transport routier	37
3.3.1.	Répartition du parc par type de véhicule	37
3.3.2.	Evolution du parc automobile	38
3.3.3.	Repartition du parc par consommation.....	39
3.4.	Raisons pour lesquelles l'hydrogène est une source d'énergie de substitution :	44
3.5.	Modélisation et prévision de la consommation énergétique dans le secteur de transport routier	44
3.5.1.	Hypothèses de prévision	44
3.5.2.	Evolution du parc automobile	44
3.5.3.	Scénario volontariste	45
3.5.4.	Méthodologie de l'évaluation de distribution spatio-temporelle de la demande en hydrogène carburant à horizon 2035:	46

3.5.5. Consommation spécifique moyenne de véhicule a l'hydrogène:.....	46
3.5.6. Nombre de véhicule à hydrogène.....	47
3.6. Analyse technico-économique de la production d'hydrogène	50
3.6.1. Modélisation des installations de production d'hydrogène	51
3.6.2. Besoins énergétiques du système d'électrolyse:	51
3.6.3. Système photovoltaïque et centralisateur d'énergie solaire	53
3.6.4. Coût de la construction et de l'exploitation d'une centrale électrique utilisant un système photovoltaïque en Algérie	56
3.7 Conclusion.....	57
Conclusion Générale.....	58
Résumé.....	59
Références.....	60
Annexes.....	62

Liste des figures

Figure 1-1 : Production de gaz naturel en Algérie pendant la période 1970-2020	3
Figure 1-2: Consommation de gaz naturel en Algérie pendant la période 1965-2020.....	4
Figure 1-3 : : Réserves prouvées de gaz naturel en Algérie pendant la période 1980-2020.....	6
Figure 1-4 : Production et consommation de gaz naturel en Algérie entre 2000 – 2020	7
Figure 1-5: Production de pétrole en Algérie pour la période 1965 – 2020	8
Figure 1-6 : Consommation de pétrole en Algérie dans la période 1965 – 2020.....	8
Figure 1-7: Réserves prouvées de pétrole en Algérie entre 1980 – 2020	9
Figure 1-8: Structure de la production d'énergie dérivée	10
Figure 1-9: Structure des exportations d'énergie en 2019	11
Figure 1-10: Structure des importations d'énergie en 2019.....	11
Figure 1-11: la consommation nationale d'énergie (2009.2019)	12
Figure 1-12: consommation d'énergie par secteur en 2019	12
Figure 1-13 : Emissions de CO2 entre (1965-2020).....	13
Figure 3-1 : Répartition du parc national automobile selon le type de véhicule.....	38
Figure 3-2 : L'évolution du parc automobile national au cours de la période 2008-2019	39
Figure 3-3 :L'évolution de la population de l'Algérie au cours de la période 2000-2019	39
Figure 3-4 : consommation de secteur des transports et transport routier	40
Figure 3-5 : Consommation de carburant dans le secteur des transports en Algérie(2010-2019) [6]	40
Figure 3-6 :Réparation de nombre de véhicule selon la source d'énergie.....	41
Figure 3-7: consommation unitaire moyenne annuelle	42
Figure 3-8 : Répartition des véhicules qui consomment de l'essence en Algérie en 2019.	43
Figure 3-9: Répartition des véhicules qui consomment de gasoil en Algérie en 2019.	43
Figure 3-10: Evolution du nombre de véhicule 2020-2035	45
Figure 3-11: Consommation spécifique moyenne de véhicule à hydrogène dans chaque wilaya	47
Figure 3-12: Développement du nombre de véhicule à hydrogène.....	48
Figure 3-13: la demande d'hydrogène pour chaque Taux de pénétration	49
Figure 3-14: La distribution de la demande d'hydrogène par région avec Taux de pénétration de 10 %.....	50
Figure 3-15: La distribution de la demande annuelle d'électricité par région avec Taux de pénétration de 10 %.....	53

Figure 3-16: Répartition des espaces du système photovoltaïque pour répondre aux besoins en énergie électrique avec Taux de pénétration de 10 %.....55

Liste des tableaux

Tableau 3-1 : Plans de projet avec les taux pénétration.....	45
Tableau 3-2 : la quantité d'hydrogène dont chaque État a besoin pour couvrir ses besoins en 2035 et le coût de la construction et de l'exploitation de la centrale électrique nécessaire à l'électrolyseur	43

Liste des abréviations

BTP	Bâtiment et Travaux Publics
BGC	Biogaz Comprimé
CI	Combustion Interne
CES	Concentrateur Energie Solaire
GPL	Gaz de Pétrole Liquéfié
GN	Gaz Naturel
GNR	Gaz Naturel Renouvelable
GNL	Gaz Naturel Liquéfié
GNC	Gaz Naturel Comprime
Ktp	Kilotonnes d'équivalent pétrole
PV	Photovoltaïque
PEM	Particulier l'électrolyseur
PEC	Photo électrochimiques
VEH	Véhicule Electrique Hybride
VEB	Véhicule Electrique à Batterie
VPAC	Véhicule à Pile à Combustible
VE	Véhicule Electrique
VGN	Gaz Naturel véhicule

Introduction Générale

Introduction générale

Notre société actuelle consomme beaucoup d'énergie pour travailler : chauffage, climatisation, éclairage, fonctionnement des équipements, déplacements, etc. Dans ce cas, la consommation mondiale d'énergie augmente en raison de la dépendance croissante de notre mode de vie à l'énergie et de l'augmentation de la population mondiale. En 2019, 88% de la consommation d'énergie est assurée par des combustibles fossiles (33% de pétrole, 24,2% de gaz naturel et 27% de charbon), mais seulement 11,4% est assurée par une source naturelle. Vent, biomasse, biocarburants, bois, hydroélectricité, etc.

Le secteur des transports est désormais une composante essentielle des économies modernes. La grande circulation des biens et des personnes n'est pas seulement une caractéristique des pays développés mais encore plus une exigence pour le développement. De même, la mobilité individuelle qui est fortement dépendante des véhicules a connu une croissance continue au cours des dernières décennies ; Ce constat ne fait que traduire l'aspiration profonde de la majorité de nos contemporains à une grande liberté de mouvement. Le grand développement du secteur des transports, et l'augmentation continue du parc automobile mondial associée à la croissance du nombre de déplacements et des distances moyennes parcourues, font que le secteur des transports consomme aujourd'hui près de 45% du pétrole mondial.

En termes de couverture de ses besoins énergétiques, l'Algérie est indépendante de l'extérieur. En effet, selon le budget national de l'énergie du ministère de l'Énergie (2018), la production commerciale d'énergie primaire s'est élevée à 165,2 millions de tonnes d'équivalent pétrole (Tep), tandis que les importations ont été d'environ 1,5 million de tonnes d'équivalent. De toute l'énergie disponible, la consommation nationale représente plus d'un tiers (39,3 %), soit 65,0 millions de tonnes de pieds. Le reste de la capacité produite, soit 60% représentant 100,8 millions de pieds cubes, est destiné à l'exportation. La consommation finale s'élève à 48,1 Mtep et se répartit par sous-secteur comme suit : Industrie et construction : 10,5 ; Transports : 15,3 ; Ménages et autres : 22,4. On note que le secteur des transports est à l'origine de la consommation d'énergie d'un tiers (32%) et vient après le plus grand secteur consommateur, représenté par : les ménages et autres (administrations et activités de services).

L'énergie consommée par les transports se répartit entre le transport routier qui domine la consommation avec 92%, suivi du rail et de l'avion qui représentent chacun 4%. Le transport maritime, qui est plus utilisé dans les expéditions du commerce extérieur, n'est pas pris en compte en raison du manque de données sur le sujet. A l'instar des autres pays, le transport en Algérie est un secteur qui utilise principalement des combustibles fossiles (diesel 52%, essence et kérosène 40%, GPL 6% et électricité 2%). En termes de service rendu, le transport routier domine avec 97%

Introduction générale

de la circulation des personnes et des marchandises, le chemin de fer contribue pour près de 2,5% et l'aérien pour moins de 1%.

Par conséquent, le transport routier est le sous-secteur qui doit être, en premier lieu, le centre d'attention de toute vision d'efficacité énergétique, car le parc automobile national (PNA) a franchi la barre des six millions de véhicules à partir de 2017.

La rationalisation de la consommation d'énergie est un défi important pour l'Algérie, notamment dans ce contexte de crise budgétaire qui est accentué par la baisse vertigineuse des prix du pétrole. Le secteur du transport qui totalise un tiers de la consommation nationale est susceptible de contribuer à ce défi si l'on favorise les modes moins énergivores et à forte capacité.

Dans ce travail, nous avons étudié le problème de l'augmentation de la consommation d'énergie dans le secteur des transports en Algérie, ce qui augmente le taux de pollution et réduit les réserves énergétiques du pays et exerce une pression sur le réseau national. Pour résoudre ce problème, nous avons proposé des alternatives et des technologies afin de renforcer et de faire progresser ce secteur, et nous avons mené une étude au niveau de l'Algérie afin de choisir la meilleure solution alternative compatible avec les potentialités et la capacité de l'Algérie à la maîtriser.

Le travail présenté ici s'organise selon trois chapitres :

Le premier chapitre présentera d'abord la situation énergétique actuelle au niveau national, en termes de ressources, de production et de consommation, notamment dans le secteur des transports.

le deuxième chapitre vise à présenter les alternatives et technologies possibles afin de réaliser la transition énergétique dans le secteur des transports.

Le troisième chapitre présente un aperçu des énergies renouvelables en Algérie et la production d'hydrogène à partir de l'énergie solaire et sa capacité à répondre aux exigences du secteur des transports terrestres.

Enfin, la conclusion clôt le mémoire et présente les implications liées aux résultats obtenus

Chapitre 1: Situation énergétique en Algérie

1.1. Introduction

Dans ce chapitre, il dresse un bilan succinct de la situation actuelle en Algérie pour les secteurs des hydrocarbures afin de mettre en lumière l'urgence de développer de nouveaux carburants alternatifs aux carburants dérivés du pétrole et de trouver de nouvelles technologies.

1.2. Secteur des hydrocarbures en Algérie

1.2.1. Gaz naturel

1.2.1.1 Production de Gas naturel

La production annuelle moyenne a atteint 56,77 milliards de mètres cubes pour la période 1970-2020, où la valeur la plus élevée a été enregistrée en 2003 (93,9 milliards de mètres cubes) et la valeur la plus faible en 1970 (2,4 milliards de mètres cubes).

La figure suivante (Figure 1-1) montre l'évolution de la production de gaz naturel en Algérie au cours de la période 1970-2020.

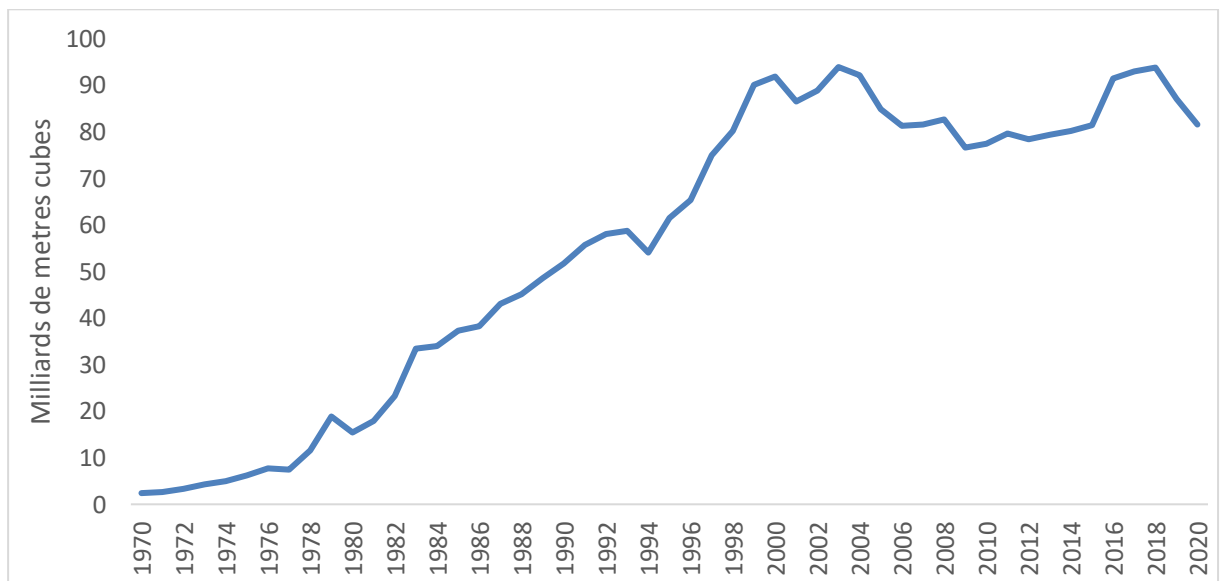


Figure 1-1 :Production de gaz naturel en Algérie pendant la période 1970-2020 [1]

La figure montre que la production de gaz naturel en Algérie est caractérisée par la présence de deux périodes. La première période, qui s'étend du milieu des années soixante jusqu'à la fin des années quatre-vingt-dix et le début du nouveau millénaire, a été caractérisée par une augmentation continue de la production de gaz naturel, et ceci est dû à la découverte d'énormes gisements de gaz similaires aux gisements de : Ain Saleh (1956), Tine Kawi Thabenkornnet (1960), Qassi Tawil (1961), Adrar (1961), Tiqentourine (1960), Ohant (1960), [2] et surtout le champ de Hassi R'Mel (1956) qui est considéré comme le plus important au niveau national et l'un des champs les plus

Chapitre 01 : Situation énergétique en Algérie

envahissants au niveau . En plus de la loi brûlante de 1991 modifiant et complétant la loi 86-14. Qui a ouvert la voie aux institutions étrangères pour investir dans le gaz naturel dans les régions après qu'il n'ait été disponible que pour Sonatrach. En plus de l'augmentation de la demande de gaz naturel comme principale source d'énergie et de son prix élevé sur le marché. ce qui a constitué une incitation pour les investisseurs.[3]

Alors que la deuxième période, s'étendant de 2000 à 2020, était connue pour être relativement stable en matière de production avec une légère baisse qui peut être expliquée par le déclin de la productivité des principaux champs gaziers tels que le champ de Hassi Ramel, dont la production représentait 65% de la production totale de gaz naturel en Algérie en 2007[3, 4], en plus de L'absence d'exploration d'autres grands champs pétroliers, à l'exception de quelques petits champs. Il est à noter que malgré tout cela, l'Algérie reste le plus grand producteur en Afrique et l'un des plus grands producteurs au monde.

1.2.1.2 Consommation de gaz naturel

La Consommation annuelle moyenne a atteint 18,37 milliards de mètres cubes pour la période 1965-2020, où la valeur la plus élevée a été enregistrée en 2019 (45.1 milliards de mètres cubes) et la valeur la plus faible en 1965 (0.7milliards de mètres cubes).

La figure suivante montre l'évolution de la consommation de gaz naturel en Algérie durant la période 1965 -2020.

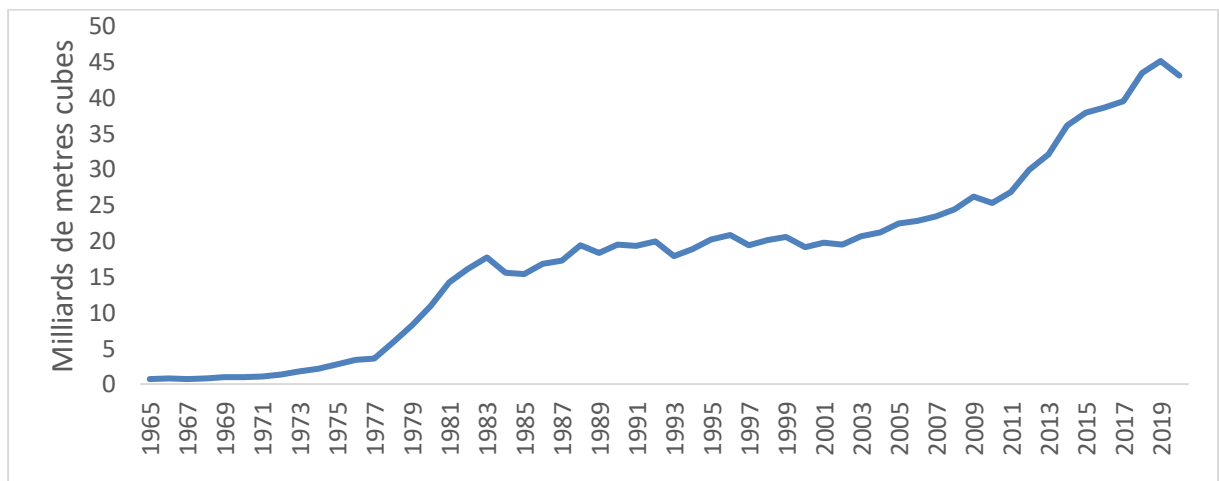


Figure 1-2: Consommation de gaz naturel en Algérie pendant la période 1965-2020 [1]

Il ressort clairement de la figure ci-dessus que la consommation de gaz naturel en Algérie est passée par quatre étapes fondamentales. Une première étape dans les années soixante a été caractérisée par l'absence d'un véritable marché intérieur, puisque tous les contrats signés étaient sous l'influence de la République française et régis par la loi française du pétrole du désert, qui vise

Chapitre 01 : Situation énergétique en Algérie

à réaliser un profit maximum pour la partie française sans tenir compte des intérêts de la partie algérienne et de ses besoins de consommation.

Une deuxième étape dans les années 70 est marquée par une augmentation importante des invasions malgré l'indépendance de l'Algérie en 1962. Une troisième étape, à partir du début des années quatre-vingt, 1971, dans la consommation de gaz naturel après la nationalisation du secteur des hydrocarbures.

Une année au début du nouveau millénaire a été caractérisée par la fluctuation de la consommation interne de gaz naturel et par la régression du rythme de sa croissance par rapport à celle qui s'est accompagnée d'une régression importante en 1986. Étape précédente, en raison de la baisse des prix du pétrole au cours de l'année des investissements liés aux activités de recherche et d'exploration du pétrole et du gaz. En plus de la régression de la consommation du secteur industriel en raison de l'échec de la création de nouvelles bases industrielles concrétisées par de grands projets qui utilisent le gaz comme matière première contrairement à ce qui a été accompli dans les années soixante-dix, comme le complexe sidérurgique de Jijel, qui alimentée en gaz naturel.

Quatrième phase : Du début du troisième millénaire à nos jours, 2009, 43, elle est a été caractérisée par une augmentation importante et continue de la consommation interne de gaz naturel.[3, 4]

1.2.1.3 Réserves prouvées de gaz naturel

La figure suivante montre l'évolution des réserves prouvées de gaz naturel en Algérie durant la période 1980-2020.

On constate à partir de la courbe que le développement des réserves de gaz naturel en Algérie pour la période de 1980 à 2020 passe par quatre étapes. La première étape de 1980 à 1987 Cette étape a été caractérisée par une baisse des réserves de gaz naturel qui sont passées de 3. Cette étape a été caractérisée par un déclin des réserves de gaz naturel, qui ont diminué de 3,6 trillions de mètres cubes en 1980 à 3 trillions de mètres cubes en 1987 en raison de la décision de nationaliser complètement le gaz naturel en 1972, ainsi que la concentration des activités de Sonatrach sur les champs pétroliers au détriment du gaz naturel, qui nécessite des investissements coûteux. En plus du fait que le gaz naturel pendant cette période n'était pas aussi important comme source d'énergie qu'il l'est maintenant.

Chapitre 01 : Situation énergétique en Algérie

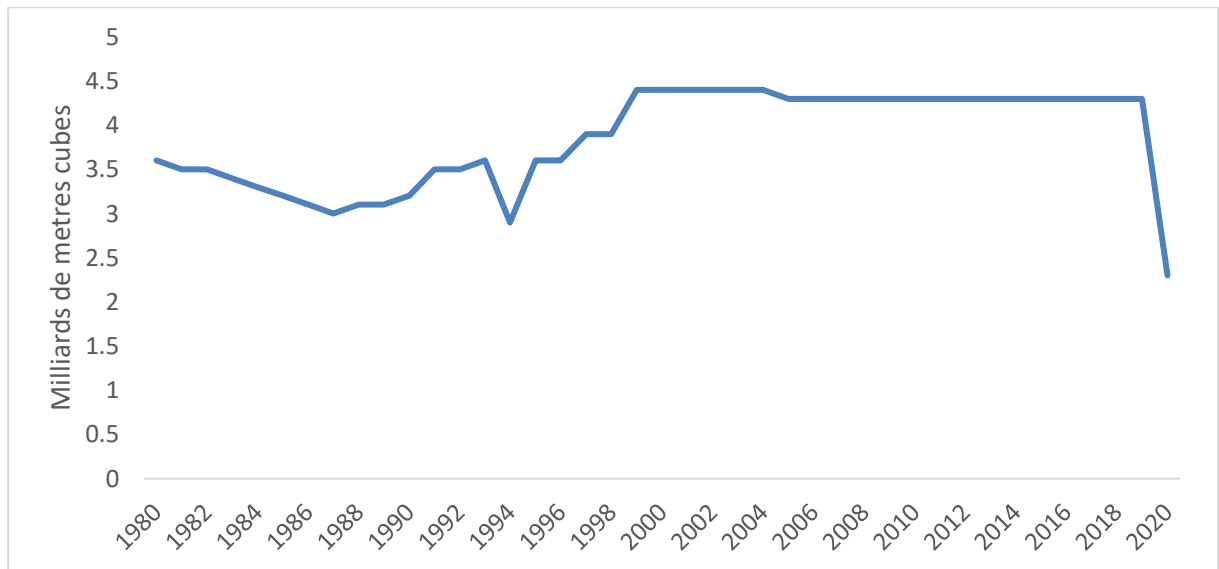


Figure 1-3 : : Réserves prouvées de gaz naturel en Algérie pendant la période 1980-2020[1]

Une deuxième phase de 1988 à 2004 cette phase a été caractérisée par une augmentation des réserves de gaz naturel de 3,1 trillions de mètres cubes en 1988 jusqu'à 4. 4 trillions de mètres cubes en 2004, en raison de l'intérêt croissant pour le gaz naturel comme une source d'énergie et une matière première d'importance stratégique dans les industries et le développement du secteur industriel, en plus de l'augmentation des investissements dans celui-ci malgré la baisse soudaine en 1995, une troisième phase de 2005 à 2019 a été marquée Avec la stabilité des réserves de gaz naturel à 4. 4 trillions de mètres cubes.

Une quatrième étape entre 2019 et 2020 a été caractérisée par une forte baisse des réserves de gaz naturel, puisqu'elle a diminué à 3,2 trillions de mètres cubes et Cela est dû à l'électricité et aux centrales électriques qui consomment plus de gaz avec l'augmentation de la population. Ainsi que les changements administratifs fréquents de Sonatrach, puisqu'elle a eu 4 directeurs généraux entre 2019 et 2020. ce qui a entravé ses efforts pour augmenter la production énergétique. [4]

Le graphique suivant résume ce qui a été indiqué concernant l'évolution du volume de la production de gaz naturel en Algérie durant la période 2000-2020, qui est caractérisée par une relative stabilité, et l'évolution du volume de la consommation de gaz en Algérie durant la même période, qui est caractérisée par une hausse continue.

Le constat montre une relative stabilité de la production de gaz naturel avec l'augmentation continue de sa consommation, car l'augmentation de la demande interne de gaz naturel en Algérie fera passer l'Algérie d'un pays exportateur à un pays importateur de pétrole, ce qui créera des crises économiques et confirmera la nécessité de développer la recherche dans le domaine des énergies renouvelables.

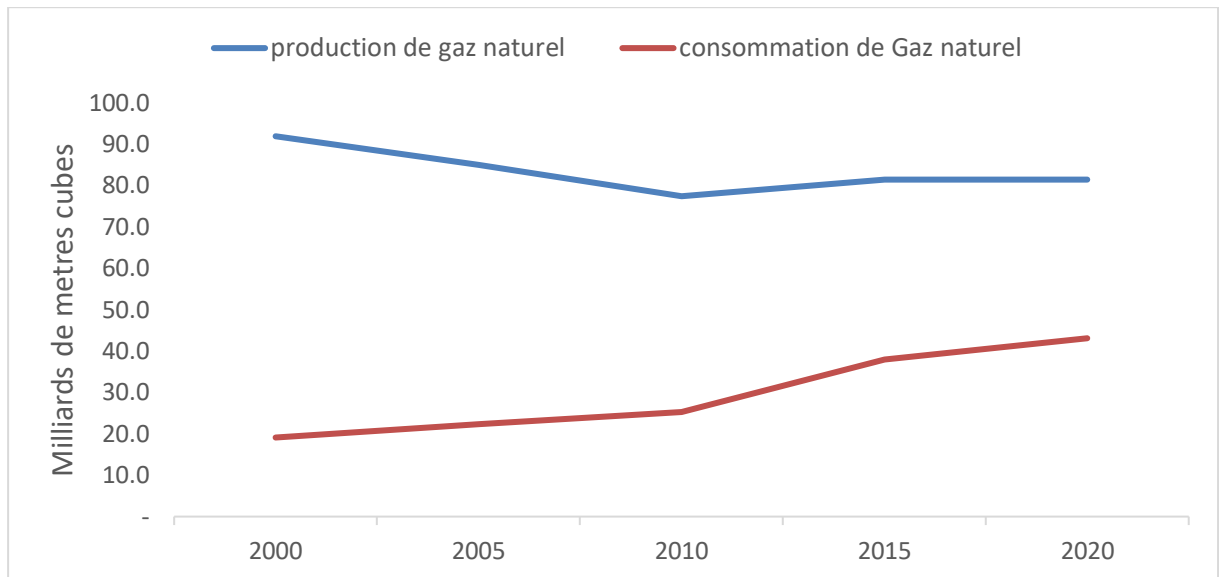


Figure 1-4 : Production et consommation de gaz naturel en Algérie entre 2000 – 2020[1]

1.2.2. Pétrole

1.2.2.1 Production de pétrole :

La production annuelle moyenne s'est élevée à 59,71 millions de tonnes pour la période 1956 - 2020, la valeur la plus basse ayant été enregistrée en 1965 avec une valeur de 26,1 millions de tonnes et la valeur la plus élevée en 2007 avec une valeur de 86,5 millions de tonnes.

La Figure 1-5 montre l'évolution de la production de pétrole en Algérie au cours de la période 1965-2020.

On remarque sur la figure que la production de pétrole a connu une augmentation significative à partir de l'année 2000, et ceci est dû à l'augmentation de la demande mondiale de produits pétroliers. On note également que la baisse continue de la production depuis 2007 où la production a atteint son pic et en l'an 2020, cette baisse est due à l'épuisement du grand champ de Hassi Messaoud. Qui représente 45% de la production nationale, ainsi que l'effondrement des relations de partenariat entre Sonatrach et les institutions pétrolières étrangères, qui leur ont imposé une taxe supplémentaire, dans le cadre des mesures complémentaires à la loi sur les hydrocarbures de 2005, ce qui a entraîné une baisse des investissements privés dans le secteur pétrolier et par conséquent une baisse de la production.[5]

Chapitre 01 : Situation énergétique en Algérie

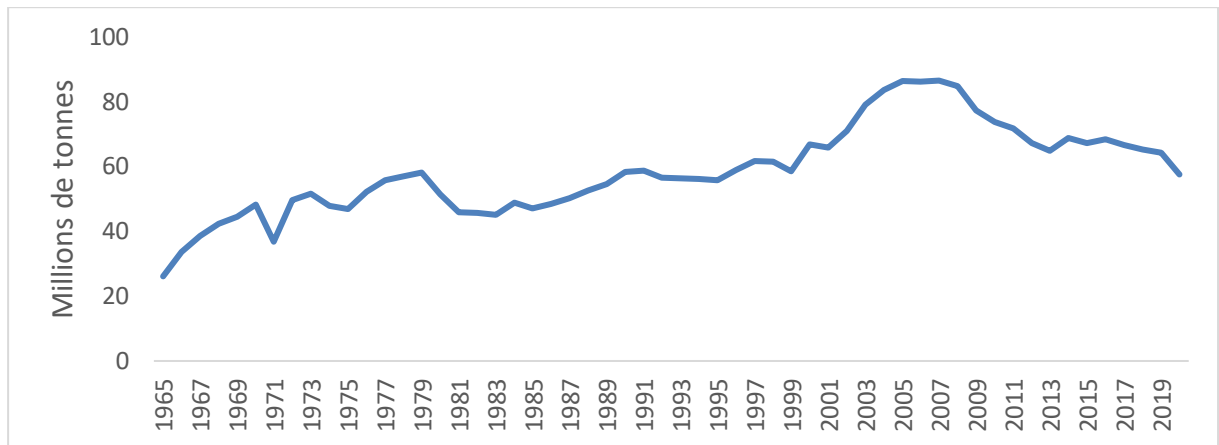


Figure 1-5: Production de pétrole en Algérie pour la période 1965 – 2020[1]

1.2.2.2 Consommation de pétrole

La consommation annuelle moyenne de pétrole a été de 9,25 millions de tonnes pour la période 1965 - 2020, où la valeur la plus basse a été enregistrée en 1965, avec 1,29 millions de tonnes, pour la période 1965 - 2020, où la valeur la plus basse a été de 1,29 millions de tonnes en 1965 et la valeur la plus élevée de 19. 5 millions de tonnes en 2019, 2015.

La figure suivante montre l'évolution de la consommation de pétrole en Algérie durant la période 1965 – 2020.

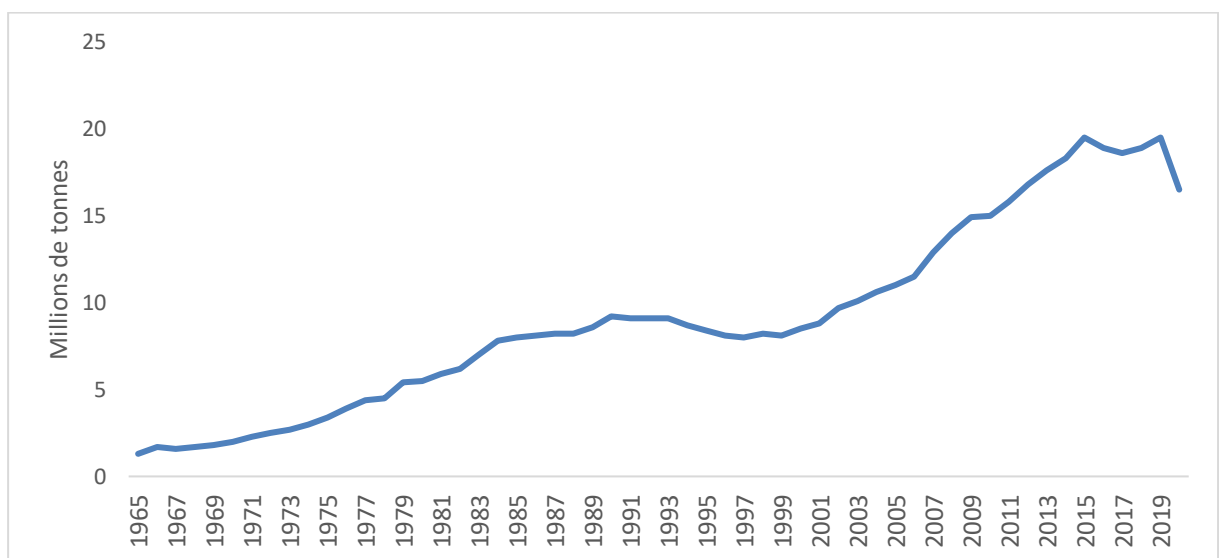


Figure 1-6 : Consommation de pétrole en Algérie dans la période 1965 – 2020 [1]

On note à travers la figure l'augmentation importante de la consommation interne de pétrole de 2010 à 2018, qui a doublé de manière significative durant ces années, puisque cela a fait de l'Algérie la troisième place en Afrique pour les pays consommateurs de pétrole avec une consommation de

Chapitre 01 : Situation énergétique en Algérie

pas moins de 412 mille barils par jour, et cela est dû à l'augmentation de la demande en pétrole Énergie. En plus de l'augmentation du nombre de voitures qui ont été commercialisées localement durant cette période, puisque le parc automobile national est passé de 4 314 607 unités à près de 6 millions d'unités.[1]

1.2.2.3 Réserves de pétrole prouvées

La figure suivante montre l'évolution des réserves pétrolières prouvées en Algérie durant la période 1965-2020. On note à travers la figure l'augmentation significative des réserves pétrolières prouvées depuis 1986, puisqu'elles sont passées de 8800 millions de barils à 12 200 millions de barils en 2005, soit une augmentation de 34% en l'espace de 19 ans. Ceci est dû au fait que la Compagnie nationale a réalisé qu'elle n'est pas encore en mesure de gérer seule le secteur des hydrocarbures. L'expérience des années 70 a ouvert la porte au partenariat étranger. On note également la stabilité des réserves pétrolières depuis 2007, puisqu'elles se sont établies à 12 200 millions de barils.[5]

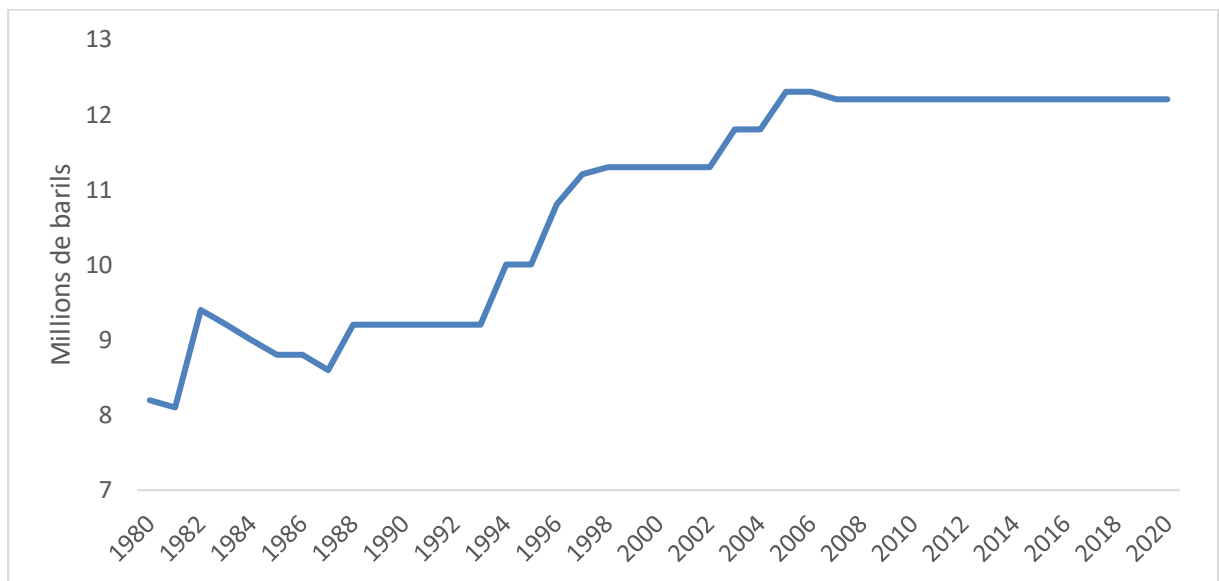


Figure 1-7: Réserves prouvées de pétrole en Algérie entre 1980 – 2020 [1]

1.3. Production d'énergie dérivée

La production d'énergie dérivée a atteint 66,1 M tep, en hausse (+2,2%) par rapport aux réalisations de 2018, tirée par celle de la production du gaz naturel liquéfié (GNL) (+21,9%) et de l'électricité thermique (+2,1%).

A l'inverse, la production des produits pétroliers a enregistré une baisse (-5,7%) comparativement à la même période de l'année précédente, pour s'établir à 27,7 millions de tonnes,

Chapitre 01 : Situation énergétique en Algérie

tirée par la baisse (-7,3%) de la charge traitée de pétrole brut au niveau des raffineries après l'arrêt des opérations de traitement de pétrole à l'étranger.[6]

La structure de la production d'énergie dérivée reste dominée par les produits pétroliers avec 44%, la distribution des énergies dérivées est comme suite : Les produits pétroliers avec une production de 44.1% (29.15 Mtep), L'électricité une production de 28.1% (18.57 Mtep), Le GNL avec une production de 24% (15.86 Mtep).[6]

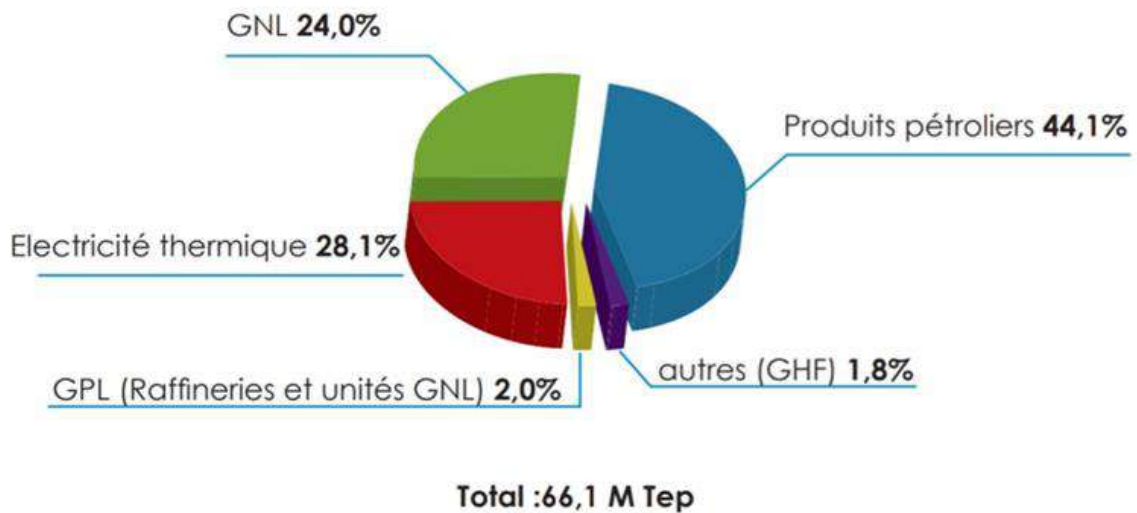


Figure 1-8: Structure de la production d'énergie dérivée [6]

1.4. Exportations d'énergie

Au total, le volume global des exportations a atteint 92,0 Mtep en 2019. la distribution des exportations d'énergie est comme suite gaz naturel avec exportations de 27 % (24.84 Mtep), pétrole brut une exportation de 26.6 % (24.47 Mtep), Le GNL avec exportation de 16.9 % (15.55 Mtep),et produit raffinés avec exportation de 15.9%(14.62 Mtep).[6]

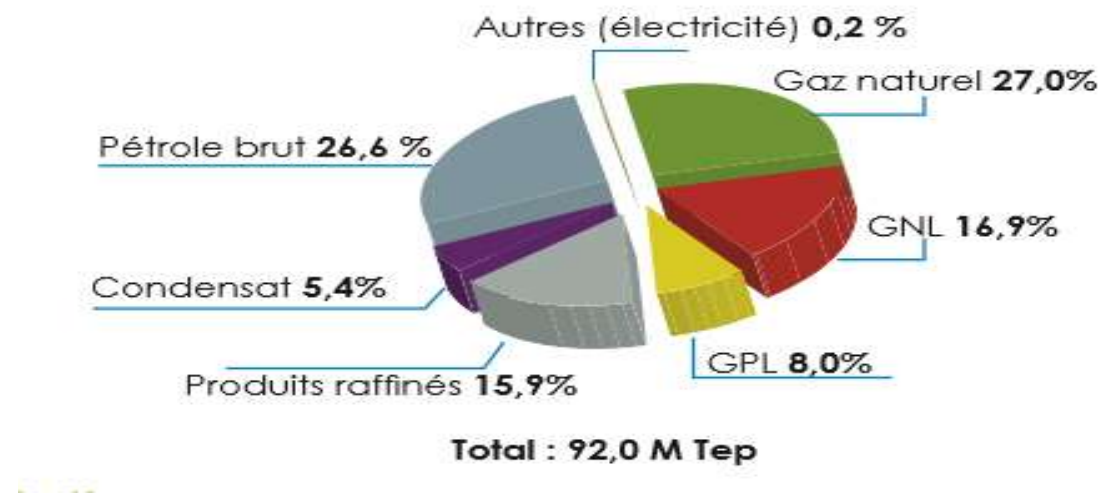


Figure 1-9: Structure des exportations d'énergie en 2019 [6]

1.5. Importations d'énergie

Les importations de produits dérivés ont plus que doublé (120%) durant l'année 2019 pour s'établir à 2,9 Mtep, tirées par celles des produits pétroliers (184%). La très forte reprise des importations, notamment pour l'essences (+364%) et de gasoil (+269%), s'est enclenchée à la suite de l'arrêt des opérations de procession de pétrole brut algérien à l'étranger depuis aout 2019.[6]

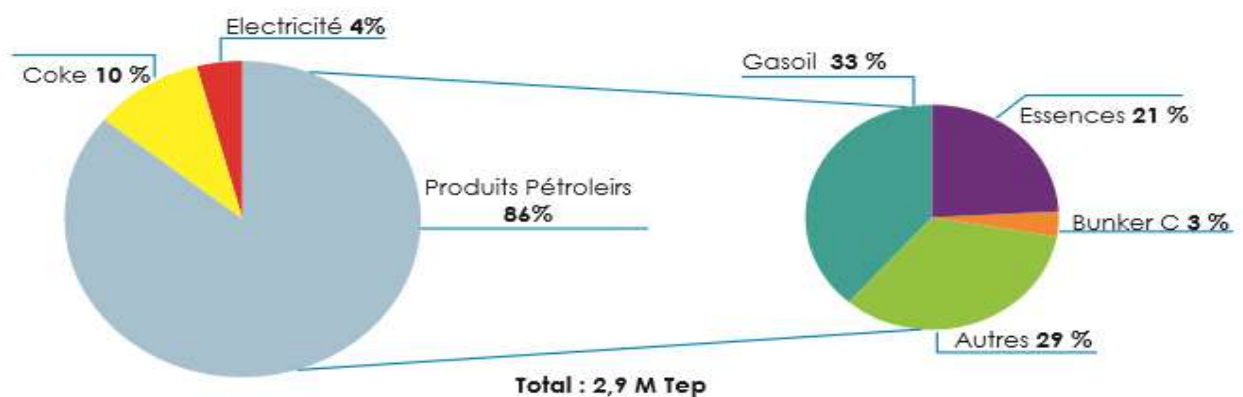


Figure 1-10: Structure des importations d'énergie en 2019 [6]

1.6. La consommation d'énergie en Algérie

On note que la consommation d'énergie en Algérie a doublé en 20 ans. Là où la consommation d'énergie primaire a augmenté de 136% entre 2000 et 2019, et La consommation d'énergie finale a bondi de 190% durant cette période - La consommation finale d'électricité a diminué de 231 % entre ces deux dates. Aussi La consommation de gaz primaire du pays a augmenté de 142% entre 2000 et

Chapitre 01 : Situation énergétique en Algérie

2019, pour répondre à la demande énergétique croissante du pays. Le secteur des transports et le secteur résidentiel représentaient les deux tiers de la consommation finale.[6, 7]

Unité : million de tonnes équivalent pétrole

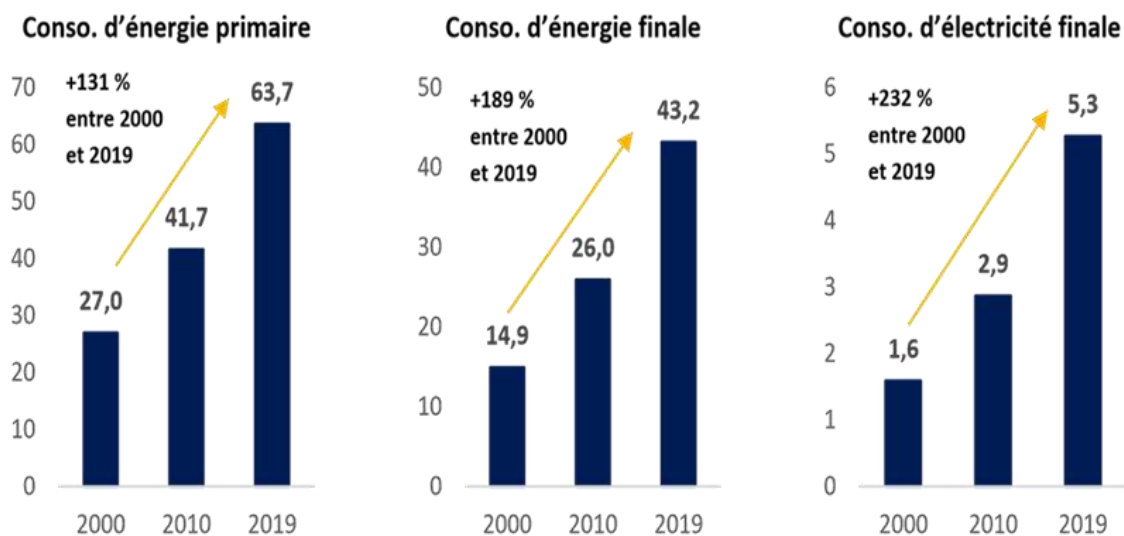


Figure 1-11: la consommation nationale d'énergie (2009.2019)[7]

1.7. La consommation d'énergie par secteur

La structure de la consommation finale reste dominée par le secteur des « Ménages & autres » 46,7% (23.54 Mtep), suivi par le transport 30,6% (15.42 Mtep) et enfin le secteur de « l'industrie et BTP » avec une part de 22,7% (11.44Mtep).

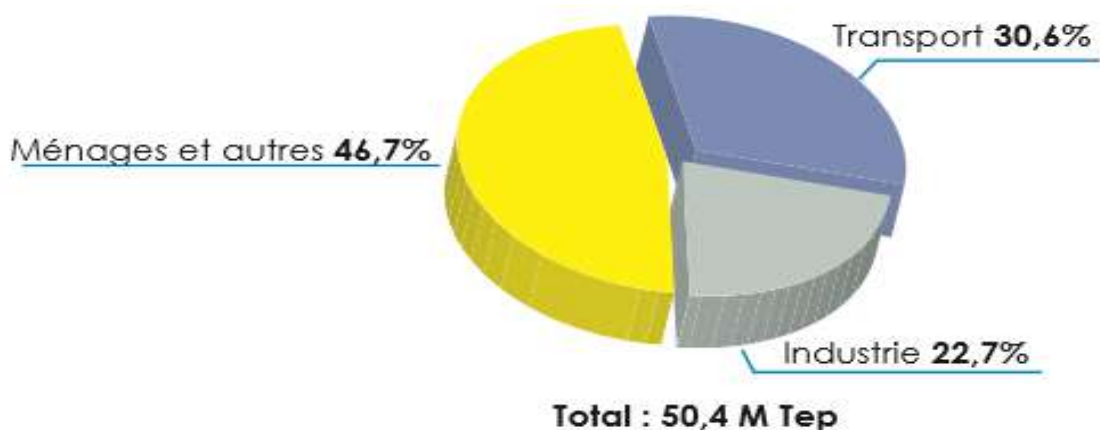


Figure 1-12: consommation d'énergie par secteur en 2019 [6]

1.8. Emissions de CO2 :

Chapitre 01 : Situation énergétique en Algérie

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.

La figure 13 montre Notez que la valeur des émissions CO2 augmente chaque année, puisqu'elle était d'environ 76 Mt en 2000 et qu'elle est ensuite devenue 148.6Mt en 2020 en raison de l'utilisation des énergies fossiles. Faisant de l'Algérie est le 152e pays dans le classement des pays par émissions de CO2, composé de 184 pays, dans lequel les pays sont classés du moins au plus polluant. [3]

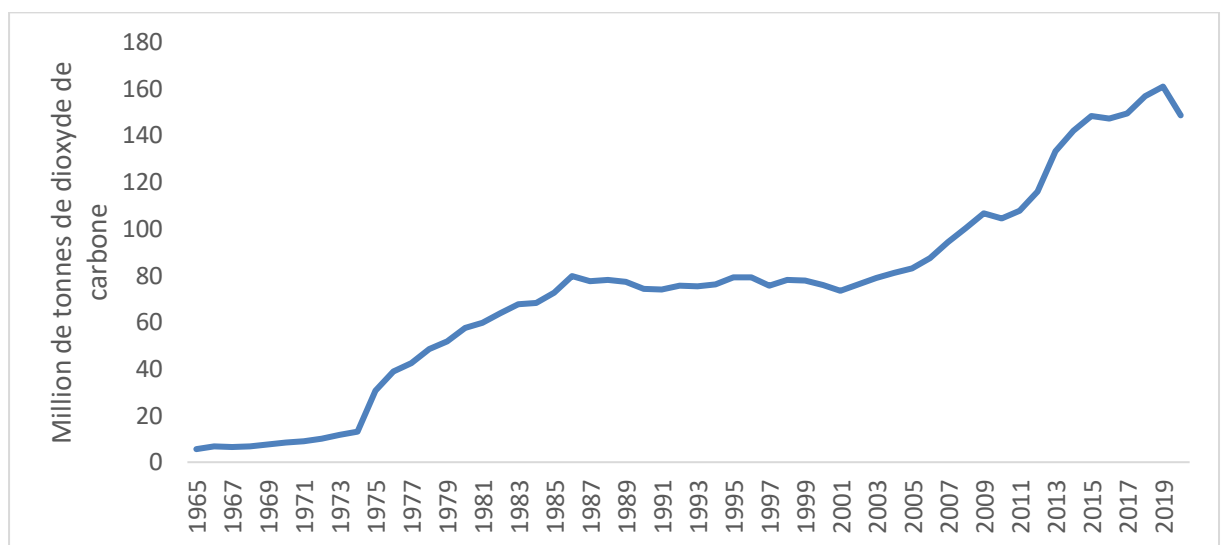


Figure 1-13 : Emissions de CO2 entre (1965-2020) [1]

1.9. Potentiel national des énergies renouvelables

L'Algérie a occupé la troisième place au niveau africain en matière de capacités d'énergies renouvelables installées avec 0,5 Gigawatts (GW) à fin 2020, après l'Afrique du Sud et l'Egypte, a indiqué le rapport mondial sur l'état des énergies renouvelables de l'initiative REN21. Ces énergies renouvelables sont issues du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou encore de la biomasse. A la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables sont des ressources illimitées.[8]

1.9.1. Potentiel solaire

De par sa situation géographique, avec 86% de sa superficie désertique, l'Algérie possède l'un des plus grands champs d'énergie solaire au monde. L'ensoleillement annuel moyen est estimé à

Chapitre 01 : Situation énergétique en Algérie

2000 heures et peut atteindre 3900 heures sur les hauts plateaux et dans le désert.[9] L'énergie reçue annuellement sur une surface horizontale de 1 m² est d'environ 3 kW/m² au nord et dépasse 5,6 kW/m² dans le Grand Sud (Tamanrasset). Si l'on veut comparer l'énergie solaire au gaz naturel, le potentiel énergétique solaire algérien équivaut au volume de 37000 milliards de mètres cubes, soit plus de 8 fois les réserves de gaz naturel du pays, à la différence que le potentiel de l'énergie solaire est renouvelable, contrairement au gaz naturel. En général, l'Algérie a un potentiel d'énergie solaire d'environ 169.900 TWh/an, ce qui représente 3900 fois sa consommation électrique actuelle pour le CSP et 13.9 TWh/an pour le PV.[10]

1.9.2. Potentiel éolien

La ressource éolienne en Algérie varie beaucoup d'un endroit à l'autre. Ceci est principalement dû à la grande diversité du relief et du climat. Elle est divisée en deux grandes régions géographiques distinctes : le nord de la Méditerranée et le sud. Les cartes de vent établies par de nombreux chercheurs montrent que le sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le nord, notamment dans le sud-est.

En ce qui concerne le nord, on constate globalement que la vitesse moyenne est faible. Mais on note la présence de microclimats dans les localités côtières d'Oran, Bejaia et Annaba, sur les hauts plateaux : Tébessa, Biskra, M'sila, El Bayard (6-7 m/s), la vitesse du vent varie annuellement de 1,2 à 6,3 m/s à une hauteur de 10 m. Les localités situées au sud de l'Algérie, sont plus ventées, avec des degrés maximums enregistrés à Adrar avec 6,3 m/s, suivi de Hassi R'Mel avec 6,1 m/s. 295 W/m². La production annuelle d'énergie varie de 273,59 MWh à Adrar à 5467,07 MWh à Hassi R'Mel en utilisant différents modèles d'éoliennes.[11]

1.9.3. Potentiel de l'énergie géothermique

L'Algérie dispose d'un grand potentiel pour les applications géothermiques à basse température. Plus de deux cents (200) sources chaudes ont été inventoriées dans la partie nord du pays. Environ un tiers (33%) avaient des températures supérieures à 45 °C . Ce potentiel en termes de production d'électricité est estimé à 700 MW. A Biskra, il existe des sources à haute température qui peuvent atteindre 118 degrés Celsius.[10]

L'Algérie dispose d'une faible capacité de production d'énergie hydroélectrique d'environ 269 208 MW grâce à 13 barrages actuellement en exploitation. La part de ces petits parcs de production est de l'ordre de 5%, en complément de la production d'électricité à partir du gaz naturel. Cette faible capacité est due principalement à l'insuffisance du nombre de sites hydrauliques et à la non exploitation des sites hydrauliques existants, plus d'information obtenue dans l'annexe.[10]

1.9.4. Potentiel de la biomasse

Le potentiel de la biomasse est relativement limité. La surface boisée couvre environ 250 millions d'hectares et représente 10% de la superficie totale du pays où le Sahara couvre près de 90% du territoire. La part de la biomasse dans le bilan énergétique algérien est négligeable. Théoriquement, le potentiel total de la biomasse est estimé à 37 MTp, dont environ 10% pourraient être valorisés, 5 millions de tonnes de déchets urbains et agricoles sont produits annuellement. Le potentiel énergétique théorique est d'environ 1,33 millions de tep/an.[10]

1.10. Transition énergétique

Transition énergétique L'idée de la nécessité d'un changement de modèle de développement a commencé à prendre forme en Occident, à la fin des années 1960, à travers les réflexions du Club de Rome.

En 1972, Un rapport intitulé "The Limits To Growth", a été publié, est paru en France sous le titre Halte à la croissance ? Il s'agissait de la première étude portant sur les dangers écologiques de la croissance économique et démographique, en lien avec la pénurie des ressources énergétiques et les conséquences du développement industriel sur l'environnement. Il est connu comme le rapport Meadows exécutée par une équipe du Massachusetts Institute of Technology (MIT), sous la direction de Dennis L. Meadows.

La transition énergétique désigne l'abandon de la dépendance aux énergies fossiles et fissiles, et l'utilisation des ressources renouvelables. Le concept de transition énergétique est apparu en 1980, en Allemagne, suite aux chocs pétroliers de 1973 et 1979. Un changement radical de politique énergétique est apparu, le passage progressif des énergies carbonées, polluantes ou à risque aux énergies propres, renouvelables et sans danger (solaire, éolienne, géothermique, hydraulique et marémotrice). Concrètement, la transition énergétique vise à transformer un système énergétique pour diminuer son impact environnemental.[10]

1.11. Programme National des Énergies Renouvelables (PNER)

Le programme de maîtrise de l'énergie en Algérie vise à sensibiliser à une utilisation plus responsable de l'énergie et à explorer tous les moyens de préserver les ressources et de réguler la consommation. Il vise également à continuer à fournir les mêmes services et biens, mais en utilisant le moins d'énergie possible.[12]

1.11.1. Objectives du PNER

Chapitre 01 : Situation énergétique en Algérie

Le programme national de développement des énergies nouvelles et renouvelables et de l'efficacité énergétique pour la période 2011-2030 vise à produire 40 % de la consommation nationale d'électricité à partir d'énergies renouvelables (énergie solaire et éolienne). Le programme d'énergies renouvelables consiste à installer une énergie provenant de sources renouvelables d'environ 22 000 MW d'ici 2030, dont 12 000 MW sont destinés à satisfaire la demande nationale et 10 000 MW à l'exportation.[12]

1.11.2. Pour le secteur des transports

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

1.12. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait la lumière sur le secteur des hydrocarbures (potentiel pétrolier) en Algérie afin de mettre en évidence le déficit enregistré en hydrocarbures dérivés du pétrole, afin d'éclairer cela. Nécessité d'investir dans des carburants alternatifs aux carburants dérivés du pétrole. Ces résultats montrent la nécessité de bien réfléchir à la recherche d'une autre alternative à la rente pétrolière et à la recherche d'une source d'énergie alternative pour celle-ci. À cet égard, plusieurs solutions ont été présentées, telles que l'énergie solaire, l'énergie électrique et d'autres alternatives, mais ce qui nous préoccupe dans notre étude est de trouver des alternatives qui couvrent les besoins du secteur le plus consommateur.

Chapitre 2: Transition énergétique dans le secteur des transports

2.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous passerons en revue les alternatives et les technologies qui peuvent contribuer à améliorer le secteur des transports.

2.2. Les carburants alternatifs

2.2.1. Biodiesel

Le biodiesel est un carburant renouvelable et biodégradable qui est fabriqué localement à partir d'huiles végétales, de graisses animales ou de graisses de restaurant recyclées. Le biodiesel répond à la fois aux exigences du diesel issu de la biomasse et aux exigences complètes en matière de biocarburants avancés de la norme sur les carburants renouvelables. Il est souvent appelé B100 ou biodiesel élégant dans sa forme pure, non mélangée. Comme le pétro diésel, le biodiesel est utilisé pour alimenter les moteurs à allumage par pression.[13]

2.2.1.1 Mixer et exécuter

Le biodiesel peut être mélangé et utilisé à différentes concentrations. Les plus courants sont le B5 (jusqu'à 5% de biodiesel) et le B20 (6% à 20% de biodiesel). Le B100 (biodiesel pur) est généralement utilisé comme réserve pour produire moins de mélanges et est rarement utilisé comme carburant de transport. Le rendement du biodiesel par temps froid dépend du mélange de biodiesel, des matières premières et des caractéristiques du pétro diésel.[13]

En général, les mélanges contenant de faibles pourcentages de biodiesel fonctionnent mieux par temps froid. Le diesel normal et le B5 ont généralement les mêmes performances par temps froid. Le B20 est un mélange populaire car il représente un bon équilibre entre le coût, les émissions, les performances par temps froid, la compatibilité des matériaux et la capacité à agir comme un solvant. En général, les mélanges B20 et les mélanges de niveau inférieur peuvent être utilisés dans les moteurs existants sans modifications.[13]

Les moteurs fonctionnant au B20 ont la même consommation de carburant, la même puissance et le même couple que les moteurs fonctionnant aux pétro diesels. Le B20 contenant 20 % de biodiesel contient 1 à 2 % d'énergie en moins par gallon que le pétro diésel, mais de nombreux d'émissions, en particulier pour les moteurs fabriqués avant 2010.[13]

En matière de gaz à effet de serre que les carburants diesel classiques. L'avantage en matière d'émissions est à peu près proportionnel au niveau du mélange ; c'est-à-dire que le B20 obtiendra 20 % de l'avantage de la réduction des émissions.[13]

Chapitre 02 : transition énergétique dans le secteur des transports

Lors de l'utilisation de mélanges à haut niveau, plusieurs facteurs doivent être pris en compte. Le biodiesel pur contient moins d'énergie en volume que le diesel de pétrole. Par conséquent, plus le pourcentage de biodiesel est élevé (supérieur à 20 %), plus le contenu énergétique par gallon est faible. Les mélanges à forte teneur en biodiesel peuvent également affecter les garanties du moteur, se gélifier par temps froid et présenter des problèmes de stockage particuliers. L'utilisation du B100 peut également augmenter les émissions d'oxyde d'azote, bien qu'il réduise considérablement les autres émissions toxiques.[13]

2.2.1.2 Distribution de biodiesel

Le biodiesel est distribué du point de production aux terminaux de carburant et aux grossistes par camion, train ou barge. Le B5 est parfois expédié par pipeline [13].

2.2.1.3 Avantages et considérations du biodiesel

Le biodiesel est un produit national, une alternative renouvelable et à combustion propre au pétro diesel. L'utilisation du biodiesel comme carburant pour les véhicules accroît la sécurité énergétique, améliore la qualité de l'air et de l'environnement et procure des avantages en matière de sécurité.[13]

a) Qualité de l'air

L'utilisation du biodiesel réduit les émissions sur le cycle de vie car le dioxyde de carbone émis par la combustion du biodiesel est compensé par le dioxyde de carbone absorbé par la culture du soja ou d'autres matières premières utilisées pour produire le carburant.

b) Démarrage du moteur

Le biodiesel améliore la lubrification du carburant et augmente l'indice de cétane du carburant. Les moteurs diesel dépendent de la qualité de la lubrification du carburant pour éviter l'usure prématurée des pièces mobiles.

c) Sécurité

Le biodiesel, sous sa forme pure et non mélangée, cause beaucoup moins de dommages que le pétro diesel en cas de déversement ou de rejet dans l'environnement. Il est plus sûr que le diesel de pétrole car il est moins combustible. Le point d'éclair du biodiesel est supérieur à 130°C, contre environ 52°C pour le diesel de pétrole. Le biodiesel est sûr à manipuler, à stocker et à transporter.[13, 14]

2.2.2. Éthanol

L'éthanol (CH_3CH_2OH) est un liquide clair et incolore. Également connu sous le nom d'alcool éthylique, l'air éthanol a la même formule chimique quelle que soit la matière de départ. (Un cas au Brésil) Un carburant renouvelable fabriqué à partir de différentes matières végétales collectivement

Chapitre 02 : transition énergétique dans le secteur des transports

appelées "biomasse". Contient des tasses d'essence à 98 %, d'essence pour camping-car, d'E10 (10 % d'éthanol, 90 % d'essence).

Il a un indice d'octane plus élevé que l'essence, ce qui lui confère d'excellentes propriétés de mélange. Limite la limite requise de l'indice d'octane aviation. La faible élévation, avec 10% d'éthanol, atteint un niveau d'octane standard de 87.

Il a un faible taux par gallon d'essence, à des degrés divers, selon le pourcentage de volume d'éthanol dans le mélange. Il a un faible pourcentage d'essence par gallon. L'effet de l'éthanol dépend du carburant, de l'essence ou du combustible brûlé.

2.2.2.1 Production et distribution d'éthanol

La méthode de production de l'éthanol dépend du type de matière première utilisée. Le processus est plus court pour les matières premières contenant de l'amidon ou du sucre que pour celles contenant de la cellulose.[15]

Aux États-Unis, la plupart de l'éthanol est produit à partir de cultures à base d'amidon par traitement sec ou humide. Le traitement à sec consiste à broyer le maïs pour en faire de la farine et à le fermenter pour obtenir de l'éthanol avec comme coproduits des distillats et du dioxyde de carbone.[16]

La production d'éthanol à partir de matières premières cellulosiques - telles que l'herbe, le bois et les résidus de culture - est un processus plus complexe que l'utilisation de cultures à base d'amidon. Il existe deux voies principales pour la production d'éthanol cellulosique : la biochimie et la thermochimie.[15]

L'éthanol est transporté par train ou par camion, de petites quantités étant transportées par pipeline. La livraison de l'éthanol par pipeline est l'option la plus efficace, mais l'affinité de l'éthanol pour l'eau et ses propriétés de solvant nécessitent l'utilisation d'un pipeline dédié.[16]

L'éthanol, l'essence et les additifs sont livrés séparément aux stations-service où ils sont mélangés dans des camions citernes pour être livrés aux stations.[16]

2.2.2.2 Avantages de l'éthanol et considérations

L'éthanol contribue à réduire les émissions. Comme tout carburant alternatif, l'utilisation de l'éthanol implique plusieurs considérations.

a) Sécurité énergétique

L'utilisation de l'éthanol et d'autres carburants alternatifs ainsi que de technologies avancées pour réduire la consommation de carburant vise à renforcer la sécurité nationale et à réduire les coûts

énergétiques du transport pour les entreprises et les consommateurs. La production d'éthanol crée également des emplois dans les zones rurales qui en ont besoin.[16]

b) Économie de carburant et performance

L'effet sur l'économie de carburant varie en fonction de la différence d'énergie dans le mélange utilisé. Par exemple, l'E85 avec 83 % d'éthanol contient 27 % d'énergie en moins par gallon que l'essence (l'impact sur l'économie de carburant diminue avec la teneur en éthanol). Les moteurs des véhicules à essence, y compris les véhicules polycarburants (FFV), ont été optimisés pour l'essence. S'il est optimisé pour fonctionner avec un mélange plus riche en éthanol, l'économie de carburant est susceptible d'augmenter en raison de l'efficacité accrue du moteur. L'éthanol a également un indice d'octane plus élevé que l'essence, ce qui permet d'obtenir une plus grande puissance et de meilleures performances.[16]

c) Effets sur l'environnement

Le dioxyde de carbone émis par le véhicule lors de la combustion de l'éthanol est compensé par le dioxyde de carbone capturé lors de la culture des matières premières pour la production d'éthanol. Cela diffère de l'essence et du diesel, qui sont raffinés à partir du pétrole extrait du sol. Aucune émission n'est compensée lorsque ces produits pétroliers sont brûlés. Sur la base d'une analyse du cycle de vie, les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont réduites en moyenne de 40% avec l'éthanol à base de maïs produit par des moulins à sec, et de 88% à 108% si des matières premières cellulosiques sont utilisées, selon le type de matière première, par rapport à la production et à l'utilisation d'essence et de diesel.[16]

d) Équipement et disponibilité

Les mélanges à faible teneur en E10 ou moins ne nécessitent aucun équipement de ravitaillement spécial et peuvent être utilisés dans n'importe quel véhicule à essence classique. Il est également possible d'utiliser des mélanges supérieurs à E10 dans les équipements de ravitaillement existants.[16]

2.2.3. Electricité

L'électricité est considérée comme un combustible de substitution en vertu de la loi sur la politique énergétique de 1992. Elle fournit une énergie de haute densité dans le monde entier pour une variété d'applications allant de l'éclairage, la force motrice, le refroidissement, les communications et l'informatique. Après la phase de production, l'électricité est une transmission d'énergie très propre et efficace à utiliser. Le rendement électrique des moteurs permettant d'obtenir un mouvement de rotation pour une variété d'applications quotidiennes peut dépasser 90 %. Ces qualités de l'électricité en font un vecteur énergétique très important pour la mobilité. L'électricité

Chapitre 02 : transition énergétique dans le secteur des transports

peut être produite à partir de diverses sources d'énergie, notamment le gaz naturel, le charbon, le nucléaire, l'éolien et l'hydroélectricité, ainsi que l'énergie solaire, et stockée sous forme d'hydrogène ou dans des batteries. Les véhicules électriques (VE) - terme collectif désignant les véhicules électriques hybrides rechargeables (VHR) et les véhicules tout électriques - sont capables de tirer de l'électricité de sources d'énergie électrique extérieures (généralement le réseau électrique) et de stocker cette énergie dans des batteries. Bien qu'ils ne soient pas encore très répandus, les véhicules électriques à pile à combustible (VPAC) produisent de l'électricité à partir de l'hydrogène embarqué.[17, 18]

2.2.3.1 Fonctionnement des véhicules électriques

Dans les véhicules électriques, les batteries embarquées stockent l'énergie pour alimenter un ou plusieurs moteurs électriques. Ces batteries sont chargées à l'aide de l'électricité du réseau et de l'énergie récupérée lors du freinage, appelé freinage par récupération. Les véhicules exclusivement électriques ne produisent pas d'émissions au niveau du pot d'échappement, mais il y a des émissions en amont liées à la production d'électricité. Actuellement, l'alimentation des véhicules électriques est plus rentable que l'utilisation de l'essence, mais il est généralement plus coûteux d'acheter des véhicules électriques.[17]

2.2.3.2 Stations de recharge électrique

La recharge peut se faire à domicile (ou dans les installations de la flotte, dans le cas des flottes marchandes) où les coûts de transport sont généralement inférieurs à ceux des chargeurs publics. Les conducteurs de véhicules électriques peuvent également accéder à des bornes de recharge publiques dans divers endroits, comme les centres commerciaux, les parkings publics, les hôtels et les entreprises. L'expansion de l'infrastructure de recharge publique offre aux conducteurs la commodité, l'autonomie et la confiance nécessaires pour répondre à leurs besoins de transport.[17]

2.2.3.3 Production et distribution d'électricité

Les véhicules tout électriques et les véhicules électriques hybrides rechargeables (VHR), collectivement appelés véhicules électriques (VE), stockent l'électricité dans des batteries pour alimenter un ou plusieurs moteurs électriques. Les batteries sont principalement rechargées en les connectant à des sources d'électricité hors-bord, produites à partir du gaz naturel, du nucléaire, du charbon, de l'éolien, de l'hydroélectricité et de l'énergie solaire.[17]

Pour produire de l'électricité, un groupe turbo-alternateur convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. Dans le cas du gaz naturel, du charbon, de la fission nucléaire, de la biomasse, du pétrole, de l'énergie géothermique et de la chaleur solaire, la chaleur produite est utilisée pour

Chapitre 02 : transition énergétique dans le secteur des transports

générer de la vapeur qui entraîne les pales de la turbine. Dans le cas de l'énergie éolienne et de l'énergie hydroélectrique, les pales de la turbine sont directement entraînées par le vent et le ruissellement de l'eau respectivement. Les panneaux solaires photovoltaïques convertissent directement la lumière du soleil en électricité grâce à des semi-conducteurs [17]. La quantité d'énergie produite par chaque source dépend de la combinaison de combustibles et des sources d'énergie utilisées dans la région.

L'électricité est souvent transmise des installations de production aux sous-stations de distribution locales via un réseau de lignes de transmission à haute tension. Les installations de production fournissent de l'électricité au réseau à basse tension. Une fois que l'électricité quitte l'installation de production, la tension est augmentée par un transformateur (généralement de 100 kV à 1000 kV) afin de réduire les pertes de puissance sur de longues distances. Lorsque l'électricité circule dans le réseau et atteint les zones de charge, la tension est réduite par les transformateurs des sous-stations (de 70 kV à 4 kV). Pour préparer l'interconnexion des clients, la tension est à nouveau abaissée.[17]

2.2.3.4 Avantages et considérations relatifs aux véhicules électriques

Toutes les formes de véhicules électriques peuvent contribuer à améliorer l'économie de carburant, à réduire les coûts de carburant et les émissions.[17]

Les véhicules tout électriques et les véhicules électriques hybrides rechargeables représentent une demande accrue d'électricité qui peut avoir des effets négatifs sur le réseau. Bien qu'il soit peu probable que ces nouvelles charges mettent à rude épreuve bon nombre de nos ressources de production existantes, les pics de charge simultanés des VE dans des endroits concentrés peuvent mettre à rude épreuve les équipements de distribution à proximité. La planification et les solutions de réseau avancées, telles que la gestion intelligente de la charge, seront essentielles pour garantir que l'infrastructure électrique existante puisse supporter en toute sécurité les régions où la demande de véhicules électriques augmente considérablement, en fonction du moment, de l'endroit et du niveau d'énergie de la charge des véhicules.[17] La demande d'électricité augmente et diminue en fonction de l'heure de la journée et de la période de l'année. Les capacités de production, de transport et de distribution de l'électricité doivent pouvoir répondre à la demande pendant les périodes de pointe ; mais la plupart du temps, l'infrastructure électrique ne fonctionne pas à pleine capacité. Par conséquent, il est peu probable que les véhicules électriques nécessitent une augmentation de la capacité du réseau.[17]

Les petites sources d'énergie renouvelables, telles que les panneaux solaires sur les toits, peuvent fournir une énergie propre aux véhicules et réduire la demande d'infrastructures de distribution en

produisant de l'électricité près du point d'utilisation. Pour que les services publics puissent profiter des avantages de ces technologies, la gestion de la recharge doit être totalement intelligente pour influencer la recharge des véhicules électriques.[17]

Les services publics, les constructeurs automobiles, les fabricants d'équipements de charge et les chercheurs travaillent à l'intégration transparente des véhicules électriques dans l'infrastructure électrique.[17]

2.2.4. Gaz naturel

a) Gaz naturel comprimé

Gaz naturel comprimé (GNC) se compose principalement de méthane, peut être utilisé dans les voitures, les bus urbains et sous sa forme comprimée, appelée GNC. La pression du GNC peut être augmentée jusqu'à 250 bars. L'utilisation du GNC comme carburant automobile a mûri et est aujourd'hui largement utilisée dans de nombreux pays. Parmi les différents combustibles fossiles, le GNC présente des avantages en termes de réduction des émissions de dioxyde de carbone, de gaz carbonique, d'oxydes d'azote et de particules (PM). D'autres facteurs ont contribué à son adoption, notamment sa grande disponibilité, sa compatibilité avec les moteurs à allumage par étincelle et à allumage par compression et son faible coût d'exploitation. Les véhicules GNC sont adaptés à une utilisation en ville en raison de la pénalité de poids imposée par les réservoirs de stockage pour étendre l'autonomie. Bien que l'utilisation du GNC comme carburant remonte au début des années 1930 en Italie, son utilisation à grande échelle n'a pas commencé avant la fin des années 1970 et le début des années 1980 en raison de la crise pétrolière mondiale. À l'échelle mondiale, on comptait environ 28,54 millions de véhicules GNC, ravitaillés par 33 383 stations de ravitaillement, dans plus de 85 pays au 31 décembre 2019. La Chine, l'Iran, l'Inde, le Pakistan et l'Argentine sont les cinq premiers pays en termes de nombre maximal de véhicules alimentés au GNC [19].[18]

b) Le biogaz comprimé

Le biogaz comprimé (BGC) est une forme purifiée et comprimée de biogaz qui peut être produite par la digestion anaérobie de divers types de déchets/ressources de biomasse provenant de l'agriculture, de l'industrie laitière, des stations d'épuration municipales, des déchets solides des villes, etc. Il peut être utilisé comme substitut du GNC ou du GNL pour réduire la dépendance à l'égard des importations ou être mélangé au GN/GNC. Le gaz de pétrole liquéfié a une fraction de méthane de plus de 0,95 et est similaire au gaz naturel commercial en termes de composition, de contenu énergétique et d'autres propriétés.[18]

c) Gaz de pétrole liquéfié

Le gaz de pétrole liquéfié (GPL), qui est un mélange de propane et de butane, peut également être utilisé comme carburant pour le transport sous forme non mélangée et est également connu sous le nom de "gaz autonome" dans certains pays. Il s'agit d'un carburant relativement propre qui entraîne de faibles émissions de carbone. Plus de 27 millions de véhicules sont alimentés au gaz de pétrole liquéfié (GPL), le troisième carburant automobile le plus utilisé au monde. En outre, il est économique pour l'utilisateur et permet de réduire les coûts d'entretien du moteur et d'allonger sa durée de vie. Plus de 70 pays utilisent le GPL automatique avec environ 71 000 stations de distribution. La Corée du Sud est le premier pays en termes d'utilisation du GPL pour les voitures. La Turquie, la Pologne, le Japon, l'Australie, l'Italie, le Mexique, les États-Unis, la Russie et la Chine sont les autres grands pays qui l'utilisent.[18]

2.2.4.2 Production et distribution de gaz naturel

Le gaz naturel conventionnel est extrait des formations rocheuses souterraines par forage. Les progrès des technologies de fracturation hydraulique ont permis d'accéder à de grandes quantités de gaz naturel à partir de schistes bitumineux. Le gaz naturel comprimé (GNC) peut être comprimé ou liquéfié (GNL) pour être utilisé dans les véhicules.[20]

Le gaz naturel renouvelable (GNR) est chimiquement identique au gaz naturel classique, qui est le produit purifié utilisé comme carburant pour les véhicules. Il est produit en purifiant le biogaz issu de la décomposition de matières organiques.[20]

La grande majorité de l'approvisionnement du pays en gaz naturel comprimé (GNC) est distribuée par le système de distribution de gaz naturel établi. La plupart des stations d'approvisionnement en gaz naturel distribuent du GNC, qui est généralement comprimé sur place. Le GNC est utilisé dans les véhicules légers, moyens et lourds.[20]

Le GNL, ou gaz naturel liquéfié, doit être ultra-refroidi et stocké sous forme liquide à -260 degrés Fahrenheit avant d'être reconverti en gaz. Le GNL doit être sous sa forme gazeuse avant d'entrer dans le système local de distribution par gazoduc et d'être finalement livré à l'utilisateur final. Le GNL peut être utilisé dans les véhicules, bien que les véhicules GNC soient plus courants.[20]

2.2.4.3 Avantages et considérations du gaz naturel

Qu'il soit produit par des méthodes conventionnelles ou renouvelables, les avantages du gaz naturel en tant que combustible de substitution comprennent sa disponibilité locale, un réseau de distribution existant, un coût relativement faible et des avantages en matière d'émissions.[20]

2.2.5. Méthanol

Chapitre 02 : transition énergétique dans le secteur des transports

Le méthanol peut être produit à partir de ressources telles que le charbon, le GN et la biomasse qui sont capables de produire du gaz de synthèse. Le méthanol est un carburant efficace qui émet moins de NO_x et de particules que l'essence et ne produit pas d'émissions de SO_x en raison de l'absence de soufre dans le méthanol. Il peut être mélangé à l'essence ou la remplacer entièrement en tant que carburant automobile. Cependant, le méthanol est plus corrosif que l'essence et peut nécessiter des modifications substantielles des infrastructures pour son stockage et sa distribution ; il est également nocif pour l'homme, s'il est consommé. la production mondiale de méthanol en 2019 a été estimée à 98,281 MT, dont 19,777 MT ont été utilisées comme carburant de substitution pour le mélange avec l'essence et la combustion ; la production de biodiesel et d'éther di méthylique ; et dans les piles à combustible (PC).[18]

2.2.6. Hydrogène

L'hydrogène (H_2) est un carburant de substitution qui peut être produit à partir de diverses sources locales. Bien que le marché de l'hydrogène en tant que carburant pour le transport n'en soit qu'à ses débuts, des travaux sont en cours pour la production et la distribution d'hydrogène propre, économique et sûr pour une utilisation à grande échelle dans les véhicules électriques à piles à combustible (PCEV). Les véhicules électriques à pile à combustible pour véhicules légers sont maintenant disponibles en quantités limitées pour le marché mondial des consommateurs. Le marché se développe également pour les autobus, les équipements de manutention (tels que les chariots élévateurs à fourche), les équipements de soutien au sol, les camions moyens et lourds, les navires et les applications stationnaires.[21]

L'hydrogène est abondant dans notre environnement. Il est stocké dans l'eau (H_2O), les hydrocarbures (tels que le méthane et le méthane) et d'autres matières organiques. L'un des défis de l'utilisation de l'hydrogène comme carburant est de l'extraire efficacement de ces véhicules.[21]

2.2.6.1 Hydrogène comme carburant

L'intérêt pour l'hydrogène en tant que carburant de substitution pour les transports tient à sa capacité à alimenter les piles à combustible des véhicules à émissions nulles, à son potentiel de production locale, à la rapidité du remplissage des piles à combustible et à son rendement élevé. En effet, une pile à combustible couplée à un moteur électrique est deux à trois fois plus efficace qu'un moteur à combustion interne à essence. L'hydrogène peut également servir de carburant pour les moteurs à combustion interne. L'énergie contenue dans 1 kilogramme (2,2 litres) d'hydrogène est à peu près la même que celle contenue dans 1 gallon (2,8 kilogrammes) d'essence.[21]

2.2.6.2 Production d'hydrogène

L'hydrogène se trouve dans de nombreuses substances dans la nature (comme l'eau douce, l'eau de mer, la biomasse, le sulfure d'hydrogène et les combustibles fossiles). Afin de produire de l'hydrogène avec un impact environnemental nul ou faible (hydrogène "vert"), tout le dioxyde de carbone et les autres polluants doivent être traités (c'est-à-dire séparés ou séquestrés) lorsque l'hydrogène est extrait des combustibles fossiles. Les énergies thermique, électrique, photonique et biochimique sont les principales sources d'énergie pour la production d'hydrogène.[22]

a) Électrolyse

Actuellement, le principal procédé industriel pour la production d'hydrogène presque pur est l'électrolyse de l'eau, et son importance devrait augmenter à l'avenir. L'électrolyse de l'eau dépend du mouvement des électrons soutenu par un circuit externe. L'électrolyseur alcalin, l'électrolyseur à membrane polymère, l'électrolyseur à oxyde solide sont les principales technologies de production électrochimique d'hydrogène, la membrane polymère (PEM), l'électrolyseur à oxyde solide (SOE). L'efficacité et la densité de courant sont les paramètres les plus importants. Le rendement d'une cellule électrolytique est calculé sur la base des énergies idéale et réelle nécessaires pour entraîner la réaction.[22]

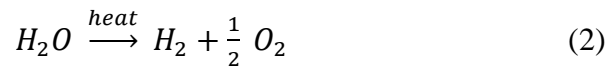
Les catalyseurs sont utilisés pour augmenter la densité de courant et la vitesse des réactions d'électrolyse. Le platine est l'un des catalyseurs hétérogènes les plus utilisés, appliqué à la surface des électrodes. Les catalyseurs homogènes peuvent également être utilisés pendant l'électrolyse. En raison de leur taux de renouvellement élevé, les catalyseurs homogènes sont moins coûteux que les catalyseurs hétérogènes. Dans la littérature, certains catalyseurs homogènes existent avec des taux de rotation de 2,4 moles d'hydrogène par mole de catalyseur et la seconde .[23]

Étant donné que l'électrolyseur (en particulier l'électrolyseur PEM) est très sensible à la pureté de l'eau, le dessalement et la déminéralisation doivent être utilisés avant le processus d'électrolyse. Par exemple, si un électrolyseur est alimenté en saumure (ou en eau de mer), il produira très probablement du chlore plutôt que de l'oxygène. Il existe de nombreuses méthodes disponibles dans la littérature pour arrêter les réactions secondaires (par exemple la réaction du chlore développé) pendant l'électrolyse ; l'une d'entre elles est l'utilisation de membranes sélectives d'ions pour dessaler l'eau. Cette méthode est proposée par El-Bassuoni.[24]

b) La décomposition thermique de l'eau

La décomposition thermique de l'eau, également connue sous le nom de dissociation thermique de l'eau en une étape, la réaction peut s'écrire comme suit :

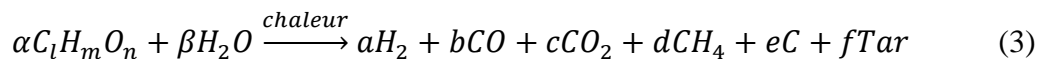
Chapitre 02 : transition énergétique dans le secteur des transports



Afin d'atteindre un degré de dissociation raisonnable, la réaction nécessite une source de chaleur pouvant fournir des températures supérieures à 2500 K ; par exemple, à 3000 K et 1 bar, le degré de dissociation est de 64%. L'un des défis de cette méthode de production est la séparation de H_2 et de O_2 , car le mélange doit être refroidi avant d'être envoyé au processus de séparation. Une étude expérimentale de la décomposition thermique solaire de l'eau réalisée par Baykara [23] a permis d'atteindre un équilibre de 90 % avec un temps de séjour de 1 ms et une température de 2500 K. Les résultats ont également montré que si les gaz produits étaient rapidement refroidis à 1500 ou 2000 K (en quelques millisecondes), la recombinaison de H_2 et de O_2 peut être évitée par une séparation efficace de l'hydrogène à l'aide de membranes en palladium.[22]

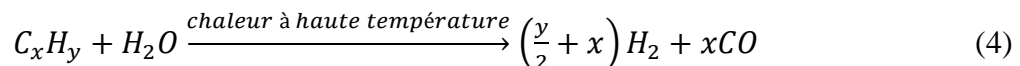
Conversion thermochimique de la biomasse, gazéification et reformage de biocarburants :

Lorsqu'on utilise de la biomasse telle que la sciure et la canne à sucre pour extraire de l'hydrogène, la teneur en humidité doit être maintenue en dessous d'un certain niveau par séchage ou gazéification à la vapeur supercritique. La version générique de la biomasse est :



Où $C_l H_m O_n$ est le symbole chimique général de la biomasse. *Tar* (Le goudron) est le produit indésirable de cette réaction, car il a un effet néfaste sur le processus (c'est-à-dire l'encrassement et l'encrassement). De nombreux catalyseurs sont utilisés pour contrôler, minimiser et prévenir la formation de goudron résultant de la réaction suivante.[22]

In order to produce hydrogen, solid biomass undergoes the following gasification reaction:



Le lit fixe, le lit mobile et le lit fluidisé sont considérés comme les types courants de gazéificateurs utilisés dans le processus de gazéification. En fonction de la quantité de chaleur fournie, le procédé est dit autothermique ou thermique. Dans la gazéification autothermique, la chaleur requise est fournie par l'oxydation partielle dans le gazéificateur. La production d'hydrogène à partir de biocarburants liquides (c'est-à-dire l'éthanol et le méthanol) se fait par des procédés thermochimiques.[22]

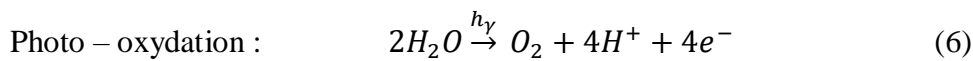
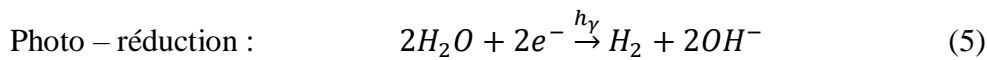
c) Électrolyse PV, photocatalyse et méthode photoélectrochimique

Le processus d'électrolyse photovoltaïque comprend des panneaux photovoltaïques (PV), une barre omnibus à courant continu, un réseau à courant alternatif, un ensemble de batteries d'accumulateurs, un électrolyseur et des bidons de stockage d'hydrogène. L'électrolyse

Chapitre 02 : transition énergétique dans le secteur des transports

photovoltaïque est l'une des méthodes de production d'hydrogène les plus coûteuses. Cependant, le coût de ce processus n'a cessé de diminuer et on estime que ce facteur devrait descendre à 6. [25]

La photocatalyse convertit l'énergie photonique (provenant de l'irradiation solaire) en énergie chimique (hydrogène). L'énergie transportée par le photon est proportionnelle à la fréquence du rayonnement et est donnée par $h\gamma$ où h est la constante de Planck et γ est la fréquence. Lorsqu'un photon frappe le photocatalyseur, une paire électron-trou est générée et la charge électrique obtenue est utilisée pour dissocier l'eau. Pour qu'un photocatalyseur puisse dissocier l'eau et générer de l'hydrogène, il doit avoir une bande interdite appropriée et des bandes de conduction et de valence bien situées pour les réactions d'oxydation/réduction. De plus, la génération et la séparation rapides des paires électron-trou sont essentielles pour choisir un photocatalyseur approprié. Dans la littérature, les semi-conducteurs (TiO_2) et les oxydes métalliques (Fe_2O_3) sont très étudiés comme photocatalyseurs. De plus, des dispositifs supramoléculaires complexes modifiés chimiquement et conçus pour l'ingénierie sont utilisés pour réaliser des réactions photocatalytiques. [13] ont examiné et évalué divers photocatalyseurs simples et complexes en fonction de leur rendement de production de H_2 , de leur efficacité et de leur impact sur la santé humaine et l'environnement. Les réactions de photo-réduction et de photo-oxydation peuvent être écrites comme suit.



Les cellules photoélectrochimiques (PEC) convertissent l'énergie solaire en un vecteur énergétique par le biais de processus électrochimiques stimulés par la lumière. Dans une PEC, la lumière solaire est absorbée par l'une ou les deux photo électrodes et au moins l'une d'entre elles est un semi-conducteur. Les PEC peuvent produire de l'énergie chimique ou électrique. Elles sont également utilisées pour traiter les déchets aqueux dangereux [14].

Le principe de fonctionnement du semi-conducteur dans une PEC est similaire à celui d'une cellule photovoltaïque. Dans les deux cas, les photons dont l'énergie est supérieure à la bande interdite génèrent des paires électron-trou et ce champ électrique est utilisé pour oxyder/réduire l'eau. Les systèmes PEC combinent l'absorption de l'énergie solaire et l'électrolyse de l'eau en une seule unité. C'est un avantage évident des PEC car ils ne nécessitent pas de générateur d'énergie séparé tel qu'une cellule photovoltaïque et sont donc plus compacts. De nombreux types de semi-conducteurs photosensibles ont été étudiés dans la littérature.

On s'accorde à dire que l'option la plus prometteuse à ce jour est le TiO_2 . Outre le TiO_2 , plusieurs autres semi-conducteurs ont été étudiés, tels que ZnO , Fe_2O_3 , B_iVO_4 et WO_3 . Les nitrures et

phosphures métalliques (c'est-à-dire Ta_3N_5 et GaP), les oxynitrures métalliques (c'est-à-dire TaON) et le silicium de type n et p ont également été étudiés dans la littérature ouverte.[26] ont couplé la PEC avec des cellules chloral câlines et ont testé le système en mode batch. [27] ont combiné et amélioré les études sur la PEC et les réacteurs de chloralcalis dans un système hybride de type continu.

d) Électrolyse à haute température

L'électrolyse à haute température est une méthode d'électrolyse dans laquelle la vapeur se sépare de H_2 et de O_2 à des températures comprises entre 700 et 1000°C. Cette méthode est généralement considérée comme plus efficace que l'électrolyse classique à température ambiante (l'efficacité augmente avec la température). Dans l'électrolyse à haute température, l'eau est convertie en vapeur en utilisant l'énergie thermique. Les composants du système sont chauffés soit directement par l'apport de vapeur, soit indirectement par transfert de chaleur. Ainsi, l'énergie électrique nécessaire à ce type d'électrolyse est inférieure à celle utilisée dans les méthodes d'électrolyse traditionnelles. Un autre avantage de cette méthode est la possibilité d'obtenir des émissions de gaz à effet de serre nulles lorsqu'une source de chaleur propre (telle que l'énergie solaire, géothermique et/ou nucléaire) est utilisée comme source de chaleur externe. Cependant, en raison des températures de fonctionnement élevées, les composants du système doivent répondre à des exigences spécifiques pour une production d'hydrogène efficace. Les défis actuels de l'électrolyse à haute température peuvent être inclus comme le développement d'un électrolyte chimiquement stable avec une conductivité ionique élevée et une faible conductivité électronique, la recherche d'électrodes poreuses et chimiquement stables dans des environnements fortement réducteurs/oxydants avec une bonne conductivité électronique et un coefficient d'expansion thermique similaire à celui de l'électrolyte, et l'ingénierie des matériaux chimiquement stables à haute température et dans des environnements fortement réducteurs/oxydants.[22]

e) Gazéification du charbon

Compte tenu de l'état actuel de la technologie et des réserves mondiales de charbon, le charbon est une option économique et techniquement pratique pour produire de l'hydrogène dans des usines à grande échelle. Par rapport aux méthodes existantes (c'est-à-dire l'électrolyse), la gazéification est plus appropriée pour convertir le charbon en hydrogène. Dans la gazéification, le charbon est partiellement oxydé avec de la vapeur et de l' O_2 dans un réacteur à haute température et à haute pression et les produits sont principalement H_2 , CO, mélangés à de la vapeur et du CO_2 (gaz de synthèse). Ce gaz de synthèse subit une réaction de décalage afin d'augmenter le rendement en hydrogène. Le gaz produit peut-être traité et nettoyé dans les cas où il est nécessaire de récupérer du soufre élémentaire ou de l'acide sulfurique. Une partie du gaz de synthèse peut ensuite être traitée

et utilisée dans des turbines à gaz pour produire de l'électricité. Malgré certains avantages de la gazéification du charbon, en raison de la forte teneur en carbone du charbon, cette méthode entraîne des émissions de CO_2 plus élevées que les autres technologies de production d'hydrogène disponibles. Des technologies de captage et de stockage du carbone sont actuellement mises au point afin de résoudre ce problème. Actuellement, le coût de la production d'hydrogène par gazéification du charbon est légèrement supérieur à celui du reformage à la vapeur du gaz naturel. Toutefois, les techniques de gazéification du charbon sont moins bien définies que celles utilisées pour le reformage à la vapeur du gaz naturel. Sur le plan économique, la production d'hydrogène à partir du charbon diffère de celle des autres combustibles fossiles : les coûts unitaires des matières premières sont plus faibles, tandis que les coûts unitaires du capital sont plus élevés pour les usines de gazéification du charbon.[28]

f) Reformage des combustibles fossiles

Le reformage à la vapeur, l'oxydation partielle et le reformage autothermique sont les trois principales technologies de reformage des combustibles fossiles pour produire de l'hydrogène. Les avantages et les défis de chacun de ces procédés sont énumérés dans le tableau 5. En plus du H_2 , du CO et du CO_2 sont émis à la fin d'un processus de reformage. Le reformage à la vapeur nécessite généralement une source de chaleur externe, mais il ne requiert pas d'oxygène pour alimenter le processus. Il a une température de fonctionnement plus basse et un rapport H_2/CO plus élevé que l'oxydation partielle et le reformage autothermique. Dans l'oxydation partielle, les hydrocarbures sont partiellement oxydés avec de l'oxygène pour produire de l'hydrogène. La source de chaleur qui alimente ce processus est dérivée de la réaction d'oxydation partielle (combustion). L'oxydation partielle ne nécessite pas de catalyseur et elle est plus tolérante au soufre que le reformage à la vapeur et le reformage autothermique. La pression requise pour le reformage autothermique est inférieure à celle de l'oxydation partielle. Le reformage autothermique et l'oxydation partielle ne nécessitent pas de source de chaleur externe. Cependant, ces deux procédés nécessitent une alimentation en oxygène pur, ce qui augmente la complexité et le coût avec l'ajout d'unités de séparation de l'oxygène. Par rapport aux autres technologies de reformage des combustibles fossiles, le reformage à la vapeur (en particulier le reformage du méthane à la vapeur) est la méthode la moins coûteuse et la plus courante pour produire de l'hydrogène.[22]

2.2.6.3 Distribution d'hydrogène

L'hydrogène est distribué de trois façons :

Par pipeline : C'est le moyen le moins coûteux de livrer de grandes quantités d'hydrogène.

Chapitre 02 : transition énergétique dans le secteur des transports

Remorques tubulaires à haute pression : Le transport d'hydrogène gazeux comprimé par camion, wagon, navire ou barge dans des remorques tubulaires à haute pression est très coûteux et est principalement utilisé pour des distances de 200 miles ou moins.

Réservoirs d'hydrogène liquéfié : La liquéfaction cryogénique est un procédé qui refroidit l'hydrogène à une température où il devient liquide. Bien que la liquéfaction soit coûteuse, elle permet de transporter l'hydrogène plus efficacement (par rapport aux remorques à tube haute pression) sur de plus longues distances par camion, wagon, navire ou barge. Si l'hydrogène liquéfié n'est pas utilisé à un taux suffisamment élevé sur le lieu de consommation, il bout (ou s'évapore) des réservoirs de stockage. Par conséquent, les taux de livraison et de consommation d'hydrogène doivent être soigneusement adaptés.

La création d'une infrastructure pour la distribution et la livraison d'hydrogène à des milliers de futures stations-service individuelles présente de nombreux défis. Comme l'hydrogène a moins d'énergie par unité de volume que tous les autres carburants, son transport, son stockage et sa livraison au point d'utilisation finale sont plus coûteux sur la base d'un équivalent gaz par gallon. La construction d'un nouveau réseau de canalisations d'hydrogène implique des coûts d'investissement initiaux élevés, et les propriétés de l'hydrogène présentent des défis uniques pour les matériaux des canalisations et la conception des compresseurs. Toutefois, comme l'hydrogène peut être produit à partir de diverses ressources, la production régionale ou même locale d'hydrogène peut accroître l'utilisation des ressources locales et réduire les problèmes de distribution.[21]

2.2.6.4 Avantages et considérations relatifs à l'hydrogène

L'hydrogène peut être produit à partir d'une variété de ressources domestiques, avec un potentiel d'émissions de gaz à effet de serre quasi nul. Une fois produit, l'hydrogène génère de l'énergie électrique dans une pile à combustible, n'émettant que de la vapeur d'eau et de l'air chaud. Il annonce une croissance dans les secteurs de l'énergie stationnaire et des transports.

Les avantages pour l'environnement et la santé apparaissent également à la source de la production d'hydrogène si celle-ci est dérivée de sources à faibles ou nulles émissions, telles que l'énergie solaire, éolienne, nucléaire et les combustibles fossiles avec des contrôles avancés des émissions et la séquestration du carbone. Le secteur des transports étant responsable de la majeure partie des émissions de CO₂, l'utilisation de ces sources pour produire de l'hydrogène destiné aux transports peut réduire les émissions de gaz à effet de serre.

La teneur énergétique de l'hydrogène en volume est faible. Cela fait du stockage de l'hydrogène un défi, car il nécessite des pressions élevées, des températures basses ou des processus chimiques pour être stocké de manière compacte.[21]

Chapitre 02 : transition énergétique dans le secteur des transports

La création d'une infrastructure pour la distribution et la livraison d'hydrogène à des milliers de futures stations-service individuelles présente de nombreux défis. Comme l'hydrogène a moins d'énergie par unité de volume que tous les autres carburants, son transport, son stockage et sa livraison au point d'utilisation finale sont plus coûteux sur la base d'un équivalent gaz par gallon. La construction d'un nouveau réseau de canalisations d'hydrogène implique des coûts d'investissement initiaux élevés, et les propriétés de l'hydrogène présentent des défis uniques pour les matériaux des canalisations et la conception des compresseurs. Toutefois, comme l'hydrogène peut être produit à partir de diverses ressources, la production régionale ou même locale d'hydrogène peut accroître l'utilisation des ressources locales et réduire les problèmes de distribution. [21]

2.3. La technologie des véhicules à carburant alternatif

Nous donnerons un aperçu des technologies de véhicules à carburant alternatif qui Il est considéré comme sans émission, vérifie l'état des technologies et dès le soutien des infrastructures.

2.3.1. Véhicules à carburant alternative

2.3.1.1 Le véhicule poly carburant

Le véhicule poly carburant (PCV) possède presque le même moteur à combustion interne que le véhicule conventionnel (essence ou diesel), mais la principale différence est que le PCV est conçu pour fonctionner avec plus d'un type de carburant. Dans les véhicules à carburant mixte, les carburants alternatifs sont mélangés au carburant classique (essence ou diesel). Les AC les plus couramment utilisés pour les PCV sont l'éthanol (généralement jusqu'à 85% en volume) pour les véhicules à essence ,[29] et le biodiesel (généralement jusqu'à 20% en volume) pour les véhicules diesel.[30]

Il est à noter que le terme "carburant flexible" se réfère principalement à l'éthanol-essence (et non au biodiesel-diesel ou à d'autres mélanges de biocarburants) sur le marché et dans la littérature.

Le système de ravitaillement principal des PCV est presque le même que celui des véhicules conventionnels, qui ne comporte qu'un seul système de ravitaillement (aucun système de ravitaillement supplémentaire n'est nécessaire). En revanche, des modifications doivent être apportées (sauf pour l'utilisation d'un pourcentage de biodiesel inférieur ou égal à 20 %, et d'un pourcentage d'éthanol inférieur ou égal à 10 %) au réservoir de carburant, à la pompe à carburant et au système d'injection en raison des différences entre les propriétés physico-chimiques des AF et celles de l'essence ou du diesel. En outre, l'unité de commande électronique doit également être calibrée en fonction du type et de la concentration du carburant alternatif utilisé.[13, 29, 31]

Chapitre 02 : transition énergétique dans le secteur des transports

En général, un pourcentage de biodiesel inférieur ou égal à 20 % et un pourcentage d'éthanol inférieur ou égal à 10 % dans le mélange peuvent être utilisés dans les moteurs diesel et à essence actuels, respectivement, sans nécessiter de modifications particulières .[29],[31]

Outre l'éthanol et le biodiesel, il existe de nouveaux carburants alternatifs, notamment le bio butanol, l'éther di méthylique, le méthanol et les biocarburants renouvelables à base d'hydrocarbures (essence ou diesel renouvelables) qui sont en cours de développement ou qui ont déjà été développés et qui pourraient être disponibles et commercialisés dans le secteur des transports à l'avenir afin d'accroître la sécurité énergétique, de réduire les émissions et d'améliorer les performances des véhicules .[32]

2.3.2. Véhicules à gaz

Les véhicules à gaz disponibles sur le marché utilisent principalement le gaz naturel, le gaz de pétrole liquéfié (GPL) et l'hydrogène comme carburants. Le gaz naturel est utilisé pour les véhicules sous forme de gaz naturel comprimé (GNC) et de gaz naturel liquéfié (GNL), et a été choisi comme carburant alternatif dans les flottes de transport depuis les dernières décennies. Il existe actuellement trois types de véhicules au gaz naturel (VGN), à savoir les véhicules dédiés (qui fonctionnent uniquement au gaz naturel), les véhicules biocarburants (deux systèmes d'alimentation distincts pour faire fonctionner le véhicule au gaz naturel ou à l'essence/au diesel) et les véhicules biocarburants (qui fonctionnent au gaz naturel). Mais utilise du carburant diesel pour faciliter l'allumage).[29] [33]

Le GPL, également connu sous le nom de propane ou de gaz propane, a été choisi comme carburant alternatif dans les flottes de transport au cours des dernières décennies. Le gaz de pétrole est formé, et est produit comme un sous-produit du raffinage du pétrole brut et du traitement du gaz naturel [32]Comme un véhicule au gaz naturel, un véhicule GPL peut également fonctionner uniquement au GPL (type de véhicule personnalisé), ou passer du GPL aux carburants conventionnels tels que l'essence (type de véhicule biocarburant) .[34, 35]

Il est à noter que, selon les prévisions, après l'essence et le diesel, le gaz naturel sera, avec le propane, le troisième carburant le plus utilisé pour le transport dans le monde d'ici 2050 (actuellement, environ 23 millions de véhicules au gaz naturel sont disponibles dans le monde), en raison de ses avantages tels que la disponibilité et les caractéristiques d'une combustion propre, la densité énergétique élevée et le coût relativement faible du carburant pour de nombreux pays. [32, 36]

2.3.3. Véhicules électriques

Les véhicules électriques utilisent des moteurs électriques ou des moteurs de traction pour les propulser. Les véhicules électriques peuvent également être associés à des moteurs à combustion interne. De manière générale, il existe trois types de véhicules électriques disponibles sur le marché, à savoir les véhicules électriques à batterie (BEV), les véhicules électriques hybrides (HEV) et les véhicules électriques hybrides rechargeables (PHEV).[37]

Le parc mondial de véhicules électriques est d'environ 8,5 millions (plus de 500 mille bus, plus de 400 mille fourgonnettes et camions électriques et le reste est calculé pour les véhicules de tourisme) actuellement (2019-2020) et atteindra environ 116 millions .[38] (ou les ventes de véhicules électriques atteindront 23 millions. Le stock atteindra plus de 130 millions, hors deux/trois roues selon le scénario des nouvelles politiques de l'Agence internationale de l'énergie)[39] .en 2030, alors que le parc mondial de véhicules est d'environ 1. 2 milliards à l'heure actuelle (2019-2020) et atteindra plus de 1,4 milliards en 2030 est en cours. [39]Ces prévisions montrent que malgré des technologies plus avancées dans les véhicules électriques entraînant une baisse des prix, une augmentation des performances, du kilométrage et des infrastructures, moins de 9 % du parc automobile mondial utilisera des véhicules électriques à l'avenir (disons en 2030), ce qui est à peine plus que la contribution des véhicules électriques au parc automobile mondial en 2020 (une contribution d'environ 7 %).[37]

2.3.3.1 véhicules électriques à batterie

Également appelés VE purs, VE seuls sont équipés uniquement de moteurs électriques (ou moteurs de traction), tandis que les autres VE sont équipés de moteurs électriques (ou moteurs de traction) et de moteurs à combustion interne pour propulser le véhicule. Les VEB reçoivent toute l'électricité nécessaire pour charger leurs batteries et propulser le véhicule à partir d'une source électrique externe, comme une prise murale ou une station de recharge.[37]

2.3.3.2 Véhicules électriques hybrides (EHV)

Également appelés hybrides conventionnels, reçoivent leur électricité uniquement de moteur à combustion interne (MCI) (plus petits que les MCI conventionnels). Si les batteries sont faibles, les moteurs à combustion interne agissent comme un moyen secondaire du système de propulsion pour propulser le véhicule en plus de charger les batteries .[29, 32]

2.3.3.3 Véhicules électriques hybrides rechargeables

Ont le même principe de fonctionnement que les EHV, à la seule différence que les EHRV peuvent également recevoir de l'électricité d'une source électrique externe (comme une prise murale

Chapitre 02 : transition énergétique dans le secteur des transports

ou une station de charge). La taille des batteries des EHRV est plus importante que celle des batteries des EHV, ce qui permet d'atteindre une plus grande distance de transmission en utilisant uniquement de l'électricité. Si les EHRV n'utilisaient pas de source électrique externe, leur économie de carburant serait à peu près la même que celle des EHV de taille similaire. Il existe deux types de EHRV, notamment les hybrides série (également appelés véhicules électriques à autonomie étendue) et les hybrides parallèles (mixtes). Ces derniers fonctionnent uniquement pour produire de l'électricité. Il est à noter qu'en plus de l'utilisation d'une source électrique externe et des moteurs à combustion interne pour charger les batteries des véhicules électriques, la production d'électricité à partir de l'énergie exploitée appelée "freinage par récupération" pendant le freinage peut également être utilisée .[29, 32]

2.3.4. Véhicules électriques à pile à combustible

Dans les véhicules électriques à pile à combustible, la pile à combustible produit l'énergie nécessaire à la propulsion de la chaîne cinématique et au déplacement des véhicules. La pile à combustible est un dispositif électrochimique qui convertit l'énergie chimique d'un combustible (principalement de l'hydrogène, mais des hydrocarbures et des alcools peuvent également être utilisés) et d'un agent oxydant (souvent de l'oxygène) en électricité et en chaleur. Par rapport aux véhicules classiques (essence et diesel) qui produisent des émissions nocives, le produit de la réaction entre l'hydrogène et l'oxygène dans les véhicules électriques à pile à combustible est un matériau propre et écologique qui représente l'eau.[40]

2.4. Conclusion :

Nous y avons présenté des alternatives propres et produites à partir d'éléments renouvelables et non polluants, ainsi que les techniques pour les utiliser afin de répondre aux besoins du secteur des transports dans le futur.

Chapitre 3: Estimation de la production d'hydrogène pour le secteur de transport routier

3.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous ferons une étude rétrospective du secteur du transport en Algérie, ainsi qu'une étude proactive du secteur du transport en 2035 lorsque les véhicules à hydrogène pénétreront le secteur du transport routier.

3.2. Secteur des transports en Algérie

En Algérie, le secteur du transport connaît une véritable mutation. Un grand nombre de projets ont été réalisés ou sont en phase de réalisation, an de rendre ce secteur plus performant et plus efficace dans sa contribution dans le développement économique du pays.

3.2.1. Axes du secteur des transports en Algeria

3.2.1.1 Transport aérien

L'Algérie dispose de 35 aéroports, dont 13 aéroports internationaux, le plus grand étant l'aéroport international Houari Boumediene, qui accueille plus de 6 millions de passagers par an, et dispose actuellement de 58 avions civils. pour le transport de passagers permettant le transport d'environ 6,1 millions de passagers actuellement, Air Algérie est le principal transporteur national Comme elle dessert le marché local malgré la présence d'autres compagnies aériennes, l'Algérie vise à travers un programme ambitieux qui permettra de renforcer sa flotte avec 35 nouveaux avions avant 2025 à développer et diversifier sa flotte.[40]

3.2.1.2 Transport maritime

Sur la côte algérienne, d'une longueur de 1200 km, on compte 51 infrastructures maritimes : 11 ports commerciaux, 2 ports pétroliers, 41 ports de pêche et un port de plaisance. Entre 2000 et 2012, 19 infrastructures portuaires (ports de commerce et ports de pêche) et 4 plateformes aéroportuaires (aéroports et pistes d'atterrissage) ont été construites. L'Entreprise Nationale de Transport Maritime de Voyageurs (ENTMV) possède 4 navires pour le transport de passagers, à savoir le Tassili, le Ben Ziyad Roads, l'Alger et l'Eros. Et en cas de pression extrême des voyageurs, la société affrète des navires tout au long de l'été, et la société a transporté environ 379 513 passagers en 2016.[41]

3.2.1.3 Le transport ferroviaire et la mobilité urbaine :

Transport ferroviaire Les chemins de fer algériens ont commencé à fonctionner pendant la période coloniale pour desservir les ports et les grands centres urbains le long de la bande côtière et accéder aux mines et aux zones agricoles de l'intérieur du pays. Le réseau ferroviaire est organisé à partir de la Rocade Nord, et relie, d'est en ouest, les principales villes, ports et zones industrielles du nord du pays. A partir de cet axe, quatre lignes de pénétration atteignent le sud, dont une seule a

Chapitre 03 : Estimation de la production d'hydrogène pour le secteur de transport routier

une échelle standard. La majeure partie du réseau est constituée d'une voie unique. La part du transport ferroviaire dans le secteur des transports du pays n'étant que de 7 à 8%, il s'avère moins réactif, et surtout moins compétitif, que le transport routier [40]

Un programme d'extension du réseau ferroviaire, où des travaux sont en cours sur 2 000 km, en plus des 6 500 km à l'étude. Le réseau, qui devra s'étendre à l'avenir à plus de 12 500 km contre 4 000 km actuellement, verra le lancement de plusieurs projets de développement, notamment en matière d'éclairage, d'électrification des lignes et de formation des travailleurs du secteur dans le domaine de la gestion et de la maintenance. - Le secteur sera doté de trains modernes permettant le transport de voyageurs à une vitesse de 220 km/heure et le transport de marchandises à une vitesse de 120 km/heure. - Les extensions du métro d'Alger sont en cours : El Harrach vers l'aéroport et Ain El Naaja vers El Berki [41, 42]

3.2.1.4 Transport routier

Le réseau routier algérien reste l'un des plus denses du continent africain, avec une longueur de 112 039 km, dont 29 573 km de routes nationales et plus de 4 910 ouvrages d'art. Le réseau routier est constitué de deux axes interchangeable : l'axe est-ouest et l'axe nord-sud. Prenant en charge environ 87% des volumes transportés, le réseau routier assure environ 90% du trafic national de passagers et de marchandises [8]. Le parc automobile algérien est alimenté à 93% par des importations de l'étranger, principalement d'Europe. La production nationale de véhicules est limitée aux véhicules industriels (camions, autocars, tracteurs agricoles) Le parc automobile passera de 8 millions de voitures à plus de 20 millions à l'horizon 2025. La capitale reçoit environ 4 millions de voitures par jour. 97% des opérations de transport en Algérie se font par voie terrestre, et le transport terrestre est prédominant par rapport aux autres moyens de transport, puisqu'il consomme 94% de la consommation totale du secteur des transports.[10, 40]

3.3. Analyse rétrospective du secteur de transport routier

3.3.1. Répartition du parc par type de véhicule

L'Algérie dispose d'un parc automobile dépassant les 6 millions de voitures, pour plus de 41 millions d'habitants. Selon le dernier bilan de l'Office national des statistiques[43], le parc national automobile comptait 6 162 542 véhicules à fin 2017, contre 5 986 181 à fin 2016 en hausse de 2.94%, correspondant à une augmentation de 176,361 unités. Le parc se compose de véhicules des touristes qui représentent plus de 64.55% du parc national (Figure 3-1), des camionnettes qui représentent 18.54%, ainsi qu'autocar et autobus qui représentent 1.35%. Le total de ces catégories représente à lui seul 84.44% du parc total de véhicules, soit plus de trois quarts. [43]

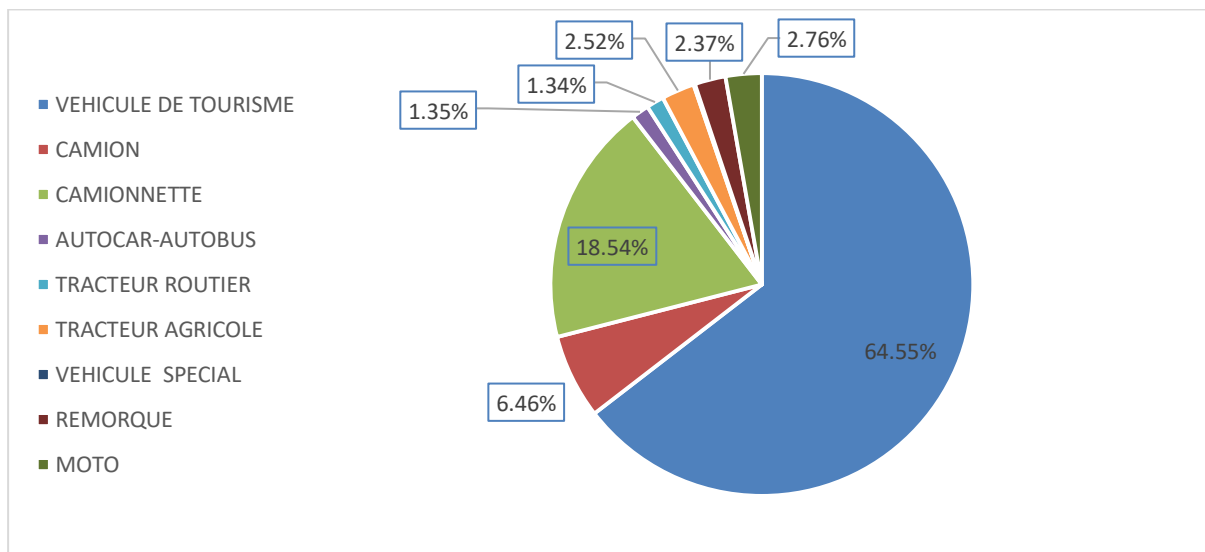


Figure 3-1 : Répartition du parc national automobile selon le type de véhicule [43]

3.3.2. Evolution du parc automobile

A partir des données présentées dans la courbe, on constate que le nombre de véhicules est en constante augmentation, et cette augmentation du nombre de véhicules peut s'expliquer par plusieurs facteurs tels que les faibles taux de crédit dans les banques commerciales. Les fortes promotions à l'achat, le faible prix du carburant, la faiblesse des transports publics et l'émergence d'une classe sociale moyenne au pouvoir d'achat acceptable.

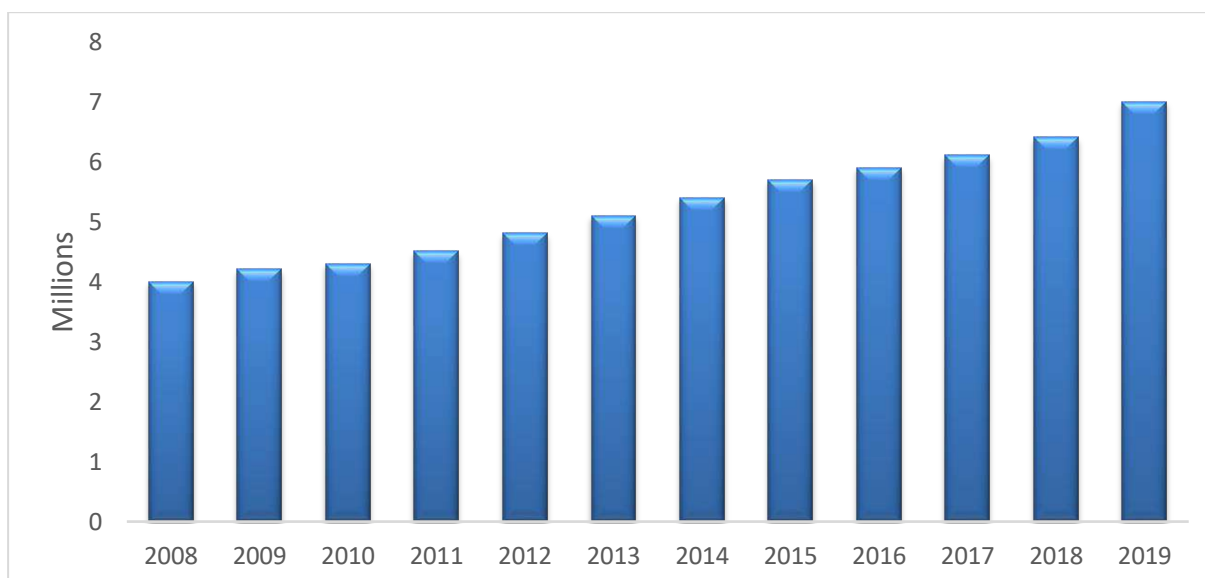


Figure 3-2 : L'évolution du parc automobile national au cours de la période 2008-2019 [43]

Cependant, le facteur le plus important reste la grande croissance démographique (Figure 3-3) que le pays a connu ces dernières années, comme le montre la figure ci-dessous.

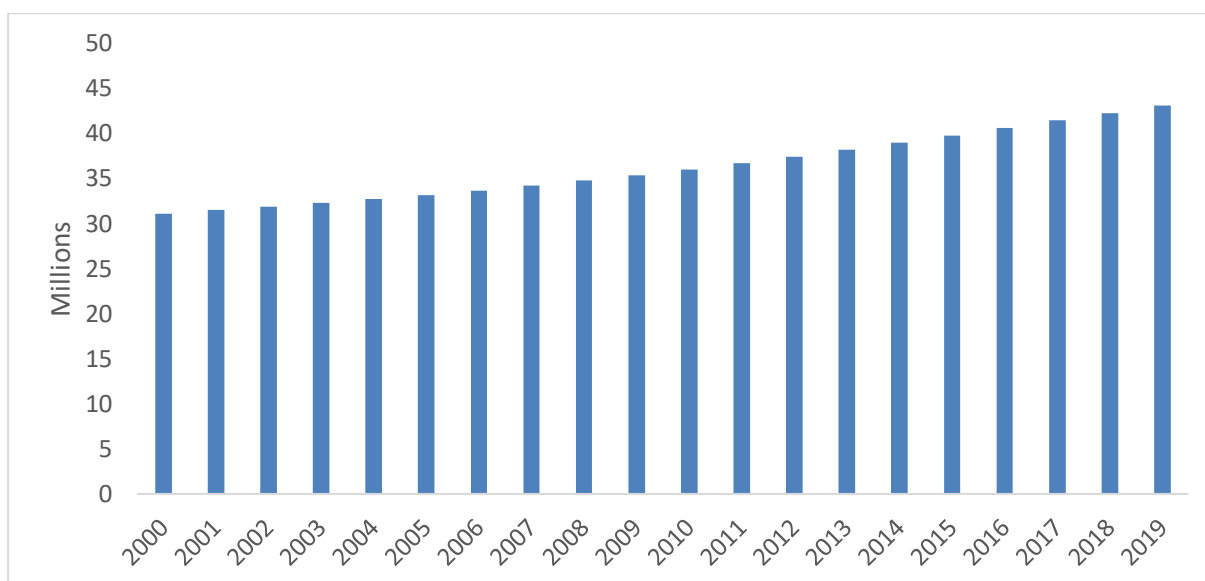


Figure 3-4 :L'évolution de la population de l'Algérie au cours de la période 2000-2019 [44]

3.3.3. Répartition du parc par consommation

3.3.3.1 Consommation d'énergie finale

Le secteur des transports routier représente ainsi à lui seul près d'un tiers de la consommation d'énergie finale en Algérie (Figure 3-5). Dans les dix années précédentes le transport routier

Chapitre 03 : Estimation de la production d'hydrogène pour le secteur de transport routier

constituant la majeure partie de cette consommation énergétique, environ de 15 millions tep sur les 15.05 millions tep consommés par le secteur des transports en 2015.

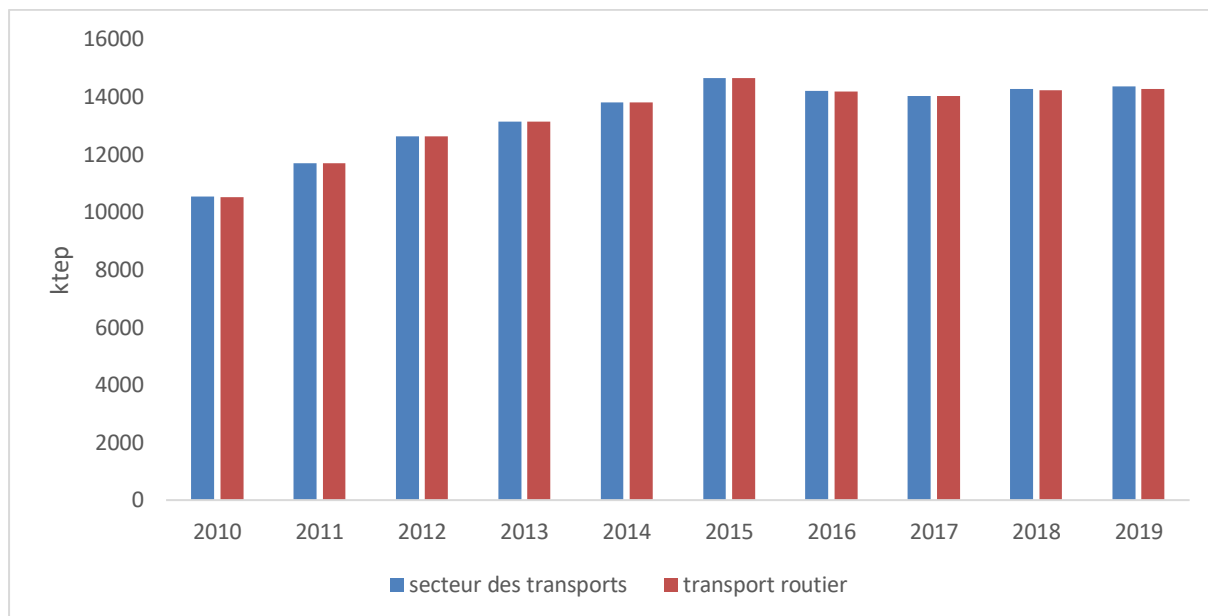


Figure 3-5 : consommation de secteur des transports et transport routier [43]

Ainsi, l'objectif premier est de changer le modèle algérien du parc automobile composé principalement de véhicules diesel et à essence, qui représentent plus de 90% des voitures particulières.

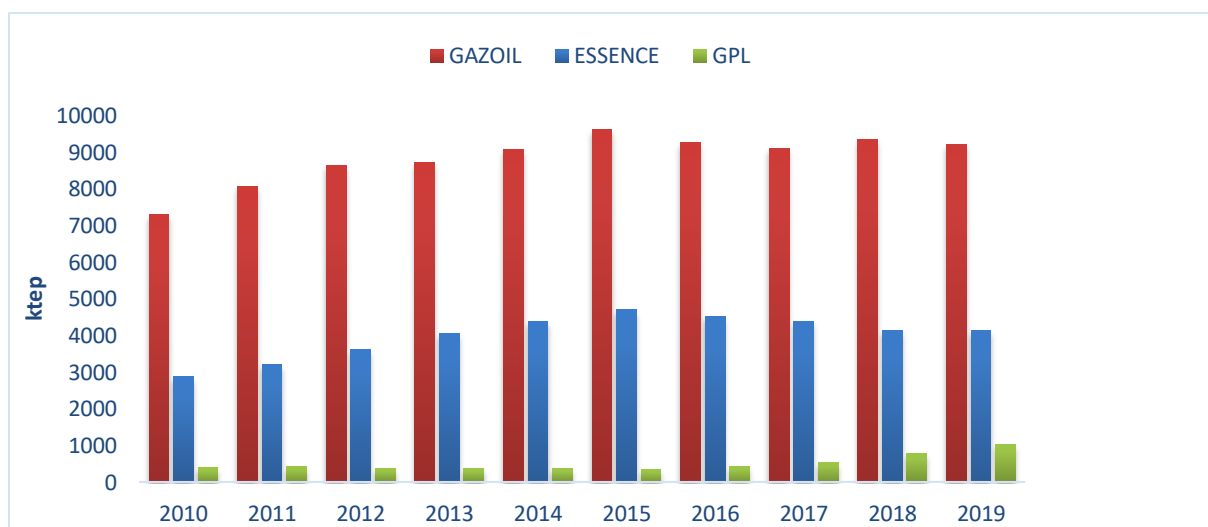


Figure 3-6 : Consommation de carburant dans le secteur des transports en Algérie(2010-2019) [6]

La Figure 3-7 représente la consommation d'Énergie dans secteur de transport par type de carburants. En 2019, l'essentiel de l'énergie consommée dans ce secteur provient des dérivés du

Chapitre 03 : Estimation de la production d'hydrogène pour le secteur de transport routier

pétrole dont 29.02 % gasoil (9112 Ktep), et 63.87% essence (4141 Ktep), alors que le GPL, qui est un carburant moins polluant, ne représente que 7.10 % (1013 Ktep).

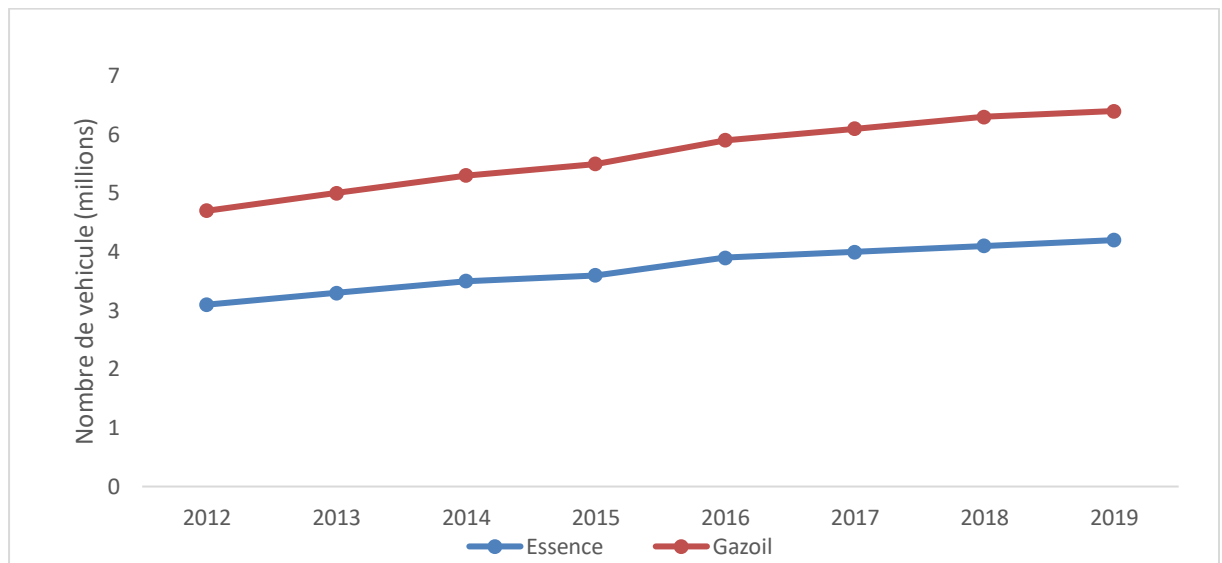


Figure 3-7 :Répartition de nombre de véhicule selon la source d'énergie [43]

3.3.3.1 Consommation unitaire par type d'énergie :

Une méthode simple a été proposée pour estimer la consommation unitaire par combustible utilisé. Nous avons supposé que la consommation unitaire moyenne soit égale au rapport moyen entre la consommation réelle donnée par les budgets énergétiques du DOE pour les véhicules essence et diesel par rapport au nombre de ces véhicules. Cette méthode permettra d'établir des rapports de consommation d'énergie applicables par toute structure régionale ou administrative. Selon les statistiques fournies par l'Office national pour la période de 2010 à 2019 (Bureau national des statistiques), le nombre de véhicules distribués a été déterminé par le carburant utilisé. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure suivante :

Les véhicules à essence sont dominés dans le parc d'automobile en Algérie. En 2019, 65,44% du parc est véhicule à essence, 34,56% gasoil, alors que le GPL, qui est un carburant propre, ne représente que moins de 3% de véhicule à essence.

La consommation unitaire par véhicule diesel est donnée par :

$$CUV_{Essence} = \frac{\text{consommation de carburant essence dans le transport routier}}{\text{taille de parc vehicule essence}}$$

De même, la consommation unitaire par véhicule gasoil est calculée de la façon suivante :

$$CUV_{Gazoil} = \frac{\text{consommation de carburant gasoil dans le transport routier}}{\text{taille de parc vehicule gasoil}}$$

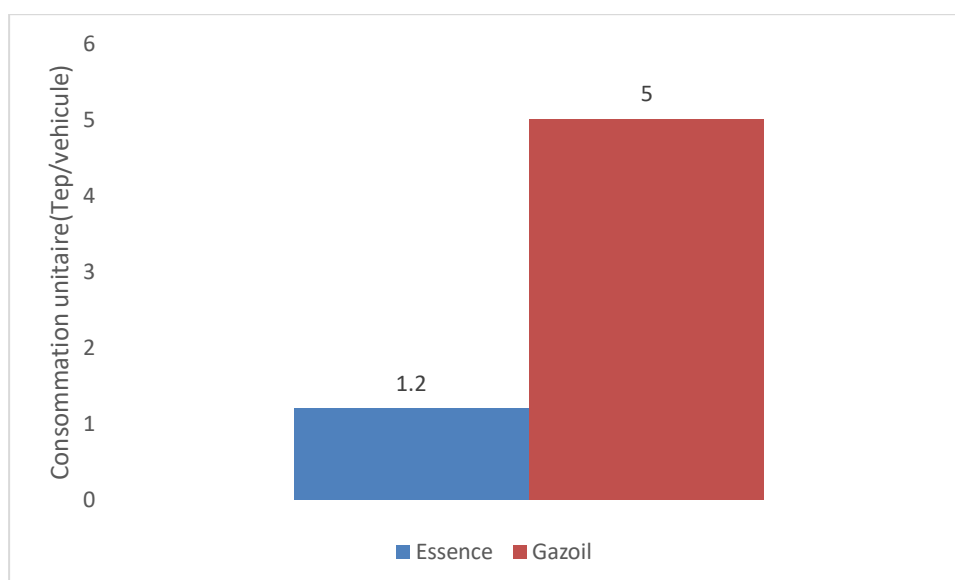


Figure 3-8: consommation unitaire moyenne annuelle

Au cours de la période 2012-2019, la consommation unitaire moyenne annuelle dans le parc des voitures à moteur à essence égale à 1.2 tep/véhicule contre 5 tep/véhicule à moteur à gasoil.

Cette consommation a été distribuée au niveau de l'Algérie selon les cartes suivantes :

Le nombre de véhicules consommant de l'essence en Algérie a atteint 4202213 en 2019, répartis selon la carte dans Figure 3-9, qui montre que l'État d'Algérie occupe la première place dans le nombre de véhicules consommant de l'essence, atteignant 1116269 véhicules, suivi par Blida et Oran avec 275846, 242927 véhicules, et le plus petit nombre de voitures à essence Il a atteint 2174 véhicules dans la Wilaya de Tindouf.

Le nombre de véhicules consommant de gasoil en Algérie a atteint 2219187 en 2019, répartis selon la carte dans Figure 3-10, qui montre que l'État d'Algérie occupe la première place dans le nombre de véhicules consommant de l'essence, atteignant 594117 véhicules, suivi par Tizi Ouzou et Oran avec 107095, 95216 véhicules, et le plus petit nombre de voitures à essence Il a atteint 2000 véhicules dans la Wilaya de Tindouf.

Chapitre 03 : Estimation de la production d'hydrogène pour le secteur de transport routier

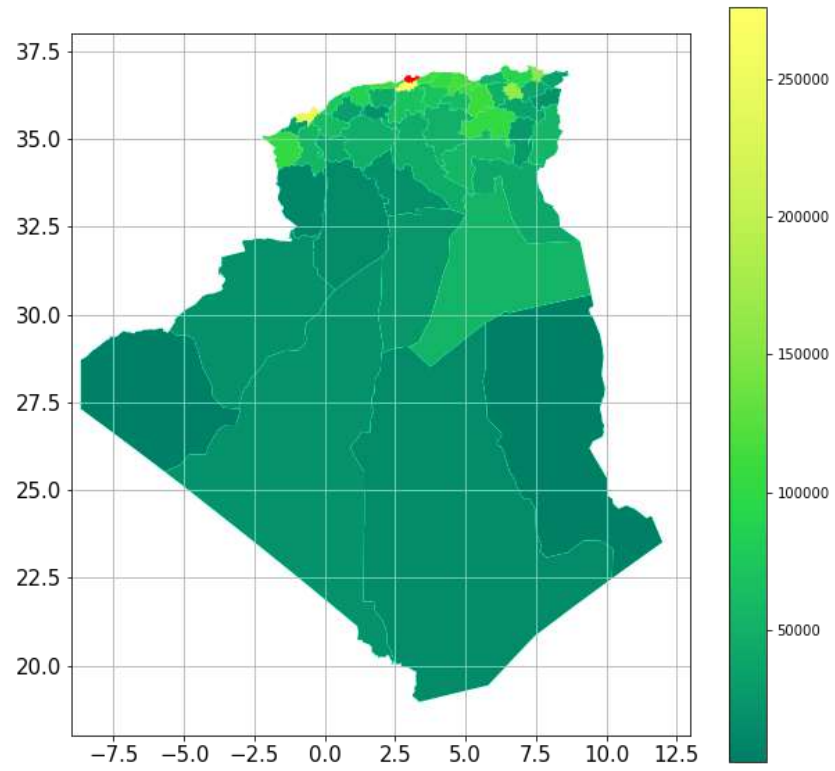


Figure 3-9 : Répartition des véhicules qui consomment de l'essence en Algérie en 2019.

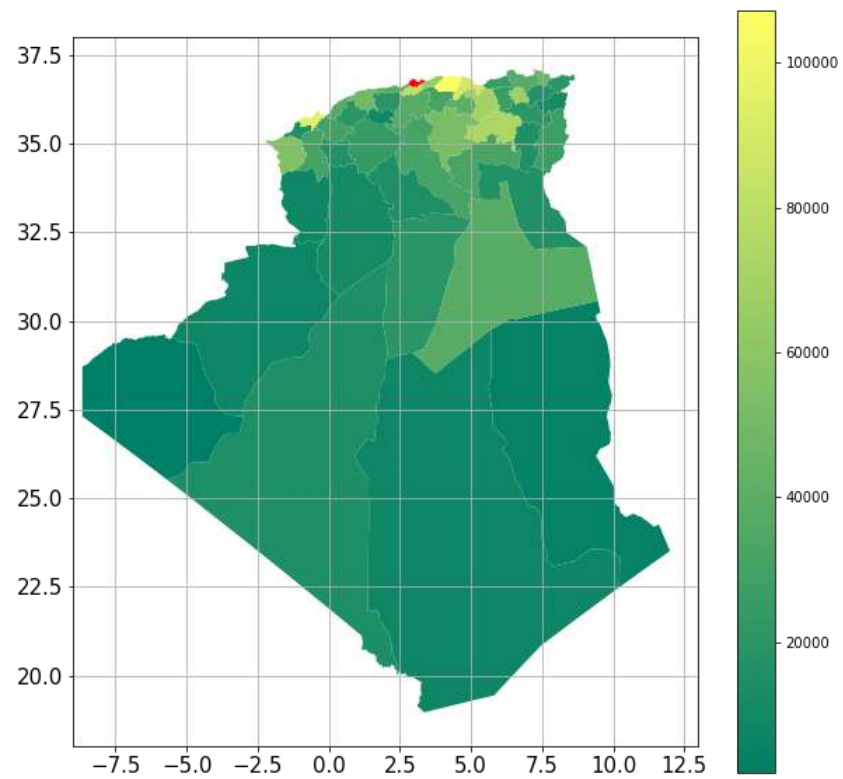


Figure 3-10: Répartition des véhicules qui consomment de gasoil en Algérie en 2019.

3.4. Raisons pour lesquelles l'hydrogène est une source d'énergie de substitution :

L'hydrogène apparaît comme un carburant alternatif pour demain, car il a un pouvoir calorifique très élevé, ne contient pas de carbone, n'émet pas de dioxyde de carbone en brûlant et réduit les polluants. L'hydrogène peut être produit à partir de diverses sources. Il peut être produit à partir de l'eau, par électrolyse traditionnelle et par un procédé avancé à haute température, et l'énergie nucléaire ou solaire et éolienne peut être utilisée comme source de chaleur pour l'H₂. Les procédés de production, la biomasse et le charbon peuvent être convertis en gaz pour obtenir de l'hydrogène, de même que les combustibles fossiles. Il est clair que cette diversité contribue de manière significative à la sécurisation des approvisionnements en carburant, et contribue également à la réduction et à la diminution des émissions de gaz à effet de serre.[10]

3.5. Modélisation et prévision de la consommation énergétique dans le secteur de transport routier

Dans cette partie, il est nécessaire de mener une étude sur le parc national de véhicules pour quantifier l'hydrogène dans plusieurs scénarios pour remplacer les véhicules conventionnels par des véhicules à pile à combustible.

3.5.1. Hypothèses de prévision

Un certain nombre de paramètres macroéconomiques doivent être définis pour construire des prévisions. Ces hypothèses, très structurantes, sortent du champ d'étude de la rétrospective de chaque paramètre retenu. Ainsi, les paramètres suivants ont été définis pour constituer deux scénarios (de référence et de volontariste) :

- L'évolution de nombre de véhicules en circulation dans la zone géographique considérée (taux de croissance égal à 4.4 %/an) [43]
- Le taux de pénétration des véhicules à hydrogène dans ce parc automobile en 2035. La part des véhicules à hydrogène devraient passer de 10% de nombre total de véhicules ,25%, 50% ,75%, 100%.

3.5.2. Evolution du parc automobile

Pour calculer les projections de chaque période sur tout l'horizon du temps considéré, nous avons utilisé l'équation suivant[10] :

$$P_p = P_i \times (1 + \alpha)^{p-i} \quad (3-1)$$

Chapitre 03 : Estimation de la production d'hydrogène pour le secteur de transport routier

Avec un taux d'accroissement de 4.4% annuellement pour la planification des besoins. Le graphique suivant montre l'évolution du parc depuis 2020 jusqu'à 2035.

La Figure 3-11 représente la projection du nombre de véhicules jusqu'en 2035. La projection montre que l'augmentation du nombre de véhicules sera progressive, passant de 7,96 millions en 2020 à 9,87 millions en 2030 puis à 12,25 millions en 2035.

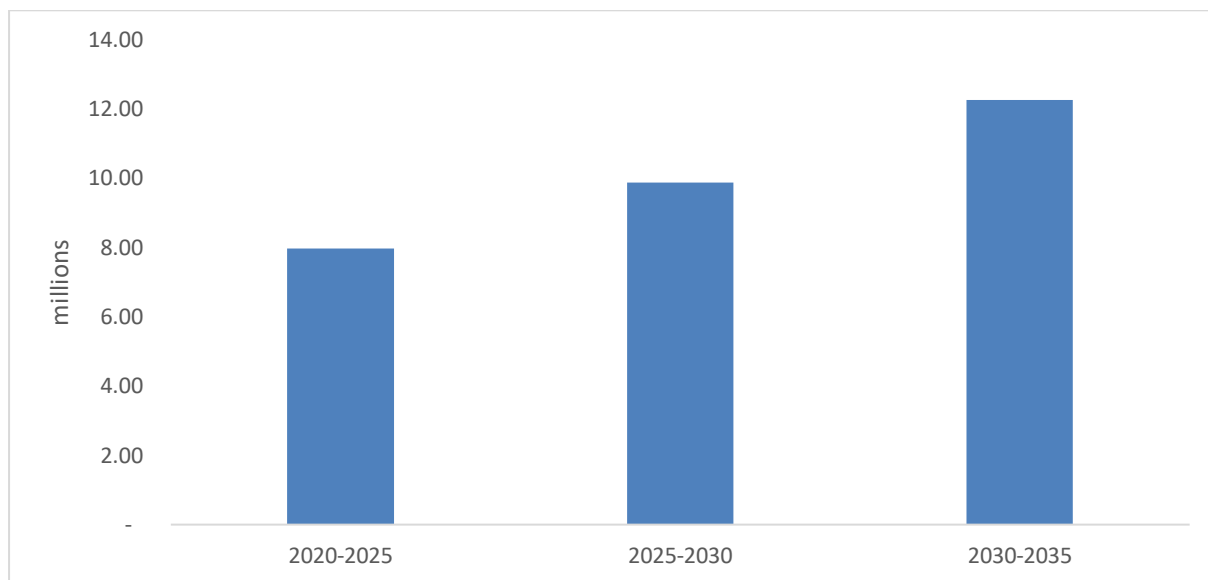


Figure 3-11: Evolution du nombre de véhicule 2020-2035

3.5.3. Scénario volontariste

Pour configurer ce scénario, nous nous fixons un cadre d'étude décrit par une zone géographique (région, pays) et un horizon temporel, et enfin, un taux de pénétration du marché qui permet la création d'une nouvelle intégration technologique.

L'aspect temporel de l'étude de la demande en hydrogène est calculé en considérant l'augmentation de la part de marché des véhicules à hydrogène en 2035. Inventaire de l'horizon temporel que nous avons choisi en 2035.

Tableau 3-1 : Plans de projet avec les taux pénétration

Période	2035	2035	2035	2035	2035
Plans	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
Taux de pénétration (%)	10%	25%	50%	75%	100%

3.5.4. Méthodologie de l'évaluation de distribution spatio-temporelle de la demande en hydrogène carburant à horizon 2035:

Pour estimer la distribution spatiale et la demande d'hydrogène pour chaque niveau de pénétration du marché des véhicules à hydrogène, la formule de calcul de la demande annuelle d'hydrogène est la suivante[45] :

$$DHA_{H_2} = N_v \times T_p \times CH_2 \quad (3-2)$$

Où :

DHA_{H_2} : Demande annuelle d'hydrogène par région, [kg H2/an]

N_v : Nombre de véhicules dans chaque région, [Véhicule]

T_p : Taux de pénétration au marché

CH_2 : Consommation spécifique moyenne de véhicule à hydrogène [kg H2/véhicule]

3.5.5. Consommation spécifique moyenne de véhicule a l'hydrogène:

Consommation spécifique moyenne de véhicule à hydrogène dans chaque wilaya a été calculée par les équations suivantes[10] :

$$E_\mu = E_f \times \eta_{moy}(MT) \quad (3-3)$$

$$E_{H_2} = E_\mu(FC)/\eta_{moy}(FC) \quad (3-4)$$

$$Q_{H_2} = E_{H_2}/PCI_{H_2} \quad (3-5)$$

$$CH_2 = \frac{Q_{H_2}}{\text{nombre des vehicules dans chaque wilaya en Algerie}} \quad (3-6)$$

E_μ = Energie Utile [Kj]

E_f = Energie finale [Kj]

Les rendements de moteur thermique et de pile a combustible sont

$$\eta_{moy}(MT) = 30\%, \eta_{moy}(FC) = 65\%$$

PCI_{H_2} = pouvoir calorifique d'hydrogène

Q_{H_2} = quantité de l'hydrogène [kg/an]

Le résultat est apparu réparti en Algérie représenté dans la Figure 3-12, la consommation spécifique moyenne d'hydrogène d'une voiture en Algérie s'est élevée à 342,03 kilogrammes par voiture, expliquant que wilaya d'Ilizi se classe premier dans la consommation d'hydrogène par

Chapitre 03 : Estimation de la production d'hydrogène pour le secteur de transport routier

véhicule de 450,98 kilogrammes, suivi par wilaya de Msila et Tizi Ouzou avec une consommation de 414,98 et 413,61 kilogrammes d'hydrogène par véhicule. La consommation de 272,92 kilogrammes d'hydrogène par véhicule, ce qui représente le taux de consommation le plus faible de wilaya d'Annaba.

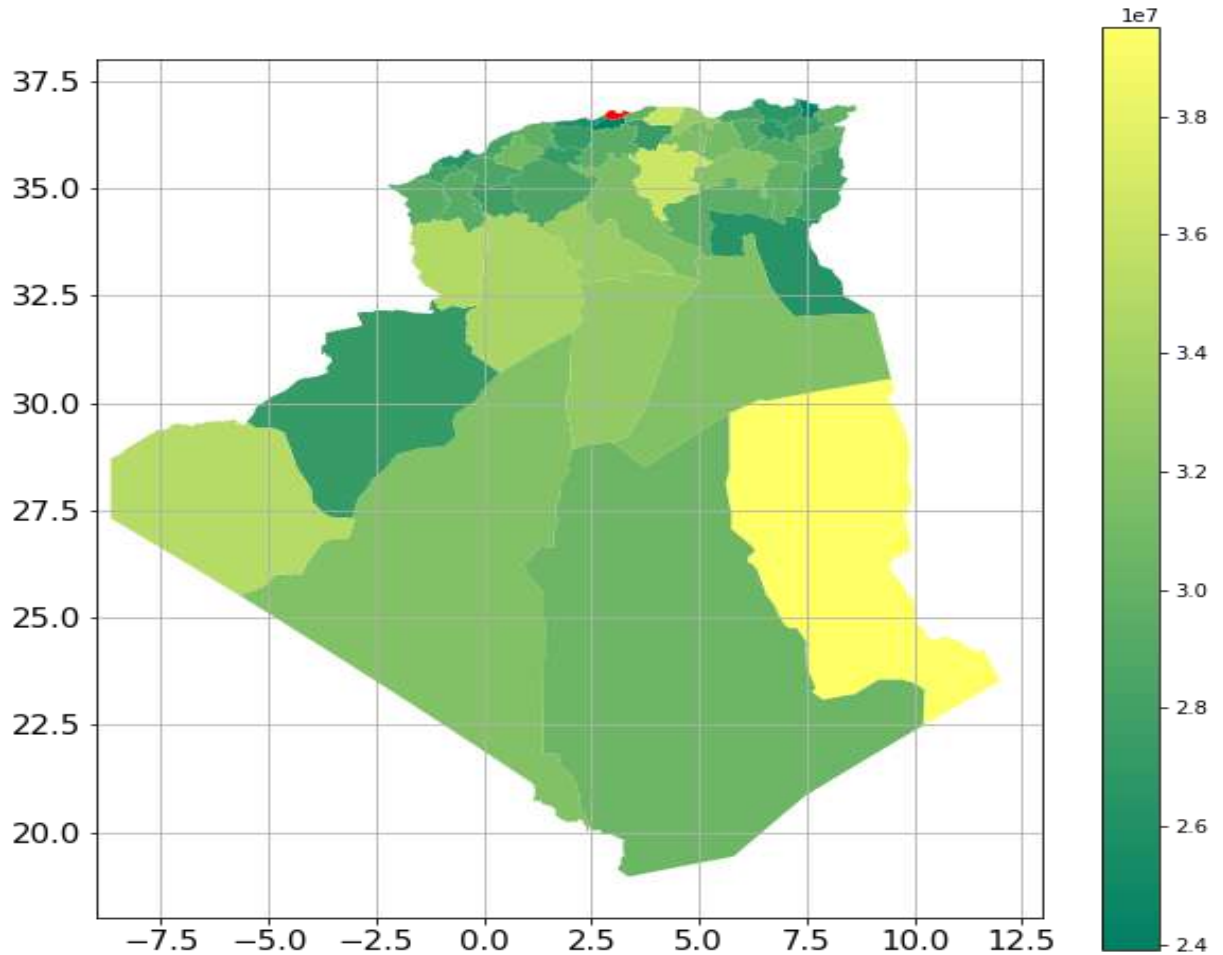


Figure 3-12: La consommation moyenne du véhicule à hydrogène par an dans les Wilaya d'Algérie

3.5.6. Nombre de véhicule à hydrogène

La Figure 3-13 présente l'évolution temporelle de de nombre des véhicules conventionnelle dans le parc automobile Algérien et aussi les véhicules à hydrogène pour chaque Taux de pénétration considéré.

Après avoir calculé le nombre de véhicules à travers les données statistiques algériennes, le taux de croissance a été calculé précédemment, et le nombre total de véhicules du parc automobile algérien devrait être d'environ 12,25 millions en 2035, soit une augmentation estimée de 5,83 millions de véhicules entre 2020 et 2035. Le nombre total de véhicules à hydrogène dans le parc automobile algérien est estimé à 582 863 véhicules si le taux de pénétration des véhicules à

Chapitre 03 : Estimation de la production d'hydrogène pour le secteur de transport routier

hydrogène est de 10% pour le marché automobile, 1,46 millions si le taux de pénétration est de 25%, 2,91 millions avec une pénétration de 50%, 4,37 millions avec un taux de pénétration de 75% et 5,83 millions avec un taux de pénétration de 100% en 2035.

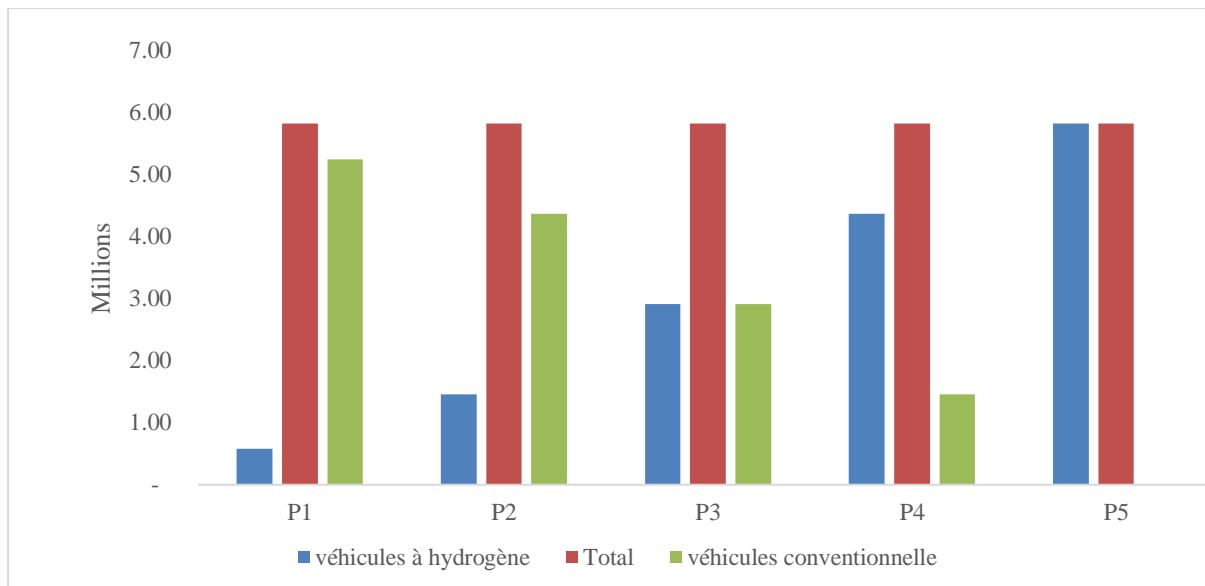


Figure 3-13: Développement du nombre de véhicule à hydrogène

On ne constate que l'augmentation du taux de pénétration des composés de l'hydrogène conduit également à une augmentation de la demande annuelle d'hydrogène. Dans le premier plan, à un taux de pénétration de 10% en 2035, la demande d'hydrogène est 199.36 de kilotonnes H₂ / an.

Chapitre 03 : Estimation de la production d'hydrogène pour le secteur de transport routier

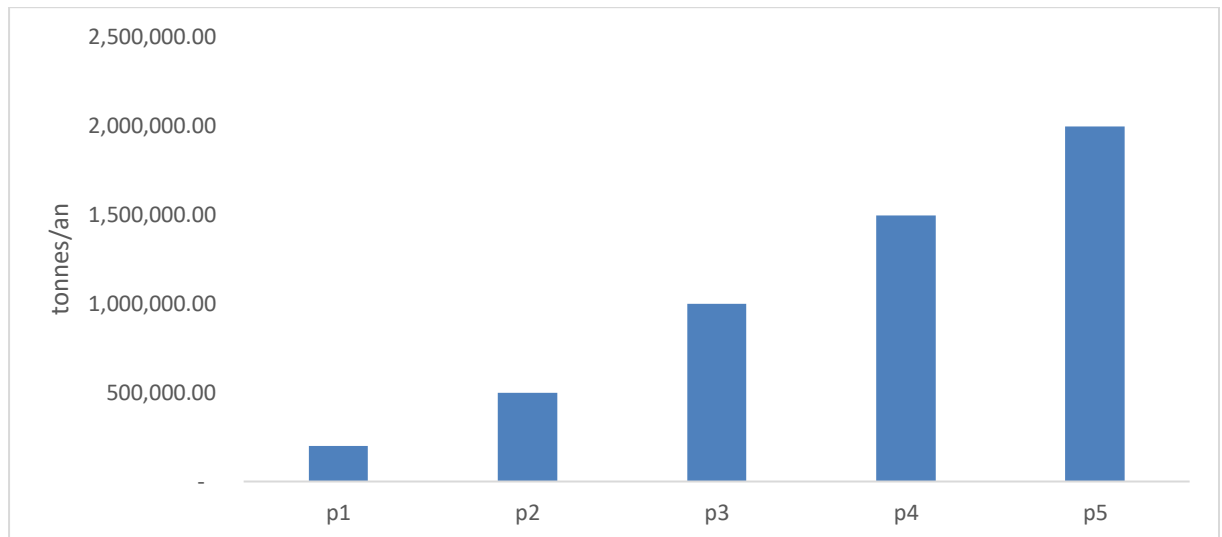


Figure 3-14: la demande d'hydrogène par an pour chaque Taux de pénétration

En augmentant le taux de pénétration du marché de 25% (P2) à 50% (P3), nous avons constaté que la demande d'hydrogène varie de 498.36 à 996.78 kilotonnes H₂/an. Dans le plan P4, la demande d'hydrogène est 1495 de kilotonnes H₂/an. Dans ce dernier plan, la demande annuelle d'hydrogène aurait atteint environ 1993.56 kilotonnes.

La demande annuelle d'hydrogène en Algérie a été distribuée selon la carte suivante :

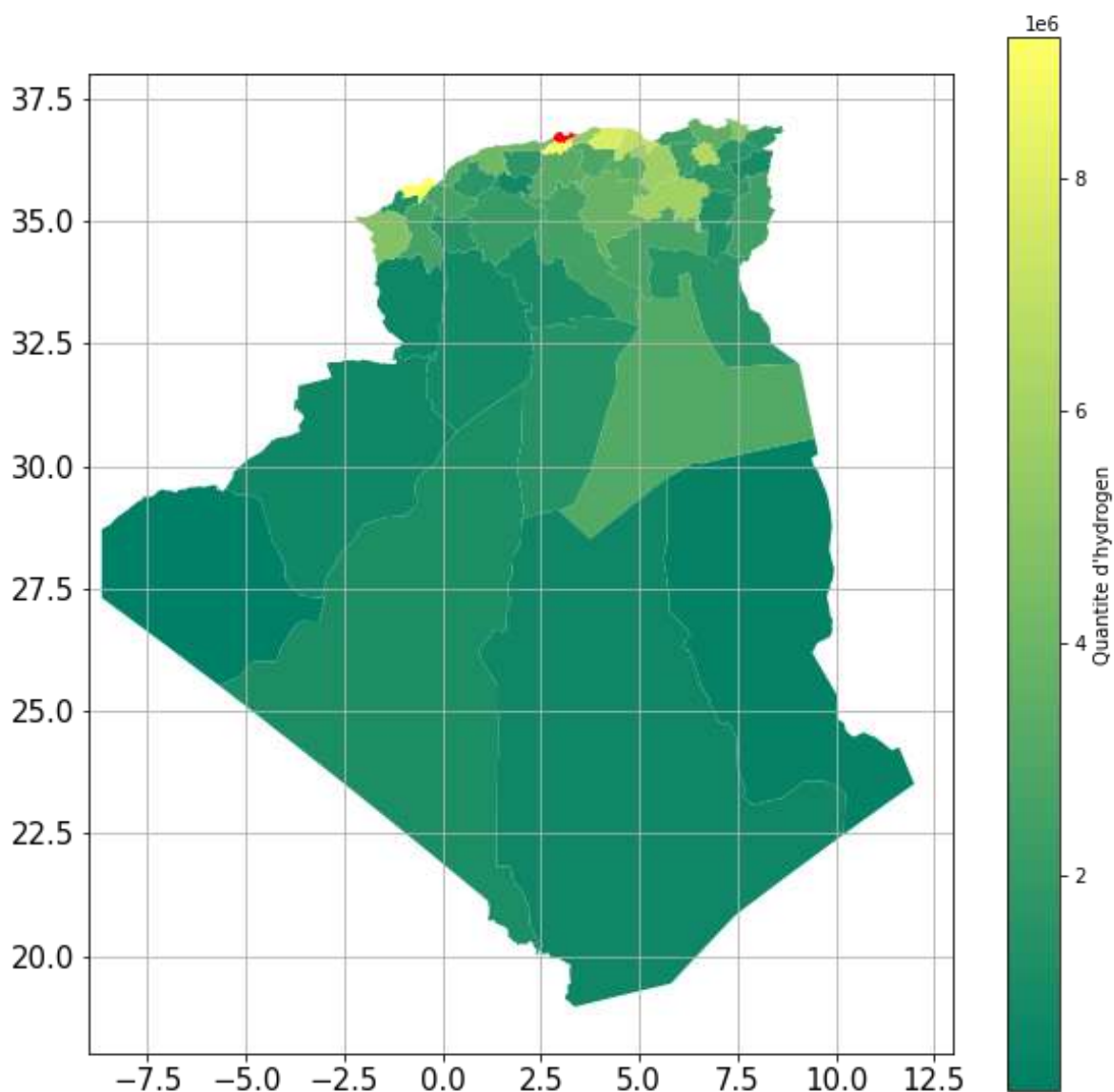


Figure 3-15: La distribution de la demande d'hydrogène par an dans les Wilaya d'Algérie avec Taux de pénétration de 10 %.

A travers la figure ci-dessus, qui montre la demande en hydrogène en l'an 2035, si le pourcentage de pénétration des véhicules à hydrogène est de 10% du marché des véhicules. où le montant total de la demande est de 193828 tonnes par an réparties sur les états du pays, selon la demande de chaque état, alors qu'elle atteint 51.76 kilo tonnes par an dans l'état d'Algérie, qui représente les plus grands états alors qu'elle est de 151 tonnes par an dans la Wilayat de Tindouf, qui exprime le plus faible montant de la demande, ceci est dû au faible nombre de voitures à hydrogène prévu en 2035 si le taux de pénétration est de 10%.

3.6. Analyse technico-économique de la production d'hydrogène

Chapitre 03 : Estimation de la production d'hydrogène pour le secteur de transport routier

Les énergies renouvelables qui permettent d'éviter la dépendance à l'égard des approvisionnements en combustibles fossiles et de réduire les impacts environnementaux ont suscité un grand intérêt pour la réalisation du développement durable et des objectifs de l'Accord de Paris. À l'heure actuelle, de nombreux pays et régions tels que la Chine, l'Inde et l'Union européenne ont fixé des objectifs ambitieux en matière d'énergies renouvelables, 2019. En particulier, les développements de la technologie de l'énergie solaire ont permis de produire de l'énergie en utilisant le rayonnement solaire.

En général, les panneaux photovoltaïques (PV) et l'énergie solaire concentrée (ESC) sont deux applications courantes de l'énergie solaire en utilisant respectivement le rayonnement horizontal global (RHG) et le rayonnement naturel direct (RND). La conversion du rayonnement solaire en électricité par des cellules photovoltaïques est une technologie d'énergie renouvelable mature qui se développe rapidement. Il a été vérifié que les performances de l'énergie solaire photovoltaïque sont déjà complètes par rapport aux sources d'énergie conventionnelles en termes de temps de retour sur investissement, de gaz à effet de serre et de coût de l'électricité nivelé.

La technologie ESC utilise l'énergie thermique à haute température du rayonnement solaire concentré pour produire de l'électricité au moyen de turbines à vapeur, de turbines à gaz ou de moteurs. Une estimation fiable et précise de la disponibilité des ressources et des sites appropriés est prioritaire et essentielle pour assurer la rentabilité des projets solaires et promouvoir une planification durable. Sur le plan pratique, l'un des défis les plus importants consiste à déterminer les sites les plus appropriés pour les installations solaires à grande échelle.

3.6.1. Modélisation des installations de production d'hydrogène

Parmi toutes les technologies de production d'hydrogène, l'électrolyse de l'eau basée sur l'électricité renouvelable est idéale pour une production d'hydrogène durable et claire. L'électrolyse de l'eau est un principe très simple. Il s'agit du processus par lequel l'eau est décomposée en hydrogène et en oxygène grâce à l'utilisation de l'énergie électrique. Dans cette étude, un système solaire photovoltaïque et un concentrateur solaire ont été choisis pour produire l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'électrolyseur.

3.6.2. Besoins énergétiques du système d'électrolyse:

Compte tenu de l'emplacement et de la mesure prévue de la demande d'hydrogène, l'étape suivante consiste à déterminer la quantité d'électricité nécessaire pour produire la demande

Chapitre 03 : Estimation de la production d'hydrogène pour le secteur de transport routier

existante. Afin de répondre à cette demande, l'énergie générée par le système d'énergie renouvelable est directement combinée à un électrolyseur pour entraîner le processus d'électrolyse de l'eau et générer la quantité d'hydrogène.

L'énergie requise pour le processus d'électrolyse de l'eau est fonction de l'énergie spécifique théorique requise par l'électrolyseur à une température donnée, de la demande annuelle d'hydrogène et du rendement de l'électrolyseur. Elle est calculée sur la base de la demande annuelle d'hydrogène et de l'hypothèse selon laquelle le système utilise 52,5 kWh pour produire un kilo-gramme d'hydrogène, ce qui représente un système efficace à 75 % en raison du pouvoir calorifique supérieur de l'hydrogène. Ce rendement correspond à la totalité des besoins énergétiques du système, y compris l'empilement des cellules d'électrolyse, les besoins énergétiques des auxiliaires du système et les pertes du système.[45]

$$E_{req} = \frac{AD_H HHV_{H_2}}{\eta_{Elec} \eta_t} \quad (3-7)$$

E_{req} : le besoin en énergie pour l'électrolyse (la quantité d'électricité nécessaire pour produire la demande d'hydrogène requise) [kWh/an]

AD_H : la demande annuelle d'hydrogène pour chaque région [kg H_2 /an]

HHV_{H_2} : le pouvoir calorifique supérieur de l'hydrogène [kWh/kg]

$\eta_{Elec} \eta_t$: le rendement de l'électrolyseur et un coefficient de rendement supplémentaire pour tenir compte des pertes d'énergie dans le système d'électrolyse

A travers la Figure 3-16, qui montre la demande d'énergie électrique nécessaire à l'électrolyseur en l'an 2035 pour fournir la quantité d'hydrogène requise si le pourcentage de pénétration des voitures à hydrogène est de 10 % du marché des véhicules, où la quantité totale est de 10208 GWh par an répartis sur les États de la patrie selon la demande de chaque État. Elle atteint 2726.32 GWh par an dans la wilaya d'Alger, qui représente la plus grande demande, tandis qu'elle atteint 7.98 GWh par an dans la wilaya de Tindouf, qui exprime la plus faible demande. Cela s'explique par le faible nombre de voitures à hydrogène prévu en 2035 si le taux de pénétration moyen est de 10 %.

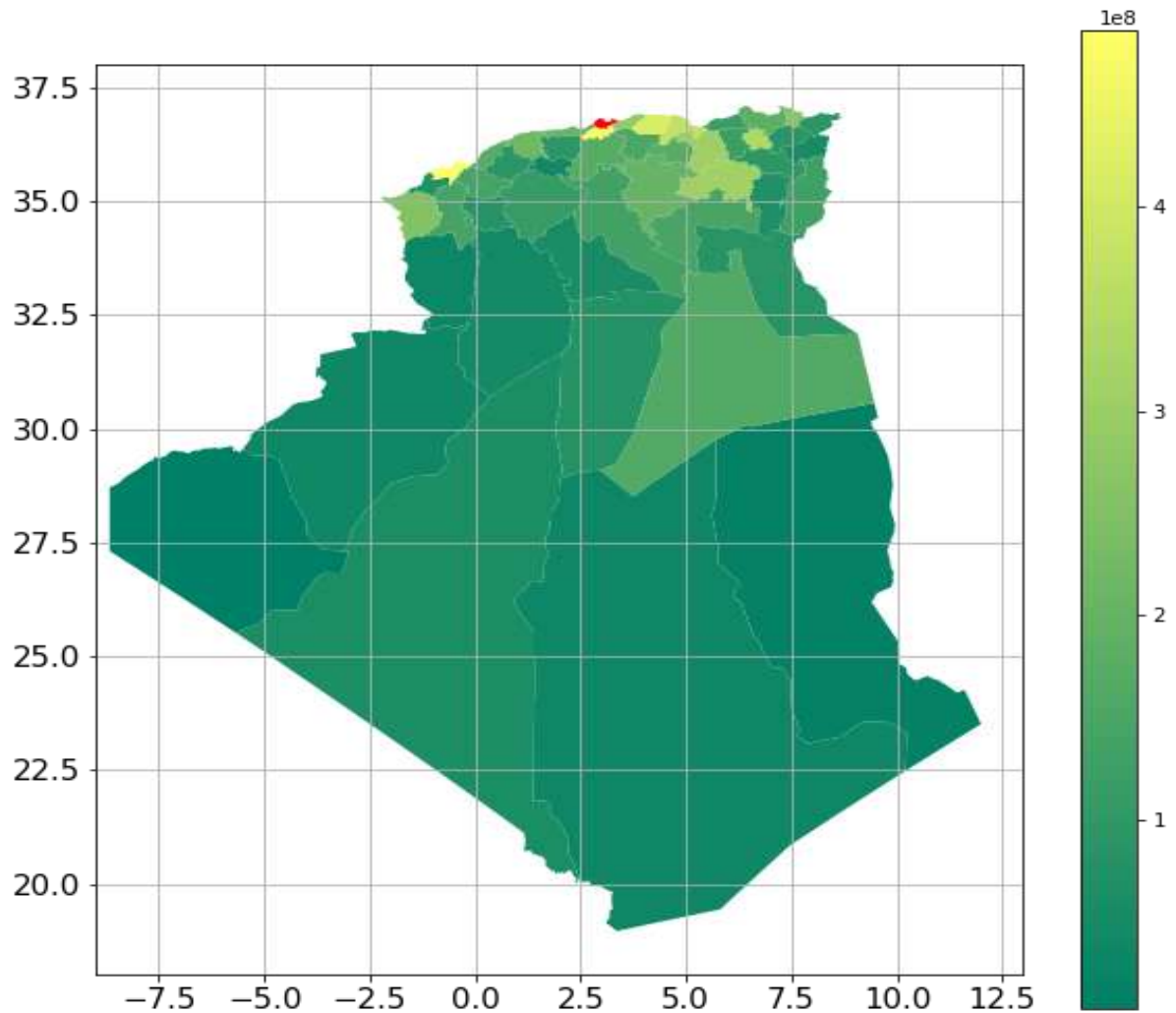


Figure 3-16: La distribution de la demande annuelle d'électricité par an dans les Wilaya d'Algérie avec Taux de pénétration de 10 %.

3.6.3. Système photovoltaïque et centralisateur d'énergie solaire

La conception du système photovoltaïque (PV) et centralisateur d'énergie solaire (CES) revient à trouver la surface nécessaire pour le générateur photovoltaïque afin d'adopter un système d'alimentation adéquat pour répondre aux besoins de la chaudière électrique utilisée à tout moment. Une fois connue l'énergie solaire totale sur le tracé horizontal et l'énergie électrique nécessaire à l'électrolyse, on peut calculer la surface correspondante du générateur photovoltaïque et centralisateur d'énergie solaire [45]

Pour Système photovoltaïque :

$$P_{PV} = RHG \cdot A_{PV} \cdot \eta_{PV} \cdot F_{PV} \quad (3-8)$$

Pour centralisateur d'énergie solaire :

Chapitre 03 : Estimation de la production d'hydrogène pour le secteur de transport routier

$$P_{CES} = RND \cdot A_{CES} \cdot \eta_{CES} \cdot F_{CES} \quad (3-9)$$

Ou P_{PV} est la production annuelle d'énergie électrique d'un Système PV (kWh/an), et P_{CES} est la production annuelle d'énergie électrique d'un Système CES (kWh/an).

RHG : Rayonnement horizontal global, RND : rayonnement naturel direct.

A_{PV}, A_{CES} : Surface correspondante du chaque système.

η_{PV}, η_{CES} : rendement de chaque système.

F_{PV}, F_{CES} : Facteur de surface occupé par chaque système par kilomètre carré.

Afin de déterminer quel système peut couvrir la demande d'électricité pour le travail de l'électrolyseur en utilisant le coût d'exploitation le plus bas, et le moins d'espace, nous avons utilisé l'énoncé suivant :

$$C = (0.057) P_{PV} + (0.108) P_{CES} \quad (3-10)$$

À condition :

$$E_{req} = P_{PV} + P_{CES} \quad (3-11)$$

Où :

C : Le coût de la construction et de l'exploitation de la station d'approvisionnement en énergie électrique nécessaire [\$]

$0.057 \text{ \$/KWh}$, $0.108 \text{ \$/KWh}$: Coût d'exploitation d'une centrale photovoltaïque, d'un centre d'énergie solaire

Nous avons obtenu que la meilleure installation qui permet d'économiser l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement de l'électrolyseur à moindre coût, et dans un espace réduit est l'utilisation du système photovoltaïque seul.

Les surfaces qui doivent être occupées par le système photovoltaïque sont distribuées à travers les états d'Algérie pour fournir de l'énergie électrique selon la carte suivante

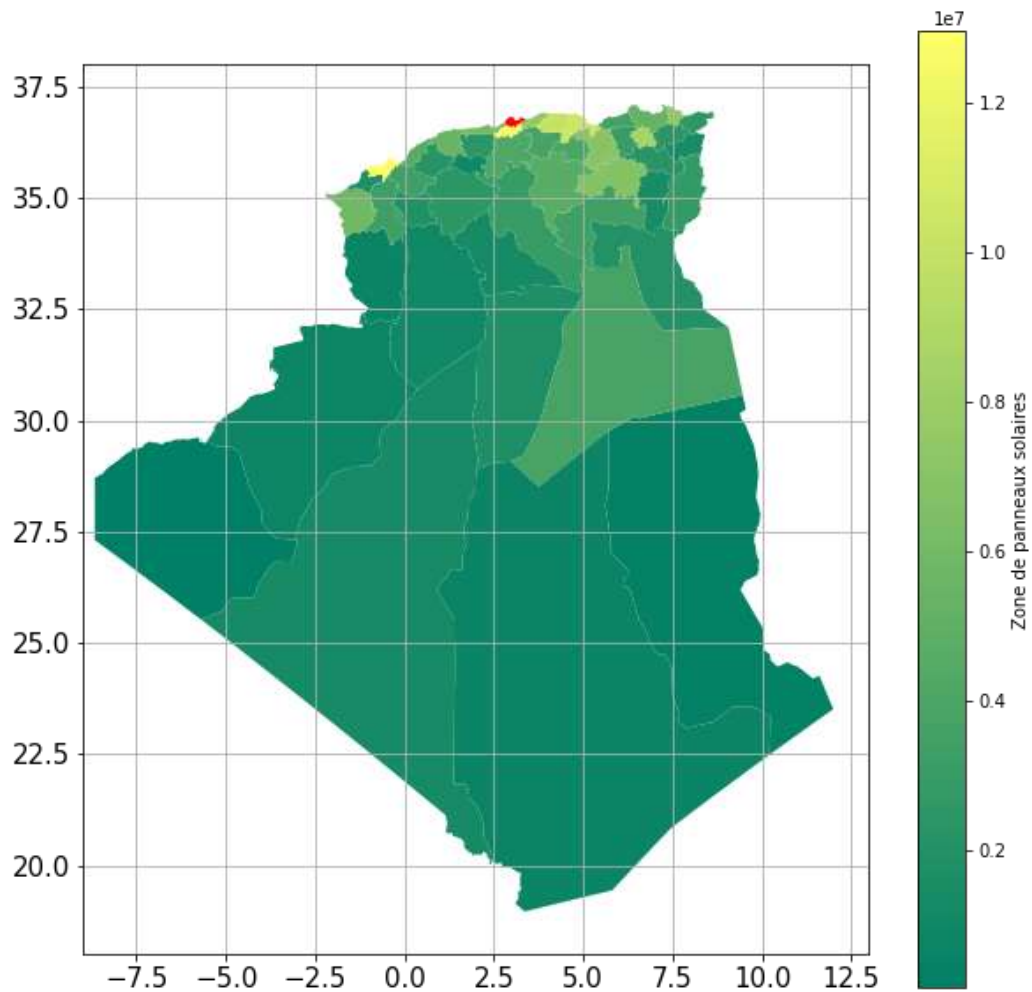


Figure 3-17: Répartition des espaces du système photovoltaïque pour répondre aux besoins en énergie électrique par an avec Taux de pénétration de 10 %.

A travers la Figure 3-17 qui montre la distribution des surfaces nécessaires pour être remplies avec les cellules photovoltaïques dont nous avons besoin pour produire l'énergie électrique dont l'électrolyseur a besoin en 2035 pour fournir la quantité d'hydrogène requise si le pourcentage de pénétration des voitures à hydrogène est de 10 % du marché des véhicules, avec une surface totale de 259.014 kilomètres carrés distribués aux états selon la demande de chaque wilaya. Elle atteint 72,71 kilomètres carrés dans la wilaya d'Alger, qui est la plus grande demande, alors qu'elle atteint 0,159 kilomètres carrés dans la wilaya de Tindouf, qui reflète la moindre demande. Ceci s'explique par une diminution du nombre de voitures à hydrogène attendue en 2035 si le taux de pénétration moyen est de 10%.

3.6.4. Coût de la construction et de l'exploitation d'une centrale électrique utilisant un système photovoltaïque en Algérie

Le tableau suivant indique la quantité d'hydrogène dont chaque État a besoin pour couvrir ses besoins en 2035 et le coût de la construction et de l'exploitation de la centrale électrique nécessaire à l'électrolyseur :

A travers le **Tableau 3-2**, on constate que le coût de production de l'électricité nécessaire à la production d'hydrogène pour couvrir la demande de tous les états d'Algérie est de 587 millions de dollars répartis sur tous les états, où il s'élève à 156 millions de dollars à Alger et 0,45 million de dollars dans l'état de Tindouf

Tableau 3-2 : la quantité d'hydrogène dont chaque État a besoin pour couvrir ses besoins en 2035 et le coût de la construction et de l'exploitation de la centrale électrique nécessaire à l'électrolyseur

Wilaya	La demande d'hydrogène [tonne/an]	Production d'hydrogène par un système solaire photovoltaïque		Wilaya	La demande d'hydrogène [tonne/an]	Production d'hydrogène par un système solaire photovoltaïque	
		Énergie électrique (GWh/an)	Coût (million \$/ kWh)			Énergie électrique (GWh/an)	Coût (million \$/ kWh)
Adrar	1 164,20	61,31	3,67	Contantine	6 470,18	340,76	19,50
Chlef	4 220,36	222,27	12,59	Médéa	3 289,18	173,23	9,50
Laghouat	1 138,48	59,96	3,27	Mostaganem	3 304,10	174,02	10,30
Oum El Bouaghi	1 804,51	95,04	5,23	M'sila	3 853,69	202,96	11,18
Batna	5 904,46	310,97	16,77	Mascara	2 698,16	142,10	7,95
Bejaia	7 023,66	369,91	22,44	Ouargla	3 100,91	163,31	9,66
Biskra	2 789,86	146,93	8,38	Oran	9 218,36	485,50	29,20
Bechar	742,26	39,09	2,18	El Bayadh	900,59	47,43	2,55
Blida	8 959,62	471,87	27,43	Illizi	338,12	17,81	1,02
Bouira	2 941,43	154,92	8,62	Bordj Bou Arrerridj	3 308,09	174,23	9,39
Tamanrasset	710,01	37,39	2,11	Boumerdes	5 450,35	287,05	16,82
Tébessa	2 464,48	129,80	6,81	El Tarf	1 726,39	90,92	5,54
Tlemcen	4 827,77	254,26	13,87	Tindouf	151,45	7,98	0,45
Tiaret	2 155,52	113,52	6,05	Tissemesilt	854,31	44,99	2,44
Tizi Ouzou	7 934,73	417,90	23,61	El Oued	1 613,79	84,99	4,91
Alger	51 765,56	2 726,32	159,52	Khenchela	1 338,74	70,51	3,71
Djelfa	2 577,17	135,73	7,19	Souk Ahras	1 065,49	56,12	3,24
Jijel	2 368,25	124,73	7,64	Tipaza	3 915,84	206,23	12,85
Sétif	5 800,06	305,47	16,42	Mila	2 372,28	124,94	7,06
Saida	1 551,40	81,71	4,52	Ain Defla	1 818,02	95,75	5,45
Skikda	3 548,88	186,91	11,39	Naama	662,14	34,87	1,89
Sidi Bel Abbes	2 700,22	142,21	7,91	Ain Temouchent	1 377,10	72,53	4,11
Annaba	5 014,35	264,09	16,24	Ghardaia	1 529,10	80,53	4,47
Guelma	1 650,28	86,91	5,15	Relizane	1 714,59	90,30	5,16

3.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une étude rétrospective du secteur du transport en Algérie, et nous allons également faire une étude proactive du secteur du transport en 2035 lorsque les véhicules à hydrogène pénétreront le secteur du transport routier. En déterminant le taux de pénétration à 10%, nous avons trouvé que la demande en hydrogène pour couvrir les besoins de ces véhicules sera de 69 kilotonnes. Afin de répondre à cette demande, nous avons proposé la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau, et nous avons trouvé que le besoin en électricité pour couvrir cette demande est de 10208 GWh par an, ce qui coûte un total de 587 millions de dollars.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons étudié le problème de l'augmentation de la consommation énergétique dans le secteur des transports en Algérie, ce qui augmente le taux de pollution et réduit les réserves énergétiques du pays et exerce une pression sur le réseau national. Pour résoudre ce problème et à travers nos recherches. Nous avons proposé des alternatives et des techniques afin de renforcer et de faire progresser ce secteur, puis sur la base de l'étude de la situation énergétique au niveau national en termes de ressources, de production et de consommation, nous avons choisi l'hydrogène produit à partir de l'électrolyse de l'électricité produite par le système photovoltaïque et les concentrateurs solaires comme alternative aux combustibles fossiles pour couvrir les besoins du secteur du transport.

Et pour cela, nous avons développé un plan proactif pour l'année 2035 en déterminant le pourcentage de pénétration des voitures à hydrogène sur le marché des véhicules comme suit : 10 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 % dans chacun des états d'Algérie. On s'attend à ce que le nombre de voitures à hydrogène si le taux de pénétration du marché est de 10 % atteigne 582 863 de véhicules de l'hydrogène à l'échelle nationale. 5.83 millions voitures a hydrogène si le taux de pénétration était de 100 %. Ensuite, nous avons déterminé la quantité d'hydrogène nécessaire à produire au niveau national, car elle s'élève à 193828 tonnes par an si le taux de pénétration est de 10%, et 1938285 tonnes par an si le taux de pénétration est de 100%. Et pour couvrir cette demande en hydrogène, nous avons calculé l'énergie électrique nécessaire pour couvrir ce besoin, car elle a atteint 10208 GWh par an répartis sur les wilayas d'Algérie, si le taux de pénétration des voitures à hydrogène était de 10 % répartis sur les provinces d'Algérie.

Afin de couvrir cette demande d'énergie électrique pour produire de l'hydrogène. Nous avons proposé de la produire à travers un système photovoltaïque, et un système de concentrateur solaire, à condition que ces deux systèmes fournissent l'énergie nécessaire en utilisant moins d'espace, et un faible coût de construction et d'exploitation, et nous avons trouvé que le meilleur système qui fournit cela est le système photovoltaïque comme La zone à occuper est de 259.014 kilomètres carrés à l'échelle nationale, répartis selon les besoins de chaque état. ce qui coûte un total de 587 millions de dollars.

Potentiel de maitrise de l'énergie dans le domaine des transports en Algérie

Résumé

La croissance continue de la demande énergétique, et les risques d'épuisement de ces ressources ainsi que le réchauffement climatique, démontrent clairement la nécessité d'amorcer la transition énergétique vers un modèle plus durable. Dans cette étude, nous avons mis en évidence le secteur des hydrocarbures (potentiel pétrolier) en Algérie afin de souligner le déficit enregistré en hydrocarbures, et la nécessité d'investir dans des carburants alternatifs aux carburants dérivés du pétrole. Ces résultats illustrent la nécessité d'examiner attentivement la recherche d'une autre source alternative de revenus pétroliers et énergétiques. A cet égard, de nombreuses solutions ont été présentées, mais ce qui nous préoccupe dans notre étude est de trouver des alternatives qui couvrent les besoins du secteur le plus consommateur. Les plus importantes sont le biodiesel, l'éthanol, l'électricité, le méthanol, le gaz naturel et l'hydrogène. Ensuite, nous avons suggéré la dépendance de l'Algérie à l'hydrogène renouvelable pour couvrir les besoins du secteur du transport routier, et pour cela nous avons réalisé une étude rétrospective du secteur du transport en Algérie et étudié de manière proactive le secteur du transport routier en 2035 lorsque les véhicules à hydrogène feront leur entrée. En fixant le taux de pénétration à 10%, nous avons constaté que la demande en hydrogène pour couvrir les besoins de ces véhicules serait de 69 kilotonnes. Pour répondre à cette demande, nous avons proposé la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau et trouvé l'électricité nécessaire pour couvrir cette demande de 10 208 GWh par an à un coût de 587 millions de dollars par centrale photovoltaïque qui occupera une superficie de 259 mètres carrés répartis sur les États d'Algérie .

Mots-clés : la transition énergétique, le biodiesel, l'éthanol, l'électricité, le méthanol, le gaz naturel et l'hydrogène, transport routier, électrolyse de l'eau

Potential for energy management in the field of transport in Algeria

Abstract

The continuous growth in energy demand, and the risks of depleting these resources as well as global warming, clearly demonstrate the need to initiate the energy transition towards a more sustainable model. In this study, we have highlighted the hydrocarbon sector (oil potential) in Algeria to highlight the deficit recorded in hydrocarbons, and the need to invest in alternative fuels to petroleum-derived fuels. These findings illustrate the need to carefully consider the search for another alternative source of oil and energy revenue. In this regard, many solutions have been presented, but what concerns us in our study is to find alternatives that cover the needs of the most consuming sector. The most important ones are biodiesel, ethanol, electricity, methanol, natural gas and hydrogen. Next, we suggested Algeria's dependence on renewable hydrogen to meet the needs of the road transport sector, and for that we conducted a retrospective study of the transport sector in Algeria and proactively studied the road transport sector in 2035 when hydrogen vehicles enter. Setting the penetration rate at 10%, we found that the demand for hydrogen to cover the needs of these vehicles would be 69 kilotons. To meet this demand, we proposed the production of hydrogen by electrolysis of water and found the electricity needed to cover this demand of 10,208 GWh per year at a cost of \$587 million per PV plant Which will occupy an area of 259 square meters distributed over the states of Algeria.

Keywords: energy transition, biodiesel, ethanol, electricity, methanol, natural gas and hydrogen, road transport, water electrolysis

إمكانية إدارة الطاقة في مجال النقل في الجزائر

المخلص:

يُظهر النمو المستمر في الطلب على الطاقة ، ومخاطر استنفاد هذه الموارد بالإضافة إلى الاحتباس الحراري ، بوضوح الحاجة إلى الشروع في انتقال الطاقة نحو نموذج أكثر استدامة. في هذه الدراسة ، قمنا بتسليط الضوء على قطاع الهيدروكربونات (إمكانات النفط) في الجزائر لتسليط الضوء على العجز المسجل في الهيدروكربونات ، والحاجة إلى الاستثمار في أنواع الوقود البديلة للوقود المشتق من البترول. توضح هذه النتائج الحاجة إلى النظر بعناية في البحث عن مصدر بديل آخر لإيرادات النفط والطاقة. في هذا الصدد ، تم تقديم العديد من الحلول ، ولكن ما يهمنا في دراستنا هو إيجاد بدائل تغطي احتياجات القطاع الأكثر استهلاكًا. أهمها وقود الديزل الحيوي والإيثانول والكهرباء والميثانول والغاز الطبيعي والهيدروجين. بعد ذلك ، اقترحنا اعتماد الجزائر على الهيدروجين المتجدد لتلبية احتياجات قطاع النقل البري ، ولهذا أجرينا دراسة بأثر رجعي لقطاع النقل في الجزائر ودرسنا بشكل استباقي قطاع النقل البري في عام 2035 عندما تدخل مركبات الهيدروجين. وبتحديد معدل الاختراق عند 10% وجدنا أن الطلب على الهيدروجين لتغطية احتياجات هذه المركبات سيكون 69 كيلوطن. لتلبية هذا الطلب ، اقترحنا إنتاج الهيدروجين عن طريق التحليل الكهربائي للماء ووجدنا الكهرباء اللازمة لتغطية هذا الطلب البالغ 10208 جيجاوات ساعة سنويًا بتكلفة 587 مليون دولار لكل محطة كهروضوئية التي سوف تشغل مساحة 259 متر مربع موزعة على ولايات الجزائر.

الكلمات المفتاحية: الانتقال الطاقي، وقود الديزل الحيوي، الإيثانول، الكهرباء، الميثانول، الغاز الطبيعي والهيدروجين، النقل البري، التحليل الكهربائي للماء

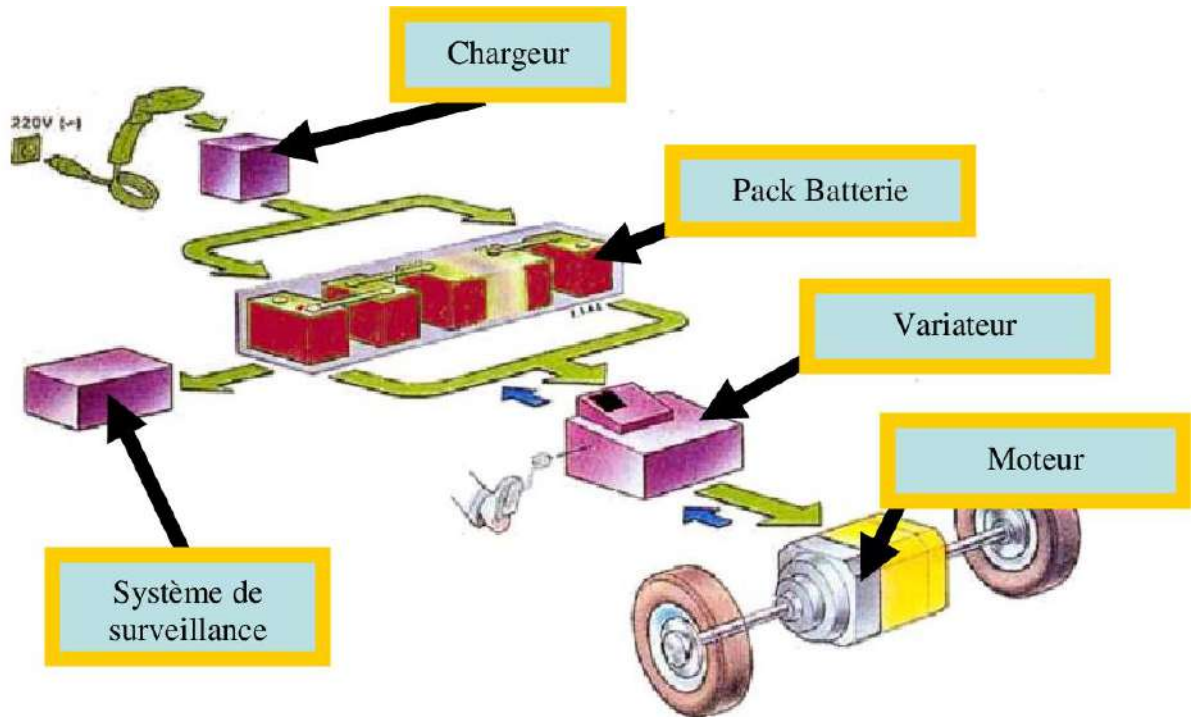
Références

1. BP, *BP Statistical Review of World Energy* British Petroleum, 2020.
2. Mekhelfi, A., *Evolution des exportations gazières de l'Algérie et son impact au sein de l'Opec (1970 à 2012)*. 04 № مجلة أداء المؤسسات الجزائرية, Université Kasdi Merbah – Ouargla, Algérie, 2013.
3. Mustapha Belmokadem, M.R.B., Anissa Ben Ramadan, *Le gaz naturel en Algérie : perspectives prometteuses et défis*. Algérie, Université de Mascara, Revue de l'organisation et du travail, Numéro 04, 2013.
4. Bashkeet, S., *La place du gaz naturel dans l'accord d'association entre l'Algérie et l'Union européenne*, in *Faculté des Sciences Economiques, Commerciales et de Gestion* 2009, Université Constantine 2.
5. BILAL, J., *Les biocarburants entre contrainte énergétique et contrainte alimentaire leçons tirées des expériences internationales*, in *Faculté des Sciences Economiques, Commerciales et de Gestion* 2019, Université de Constantine 2.
6. mines, m.d.l.e.e.d., *bilan énergétique national*, 2019 edition 2020.
7. *Enerdata* 21/06/2021.
8. SERVICE, A.P., *Energies renouvelables : l'Algérie troisième pays africain en capacité installée à fin 2020*. ALGÉRIE PRESSE SERVICE, 16 juin 2021.
9. 34), C.d.D.T.M.C. *Les énergies renouvelables : un potentiel très peu exploité*. 2016.
10. Djilali, M., *Contribution à la conception de la chaîne logistique de l'hydrogène* in *Génie mécanique* 14/01/2021 UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA
11. Ouissem BOUKHARI, *Energie éolienne en Algérie : potentiel et réalisations*. université de Blida 2., 2016.
12. Ministère de l'énergie: Energies Nouvelles, R.e.M.d.l.E., *Programme National des Énergies Renouvelables*, 2019, Ministère de l'énergie: Energies Nouvelles, Renouvelables et Maîtrise de l'Énergie.
13. McCormick, T.L.A.a.R.L., *Biodiesel Handling and Use Guide*, November 2016.
14. Quan X, Y.S., Ruan X, Zhao H. , *Preparation of titania nanotube and their environmental applications as electrode.*, 2005.
15. D. Humbird, R.D., L. Tao, C. Kinchin, and a.A.A. D. Hsu, *Process Design and Economics for Biochemical Conversion of Lignocellulosic Biomass to Ethanol*, May 2011.
16. Center, A.F.D. *Etahnol*. 2022.
17. Center, A.F.D., *Electricity*, 2022.
18. M.R. Nouni, P.J., Rudranath Sarkhel, Chandan Banerjee, Arun K. Tripathi, Joydev Manna, *Alternative fuels for decarbonisation of road transport sector in India: Options, present status, opportunities, and challenges* www.elsevier.com/locate/fuel, 6 August 2021.
19. Studies, T.O.I.f.E., *A review of prospects for natural gas as a fuel in road transport*. <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2019/04/A-review-of-prospects-for-natural-gas-as-a-fuel-in-road-transport-Insight-50.pdf>, 2019.
20. Center, A.F.D., *Natural Gaz*, 2022.
21. Center, A.F.D., *Hydrogen*, 2022.
22. Ibrahim Dincer , C.A., *Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability*, in www.elsevier.com/locate/he 2017.
23. Karunadasa HI, C.C., Long JR, *A molecular molybdenum-oxo catalyst for generating hydrogen from water*. , N. 2010;464:1329e33., Editor 2010.
24. El-Bassuoni AMA, S.J., Veziroglu TN, *Hydrogen and fresh water production from sea water*, I.J.H.E. 1982;7:919e23., Editor.

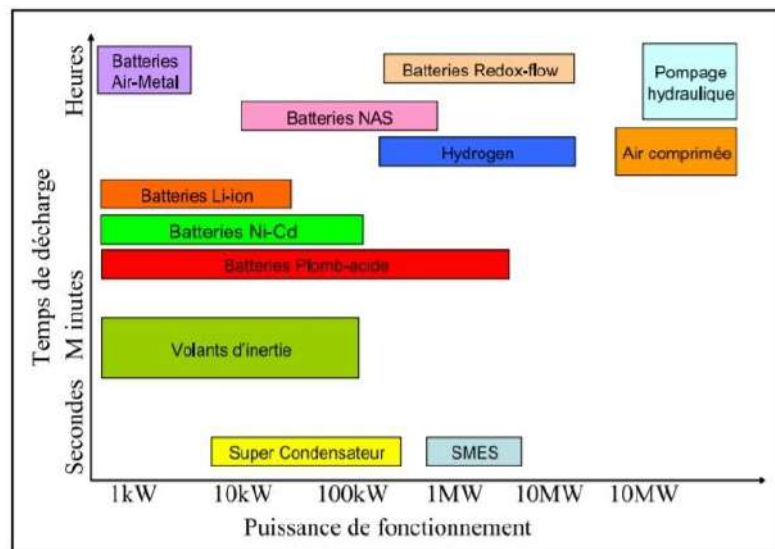
Références

25. Rand DAJ, D.R.E.E., *Fuels e hydrogen production: coal gasification*, 2009: Power Sources 2009:276e92.
26. Rabbani M, D.I., Naterer GF. , *Efficiency assessment of a photoelectrochemical chloralkali process for hydrogen and sodium hydroxide production.*, 2014.
27. [Acar C, D.I., *Analysis and assessment of a continuous- type hybrid photoelectrochemical system for hydrogen production.*, 2014.
28. carrier., R.B.A.C.o.a.s.h.a.a.e. *hydrogen as an energy carrier.* 2013.
29. R. Baker, L.C., N. Norboge, M. Moran, J. Wagner, B. , *Alternative Fuel Vehicle Forecasts, Final report.* , 2016.
30. Chandran., D., *Compatibility of diesel engine materials with biodiesel fuel, Renew.*, 2020.
31. T.L. Alleman, R.L.M., E.D. Christensen, G. Fioroni, K. Moriarty,J. Yanowitz., *Biodiesel Handling and Use Guide*, 2016.
32. U.S. Department, O.E., *Alternative Fuels and Advanced Vehicles*, 2020.
33. U.S. Department, O.E., *Natural Gas Vehicles*, 2020.
34. U.S. Department, O.E., *Alternative Fuels*, 2020.
35. Z.N. Anguita, D.G.G., D. Iribarren., *A review of techno-economic data for road transportation fuels*2019.
36. (EIA)., E.I.A., *International Energy Outlook 2019 with Projections to 2050* 2019.
37. Meisam Ahmadi Ghadikolaei, P.K.W., Chun Shun Cheung,Jing Zhao,Zhi Ning,Ka-Fu Yung, Hang Cheong Wong,Nirmal Kumar Gali, *Why is the world not yet ready to use alternative fuel vehicles?*, 6 July 2021.
38. Bloomberg, N.E.F., *Electric Vehicle Outlook 2020*, 2020.
39. (IEA), I.E.A., *Global EV Outlook 2019.*, Annual publication,2019
40. MOHAMMEDI, M., *Gestion de l'nergie pour une chaîne multisources*, 10 Juillet 2016, Université Mohamed Khider
41. *AI, 2017. Salon international des transports, de la logistique et de la mobilité*, consulte en 2022.
42. *AI, 2010. Salon international des transports, de la logistique et de la mobilité*, consulte 2022.
43. *Office National des Statistiques*, consulte le 20/04/2022.
44. UNDESA. *Population Division – World Population Prospects.* 2022.
45. Soumia Rahmouni , N.S.a., Belkhir Negrou a, and A. Gouareh, *GIS-based method for future prospect of hydrogen demand in the Algerian road transport sector*, 2015.

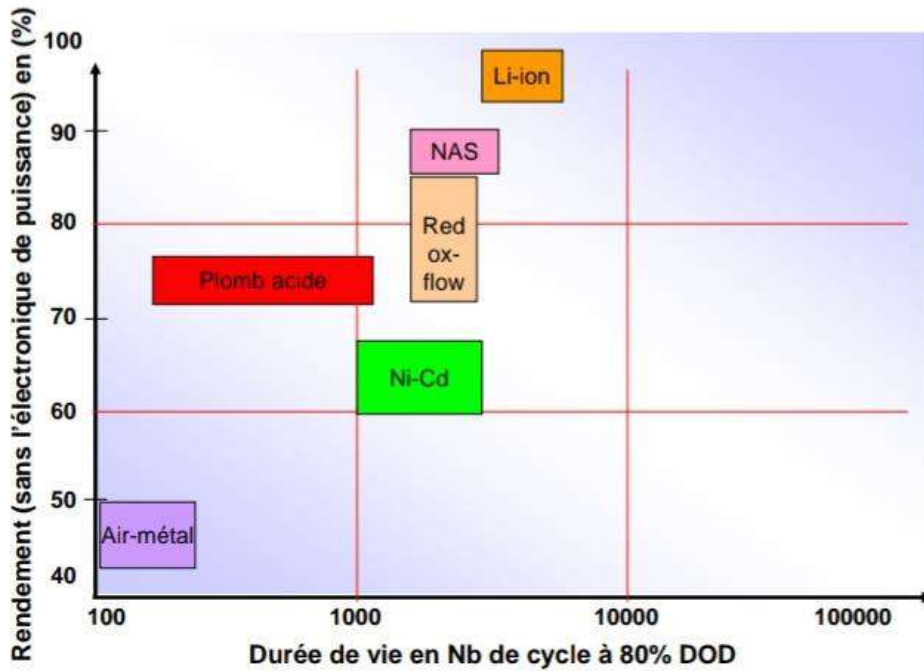
Annexes



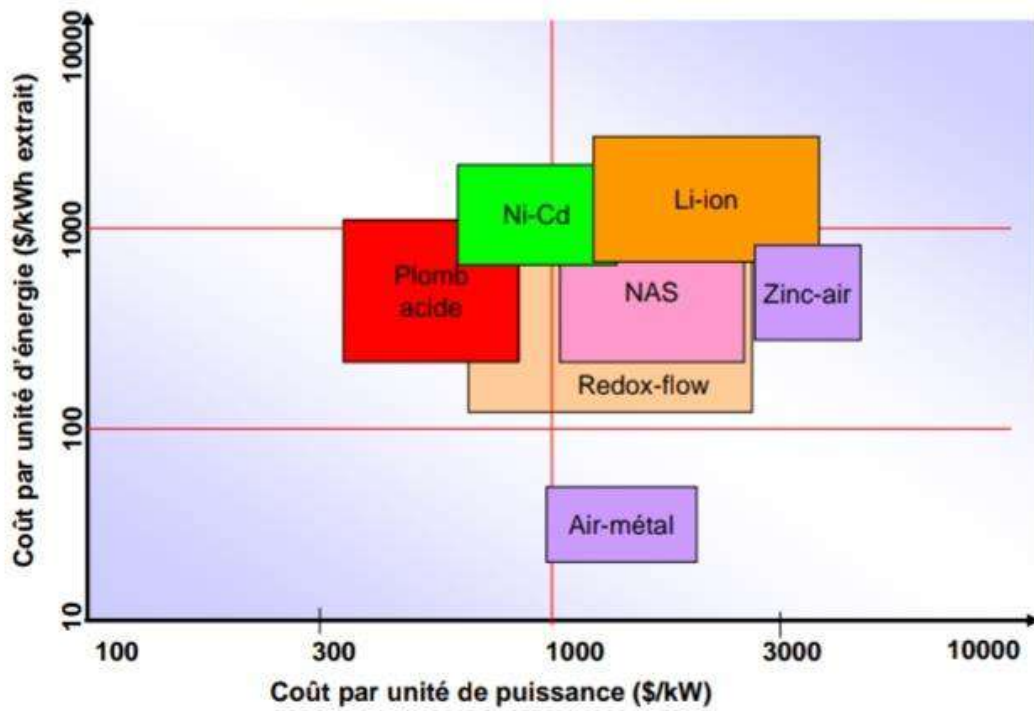
Annexe 1 : Chaîne de traction tout électrique



Annexe 2 : Comparaison des moyens de stockage en fonction de la puissance de fonctionnement et de la durée de la décharge



Annexe 3 : Durée de vie et rendement des différentes technologies de batteries



Annexe 4 : Coûts des différentes technologies d'accumulateurs

Table 1 – Comparison of hydrogen production methods (normalized) [33].						
Method	Energy efficiency	Exergy efficiency	Cost	SCC	GWP	AP
Electrolysis	5,3	2,5	7,34	3,33	3,33	8,86
Plasma arc decomposition	7	3,2	9,18	0,83	0,83	5,14
Thermolysis	5	4	6,12	7,5	7,5	7,43
Thermochemical water splitting	4,2	3	8,06	9,17	9,17	9,43
Biomass conversion	5,6	4,5	8,1	6,67	6,67	2
BG	6,5	6	8,25	5,83	5,83	0
Biomass reforming	3,9	2,8	7,93	6,25	6,25	0,86
PV electrolysis	1,24	0,7	4,5	7,5	7,5	7,71
Photocatalysis	0,2	0,1	5,19	9,58	9,58	9,71
Photoelectrochemical method	0,7	0,15	0	9,58	9,58	9,71
Dark fermentation	1,3	1,1	7,52	9,58	9,58	9,71
High temperature electrolysis	2,9	2,6	5,54	7,92	7,92	8,57
Hybrid thermochemical cycles	5,3	4,8	7,41	9,43	9,43	9,02
CG	6,3	4,6	9,11	0	0	1,31
Fossil fuel reforming	8,3	4,6	9,28	2,5	2,5	5,71
Biophotolysis	1,4	1,3	7,27	7,5	7,5	9,71
Photo-fermentation	1,5	1,4	7,61	9,58	9,58	9,71
Artificial photosynthesis	0,9	0,8	7,54	9,58	9,58	9,71
Photoelectrolysis	0,78	0,34	7,09	8,33	8,33	9,71
Ideal (zero-emissions and cost, 100% efficiency)	10	10	10	10	10	10

Annexe 5 : Comparaison des méthodes de production d'hydrogène

Sources thermales	Région	Faciès chimique	Résidus secs(mg/l)	Température(°C)	Débit(litre/seconde)
H. Chellala	Guelma	Sulfaté magnésien	1600	98	100
H. Bou Hadjar	Ain Témouchent	Chloruré sodique	3210	66.5	-
H. Bouhanifia	Mascara	Bicarbonaté sodique	1400	66	-
H.Boutaleb	Sétif	Chloruré sodique	3416	52	-
H. Essalihine	Khenchela	Chloruré sodique	2082	70	-
H. Salhine	Skikda	Sulfaté magnésien	2046	55	-
H. Sidi Bou Abdellah	Relizane	Chloruré sodique	1194	51	-
H. Delaa	M'sila	Sulfaté sodique	1980	42	-
H. Rabi	Saïda	Chloruré sodique	1524	47	-
H. Sillal	Bejaia	Chloruré sodique	2221	46	-
H.Ben Haroun	Constantine	Chloruré sodique	3762	42	10

Annexe 6 : Potentiel de l'hydroélectricité