

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie Chimique



Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Chimique

**La place de la locomotion électrique dans la
stratégie de transport à l'horizon 2030**

Réalisé par :

Lakhdar OULD MOUSSA et Omar CHEBILI

Sous la direction de :

Mr. Chems Eddine CHITOUR Professeur

Présenté et soutenu publiquement le 01-07-2021

Composition du jury :

Présidente	Mme. Fairouz Khalida KIES	MCA
Promoteur	Mr. Chems Eddine CHITOUR	Professeur
Examineurs	Mr. Toudert AHMED-ZAID Mr. Mourad HADDADI	Professeur Professeur
Invité	Mr. Adel BENTOUMI	Conseiller NAFTAL

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie Chimique



Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Chimique

**La place de la locomotion électrique dans la
stratégie de transport à l'horizon 2030**

Réalisé par :

Lakhdar OULD MOUSSA et Omar CHEBILI

Sous la direction de :

Mr. Chems Eddine CHITOUR Professeur

Présenté et soutenu publiquement le 01-07-2021

Composition du jury :

Présidente	Mme. Fairouz Khalida KIES	MCA
Promoteur	Mr. Chems Eddine CHITOUR	Professeur
Examineurs	Mr. Toudert AHMED-ZAID Mr. Mourad HADDADI	Professeur Professeur
Invité	Mr. Adel BENOTUMI	Conseiller NAFTAL

ENP 2021

ملخص : مكانة الحركية الكهربائية في إستراتيجية النقل بحلول عام 2030

نظرا للطلب المتزايد على الطاقة الأحفورية من جهة، وندرة هذه الموارد غير المتجددة من جهة أخرى، حان الوقت لكي نتطور دون استنفاد هذه الأخيرة، من دون تعزيز أسعارها، ودون تشبع الجو بالغازات المسببة للاحتباس الحراري التي تمثل خطرا على توازن المناخ. الجزائر في هذا السياق، ينبغي دون تأخير ان تضع استراتيجيات جديدة في ميدان الطاقة مع التوجه الى الحركية الكهربائية وذلك بتطبيق إستراتيجية التنمية البشرية المستدامة في استهلاكنا.

في هذه الاطروحة تم اقتراح استراتيجيات خاصة بقطاع النقل لتقدير طلب الطاقة في هذا القطاع بحلول عام 2030 وتحديد الكميات التي يمكن توفيرها من الوقود كالبنزين و الوقود لاسيما باستعمال مصادر طاوقية بديلة و عترشيد استهلاك الطاقة .

الكلمات المفتاحية : غاز البترول المميع، البنزين، الديزل، قطاع النقل، مركبات كهربائية.

Abstract : The place of electric locomotion in the transport strategy in 2030

Given the ever-increasing demand for fossil energy on the one hand, and the scarcity of non-renewable resources on the other, it is time to develop without exhausting the latter, without fostering a surge in prices and without saturating the atmosphere of greenhouse gases. In this context, Algeria must, immediately, develop a new strategy also integrate electric mobility, while applying the philosophy of sustainable human development to our mode of consumption.

An energy strategies dedicated to the transport sector is proposed in this graduation project in order to estimate the energy demand in this sector by 2030 and show the potential gains of conventional fuels (gasoline and diesel) including the introduction of alternative energy sources and the rationalization of fuel consumption.

Keywords : Liquefied petroleum gas, Gasoline, Gasoil, The transport sector, Electric vehicle.

Résumé : La place de la locomotion électrique dans la stratégie de transport à l'horizon 2030

Face à une demande énergétique en fossiles de plus en plus grandissante d'une part, et la rareté de ces ressources non renouvelables d'une autre part, il est le temps de se développer sans épuiser ces dernières, sans favoriser la flambée de leur prix et sans saturer l'atmosphère de gaz à effet de serre. L'Algérie dans ce contexte, doit sans tarder, développer de nouvelles stratégies énergétiques et intégrer la mobilité électrique graduellement, tout en appliquant la philosophie du développement humain durable à notre mode de consommation.

Des stratégies énergétiques dédiées au secteur du transport sont proposées dans le cadre de ce projet de fin d'études permettant d'estimer la demande énergétique dans ce secteur à l'horizon 2030 et de montrer les gains potentiels de carburants classiques (essence et gasoil) notamment en introduisant d'autres sources d'énergie et en rationalisant la consommation de carburant.

Mots clés : Secteur de transport, Gaz de pétrole liquéfié, Essence, Gasoil, véhicule électrique.

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à exprimer nos sentiments de gratitude et de reconnaissances au bon Dieu le tout puissant de nous avoir guidé et éclairé le chemin.

Nous tenons à remercier très vivement monsieur le Ministre Professeur Chems Eddine CHITOUR de nous avoir fait l'honneur de diriger ce travail. Nous le remercions pour tous ses aides, apports, remarques, conseils et orientations pour finaliser ce projet.

Nous remercions l'équipe du Ministère de la Transition Energétique et des Energies Renouvelables et spécialement Mlle. Nihal MANSOURI, pour tous ses aides et ses orientations.

Nous remercions les membres de jury qui ont accepté de juger ce travail.

Mme Fairouz Khalida KIES, qui nous fait l'honneur de présider le jury.

Mr Toudert AHMED-ZAID et Mr Mourad HADDADI qui nous font l'honneur de nous accorder de leur précieux temps pour examiner ce travail.

Nous tenons aussi à remercier l'ensemble du corps enseignant du département de génie Chimique de l'Ecole Nationale Polytechnique pour les efforts qu'ils ont fournis afin de bien nous former.

Un dernier remerciement à tous ceux qui ont contribué, de loin ou de près, à l'accomplissement de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce travail à ...

En premier lieu à mes parents, sans lesquels je n'y serai jamais ici, qui me sont d'un grand soutien par leurs sacrifices et leurs encouragements.

*Que Dieu me les
garde*

*A mes chers frères Mohamed, Mawloud et Amin.
Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement,
l'amour et l'affection que je porte pour vous. Je vous dédie
ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de
réussite.*

A mon Binôme et Ami Omar.

A tous mes chers amis : Radouen, Yakoub, Sid Ali, Saâd Eddine

Sans oublier les autres.

A toute ma promotion d'ingénieurs en Génie chimique.

2018/2021

*A toutes personnes qui
m'aime*

Lakhdar

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à ma chère Maman qui n'a pas cessé
de me soutenir.*

*Et à celui qui n'a pas eu la chance d'être présent
ce jour-là, mon Papa*

*A mes chers frères Wahid et Jalil, Et ma sœur Sara
Et surtout surtout les petits Raçim, Kosay et
la princesse Danya*

A ma famille.

A tous mes chers amis : Raouf, Rami, Taki et Aissa

Sans oublier les autres.

*A toutes personnes qui
m'aime*

Et à toute la promotion du Génie Chimique.

.

Omar

Sommaire

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE..... 15

CHAPITRE I : LE MONDE ENERGETIQUE ET LE SECTEUR DU TRANSPORT. 16

I.1 Introduction 17

I.2 L'énergie..... 17

I.2.1 Classement des sources d'énergie..... 18

I.2.1.1 Energie primaire..... 18

I.2.1.2 Energie finale 18

I.3 Etat des lieux 18

I.3.1. Le Monde 18

I.3.1.1 Consommation d'énergie primaire 18

I.3.1.2 Consommation d'énergie finale..... 21

I.3.1.3 Secteur des transports 24

I.3.1.4 Evolution de parc mondial :..... 26

I.3.2. L'Algérie..... 26

I.3.2.1 Consommation d'énergie en Algérie par secteur..... 27

I.3.2.1.1 Secteur des transports en Algérie..... 27

I.3.2.1.2 Parc automobile Algérien (PNA) :..... 29

I.3.2.1.2 La part des émissions de GES des transports en Algérie :..... 31

I.4 Changement climatique 32

I.5 Conclusion..... 34

CHAPITRE II : LES CARBURANTS ALTERNATIFS 35

II.1 Introduction : 36

II.2 Gaz de pétrole liquéfié (GPL) : 36

II.2.1 Aperçu général du GPL : 36

II.2.2.1 Gaz de pétrole liquéfié carburant (GPL _C) :	36
II.2.2.2 Fonctionnement de GPL _C dans une automobile	37
II.2.2. La demande de GPL	38
II.2.3. Le risque d'explosion	39
II.2.4. GPL en Algérie	39
II.2.4.1. La promotion du GPL carburant en Algérie	40
II.3 Gaz naturel (GN) :	42
II.3.1 Gaz naturel comprimé GNC	42
II.3.2 L'histoire du GNC dans le secteur automobile	42
II.3.2 L'exploitation actuelle du GNC	43
II.3.2 Contraintes et inconvénients de GNC	44
II.3.3 Le GNC en Algérie	45
II.4 Moteur Dual-Fuel :	45
II.4.1. Fonctionnement du moteur Dual-Fuel :	45
II.4.2. Avantages du Dual-Fuel	46
II.4.3. Dual-Fuel : Diesel/GPLc en Algérie	46
II.5 Conclusion	47
CHAPITRE III : LA MOBILIE ELECTRIQUE	48
III.1 Introduction	49
III.2 La mobilité électrique, une transition écologique et énergétique	49
III.3 L'histoire de la voiture électrique	50
III.4 Principe de fonctionnement	51
III.4.1 Architecture d'une voiture électrique	51
III.4.2 La recharge	52
III.4.3 Convertisseur	52
III.4.4 La batterie	52
III.4.5 Moteur électrique	52
III.4.6 Transmission	52
III.5 Les différences entre une voiture hybride, hybride rechargeable et électrique	53
III.5.1 Les différences techniques	53
III.5.3 Les différences en matière de confort d'utilisation	54
III.5.4 Les différences en matière de pollution	55
III.5.4 Coût	55

III.6 La course vers la mobilité électrique	56
III.7 Avantages et Inconvénients du véhicule électrique	57
III.7.1 Avantages du véhicule électrique :	57
III.7.2 Inconvénients du véhicule électrique	57
III.8 Véhicules électriques ou thermiques	59
III.8.1 Emissions en polluants	59
III.8.2 Consommation des ressources	60
III.8.3 Efficacité en termes d'énergie finale :	61
III.9 Conclusion	62
CHAPITRE IV : L'ELABORATION DES MODELES ENERGETIQUES DANS LE SECTEUR DU TRANSPORT A L'HORIZON 2030.....	63
IV.1 Introduction	64
IV.2 Etats des lieux du PNA :	65
IV.2.1 Nombre des véhicules	65
IV.2.2 Situation du PNA par tranche d'Age	66
IV.2.3 Consommation des carburants 2021	68
IV.2.4 Données et hypothèses de calcul.....	70
IV.3 Scénario Fil de l'eau	73
IV.3.1 Prévision de la population Algérienne en 2030	73
IV.3.2 Prévision du parc du transport à l'horizon 2030.....	73
IV.3.3 Prévision de la consommation totale à l'horizon 2030	74
IV.4 Modèles énergétiques durables pour le secteur des transports à l'horizon 2030.....	75
IV.4.1 Modèle énergétique réaliste	75
IV.4.2 Modèle énergétique volontariste.....	79
IV.5 Aspect environnemental	83
IV.5.1 Les émissions actuelles de CO ₂ issues du secteur des transports 2021	83
IV.5.2 Le scénario fil de l'eau.....	83
IV.5.3 Modèle énergétique réaliste	84
IV.5.4 Modèle énergétique volontariste	85
IV.6 Comparaison des scénarios.....	85
IV.6.1 Consommation	85
IV.6.2 Emissions	88
IV.6.3 Coût.....	89

IV.7 Gain	89
IV.7.1 Le Gain entre le Scénario fil de l’eau et le modèle réaliste	89
IV.7.2 Le Gain entre le Scénario fil de l’eau et le modèle volontariste	90
IV.8 Conclusion	91
CHAPITRE V : STRATEGIES DE DEPLOIEMENT DU PARC ELECTRIQUE.....	92
V.1 Introduction.....	93
V.2 Aspect technologique.....	94
V.2.1 Batterie	94
V.2.2 Bornes de recharge	95
V.2.3 Choix de la borne	95
V.2.4 Echange de batterie	97
V.3 Rôle des gouvernements dans le déploiement des VEs	99
V.3.1 Politique de déploiement de la mobilité électrique	100
V.3.2 Recommandations stratégiques	100
V.4 Proposition d’une démarche de déploiement d’un réseau des bornes de recharge.	101
V.5 Conclusion	103
CONCLUSION GENERALE	104
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	106
ANNEXE.....	112

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1: Consommation mondiale d'énergie primaire par habitant en 2019	21
Tableau I-2: Répartition du parc automobile de l'Algérie par type de véhicule en 2018	29
Tableau I-3: Répartition du parc automobile de l'Algérie selon la source d'énergie en 2018	30
Tableau II-1: les caractéristiques physiques de GPLc	37
Tableau II-2: Emissions de CO ₂ (gramme/kilomètre du puits à la roue) et la teneur en pourcentage du GPL, de l'essence et du gasoil en CO, CH, NO _x , plomb et soufre	41
Tableau III-1: Les principaux métaux qui composent la majorité des cellules des batteries (60
Tableau IV-1: Consommation par type de carburant 2021	69
Tableau IV-2: Prix des carburants 2021	71
Tableau IV-3: Densité des carburants	71
Tableau IV-4: les hypothèses de calcul – Véhicules thermiques-	71
Tableau IV-5: Les hypothèses de calcul pour les véhicules électriques	72
Tableau IV-6: Evolution du nombre des véhicules par type de carburant 2021-2030 modèle réaliste	76
Tableau IV-7: Evolution du nombre de véhicules et la consommation totale à l'horizon 2030 Modèle réaliste	78
Tableau IV-8: Evolution du nombre des véhicules par type d'énergie 2021-2030 modèle volontariste	80
Tableau IV-9: Evolution du nombre de véhicules et la consommation totale à l'horizon 2030 modèle volontariste	82
Tableau IV-10: Prévision des émissions du CO ₂ à l'horizon 2030 en Mt scénario fil de l'eau	84
Tableau IV-11: Prévision des émissions du CO ₂ à l'horizon 2030 en Mt-modèle réaliste	84
Tableau IV-12: Les émissions du CO ₂ à l'horizon 2030 en Mt-le modèle volontariste	85
Tableau IV-13: Le Gain entre le scénario fil de l'eau et le modèle réaliste 2021-2030	90
Tableau IV-14: Le Gain entre le scénario fil de l'eau et le modèle volontariste 2021-2030	90
Tableau V-1: Les trois principaux types d'alimentation pour un VE	95
Tableau V-2: Différents types de mesures de soutien pour les VEs.	99

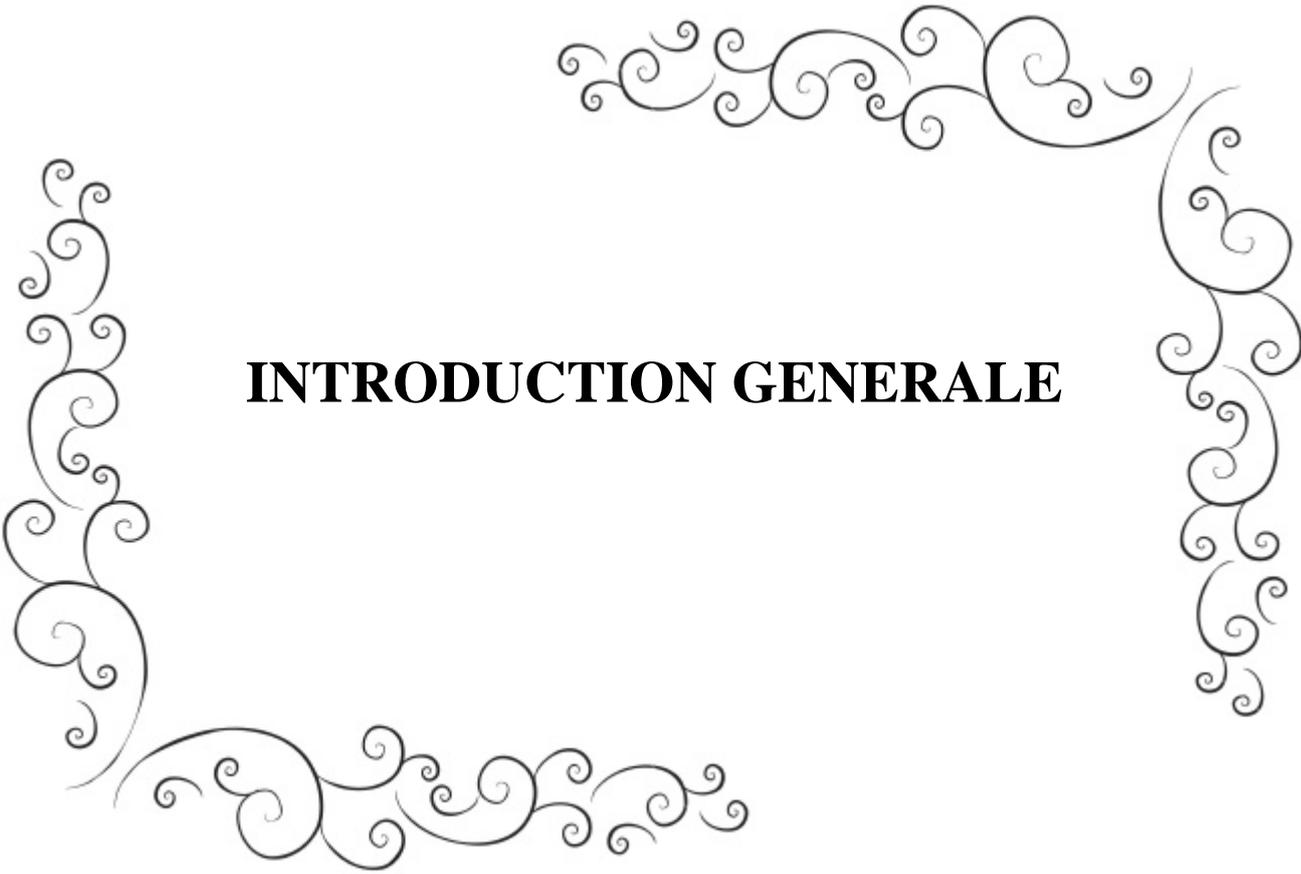
LISTE DES FIGURES

Figure I-1: Consommation de l'énergie totale dans le monde 2019	19
Figure I-2: La consommation d'énergie par zone en 2019	20
Figure I-3: Comparaison de la consommation énergétique par habitant dans le monde 2019	21
Figure I-4: Evolution de la consommation mondiale du pétrole par secteur 1971-2018	22
Figure I-5: Parts de la consommation finale mondiale des produits pétroliers en 2018	23
Figure I-6: Evolution de la consommation mondiale du Gaz naturel par secteur 1971-2018	23
Figure I-7: Part de la consommation finale du gaz naturel par secteur en 2018	24
Figure I-8: Répartition de la consommation d'énergie par mode de transport 2018	25
Figure I-9: Evolution du parc mondial d'automobile 2008-2019	26
Figure I-10: Répartition de la consommation d'énergie par secteur 2019	27
Figure I-11: Répartition de la consommation des transports par mode (2019)	28
Figure I-12: La situation du parc automobile Algérien par genre en 2018	30
Figure I-13: Répartition de la consommation selon type d'énergie 2018	31
Figure I-14: part des émissions de GES en Algérie- 2015	31
Figure I-15: Evolution de la consommation d'énergie et des émissions de CO ₂ 1965-2019	32
Figure I-16: Part des émissions des GES par secteur-2016	33
Figure II-1: La demande de GPL par secteur en 2018	39
Figure II-2: Station-service de GPL	40
Figure II-3: Émissions comparées essence-gaz naturel de véhicules légers	44
Figure II-4: Schéma d'un moteur Dual-Fuel.	46
Figure III-1: Photographie de 1884 qui présenterait la voiture électrique de l'inventeur britannique Thomas Parker	50
Figure III-2: Architecture d'une voiture électrique	51
Figure III-3: Pays avec la plus grande part de véhicules électriques et hybrides dans les ventes de voitures -2020	56
Figure III-4: Les émissions de CO ₂ sur le cycle de vie pour les différents types de véhicules et de carburants	59
Figure III-5: Consommation d'énergie sur le cycle de vie des VEs	62
Figure IV-1: Evolution du PNA, au cours des années 2015-2020	65
Figure IV-2: Répartition du PNA selon le type de carburant (2020)	66
Figure IV-3: Répartition du PNA par tranches d'âge - 2018	66
Figure IV-4: Répartition des véhicules de tourisme selon les tranches d'Age 2018	67
Figure IV-5: Répartition des camions selon les tranches d'âge 2018	68
Figure IV-6: Consommation totale des carburants 2008-2021	68
Figure IV-7: Répartition de la consommation des carburants dans le PNA (2021)	69
Figure IV-8: Evolution du prix de gasoil et essence en Algérie 2015-2021	70
Figure IV-9: Evolution de la population Algérienne 2015-2021	73
Figure IV-10: Evolution du parc des véhicules à l'horizon 2030 -Fil de l'eau-	74

Figure IV-11: Evolution de la consommation des carburants scénario fil de l'eau en Mt (2008 -2030).	74
Figure IV-12: Répartition du PNA par type d'énergie en 2030-Modèle réaliste	77
Figure IV-13: Evolution de la consommation par type d'énergie 2020-2030 modèle réaliste	78
Figure IV-14: Répartition du PNA par type d'énergie en 2030-Modèle volontariste	81
Figure IV-15: Evolution de la consommation par type d'énergie 2021-2030 modèle volontariste	82
Figure IV-16: Parts des émissions de CO ₂ par type de carburant 2021	83
Figure IV-17: Comparaison de la consommation de gasoil et essence des trois scénarios 2021-2030	86
Figure IV-18: Comparaison de la consommation de GPLc et d'électricité des trois scénarios 2021-2030	87
Figure IV-19: Comparaison de la consommation totale des trois scénarios 2021-2030	88
Figure IV-20: Comparaison des émissions des trois scénarios 2021-2030	88
Figure IV-21: Comparaison du coût des trois scénarios 2021-2030	89
Figure V-1: Batterie d'une voiture électrique	94
Figure V-2: Différents types des bornes de recharge	95
Figure V-3: Borne de recharge Wallbox	96
Figure V-4: Borne rapide	96
Figure V-5: Prise de recharge d'un particulier	98
Figure V-6: Exemple de la distribution des bornes électriques dans la partie Nord de l'Algérie durant la période (2022 - 2025)	102
Figure V-7: Déploiement des bornes électriques à grandes échelle à l'horizon 2030	103

LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviations	Significations
AC	Alternating Current
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AIE	Agence internationale de l'énergie
APRUE	Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie
ARH	Autorité de Régulation des Hydrocarbures
Bbl/j	Barils par Jour
BTP	Bâtiment et Travaux Publics
CO	Oxydes de Carbone
CO₂	Dioxyde de Carbone
DC	Direct Current
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GJ	Gigajoule
GN	Gaz Naturel
GNC	Gaz Naturel Comprimé
GPL	Gaz de Pétrole Liquéfié
GPLc	Gaz de Pétrole Liquéfié carburant
Gt	Giga tonnes
h	Heure
HEV	Véhicule électrique hybride (Hybrid electric vehicle)
IEA	Agence Internationale de l'Energie
IFPEN	Institut français du pétrole Energies nouvelles
IRVE	Infrastructure de recharge pour véhicules électriques
kg	Kilo gramme
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattheure
m³	Mètre cube
MJ	Méga joules
Mt	Millions de tonnes
Mtep	Millions de Tonnes Equivalent Pétrole
NO_x	Oxyde d'Azote
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OEM	Fabricant d'équipement d'origine (Original Equipment Manufacturer)
ONG	Organisation non gouvernementale
ONS	Office National des Statistiques
PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur
PHEV	Véhicule électrique rechargeable (Plug-In hybrid EV)
PNA	Parc national automobile
TVA	Taxe sur la valeur ajoutée
USA	États-Unis d'Amérique
VCI	Interface de communication véhicule
VEs	Véhicules électriques (electric vehicles)

A decorative border composed of elegant, symmetrical scrollwork and flourishes, framing the central text. The design is reminiscent of classical or Art Nouveau styles, with flowing lines and intricate patterns.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La demande mondiale d'énergie ne cesse d'augmenter depuis l'existence de l'homme jusqu'à nos jours. Le concept d'énergie apparaît sous différentes formes : fossile, nucléaire et renouvelables... selon ses utilisations pour les besoins humains : lumière, chaleur et sécurité. Comme sa disponibilité, son abondance ou sa rareté affectent le mode de vie humain, la demande croissante résultante notamment de la croissance démographique crée de nouveaux défis, dont certains peuvent avoir un impact négatif sur l'environnement, comme le dilemme du changement climatique.

L'objectif de l'homme sera toujours de rechercher un niveau de vie élevé, un accès plus moderne aux services énergétiques et un environnement plus propre. La clé de ces opportunités est l'énergie verte.

Parmi les secteurs gourmands en énergie, le secteur des transports, qu'est considéré parmi les principaux consommateurs de l'énergie, puisqu'il représente presque la moitié de la part totale de l'énergie. L'impact mentionné précédemment apparaît également dans ce secteur, où le mix énergétique repose principalement sur les fossiles.

Les défis environnementaux requièrent la diligence des gouvernements et des organisations internationales pour limiter les émissions du Dioxyde de Carbone (CO₂). Malgré leurs efforts, la question est toujours présente. L'augmentation de la production d'énergie spécifiquement à partir d'énergie fossile crée un problème majeur qui, d'une manière ou d'une autre, a encouragé positivement à réfléchir à des sources alternatives pour la production d'énergie.

Notre étude repose sur l'analyse du secteur des transports mondial et national Algérien avec une examination approfondie de la consommation d'énergie, suivie par l'élaboration de nouveaux modèles énergétiques durables 2030, qui présentent un ensemble de solutions permettant la promotion de l'utilisation des énergies propres et développer des nouvelles alternatives au carburants fossiles polluants.

Ces modèles énergétiques permettront non seulement de suivre l'évolution de la consommation énergétique dans ce secteur, mais de réfléchir sur le futur mix énergétique du pays et d'accélérer la transition vers les énergies propres.

CHAPITRE I : LE MONDE
ENERGETIQUE ET LE SECTEUR DU
TRANSPORT

I.1 Introduction

L'énergie est un outil indispensable dans la vie quotidienne. Elle est générée et utilisée par l'humain depuis le début de sa civilisation, de la domestication des animaux jusqu'à la combustion des fossiles et les centrales nucléaires. Le monde de nos jours produit son énergie par la combustion des matières premières d'origine fossile (le pétrole et de gaz naturel), les énergies renouvelables (éolienne, solaire, géothermique, etc.) et l'énergie nucléaire. Une grande partie de l'énergie produite et consommée vient du pétrole et du gaz naturel qui représentent aujourd'hui plus des trois quarts de la consommation mondiale d'énergie primaire, dans les transports, l'industrie et l'habitat. Elles sont également largement majoritaires (plus de deux tiers) dans la production de l'électricité, malgré la progression continue de la part des énergies renouvelables. Cette position dominante devrait se maintenir pendant plusieurs décennies.

Ce régime de consommation pose des contraintes et des problématiques telles que le changement climatique, le déséquilibre du niveau de consommation entre les pays développés et les pays du tiers monde, l'explosion démographique, ce qui met l'humanité dans une situation critique afin de choisir son destin : continuer sur ce régime ou faire appel aux sources et aux énergies vertes.

L'Algérie est un pays qui dépend fortement des hydrocarbures, économiquement et majoritairement dans le secteur du transport. Les consommations énergétiques, notamment de pétrole brut et d'hydrocarbures liquides se situent à 97 % des besoins.

Les transports pèsent lourdement sur le climat, la sécurité énergétique, car la majorité de l'énergie utilisée dans ce secteur provient de combustibles fossiles. Il est à l'origine d'autres défis critiques en raison de son rôle de soutien dans les économies locales et mondiales, ainsi que les effets sur la santé humaine et les interactions sociales.

I.2 L'énergie

Pendant son existence sur terre, l'homme a utilisé pour son développement, l'amélioration de sa vie et la compensation de ses besoins quotidiens un paramètre indispensable qui fait partie de l'univers c'est l'énergie, cette énergie se développe et ses sources se développent avec l'augmentation des exigences de l'humanité. La première forme de l'énergie qui a été utilisée par l'homme est l'énergie musculaire de l'homme lui-même et celle des animaux

mais cette énergie n'était pas suffisante, à ce moment l'homme a commencé à chercher d'autres formes d'énergie dont la plus connue et la plus utilisée est l'énergie fossile (Pétrole, Gaz naturel et Charbon) qui est tirée du sous-sol par plusieurs méthodes.

I.2.1 Classement des sources d'énergie

I.2.1.1 Energie primaire

Toute la consommation d'énergie destinée à satisfaire les divers besoins de l'homme est issue de formes d'énergies dites primaires qui sont soit épuisables (énergies fossiles comme le charbon, le pétrole, le gaz naturel, mais aussi l'uranium), soit renouvelables (énergies hydraulique, éolienne, marines, géothermique et solaire, y compris la biomasse).

I.2.1.2 Energie finale

On utilise le terme d'énergie finale, ou consommation finale, lorsque l'on considère l'énergie au stade final de la chaîne de transformation de l'énergie, c'est-à-dire au stade de son utilisation par le consommateur final.

I.3 Etat des lieux

L'énergie étant un élément indispensable dans notre vie, il est important d'en avoir une bonne connaissance. L'objectif de cette partie est donc d'apporter toute une série de statistiques et des chiffres clés sur la consommation énergétique au niveau mondial, ainsi que L'Algérie.

I.3.1. Le Monde

I.3.1.1 Consommation d'énergie primaire

Au cours de l'année 2019, la consommation d'énergie primaire a augmenté de 1,3% par rapport à 2018, soit moins de la moitié du taux de 2018 (2,8%). Malgré cela, elle représente toujours la dixième année consécutive que le monde a établi un nouveau record absolu de consommation d'énergie.

La majeure partie de l'augmentation de la consommation d'énergie, 41 %, provient des sources d'énergie renouvelables. Le gaz naturel a contribué au deuxième plus grand accroissement en importance, avec 36 %. Cependant, en tant que part globale de la consommation d'énergie, le pétrole est toujours en tête avec 33 % de la consommation totale d'énergie. La consommation d'énergie dans le reste du monde provient du charbon 27 %, du gaz naturel 24 %, de l'hydroélectricité 6 %, des énergies renouvelables 5 % et du nucléaire 4 %.

La Chine a représenté les trois quarts de la croissance de la consommation mondiale d'énergie, suivie de l'Inde et de l'Indonésie. Par contre, les États-Unis et l'Allemagne connaissant les baisses les plus importantes.

La figure suivante représente la consommation mondiale d'énergie primaire 2019.

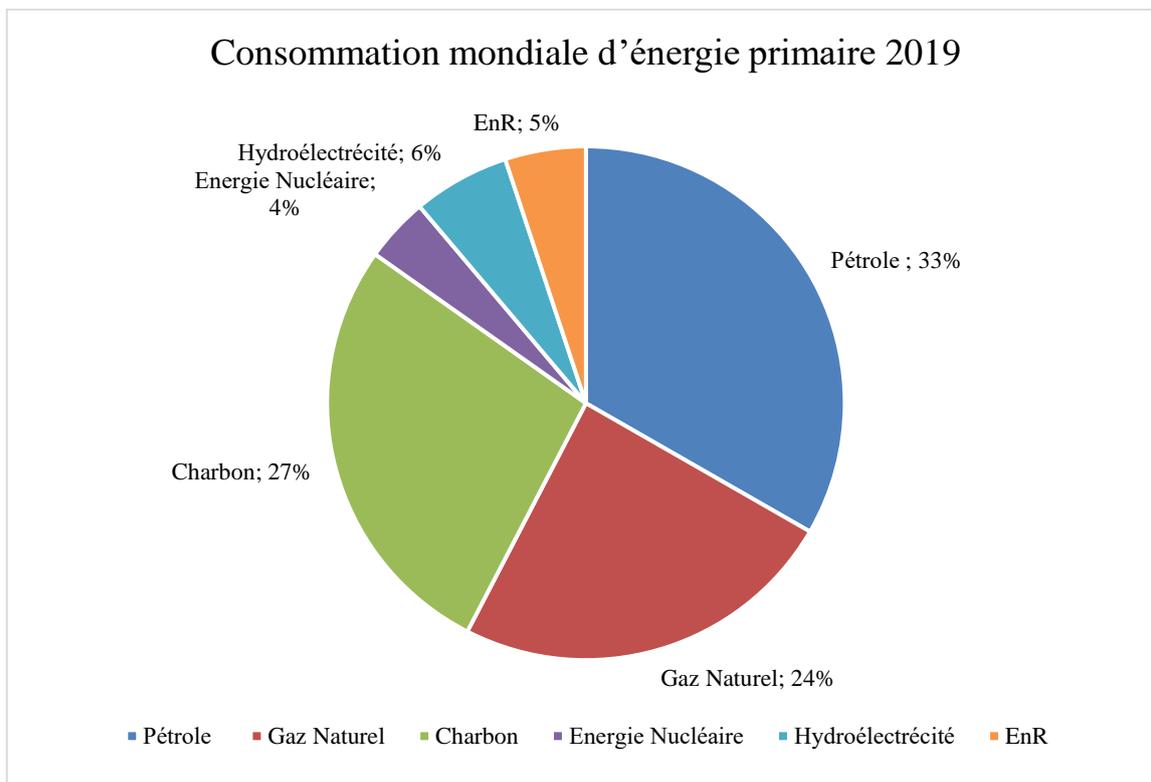


Figure I-1: Consommation de l'énergie totale dans le monde 2019 (1)

Comme illustré ci-dessus dans la Figure I-1, les combustibles fossiles représentaient encore 84% de la consommation mondiale d'énergie primaire en 2019. (1)

La consommation d'énergie primaire par grande zone géographique

Les énergies fossiles représentent la majorité du mix énergétique de toutes les grandes régions du monde, mais il existe des différences entre les régions : par exemple, le pétrole, le gaz naturel et le charbon représentent 67,4 % de du mix énergétique de l'Amérique centrale et du Sud, 73,6% en Europe, 81,7% en Amérique du Nord et 98,8% au Moyen-Orient. (1)

La figure I-2 illustre les parts de consommation des grandes régions par type d'énergie.

Monde La consommation d'énergie par zone en 2019

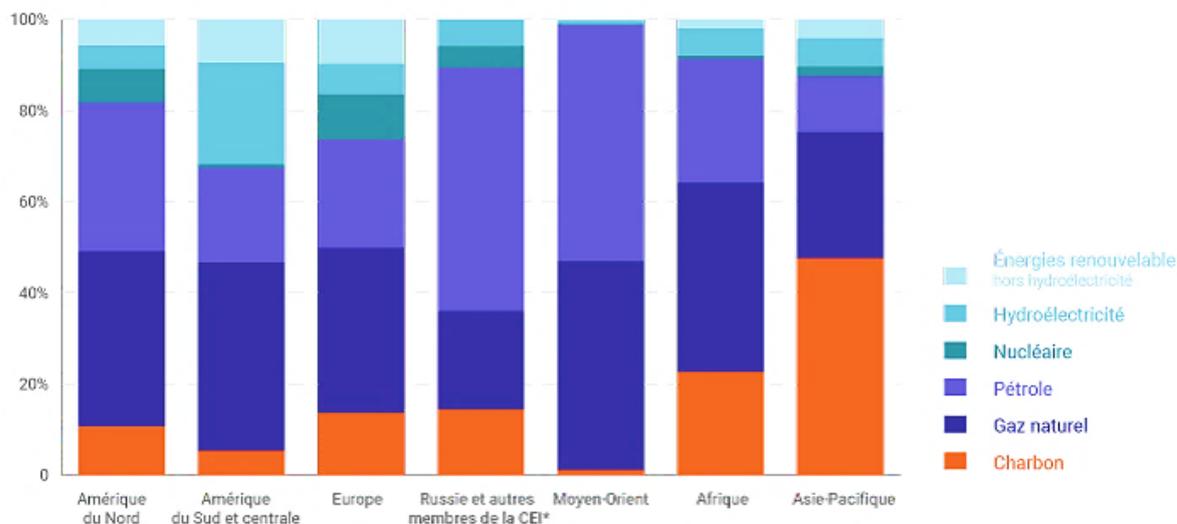


Figure I-2 : La consommation d'énergie par zone en 2019 (1)

On remarque l'importance du charbon dans la zone Asie-Pacifique (la Chine, l'Inde) dont 47,5% de la consommation d'énergie primaire a reposé sur ce combustible en 2019, contre 13,5% en Europe (Allemagne) car il est utilisé pour la production d'électricité dans des centrales à charbon. (2)

Consommation de l'énergie primaire par habitant :

Lorsqu'on s'intéresse à la consommation par habitant, on voit bien que les conditions de vie et le niveau de développement du pays ont une forte influence. Leurs modes de vie ne cessent d'évoluer ce qui conduit à une baisse des dépenses dans l'habillement et l'alimentation, mais aussi à une augmentation dans les secteurs les plus énergivores tels que les communications, les transports et les loisirs. (1)

Le tableau I-1 montre parfaitement ces disparités de consommation par habitant :

- La consommation par habitant aux Etats Unis est presque 20 fois supérieure à celle de l'Afrique, alors que les Américains sont 4 fois moins nombreux.
- Les Chinois sont 4 fois plus nombreux que les Américains, mais ils consomment 3 fois moins que les Américains.
- Les Européens, qui sont deux fois plus nombreux que les Américains, consomment plus de 2 fois moins d'énergie par habitant.

Tableau I-1: Consommation mondiale d'énergie primaire par habitant en 2019 (3)

Pays	population mondiale (%)	consommation mondiale (%)	consommation par rapport à la consommation moyenne par habitant (75,7 GJ)(%)
Chine	18,47	24,27	130,51
Inde	17,70	5,83	32,89
Afrique	17,2	3,40	20,07
Europe	9,59	14,36	163,27
Etats-Unis	4,25	16,21	379,92

La figure (figure I-3) illustre la différence de la consommation d'énergie par habitant dans le monde.

La figure I-3 représente la comparaison de la consommation énergétique par habitant dans le monde 2019.

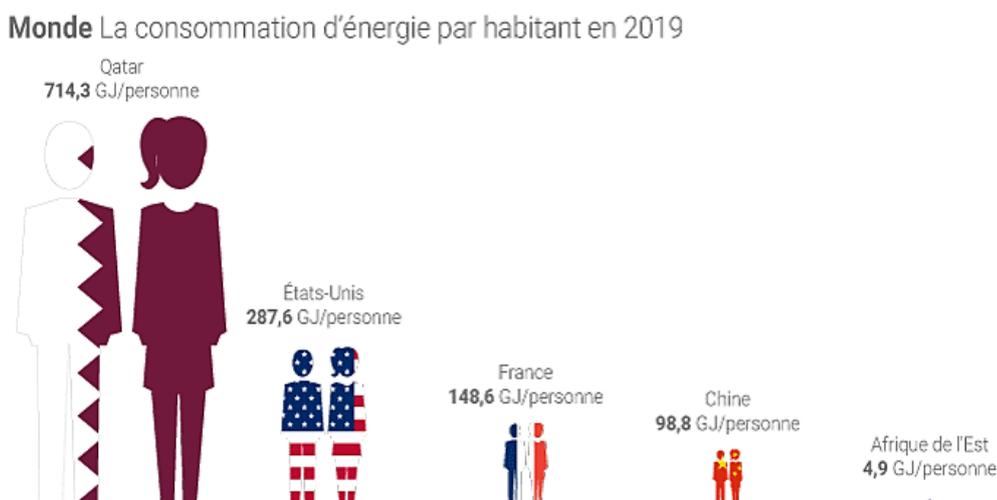


Figure I-3: Comparaison de la consommation énergétique par habitant dans le monde 2019 (3)

I.3.1.2 Consommation d'énergie finale

Depuis la révolution industrielle, la consommation d'énergie n'a cessé d'augmenter. La consommation mondiale d'énergie finale a augmenté de 109 % en 44 ans. Elle illustre les besoins énergétiques des consommateurs finaux et dépend du niveau d'activité économique, des standards de vie, des conditions climatiques, ou encore des progrès de la technologie.

(1)

Consommation d'énergie finale totale par secteur

Elle est déclinée par secteur (industrie, bâtiment, tertiaire, agriculture, transport) et par vecteur (charbon, produits pétroliers, gaz naturel, électricité, autres). (4)

Produits pétroliers

Le pétrole, première source d'énergie dans le monde, satisfait 33 % des besoins énergétiques et reste la source d'énergie la plus utilisée dans les transports et la pétrochimie. La consommation mondiale de pétrole représente 99,3 mb/j en 2018. (5)

La figure I-4 représente l'évolution de la consommation mondiale du pétrole par secteur 1971-2018.

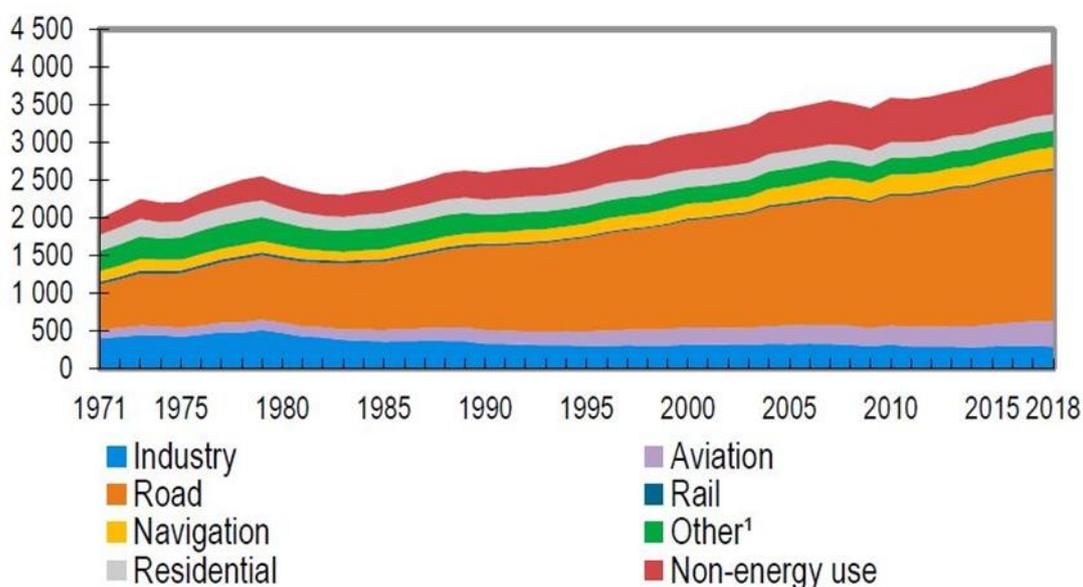


Figure I-4: Evolution de la consommation mondiale du pétrole par secteur 1971-2018 (5)

Répartition de la consommation des produits pétroliers par secteurs

En 2018, le secteur des transports avec ses différents modes, dominait la consommation des produits pétroliers avec plus 65% de la consommation finale de ce type d'énergie (6).

La figure I-5 représente les parts de la consommation finale mondiale des produits pétroliers en 2018.

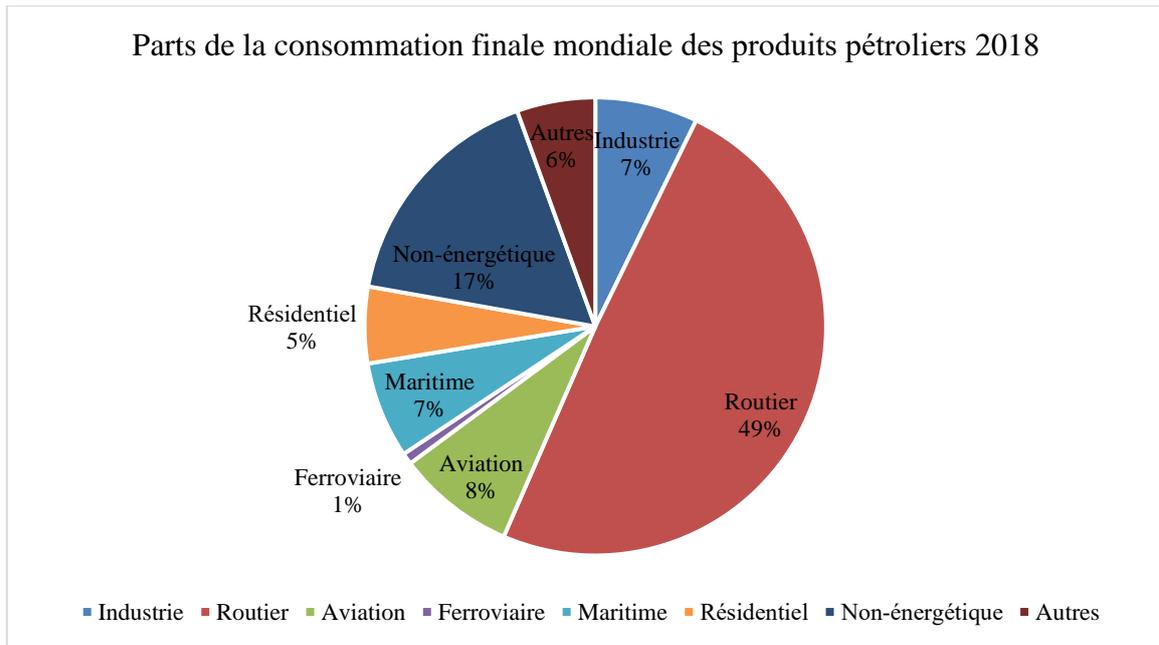


Figure I-5: Parts de la consommation finale mondiale des produits pétroliers en 2018. (5)

Gas naturel

Depuis des années et la croissance de la demande de gaz naturel reste dans la moyenne observée depuis le début de siècle. Le principal facteur de cette croissance a été la compétitivité du gaz dans un contexte d’offre excédentaire qui a encouragé le passage du charbon et du pétrole au gaz naturel dans les secteurs de transport, l’électricité et de l’industrie, notamment aux États-Unis et dans l’Union européenne. (7)

La figure I-6 représente l’évolution de la consommation mondiale du Gaz naturel par secteur 1971-2018.

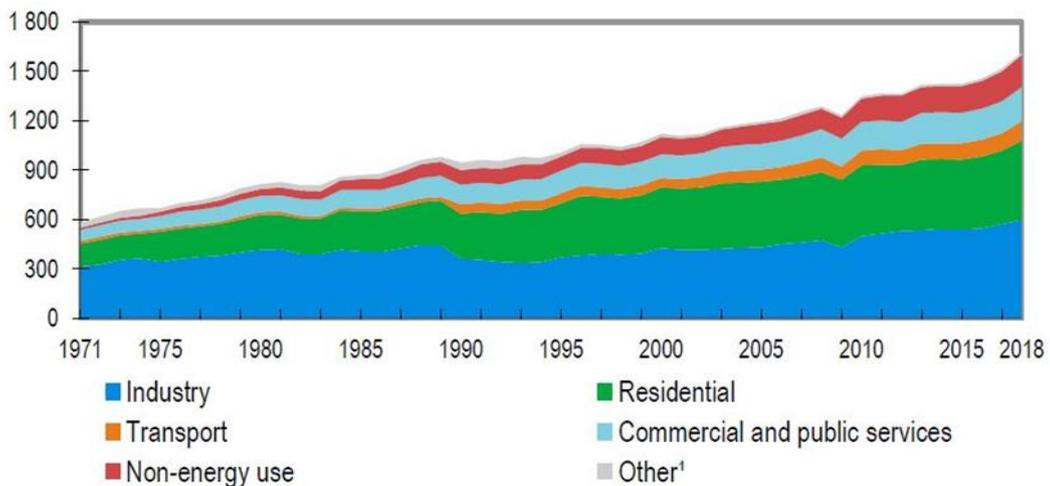


Figure I-6: Evolution de la consommation mondiale du Gaz naturel par secteur 1971-2018 (8)

La consommation mondiale du Gaz naturel a atteint 3,9 milliards de m³ en 2018, représentant 28 % de l'énergie totale consommée dans le monde.

Répartition de la consommation du Gaz naturel par secteur

La figure suivante représente la part de la consommation finale du gaz naturel par secteur en 2018

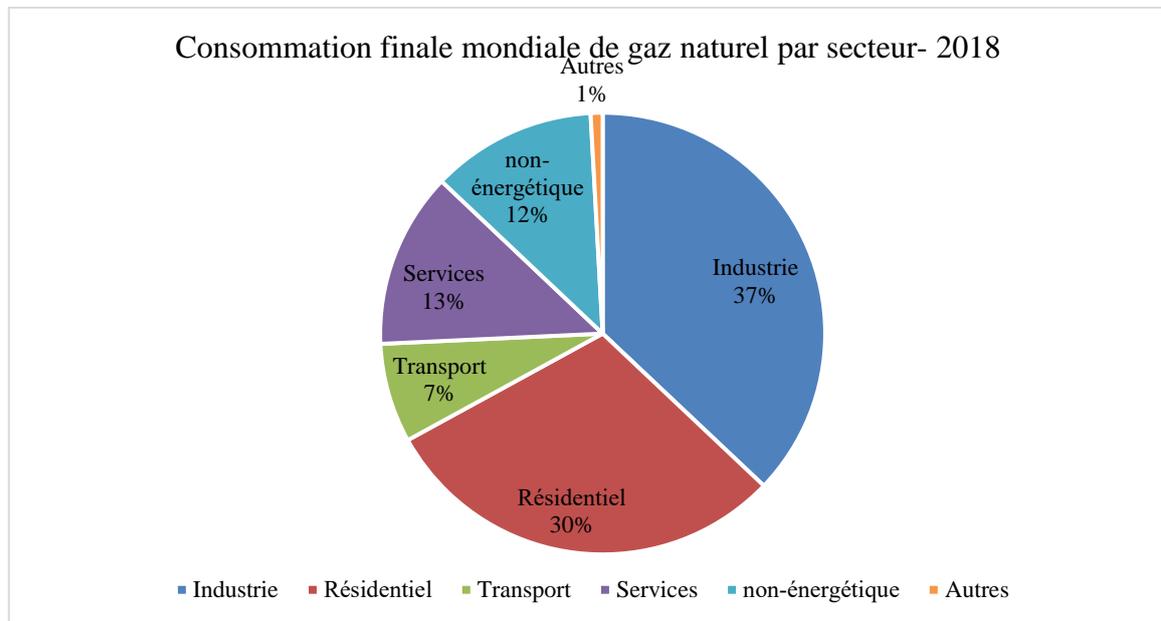


Figure I-7: Part de la consommation finale du gaz naturel par secteur en 2018 (8)

La consommation du gaz augmentera rapidement, car ce combustible est privilégié pour le chauffage, les procédés de transformation et la production d'électricité.

I.3.1.3 Secteur des transports

Le transport fait référence à la notion de mobilité. Il consiste au transport de personnes ou objets d'un endroit à l'autre et avec un certain niveau de confort. Les principales voies permettant le service de transports sont les routes, la voie maritime, la voie aérienne et le chemin de fer.

Ce secteur extrêmement gourmand en énergie et sa demande mondiale de carburants s'est multipliée au cours des dernières décennies en raison de l'expansion rapide et simultanée de la population, l'urbanisation et de la mobilité mondiale. Le secteur est devenu responsable de 29 % de la demande totale d'énergie finale. La majorité de l'énergie utilisée dans les transports est utilisée pour le déplacement des passagers et des marchandises sur les routes nationales et internationales.

Des études révèlent des chiffres qui soulignent une dépendance écrasante du secteur par rapport aux produits pétroliers. Ainsi, les carburants conventionnels pétroliers constituent

l'immense majorité des besoins en énergie, où l'essence et le gasoil constituent 95% de l'énergie utilisée pour le transport mondial. (9)

Consommation des transports par mode :

Le transport terrestre représente la grande majorité de la consommation d'énergie. Le transport routier consomme à lui seul, en moyenne, 79 % de l'énergie totale utilisée par le secteur des transports dans les économies développées.

Le transport ferroviaire, sur la base de 1 kg d'équivalent pétrole, reste quatre fois plus efficace que le transport routier pour le transport de passagers et deux fois plus efficace pour le transport de marchandises ; Le transport ferroviaire représente 6 % de la demande mondiale d'énergie pour les transports.

Le transport maritime représente 90 % du commerce mondial transfrontalier, mesuré en volume. La nature du transport maritime et ses économies en font le mode le plus efficace sur le plan énergétique puisqu'il n'utilise que 7 % de toute l'énergie consommée par les activités de transport.

Le transport aérien fait partie intégrante de la mondialisation des réseaux de transport : l'industrie aéronautique représente 8% de l'énergie consommée par les transports ; ce mode présente des niveaux élevés de consommation d'énergie, liés à des vitesses élevées. Le carburant est le deuxième coût le plus important pour l'industrie du transport aérien, représentant 13 à 20 % des dépenses totales. (9)

La figure I-8 représente la répartition de la consommation d'énergie par mode de transport.

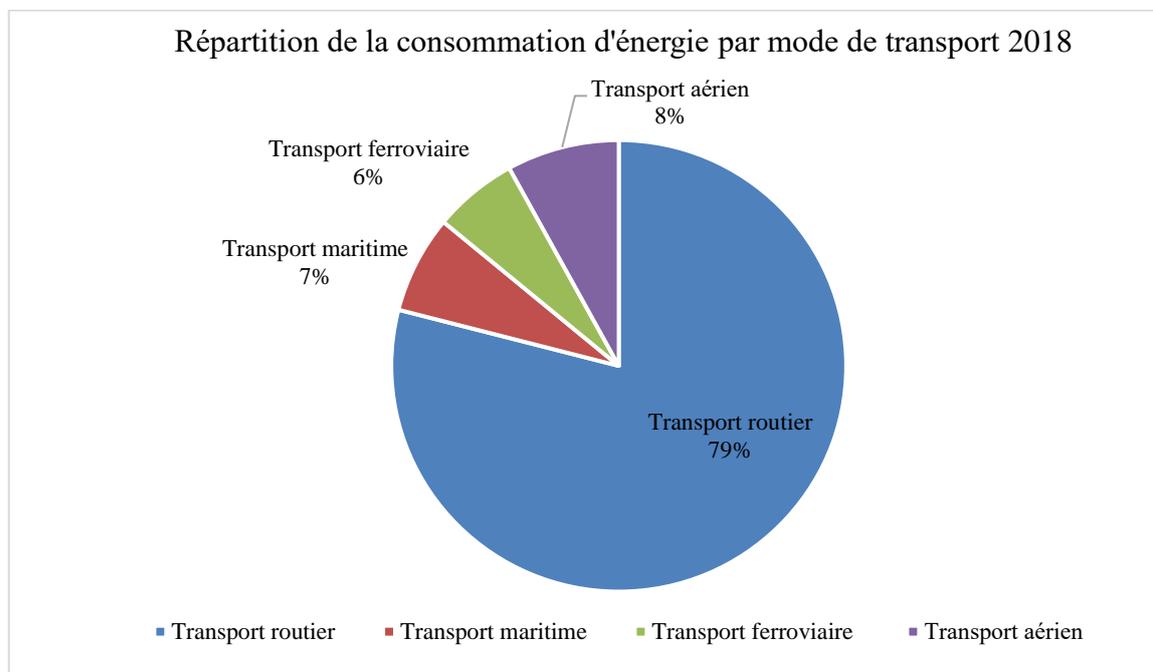


Figure I-8: Répartition de la consommation d'énergie par mode de transport 2018 (9)

I.3.1.4 Evolution de parc mondial :

Le parc automobile mondial a évolué très rapidement, connaissant un essor prodigieux des années durant. En 2008, la production annuelle mondiale est de 70 millions d'unités. Le parc automobile mondial a atteint 1418 millions de véhicules au 31/12/2019. Cette évolution est représentée dans la Figure I-9.

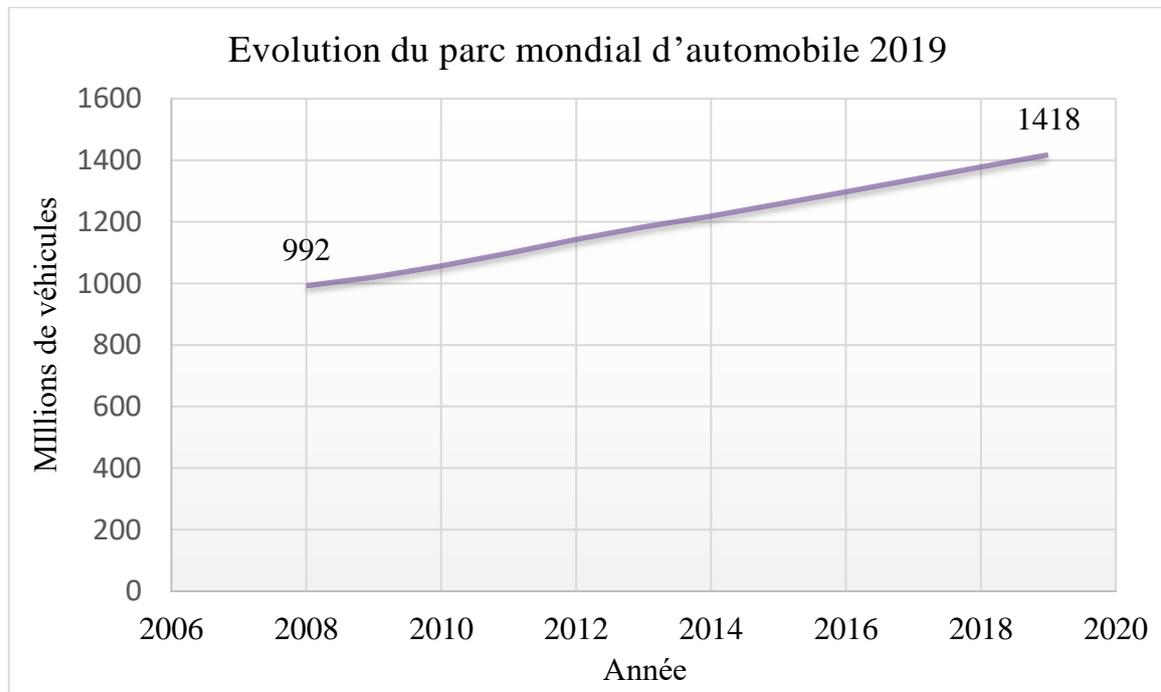


Figure I-9: Evolution du parc mondial d'automobile 2008-2019 (10)

L'Agence internationale de l'énergie (AIE) prévoit que le nombre de véhicules en circulation dans le monde s'élèvera à 1,7 milliard d'unités en 2035, dont près de 70 % seraient dus aux pays actuellement émergents comme la Chine, l'Inde, le Brésil et la Russie. (11)

I.3.2. L'Algérie

L'Algérie est un pays qui dépend fortement des hydrocarbures, La croissance que connaît le pays depuis 2001 repose sur une demande publique tirée essentiellement par les revenus d'hydrocarbures. Néanmoins, le pétrole et le gaz sont deux ressources naturelles, non renouvelables et ne peuvent être puisées sans fin ; la croissance de la demande est incompatible avec leur disponibilité limitée, en l'état actuel des connaissances. Le volume des réserves prouvées en hydrocarbures, tout produit confondu (Pétrole, Gaz), est estimé à plus de 4300 Mtep (soit plus de 12 milliards de barils) dont 55% en Gaz naturel. (12)

La consommation de l'énergie en Algérie ne cesse de croître, sans vraiment suivre le rythme d'évolution de la production énergétique. Ce fait, devenant de plus en plus évident, nous incite à analyser les paramètres régissant l'orientation de la consommation du citoyen algérien, plus particulièrement en carburants, le principal pilier énergétique du pays.

La rationalisation de la consommation d'énergie est un défi important pour l'Algérie, notamment durant cette période qui est accentué par l'instabilité des prix du pétrole.

I.3.2.1 Consommation d'énergie en Algérie par secteur

En matière de couverture de ses besoins en énergie, l'Algérie présente une indépendance vis-à-vis de l'extérieur. En effet, selon le bilan énergétique national du Ministère de l'Énergie (2019), la production commerciale d'énergie primaire a atteint 157,4 Mtep, tandis que les importations sont de l'ordre de 3 Mtep. Sur l'ensemble de l'énergie disponible, la consommation nationale représente plus d'un tiers 39,3%, soit 66,9 M Tep. Le reste de l'énergie produite, soit 60% représentant 90 Mtep, est destiné à l'exportation. La consommation finale s'élève à 50,4 M Tep et se répartit par secteur comme suit : Industrie & BTP : 22,6% ; Transport : 31% ; Ménages & autres : 46,4%.

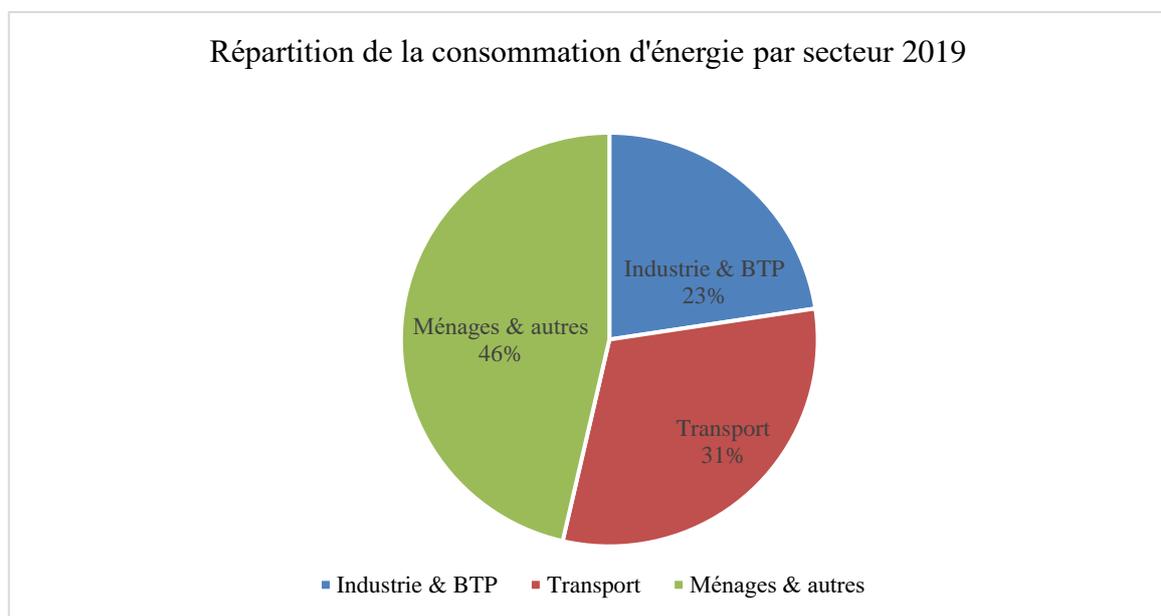


Figure I-10: Répartition de la consommation d'énergie par secteur 2019 (13)

Ce diagramme circulaire représente la consommation d'énergie finale par secteur d'activité dans l'Algérie, on remarque que le secteur des transports épuise 31 % de la consommation finale, un tiers d'énergie finale auquel vient après le plus grand secteur de consommation représenté par les ménages et autres (les administrations et les activités de services).

I.3.2.1.1 Secteur des transports en Algérie

Consommation par mode

L'énergie consommée par les transports est répartie entre le transport routier qui domine la consommation avec 93%, suivi du rail 2%, et de l'aérien 3,2%. Le transport maritime qui est plus utilisé dans les acheminements du commerce extérieur représente 1,5%.

La figure suivante représente la consommation des transports par mode en 2019.

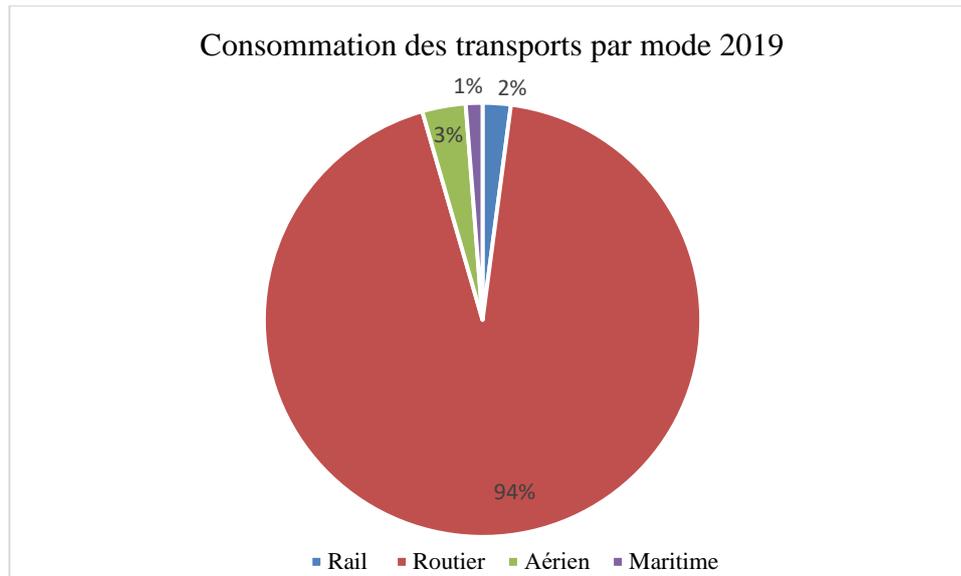


Figure I-11: Répartition de la consommation des transports par mode (2019) (13)

Le transport routier est donc le sous-secteur qui doit, en premier lieu, constituer le centre d'intérêt pour toute vision de rationalisation de la consommation d'énergie. Une analyse est faite sur la structure et les caractéristiques du parc national automobile (PNA) qui a franchi la barre de six et demi millions de véhicules à partir de 2019.

Sur 10 ans seulement, le PNA a doublé, en passant de 3,9 millions en 2009 à 6,57 millions en 2019. Le véhicule de tourisme, la camionnette et le camion occupent une place très importante dans le PNA respectivement de 65%, 19 % et 7%.

Le véhicule de tourisme est encouragé par des facteurs socioéconomiques (prix bas de carburants, facilitation des crédits automobiles et l'ouverture du marché à l'importation, le pouvoir d'achat...) et par l'incapacité des transports en commun à répondre à la demande de mobilité (en terme quantitatif et qualitatif).

Pour ce qui est de la camionnette et le camion, leur place dans le PNA s'explique par la politique d'emploi poursuivie par les pouvoirs publics à travers des facilités de crédits et fiscales accordés à des chômeurs pour la création de leur propre entreprise de transport de marchandises.

La structure du PNA est largement dominée par des équipements de transport à usage personnel ce qui ne favorise pas une économie d'énergie. Il est vrai que, depuis quelques années, la tendance est au développement de transport capacitaire pour les passagers (métro pour la capitale et tramways dans quelques grandes villes, bus de 120 places pour toutes les wilayas). (13)

Transport routier

Le transport routier, non seulement, consomme la quasi-totalité de l'énergie, mais aussi on peut remarquer une forte accélération des quantités consommées. Sa consommation passe de 9,8 à 14,388 Mtep en dix ans (de 2009 à 2019) malgré un ralentissement à partir de 2014 suite à la crise budgétaire et aux mesures de restrictions à l'égard des importations de véhicules neufs. En termes de types d'énergies consommées, on peut remarquer une excessive utilisation des énergies fossiles, notamment le gasoil et l'essence dans le transport routier (pour 2018 la consommation se présente comme suit : gasoil 9,12 Mtep, essence : 4,14 Mtep, jet fuel 0,4 Mtep, GPL 1,02 Mtep). La consommation du gasoil, notamment, constitue actuellement l'énergie dominante. (13)

I.3.2.1.2 Parc automobile Algérien (PNA) :

Le parc automobile de l'Algérie comptait plus de 6,57 millions de véhicules à fin 2019, contre plus de 6,4 millions de voitures en 2018, soit une hausse annuelle de plus de 2,4% (14)

En 2019, le nombre des immatriculations et ré-immatriculation des véhicules a enregistré une hausse de près de 5,11% par rapport à la même période de l'année précédente. Concernant la répartition du parc national automobile en 2018, selon le type de véhicules, l'ONS indique qu'il se composait de 64,68% véhicules de tourisme, de 18,77% camionnettes, de 6,57% camions, 2,56% tracteurs agricoles et 2,18% motos. Le tableau suivant représente la répartition du parc automobile de l'Algérie par type de véhicule. (14)

Tableau I-2: Répartition du parc automobile de l'Algérie par type de véhicule en 2018 (14)

Type	Nombre	Pourcentage (%)
Véhicules de tourisme	4 151 041	64,68
Camionnettes	1 204 552	18,77
Camions	421 689	6,57
Tracteurs agricoles	164 477	2,56
Remorques	154 243	2,4
Motos	139 780	2,18
Autocars et autobus	87 968	1,37
Tracteurs routiers	87 169	1,36
Véhicules spéciaux	7 293	0,11
Total	6 418 212	100

Les voitures de tourisme dominent le parc automobile algérien. Elles totalisent 4,15 millions de véhicules soit 64,68% du nombre total. (14)

La figure I-12 représente la situation du parc automobile Algérien par genre en 2018

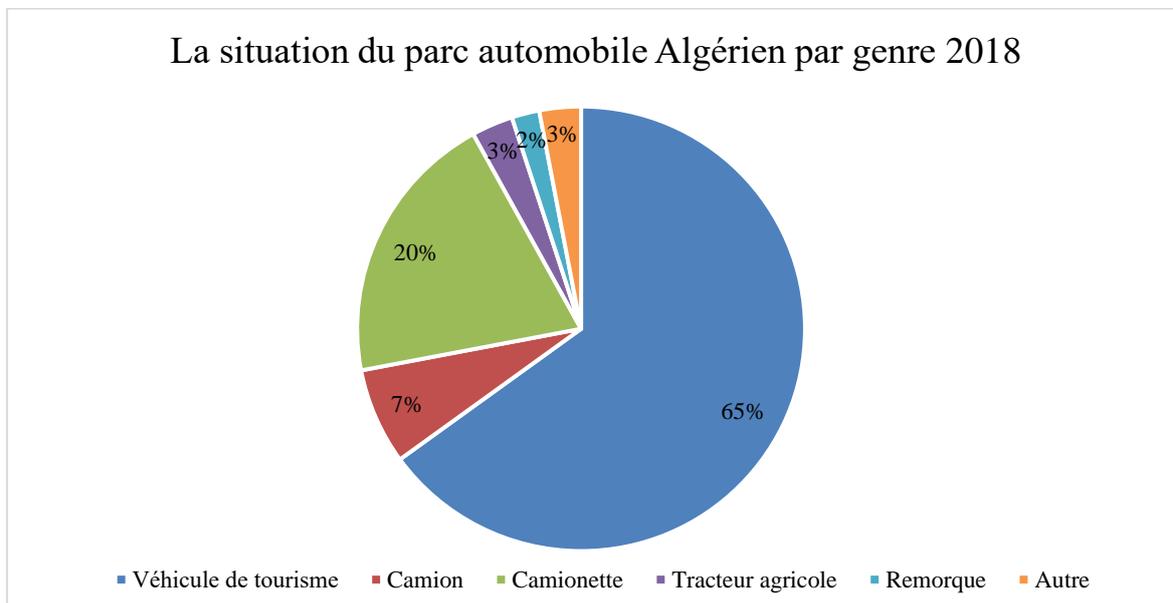


Figure I-12: La situation du parc automobile Algérien par genre en 2018 (15)

Les données de l’Office montrent concernant la répartition du parc national automobile selon la source d’énergie que la part de l’essence est plus importante. Elle représente 65,04% alors que celle du gasoil en représente 34,96% en 2018. (15)

Le tableau I-3 représente la répartition du parc automobile selon la source d’énergie.

Tableau I-3: Répartition du parc automobile de l’Algérie selon la source d’énergie en 2018 (15)

Source d'énergie	Nombre	Pourcentage (%)
Essence	4 074 168	65,04
Diesel	2 189 801	34,96
Total	6 263 969	100

- Les remorques et semi-remorques (véhicules tractés) ne sont pas comptabilisées.
- Le GPLc est inclus dans l’essence

La figure I-13 représente la répartition du PNA selon la source d’énergie en 2018.

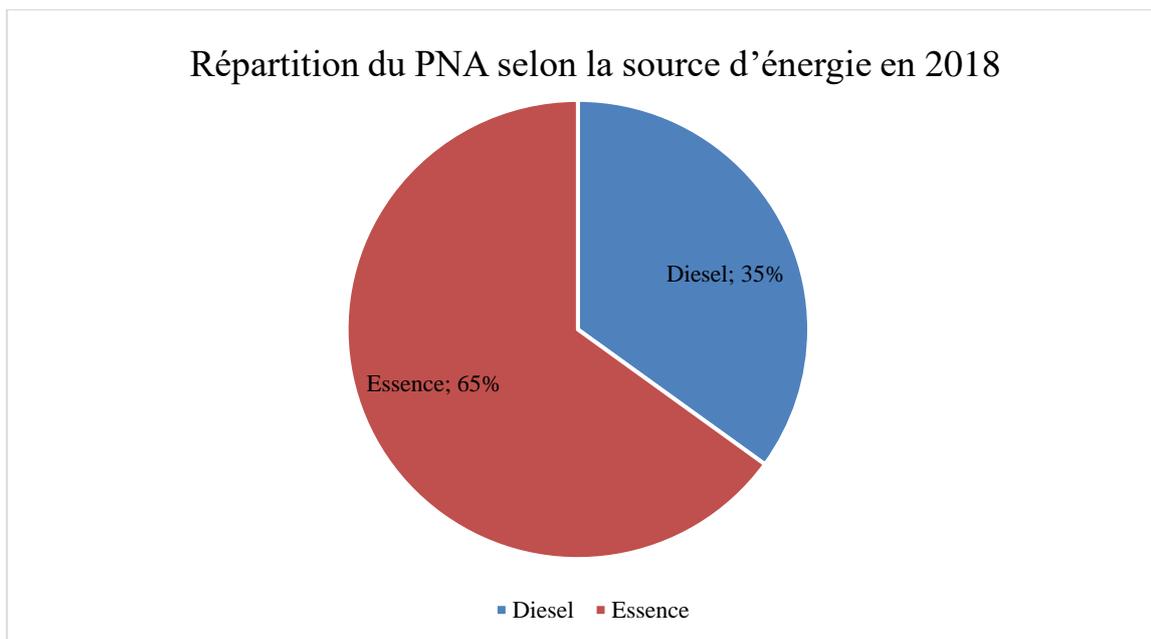


Figure I-13: Répartition de la consommation selon type d'énergie 2018 (15)

I.3.2.1.2 La part des émissions de GES des transports en Algérie :

Le secteur du transport est devenu l'une des premières sources de pollution. Pour ce qui est du poids du transport, les chiffres de l'année 2015 donnent un peu plus de 35.3 millions de tonne d'équivalent CO₂ soit 46% du total des émissions de gaz à effet de serre. Contre 14.2 Mt CO₂ en 2000. La quasi-totalité des émissions liées au transport le sont par émissions directes du CO₂. La figure suivante représente la part des émissions de GES en Algérie. (16)

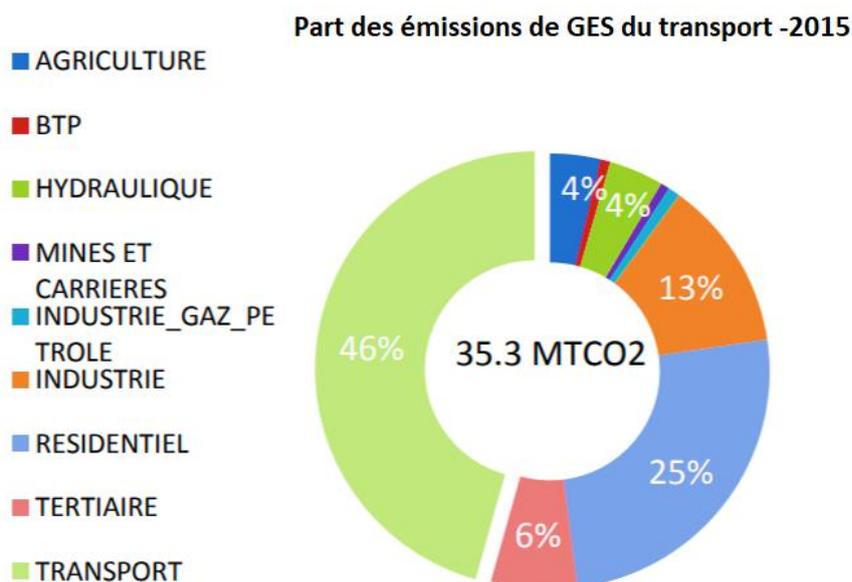


Figure I-14: part des émissions de GES en Algérie- 2015 (16)

I.4 Changement climatique

La majorité des gaz à effet de serre GES proviennent à la fois de processus naturels et d'activités anthropiques. Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), les émissions provenant des activités anthropiques perturbent les processus naturels qui se produisent dans l'atmosphère et sont fort probablement la cause principale du réchauffement observé qui se produit depuis le milieu du XXe siècle.

La figure I-15 représente l'évolution de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ 1965-2019

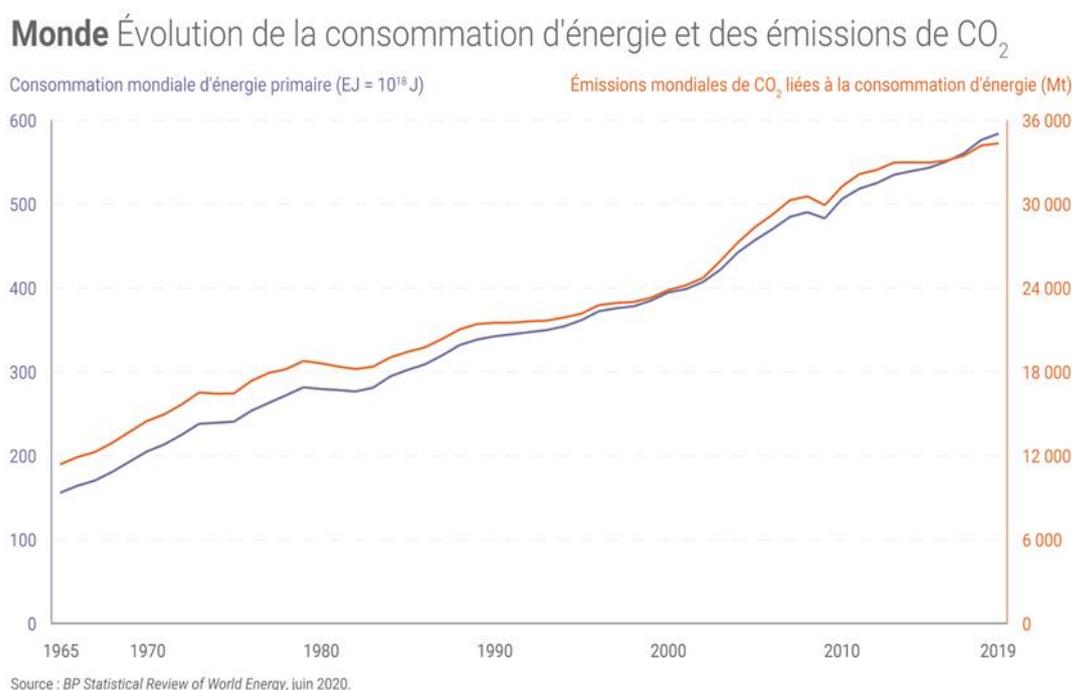


Figure I-15: Evolution de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ 1965-2019
(1)

À l'échelle mondiale, près de 80 % des émissions de GES de sources anthropiques proviennent de la combustion de combustibles fossiles et des procédés industriels. Parmi les activités particulières, on trouve : le transport, la production d'électricité, le chauffage et la climatisation des bâtiments et l'agriculture. Les rejets des gaz à effet de serre et l'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère mènent à un climat changeant. Ces gaz restent dans l'atmosphère pendant des périodes allant de quelques années à plusieurs milliers d'années. Pour cette raison, leurs effets sont mondiaux, peu importe leur point d'émission. La figure suivante représente les émissions de GES par secteur.

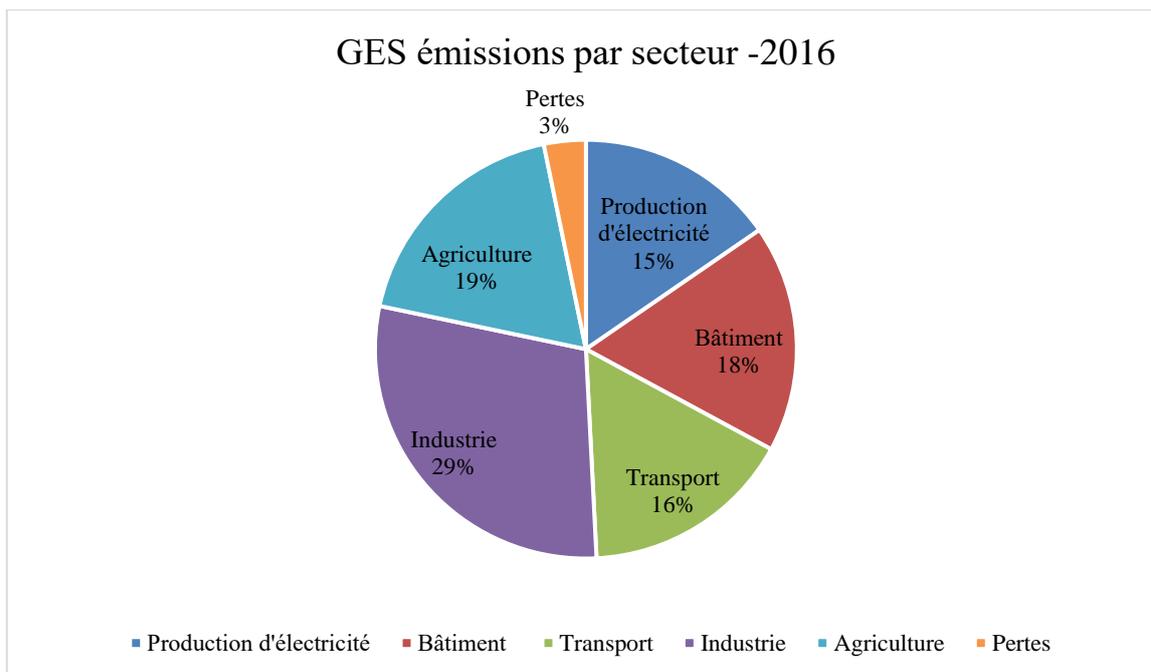


Figure I-16: Part des émissions des GES par secteur-2016 (17)

En 2020, les émissions mondiales de CO₂ ont diminué de 5,8 %, soit près de 2 Gt de CO₂. En 2021, les émissions mondiales de CO₂ liées à l'énergie se dirigent vers leur deuxième plus forte augmentation annuelle jamais enregistrée, la demande de tous les combustibles fossiles devrait augmenter de manière significative ; la demande de charbon à elle seule devrait augmenter de 60%, elle sera à l'origine d'une hausse des émissions de près de 5 %, soit 1,5 Gt. (17)

En fait, les émissions mondiales des transports ont augmenté de moins de 0,5% en 2019 (contre 1,1% par an en moyenne au cours de la dernière décennie) en raison de l'amélioration de l'efficacité, de l'électrification et d'une plus grande utilisation des biocarburants. Néanmoins, le transport est toujours responsable de 24% des émissions directes de CO₂ liées à la combustion de carburants. Les véhicules routiers (voitures, camions, bus et véhicules à deux et trois roues) représentent près des trois quarts des émissions de CO₂ des transports, et les émissions de l'aviation et du transport maritime continuent d'augmenter, soulignant la nécessité d'une politique internationale plus ciblée sur sous-secteurs. (18)

I.5 Conclusion

L'énergie est devenue, en moins d'un siècle, un enjeu économique et stratégique majeur et un symbole du succès du développement économique, mais les combustibles fossiles continueront toujours d'occuper une place prédominante dans le mix énergétique.

Les conséquences de la consommation engendré sont divers et concernent l'air, l'atmosphère planétaire, le climat et les microclimats, l'eau, les sols, la flore, la faune et la santé publique.

Le changement climatique, l'épuisement des combustibles fossiles et les risques géopolitiques rendront la vie des êtres humains très difficile dans le futur, le réchauffement de la planète sera peut-être le problème d'environnement le plus épineux à résoudre pour la communauté internationale dans les prochaines décennies.

La transformation radicale des structures actuelles de la consommation et la production d'énergie comme les infrastructures de transport, configuration des agglomérations, technologies courantes et la transformation totale des stratégies énergétiques doit être effectuée.

Le secteur des transports est à l'origine de près d'un tiers de la consommation d'énergie en Algérie, juste derrière le plus grand secteur de consommation représenté par les ménages, qui est devenu l'une des principales sources de pollution.

Malgré l'abondance actuelle des ressources non renouvelables, le besoin d'une vision d'avenir pour la prochaine génération est primordial et nécessite une nouvelle réflexion et de nouvelles décisions judicieuses pour les politiques de transition énergétique, dans la manière dont nous produisons et utilisons l'énergie, la fournissons et la consommons.

CHAPITRE II : LES CARBURANTS ALTERNATIFS

II.1 Introduction :

Dans le contexte du transport durable faisant de plus en plus partie de la politique de mobilité, de nombreux pays ont commencé à réfléchir au type de carburant utilisé et à son impact sur l'environnement. De plus, l'évolution rapide des enjeux énergétiques et environnementaux rend nécessaire le recours à des sources d'énergie alternatives. Même si les carburants traditionnels sont actuellement représentés et constitueront encore une partie importante du portefeuille d'énergie à moyen terme, les efforts législatifs internationaux visant à améliorer et à réduire considérablement les émissions polluantes des véhicules sont de plus en plus limités.

Au milieu de ces problèmes s'est senti le besoin de prendre des mesures pour diminuer les émissions nocives des véhicules, parmi celles-ci on retrouve les carburants alternatifs GPL et GNC ainsi que la technologie de Dual-fuel.

Au niveau environnemental, le GPL et le GNC brûlent mieux que l'essence. Ainsi, les gaz d'échappement contribuant à la pollution atmosphérique sont réduits. Avec d'autres avantages comme le coût économique qui est inférieur à celui des essences et gasoil.

Ce présent chapitre est subdivisé en trois sections, la première donne un aperçu général sur le GPL et ses utilisations. La deuxième concerne le GNC et une dernière qui porte sur la technologie de dual-fuel.

II.2 Gaz de pétrole liquéfié (GPL) :

II.2.1 Aperçu général du GPL :

Le GPL est un carburant alternatif par excellence, un mélange d'hydrocarbures légers, stocké à l'état liquide et issu du raffinage du pétrole pour 40 % et de traitement du gaz naturel pour 60 %. Les hydrocarbures constituant le GPL, dans son appellation officielle, sont essentiellement le propane et le butane ; le mélange peut contenir jusqu'à 0,5 % d'autres hydrocarbures légers tels que le butadiène. Il peut être utilisé pur ou en mélange avec autre carburant pour la propulsion des voitures.

Le GPL est considéré comme solution alternative à faible impact sur l'environnement, (ses gaz d'échappement renferment cinq fois moins d'oxyde de carbone et deux fois moins d'oxyde d'azote et d'hydrocarbures imbrûlés que n'en dégage l'essence, avec un teneur nul en plomb, soufre et eau). (19)

II.2.2.1 Gaz de pétrole liquéfié carburant (GPLc) :

Le GPLc désigne le GPL utilisé comme carburant automobile. Du point de vue réglementaire, sa composition doit comporter au minimum 50 % de propane et 19 % de butane, cette composition varie d'une région à une autre. C'est un carburant utilisé dans de nombreuses régions à travers le monde, principalement en Amérique, en Europe et en Asie du sud avec un pourcentage de 7 à 8 % consommé dans le monde. (19)

Les bienfaits de ce carburant lui confèrent les propriétés d'un carburant propre et moins nocif pour l'environnement que l'essence, l'indice d'octane élevé de GPL permet leur substitution à l'essence sans modification du moteur.

Il est à noter que le GPLc n'encrasse pas le moteur, et cela grâce à son indice d'octane élevé, ce qui augmente la longévité du moteur et lui assure en plus un pouvoir antidétonant, ainsi qu'un pouvoir calorifique élevé. Le GPLc est le premier carburant sans plomb compétitif au gas-oil et au super sans plomb. Le tableau suivant représente les caractéristiques physiques de GPLc.

Tableau II-1: les caractéristiques physiques de GPLc (19)

Type de combustible Caractéristiques	Butane	Propane	GPLc
Température d'ébullition (°C)	0	-40	-20
Tension à vapeur 20°C (bars)	2	8	7.5
Pouvoir calorifique (thermies/kg)	11.85	12.20	12

Comparaison entre les propriétés énergétiques et environnementales des carburants routiers (essence ; gasoil ; GPLc) :

Il est bien évident que l'influence du carburant est prépondérante sur les performances énergétiques du moteur. D'après les données du tableau II-1, le GPLc a un pouvoir calorifique inférieur (PCI) massique supérieur à ceux de l'essence et du gasoil, son PCI volumique gazeux demeure en revanche, inférieur dans la mesure où sa masse volumique est nettement plus faible.

Donc il délivre une énergie au litre inférieure à celle des carburants liquides usuels, ce qui se traduit par une diminution des performances du moteur d'automobile en termes de couple et de puissance.

Au plan des émissions, la teneur en CO₂, est beaucoup plus faible, dans le cas du GPLc (1.7 Kg/L), contre 2.31 Kg/L pour l'essence qui vient juste après le gasoil qui demeure le carburant le plus pollueur avec une quantité de 2.67 Kg/L. (20)

II.2.2.2 Fonctionnement de GPLc dans une automobile

Par ses propriétés de combustion, le GPLc s'accorde, dans la plupart des cas, du principe de fonctionnement des moteurs à essence.

Dans les faits, les voitures GPLc sont des véhicules bicarburant, c'est à dire qu'elles fonctionnent indifféremment à l'essence ou au gaz. Cela permet de conserver la possibilité de rouler à l'essence le cas échéant. Le réservoir d'essence d'origine est dans la plupart des

cas conservés. De plus, même en mode GPL_C, le démarrage du véhicule se fait à l'essence, le temps que le moteur monte un peu en température (quelques dizaines de secondes).

Le GPL_C est stocké dans un réservoir spécifique en général de forme torique (circulaire) pour venir se loger dans l'emplacement de la roue de secours ou de forme cylindrique dans le cas d'un réservoir placé dans le coffre du véhicule. Cette dernière solution, permet l'emploi de réservoirs de plus grandes contenances et accroît ainsi l'autonomie.

La pression à l'intérieur du réservoir est d'environ 5 bars, ce qui reste une valeur modeste.

Le remplissage du réservoir se fait à environ 80% (arrêt automatique) de manière à ménager ce que l'on appelle un ciel gazeux, soit une partie du réservoir remplie de GPL à l'état de gaz. Cet espace permet au carburant d'occuper plus de volume en cas de hausse de température.

Prélevée phase liquide, le carburant passe par une électrovanne qui permet de fermer son circuit lors du fonctionnement à l'essence ou à l'arrêt. Le GPL_C arrive ensuite dans un élément appelé vapo-détendeur qui a pour fonction de le passer de l'état liquide à l'état gazeux. Cette transformation a pour effet de produire du froid, c'est d'ailleurs le principe physique employé dans les climatiseurs.

Le vapo-détendeur est réchauffé par le liquide de refroidissement réchauffé par le moteur.

Dans le cas d'un système à injection liquide, ce dernier élément disparaît, le GPL_C étant distribué en phase liquide grâce à des injecteurs spécifiques.

Dans les systèmes fonctionnant en phase gazeuse, l'alimentation GPL_C peut se faire de trois façons. Le principe le plus employé actuellement est une injection gazeuse dit " full group ". Le dosage du GPL_C est assuré par un injecteur qui répartit uniformément le carburant dans les cylindres au moyen de buses d'injection implantées près des injecteurs essence. (21)

II.2.2. La demande de GPL

Le GPL a plus de 1000 utilisations différentes, y compris des applications dans l'industrie, l'ingénierie civile, l'économie communale, l'agriculture, les ménages et les transports. Grâce à une logistique de transport simplifiée garantissant la diversification de l'offre, la disponibilité des sources et surtout les aspects environnementaux. Le GPL présente une dynamique élevée de production et de consommation. La production mondiale de ce combustible avoisine les 280 millions de tonnes. (19)

La prise de conscience croissante des avantages liés à l'utilisation du GPL comme alternatif aux combustibles fossiles et l'augmentation du niveau d'adoption de sources d'énergie propres et vertes dans les pays développés et en développement montrent son efficacité. La figure II-1 représente la demande de GPL par secteur en 2018.

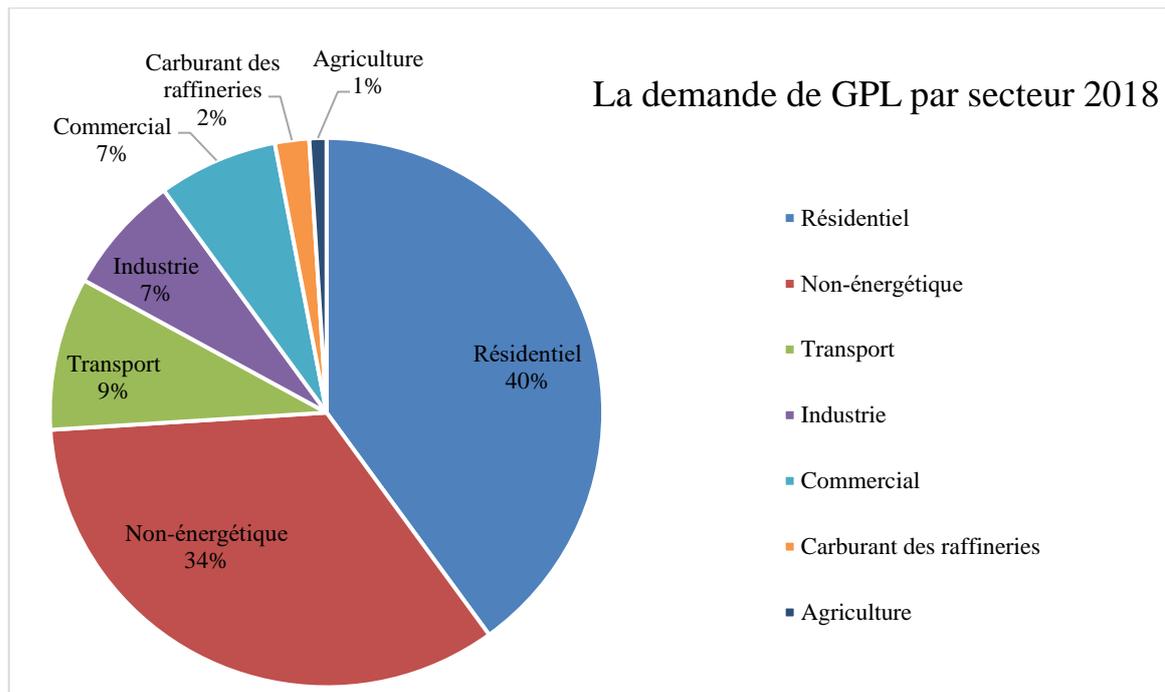


Figure II-1: La demande de GPL par secteur en 2018 (19)

Le GPL également a de nombreuses applications au sein de ces catégories, dans le secteur de la mobilité c'est le troisième plus courant carburant pour le transport routier dans le monde, après l'essence et diesel.

II.2.3. Le risque d'explosion

Le GPL étant plus dense que l'air, contrairement au gaz naturel, il risque, en cas de fuite, de s'accumuler au niveau du sol et dans les parties basses, comme les caves. Cela entraîne un danger d'explosion lorsqu'un mélange GPL/air s'accumule en présence d'une source d'inflammation. Cela résulte également un danger d'asphyxie car le GPL remplace l'air et diminue donc la concentration en oxygène. La réglementation impose donc que tout local dans lequel se trouve un appareil à gaz (naturel ou GPL) soit bien ventilé. Pour faciliter la détection des fuites, un gaz odorant est ajouté aux gaz (naturel ou GPL) : cette odeur permet de détecter la fuite de ce gaz.

En 1999, une série d'accidents impliquant des véhicules au GPL motivent un changement de réglementation rendant obligatoire l'installation d'une soupape de sécurité et d'un clapet anti-retour sur les réservoirs de GPL, pour en éviter l'explosion en cas de feu. (19)

II.2.4. GPL en Algérie

L'Algérie est le plus grand producteur de gaz naturel de la région méditerranéenne, avec une production de 0,284 millions de mètre cube, ce qui représente environ la moitié de la production totale de la région. Sachant que 60% du GPL est extrait du gaz naturel, nous pouvons estimer une quantité très importante de GPL produit en Algérie. (19)

II.2.4.1. La promotion du GPL carburant en Algérie

L'Algérie a adopté une stratégie énergétique basée sur la promotion des énergies propres et renouvelables. Le GPL est souvent appelé carburant « Sirghaz » fait partie de ces sources d'énergie car les bénéfices économiques et environnementaux de ce carburant sont un enjeu stratégique. (19)

La figure suivante représente une station-service de GPL en Algérie.



Figure II-2: Station-service de GPL (22)

En effet, les pouvoirs publics algériens ont adopté une série d'incitations, à savoir la baisse des prix de transformation des véhicules et des subventions (installation de Kit GPLc), visant à favoriser la consommation de cette énergie à cet égard. Jusqu'à 50 % du coût d'acquisition a été approuvé. En effet, l'objectif du gouvernement algérien est d'équiper 1 million de voitures de kits GPL d'ici 2030 et avoir utilisé tous les moyens pour construire 1000 stations-service équipées de GPL, ainsi que plusieurs structures et centres spécialisés dans l'installation des Kits GPL à travers tout le territoire national.

II.2.5. Avantages de GPL

La conversion des véhicules essence au GPL ou l'achat de voitures au GPL est une tendance populaire dans certains pays en raison des avantages du carburant. Basé sur des enquêtes, il y avait 17,47 millions de véhicules au GPL en 2011 et ce chiffre est passé à 27,14 millions en 2017, soit une augmentation de 9,67 millions ou 55 % dans six ans. De plus, les spécialistes ont résumé des raisons techniques, économiques et environnementales encourageant les gens à s'intéresser à la conversion leurs véhicules au GPL. (19)

Propre

Aujourd'hui, le GPL est la seule source d'énergie conventionnelle propre, il n'émet aucune particule, plomb, benzène ou soufre, et ses émissions de carbone lors du processus de

combustion sont très faibles. La durée de vie est 20% inférieure à celle du gasoil et 50% inférieure à celle du charbon. 60% du GPL provient des champs de gaz naturel, il est donc non toxique et n'a aucun effet sur le sol, la mer et l'air. L'une des utilisations les plus efficaces du GPL est d'être introduite comme carburant automobile. S'il remplace les carburants liquides traditionnels, il améliorera efficacement la qualité de l'air, c'est pourquoi les voitures GPL bénéficieront automatiquement des panneaux verts, ils peuvent même voyager dans des villes très polluées.

Les émissions de GPL par rapport à l'essence et le gasoil sont résumés dans le tableau suivant

Tableau II-2: Emissions de CO₂ (gramme/kilomètre du puits à la roue) et la teneur en pourcentage du GPL, de l'essence et du gasoil en CO, CH, NOx, plomb et soufre (19)

Emissions	CO₂	CO	CH	NOx	Plomb	Soufre
GPL	182	3,1	1,6	1,5	0	0,05
Essence	216	15	2,2	1,7	0,09	0,15
Gasoil	166	-	-	-	-	0,14

A partir des données du tableau, on constate que la teneur de GPL est très faible par rapport au gasoil et l'essence en termes de soufre. Il présente des avantages par rapport à l'essence en matière d'émission de CO₂, CO, CH, et NOx. En ce qui concerne le plomb, le GPL n'émet rien.

Performant

En termes de performance énergétique, le GPL est plus performant que les autres énergies, cela s'explique par leur grand pouvoir calorifique ainsi que la flamme de GPL dégage plus de chaleur et un rendement de combustion peut aller jusqu'à cinq fois plus important par rapport aux autres sources énergétiques, ainsi 1 kg de propane est thermiquement équivalent à 3-6 kg de bois, 1,5 à 2 kg de charbon, 1,29L de fioul et 1,38 KWh d'électricité.

Sa performance énergétique permet de réduire les taux de gaspillage d'énergie. (19)

Techniquement avantageux

Techniquement parlant, le GPL a un indice d'octane élevé, un grand pouvoir calorifique, lui assure un rendement énergétique plus efficace ce qui se traduit par une combustion beaucoup plus complète.

La nature gazeuse du GPL évite la dilution des lubrifiants au niveau des parois des cylindres assurant ainsi une meilleure lubrification qui permet de réduire sensiblement l'usure du moteur et notamment celle des chemises, des cylindres, des pistons et des segments.

L'absence d'impuretés dans le GPLc réduit sensiblement l'encrassement du moteur qui se produit dans le cas de la carburation essence ou gasoil en raison du dépôt de calamine au niveau des injecteurs et dans la chambre de combustion.

Dans son état liquide, le GPL est 274 fois plus petit qu'à l'état gazeux facilitant son stockage et embouteillage et permet d'en disposer dans les zones les plus reculées. (23)

Economiquement avantageux

Les prix bas de GPL permettent de réduire les dépenses, il est économiquement préférable écologiquement favorable. La généralisation de GPL permet de réduire la dépendance du pétrole du fait qu'il est issu à 60% du gaz naturel. Son utilisation locale au lieu de l'exporter permet de libérer de grands excédents des autres combustibles fossiles pour l'exportation car les prix de ces derniers sont plus élevés sur le marché international permettant des gains considérables. (19)

II.3 Gaz naturel (GN) :

Le gaz naturel est une énergie fossile dont les ressources sont importantes et dont les réserves prouvées augmentent régulièrement. Cette énergie trouve naturellement sa place comme carburant pour les applications industrielles et le transport. Quel que soit son champ d'application, cet hydrocarbure présente des avantages spécifiques qui en font une alternative stratégique tant pour une recherche de diversification énergétique viable, que pour élargir l'offre que constituent les carburants liquides conventionnels. (24)

II.3.1 Gaz naturel comprimé GNC

Le GNC est constitué essentiellement de méthane CH_4 et il ne contient pratiquement ni soufre, ni composés aromatiques. Sa chaîne carbonée, très courte, permet une oxydation plus complète du mélange réactif et réduit en particulier les émissions des GES. Sa teneur massique réduite en carbone (75 %), comparée à celle des carburants liquides conventionnels (87 %), ce qui se traduit par une contribution minimisée du GNC à l'effet de serre.

Le GNC est du gaz naturel utilisé comme carburant pour les véhicules à moteur comme les automobiles, les autobus ou les camions. Il possède exactement les mêmes propriétés que le gaz naturel à son état gazeux. Il peut cependant être stocké à 300 fois la pression atmosphérique, ce qui en réduit d'autant le volume. Transporté dans des réservoirs à haute pression, le stockage le plus répandu s'effectue néanmoins de manière plus aisée à l'état gazeux sous la forme de gaz naturel comprimé au sein d'un réservoir en acier forgé sans soudure, sous pression élevée (200 bars) et à température ambiante. Il constitue le candidat idéal pour les transports à courts rayons au quotidien. (25)

II.3.2 L'histoire du GNC dans le secteur automobile

Le développement des premiers véhicules fonctionnant grâce au gaz naturel a commencé au milieu du XIXe siècle en France, grâce aux travaux d'Étienne Lenoir, qui avait construit un véhicule au gaz avant même qu'il n'existe de moteur essence. Quelques années plus tard, le

premier moteur à quatre temps était mis au point par Nikolaus Otto, avec compression d'un mélange air-gaz.

Ensuite concurrencé puis dépassé par les moteurs à essence au cours du XXe siècle, le gaz carburant réalise un retour en force depuis les années 1980. Un essor considérable est notamment noté depuis les années 90, grâce aux groupes énergétiques décidés à relancer l'utilisation du GNC en s'associant notamment à des constructeurs automobiles. (24)

II.3.2 L'exploitation actuelle du GNC

Actuellement, presque toutes les marques automobiles proposent désormais des voitures GNC et ont des possibilités de transformer un véhicule classique en véhicule fonctionnant au GNC. Dans le détail, l'achat d'une voiture neuve équipée au GNC représente un surcoût d'environ 2 400 \$. Concernant la modification d'un véhicule, celle-ci est plutôt simple, mais coûteuse, à savoir entre 2 500 et 4 500 \$ selon le modèle de voiture. Il est donc plus rentable d'acheter une voiture fonctionnant déjà au GNC. (26)

L'installation d'un système GNC prend généralement deux ou trois jours. Quelle que soit l'option choisie, dans le cadre d'une voiture GNC, le gaz est stocké dans des bonbonnes intégrées dans le plancher du véhicule, qui est alors équipé d'un double réservoir (gaz/autre carburant), appelé le « dual fuel tank ». Grâce à ce réservoir, qui permet de passer à l'autre carburant quand le réservoir de gaz est vide, un véhicule bicarburant peut parcourir en moyenne 300 km de plus qu'un véhicule classique.

À ce jour, plus de 22 millions de véhicules roulent au gaz naturel dans le monde. (26)

Réduction des émissions de polluants

Que ce soit sur le plan de la diversification des ressources ou des émissions de polluants non (encore) réglementés, le gaz naturel se positionne comme un excellent carburant offrant des propriétés appréciées par les motoristes.

Les traditionnelles comparaisons d'émissions de polluants non réglementés d'un même véhicule en version essence et gaz naturel (Figure II-3) confirment l'intérêt du gaz naturel, dont la nature des émissions le distingue, par le faible potentiel de formation d'ozone troposphérique irritante (formation de smog), par les faibles quantités de composés aromatiques émises (effet cancérigène) et par les faibles (voire nulles) émissions d'aldéhydes toxiques. De plus, du fait de sa stabilité chimique, le méthane constitue l'essentiel des émissions d'hydrocarbures imbrûlés émis, dont l'inhalation accidentelle ne présente pas de risque sanitaire. Ne contenant du soufre qu'à l'état de traces, sans fumée visible à l'échappement ni odeurs irritantes, le gaz naturel est considéré comme un carburant « propre ».

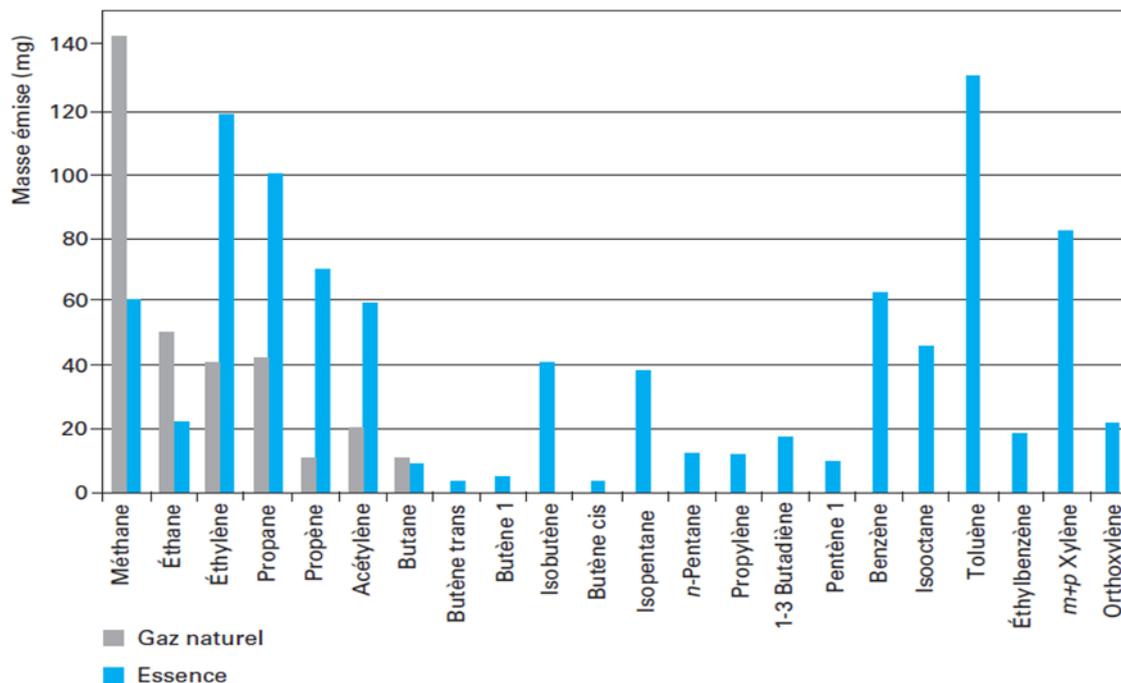


Figure II-3: Émissions comparées essence-gaz naturel de véhicules légers (24)

En conclusion, le gaz naturel est moins polluant que l'essence et le gasoil à tous les points de vue. Que ce soit lors de son extraction, de son transport, de son stockage ou de sa combustion, il présente moins de risque pour l'environnement et la santé humaine.

- Les moteurs GNV/GNC produisent 25 % moins de dioxyde de carbone que l'essence et 35 % moins que le diesel.
- Ils réduisent les émissions de monoxyde de carbone de 95 % par rapport à l'essence, les émissions d'hydrocarbures de 80 % et les oxydes d'azote de 30 %.
- Contrairement à l'essence, le gaz naturel pour véhicules ne contient pas d'additifs toxiques de plomb organique ou de benzène, ce dernier étant hautement cancérigène.

(26)

II.3.2 Contraintes et inconvénients de GNC

Bien que le GNC présente de nombreux avantages, il comporte également des défis à surmonter.

- Il est considéré comme un combustible propre. Pourtant, si l'on tient compte de sa méthode d'extraction, il est constitué en grande partie de méthane, un gaz à effet de serre. Lors de l'extraction, une partie du méthane s'échappe de façon invisible. (27)
- La transformation d'un véhicule à essence reste coûteuse (jusqu'à 4500 \$). (27)
- Un fort échauffement dû à une cause externe conduit à une augmentation de la pression interne. Ce phénomène peut entraîner l'éclatement du réservoir.
- Le problème de rechargement du gaz, demeure le fait que le réservoir GNC prend plus de place qu'un réservoir de carburant Classique.
- Le nombre de stations-service équipées en GNC est encore limité. (28)
- Risque d'explosion où des fuites peuvent se produire en présence d'une source d'ignition.

- Etant non toxique, le seul risque pour la santé provient de l'asphyxie provoquée par la diminution de la concentration de l'oxygène dans l'air. (27)

II.3.3 Le GNC en Algérie

L'Algérie veut emboîter ainsi le pas à certains pays européens qui ont déjà investi lourdement dans ce créneau et développé un réseau dense de stations de remplissage de gaz naturel pour véhicules (GNV). Ce carburant, qui vient en substitution aux essences classiques, présente, outre ses performances environnementales, dit-on, des coûts 35% inférieurs à ceux de l'essence et 30% inférieurs à ceux du diesel. (29)

II.4 Moteur Dual-Fuel :

Le secteur des poids-lourds est souvent mentionné en tant que premier candidat pour passer au GNC/GPL parce qu'ils sont également parmi les principaux contributeurs aux émissions de gaz à effet de serre et d'autres polluants, tels que le CO₂, les NO_x, les SO_x et les particules fines. De ça, les chercheurs ont conclu combien il est nécessaire de mettre en œuvre et de développer de nouvelles technologies efficaces de réduction des émissions afin de réduire les polluants émis.

Dans les grandes lignes, le Dual-Fuel est une technologie à fort potentiel permettant de réduire la consommation, les émissions polluantes et celles de CO₂. Cette technologie Dual-Fuel combine le potentiel de chacun des carburants, elle permet d'atteindre à la fois les niveaux de consommation proches des véhicules Diesel et diminuer les niveaux d'émissions des moteurs.

II.4.1. Fonctionnement du moteur Dual-Fuel :

Les années 2000 ont vu resurgir les concepts dits « Dual-Fuel ». À la base, il s'agit de substituer un maximum de gasoil par du gaz en conservant la base moteur Diesel et en initiant la combustion du gaz par une injection de gasoil. Cette technologie n'est pas récente, les premières applications ayant vu le jour dans les années 1980, mais entre 2000 et 2010 des équipementiers ont proposé des adaptations ou des conversions (rénovation) de motorisation Diesel en mode Dual Fuel. Des développements récents montrent un potentiel intéressant en termes de gain CO₂ et de gain en consommation à forte charge sans compter les gains sur les émissions de particules. (24)

Le moteur bicarburant fonctionne selon le cycle diesel, comme son nom l'indique, deux carburants sont utilisés. Le carburant gazeux, qui est le carburant principal (généralement air/gaz naturel) est d'abord comprimé, puis le carburant pilote (petite quantité de carburant liquide) est injecté pour une combustion rapide. (30)

Le schéma d'un moteur Dual-fuel est représenté dans la figure suivante.

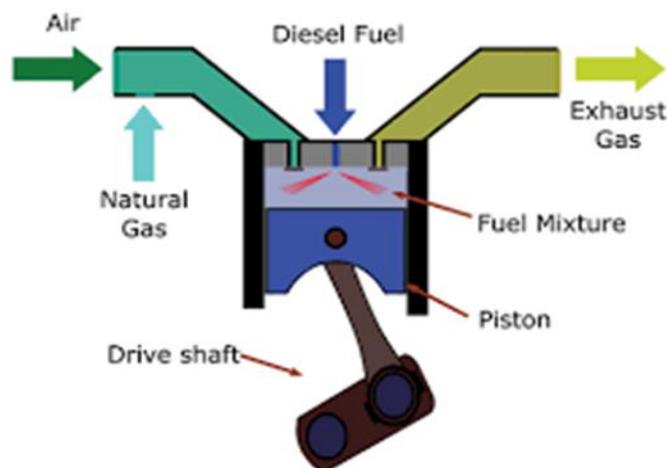


Figure II-4: Schéma d'un moteur Dual-Fuel. (30)

En fonctionnant selon le principe de l'allumage par compression, l'air-carburant est aspiré dans le cylindre du moteur où il sera fortement comprimé. La prochaine étape est le processus d'allumage, dès lors que ce carburant n'est pas un bon carburant d'allumage par compression, une petite quantité de gasoil est injectée, qui agit comme un catalyseur du processus d'allumage. Lorsque le carburant s'enflamme en raison de l'élévation de température, l'ensemble du mélange air-carburant s'enflamme et une combustion rapide se produit. En raison de cette combustion rapide, la pression à l'intérieur du cylindre augmente, ce qui fait bouger le piston et produit la puissance du moteur. (31)

II.4.2. Avantages du Dual-Fuel

- La performance énergétique est proche de celle d'un moteur Diesel. Dans le cas de l'utilisation du GNC. (32)
- Les émissions de CO₂ peuvent être réduites jusqu'à 25 % par rapport au moteur Diesel.
- L'association du gaz (GNC ou GPL) et du gasoil permet de réduire les émissions polluantes (NOx et particules) et de s'affranchir d'un système complexe de dépollution. (33)
- Le bruit, l'encrassement et l'usure du moteur sont diminués.

Un inconvénient majeur est la combustion en mode Dual Fuel à faible charge qui nécessite bien souvent de repasser en mode Diesel. (34)

II.4.3. Dual-Fuel : Diesel/GPLc en Algérie

Le premier bus de transport public et le premier camion hybride roulant à la double énergie diesel/GPLc ont été lancés Mardi 05 Janvier 2021 à Alger, afin de réduire la consommation en gasoil et par conséquent et la facture des importations de ce carburant ainsi que le niveau de pollution de l'environnement.

Une étude des paramètres d'utilisation de ces nouveaux kits est d'ailleurs en cours lors des premiers essais effectués par les bus équipés de ce Kit « Dual Fuel » permettant l'économie de consommation de plus de 30% de Gasoil. (35)

II.5 Conclusion

L'utilisation à l'échelle mondiale des combustibles fossiles pour produire les carburants usuels est aisée, comparée à celle des autres formes d'énergies, ces combustibles sont privilégiés dans les transports des pays en développement, car ils n'exigent pas d'infrastructure lourde pour la distribution.

Néanmoins, les moteurs et les carburants utilisés jouent un rôle marquant sur l'évolution de cette consommation et leurs effets sur l'environnement, pour cela la transition vers des carburants alternatifs moins polluants (GPLc et GNC) sera obligatoire.

CHAPITRE III : LA MOBILITE ELECTRIQUE

III.3 Introduction

Comme toute technologie de rupture, la mobilité électrique a dû, au départ, faire face au scepticisme. Mais ce temps est révolu. Avec la voiture électrique, l'industrie automobile entame une nouvelle ère, aidée en cela par un environnement favorable.

La transition énergétique a un objectif écologique partagé par de nombreux pays. Elle consiste à réduire l'empreinte carbone de tous les secteurs d'activité. L'enjeu étant de décarboner les activités humaines, c'est un mouvement de fond qui concerne toute la société.

Pour accélérer la transition énergétique, des changements majeurs sont nécessaires, dans les modes de production de l'énergie, nos manières de consommer au quotidien, sans oublier l'apport d'innovations technologiques.

La voiture électrique se pare de toutes les vertus : silencieuse, peu polluante, novatrice et apparaît pour certains comme une solution évidente. Cependant, son développement appelle des questions importantes en termes d'exploitation et de disponibilité de ressources et de production et distribution d'électricité.

Dans ce contexte, le développement de l'électromobilité s'impose comme une solution efficace pour répondre à de nombreux défis. Bien sûr, le véhicule électrique n'émet pas de CO₂ au roulage. Mais ça n'est pas tout. Elle favorise également l'émergence des énergies renouvelables en compensant leur intermittence.

III.2 La mobilité électrique, une transition écologique et énergétique

La voiture est omniprésente dans nos contrées. Elle est devenue, au fil des années, tellement incontournable qu'on pense souvent qu'il est impossible de s'en passer. Or, la circulation automobile est un grand contributeur à la pollution atmosphérique, surtout dans les grandes villes. Elle est également responsable de 24% de la production de CO₂ dans le monde.

L'utilisation, dans nos voitures, de moteurs thermiques alimentés en carburants fossiles (essence, diesel et, dans une moindre mesure, GPL ou gaz naturel) est source de multiples problèmes environnementaux et de santé. Tous rejettent des polluants dans l'atmosphère (même si les voitures au gaz sont globalement moins polluantes) : hydrocarbures imbrûlés, CO, NO_x, benzène, particules... et du CO₂. La solution proposée serait donc de diminuer, voire de supprimer ce type de moteur. On trouve donc sur le marché différents systèmes de véhicules plus ou moins électriques, les véhicules électriques ayant cet immense avantage de ne pas polluer l'air à l'utilisation. (36)

Moins d'énergie finale, moins de matières premières, moins d'émissions de CO₂. Ce serait un sans-faute pour les véhicules électriques, d'après les études de plusieurs organisations de Transport et Environnement, qui comparent l'empreinte environnementale des voitures à batteries avec celle des véhicules à combustion (essence et diesel), les véhicules électriques peuvent contribuer à atténuer la dépendance des transports routiers à l'égard des carburants

importés, réduire les émissions de gaz à effet de serre, améliorer la qualité de l'air en ville grâce à des émissions nulles à l'échappement et réduire les nuisances sonores. (37)

III.3 L'histoire de la voiture électrique

La première voiture électrique à apparaître est un train miniature entraîné par un moteur électromagnétique fabriqué par l'Américain Thomas Davenport en 1834, Il faudra attendre près d'une dizaine d'années et de nombreux prototypes à travers le monde pour voir circuler la première voiture électrique construite par Davenport et l'écossais Robert Davison en 1842. Près de 40 ans plus tard, la première voiture thermique équipée d'un moteur à combustion interne verra le jour. En 1852, les voitures électriques ont commencé à faire leur apparition sur le marché, et quelques années plus tard, elles ont connu leur premier essor. Ceci est lié à l'amélioration de la capacité de stockage des batteries par Gaston Planté en 1865 et Camille Faure en 1881. (38)

La première marque de voiture électrique produite en série a été fondée à Paris en 1893. En 1897, la flotte de taxis électriques a été déployée pour la première fois à New York.



Figure III-1: Photographie de 1884 qui présenterait la voiture électrique de l'inventeur britannique Thomas Parker (38)

Les voitures électriques ont bénéficié des évolutions techniques, et en 1900 elles sont à l'origine des premiers records d'autonomie en roulant sur 300 kilomètres sans recharge, ou de vitesse en dépassant les 100 km/h. Durant cette époque, 38 % de marché américain de l'automobile était composé de voitures électriques, 40 % de voitures à vapeur et seulement 22 % de voitures à essence. C'était aussi au cours de cette période, la domination du marché des voitures à vapeur a commencé à décliner. Les voitures électriques ont pris leurs places, car ils les considéraient comme plus fiables, plus facile à conduire. (38)

Dans les années 1900-1910, c'est ensuite la course à la performance, avec des tentatives de records de vitesse. Mais très vite, la voiture électrique décline : la faiblesse de l'autonomie, le manque de vitesse et la disponibilité du pétrole vont reléguer l'électrique au placard.

Aujourd'hui à nouveau, on voit l'émergence prochaine des véhicules électriques, sous la pression de l'augmentation du prix du pétrole et du développement des préoccupations environnementales, et grâce aux derniers progrès techniques. (38)

III.4 Principe de fonctionnement

Ces véhicules ont un fonctionnement bien plus simple qu'une voiture diesel ou essence, en apparence, une voiture électrique ressemble généralement à n'importe quel autre véhicule. Pour apercevoir les différences, il faut jeter un œil sous le capot et sous le plancher. A la place d'un moteur à combustion interne utilisant la chaleur comme énergie, elle utilise de l'électricité. Pour comprendre pas-à-pas le fonctionnement d'une voiture électrique, on va suivre le trajet de l'électricité, du réseau jusqu'à la roue. (39)

III.4.1 Architecture d'une voiture électrique

Le concept du véhicule électrique est essentiellement simple et est illustré dans la figure II-2, les principaux composants d'un VE peuvent être divisés en une batterie électrique pour le stockage de l'énergie, un moteur électrique et un contrôleur du moteur, aucun système de démarrage, d'échappement ou de lubrification, la plupart du temps aucune boîte de vitesses et parfois même aucun système de refroidissement ne sont nécessaires. (40)

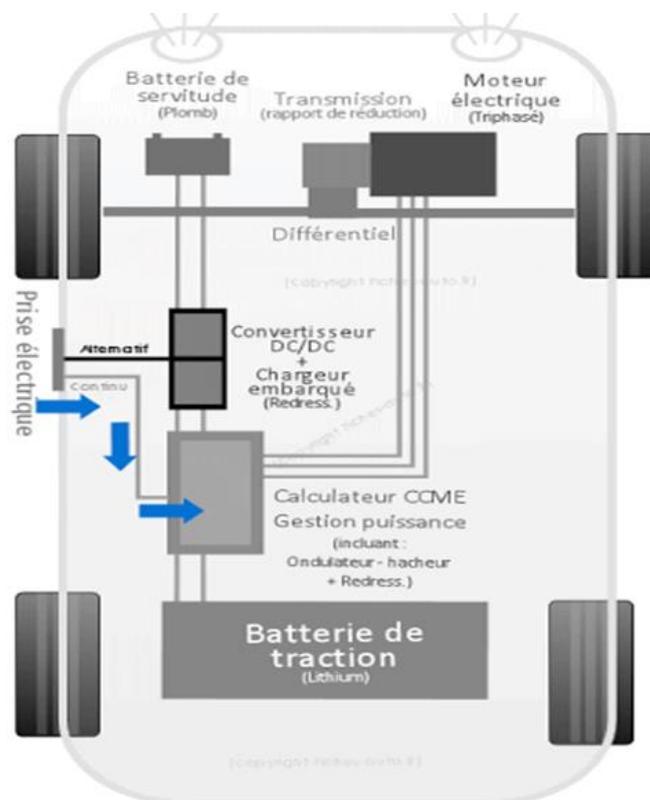


Figure III-2: Architecture d'une voiture électrique (39)

III.4.2 La recharge

Tout commence par cette étape, pour faire le plein, une voiture électrique doit être branchée sur une prise ou une borne de recharge. Le branchement se fait à travers un câble doté de connecteurs appropriés. Il en existe plusieurs, correspondant au mode de recharge souhaité.

Une fois la connexion effectuée, le courant électrique alternatif (AC) qui circule dans le réseau de distribution chemine le long du câble connecté à la voiture. Celle-ci procède à une série de vérifications via son ordinateur de bord. Elle s'assure notamment que le courant est de bonne qualité, bien configuré et que la phase de terre est suffisante pour garantir une recharge en toute sécurité. Si tout est conforme, la voiture autorise l'électricité à traverser un premier élément embarqué : le convertisseur. (39)

III.4.3 Convertisseur

Cet organe transforme le courant alternatif du réseau en courant continu (DC). En effet, les batteries ne peuvent stocker l'énergie que sous forme de courant continu. Pour éviter cette étape et recharger plus rapidement, certaines bornes convertissent elles-mêmes l'électricité pour injecter directement du courant continu dans la batterie. Il s'agit des bornes dites de « recharge rapide » et « ultra-rapides ». (41)

III.4.4 La batterie

Dans la batterie, le courant se répartit sur les milliers de cellules qui la composent. Elles se présentent sous forme de petites piles ou de poches assemblées les unes aux autres. La quantité d'énergie stockable par la batterie s'exprime en kilowattheure (kWh), équivalent au « litre » d'un réservoir de carburant et le débit d'électricité délivré s'exprime en kilowatt « kw », les batteries de voitures électriques fonctionnent avec du courant continu.

Ce courant stocké dans la batterie est ensuite dirigé vers un moteur électrique mais il doit tout d'abord être transformé en courant alternatif par l'intermédiaire d'un onduleur. (39)

III.4.5 Moteur électrique

Le moteur d'une voiture électrique est construit sur la base d'un ensemble de pièces conçues pour convertir l'électricité en énergie mécanique grâce à la création d'un champ magnétique. Son fonctionnement est très simple : sous l'action d'un champ magnétique généré dans le stator (la partie immobile), le rotor (la partie mobile) du moteur tourne. Il peut transmettre son mouvement aux roues directement ou à travers un réducteur à un seul rapport pour optimiser sa vitesse de rotation.

III.4.6 Transmission

La voiture électrique est dépourvue de boîte de vitesse. Elle est inutile car un moteur électrique est capable de fonctionner sans problème jusqu'à plusieurs dizaines de milliers de tours par minute. Il fournit directement la rotation contrairement à un moteur thermique qui doit convertir le mouvement rectiligne des pistons en mouvement circulaire. Logiquement, il y a beaucoup moins de pièces en mouvement dans une voiture électrique que dans un véhicule thermique. Elle n'a pas besoin d'huile pour son moteur, est dépourvue de courroie

de distribution et nécessite donc bien moins d'entretien, donc les véhicules électriques sont capables d'atteindre leur vitesse maximale avec un seul rapport de transmission, pas besoin de changer de vitesse. (41)

III.5 Les différences entre une voiture hybride, hybride rechargeable, électrique :

Souvent comparées, les voitures hybrides, hybrides rechargeables et électriques se distinguent pourtant sur de nombreux points. Pour mieux cerner ces différences, intéressons-nous à leur moteur, leur autonomie, leur niveau de pollution, leur confort d'utilisation, l'étendue de leur gamme et leur prix.

III.5.1 Les différences techniques

Pour bien comprendre les différences entre les voitures hybrides, hybrides rechargeables et électriques, un élément est plus important que les autres : la motorisation embarquée.

Voiture hybride (HEV) :

Il s'agit d'un véhicule avec un moteur essence - ou plus rarement diesel - auquel le constructeur a ajouté un petit moteur électrique et une batterie. Cette dernière est alimentée grâce à l'énergie cinétique récupérée lors des phases de freinage et de décélération. L'électricité ainsi accumulée est alors utilisée lors du démarrage du véhicule et, parfois, permet même de réaliser de courtes distances en 100 % électrique.

Voiture hybride rechargeable (PHEV) :

Il s'agit d'un véhicule hybride disposant d'une batterie plus importante et, parfois, d'un moteur électrique. La batterie est alimentée grâce à l'énergie cinétique (récupérée en phase de décélération), mais également grâce à la recharge sur une borne électrique. La voiture hybride rechargeable permet de réaliser plusieurs dizaines de kilomètres en 100 % électrique, notamment pour les trajets urbains. Pour les déplacements plus longs ou si la batterie est déchargée, c'est le moteur thermique qui prend le relais.

Voiture électrique (EV) :

Il s'agit d'un véhicule ne disposant pas de réservoir à carburant, ni de moteur à combustion. À la place, on retrouve un moteur électrique associé à une batterie. Cette batterie est alimentée grâce aux bornes de recharge à domicile : prise classique, prise renforcée ou aux bornes publiques. (42)

III.5.2 Autonomie

Les différences de motorisation entre les voitures hybrides, hybrides rechargeables, électriques et à hydrogène ont une conséquence directe : l'autonomie d'utilisation.

Voiture hybride

Avec un tel véhicule, la batterie n'est en fonctionnement que sur de courtes périodes (démarrage, embouteillages, etc.). L'autonomie électrique est donc quasiment inexistante et se limite, selon les modèles, à un ou deux kilomètres au maximum. C'est le moteur thermique qui définit les limites d'autonomie de la voiture, notamment en fonction de la capacité du réservoir et de la consommation de carburant.

Voiture hybride rechargeable

Doté d'une batterie avec une capacité plus importante et, parfois, d'un moteur électrique, ce type de véhicule offre plusieurs dizaines de kilomètres d'autonomie en 100 % électrique. Tout dépendra en fait de la capacité de la batterie, certains modèles annonçant même jusqu'à 100 kilomètres d'autonomie théorique, à l'image de la Chevrolet Volt. Une fois la batterie épuisée, c'est le moteur thermique qui prendra le relais, repoussant l'autonomie totale à plusieurs centaines de kilomètres.

Voiture électrique

Son autonomie dépend principalement de la capacité de la batterie. Les modèles les plus performants embarquent aujourd'hui une batterie de 100 kWh, la capacité moyenne tourne cependant davantage autour de 40 à 50 kWh.

Dans le premier cas, l'autonomie théorique est supérieure à 600 kilomètres, tandis qu'elle tourne aux alentours de 300 à 400 kilomètres pour le second. Notons toutefois que le mode de conduite joue un rôle important dans l'autonomie d'une voiture électrique, dans la mesure où l'autonomie diminue beaucoup plus rapidement si le véhicule roule à pleine puissance. (42)

III.5.3 Les différences en matière de confort d'utilisation

De par la technologie qu'elles embarquent, les voitures hybrides, hybrides rechargeables, électriques et à hydrogène se distinguent également par leur confort routier :

Voiture hybride

Elle offre un confort d'utilisation supérieur aux véhicules 100 % thermiques, car c'est la batterie électrique qui fonctionne sur le premier kilomètre, limitant ainsi les à-coups. Il n'y aura cependant pas de différence sur route car, dans les deux cas, c'est le moteur thermique qui prend le relais.

Voiture hybride rechargeable

L'autonomie de la batterie électrique étant supérieure à celle d'une voiture hybride standard, la voiture hybride rechargeable se montre plus agréable. Elle fonctionne en 100 % électrique au démarrage, mais également dans les embouteillages et, selon les modèles, pour les trajets urbains. Autant de moments où la conduite sera silencieuse et plus souple.

Voiture électrique

C'est le véhicule qui offre le meilleur confort routier, puisque le fonctionnement est 100 % silencieux et sans à-coups, et ce, aussi bien en ville que sur les trajets plus longs. La peur de tomber en panne, faute de borne de recharge, peut cependant altérer l'expérience de conduite pour certains conducteurs. (42)

III.5.4 Les différences en matière de pollution

Le choix entre une voiture hybride, hybride rechargeable, électrique et hydrogène est souvent une question de conviction, tout particulièrement en ce qui concerne le taux d'émissions polluantes.

La voiture hybride

Dans la pratique, pour ce type de véhicule thermique avec une assistance électrique, la batterie n'est sollicitée qu'en de rares occasions. Par conséquent le taux de CO₂ dégagé est approximativement le même que pour une voiture diesel ou essence comparable.

La voiture hybride rechargeable

Bien qu'il offre une plus grande autonomie en 100 % électrique, ce véhicule n'en reste pas moins thermique. Le taux d'émissions de CO₂ peut néanmoins, selon les modèles, être divisé par deux par rapport à une voiture « standard ».

La voiture électrique

La voiture électrique ne pollue pas du tout en utilisation. En effet, elle ne rejette pas de CO₂. Néanmoins, la fabrication et le recyclage des batteries sont sujets à polémique, dans la mesure où ces deux postes ont un coût environnemental conséquent. (42)

III.5.4 Coût

Le coût trop élevé des batteries performantes est actuellement un frein au développement des véhicules électriques à grande échelle.

Le surcoût à l'achat peut être partiellement compensé par les économies à l'usage du véhicule (maintenance ou carburant), l'électricité étant moins chère que l'essence ou le diesel. Des bonus à l'achat sont développés, notamment dans plusieurs pays, pour encourager le développement de la mobilité électrique.

Notons que le prix élevé de l'essence ou du diesel est généré par un niveau de taxe important. L'électricité moins taxée offrira moins de rentrées financières aux États à un moment où nombre d'entre eux souffrent de difficultés budgétaires. Ceci pose clairement la question d'un risque d'un renchérissement fiscal de l'électricité destinée au transport, avec toutes ses conséquences sur l'économie de la voiture électrique. (43)

III.6 La course vers la mobilité électrique

En décembre 2020, le parc mondial de voitures 100 % électriques atteignait 8,6 millions de véhicules, dont 40,8 % en Chine, 20,4 % en Europe et 13,2 % aux États-Unis. (8)

Malgré des circonstances difficiles et l'impact négatif de la pandémie sur l'industrie automobile, les véhicules électriques ont fait un pas de géant dans de nombreux pays en 2020. Selon les estimations des spécialistes, les voitures électriques et hybrides rechargeables ont représenté 4,2 % des ventes mondiales de véhicules neufs particuliers l'année dernière, contre 2,5 % en 2019. Alors que seulement huit pays enregistraient une part de marché de 5 % ou plus en 2019, treize pays, tous Européens, ont réussi l'année dernière à faire passer les véhicules électrifiés au-delà de 10 % des ventes.

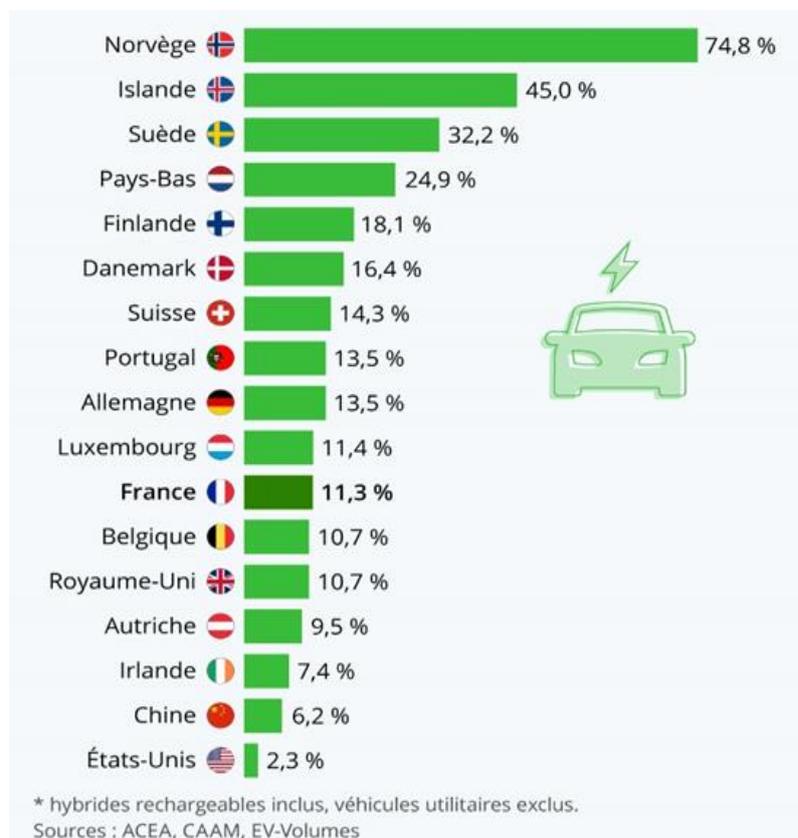


Figure III-3: Pays avec la plus grande part de véhicules électriques et hybrides dans les ventes de voitures -2020 (44)

Comme les années précédentes, la Norvège constitue l'exception positive la plus notable en tête de liste : en 2020, trois voitures particulières vendues sur quatre étaient électriques ou hybrides dans ce pays, tandis que l'Islande, la Suède et la Finlande s'imposent également dans le top 5 - témoignant de l'adoption rapide de la mobilité électrique en Europe. La Chine, qui est de loin le plus grand marché mondial en matière de volume de ventes, est quant à elle sortie du top 10 avec une part de 6,2 % en 2020. Alors que l'Europe semble prendre de l'avance dans la course à l'adoption, les États-Unis restent assez loin derrière avec une part de marché de seulement 2,3 %. (44)

C'est un ensemble de mesures politiques très avantageuses - exonérations fiscales, gratuité des péages et autres incitations économiques - qui a permis à ces pays de promouvoir avec un tel succès l'achat de véhicules électriques.

III.7 Avantages et Inconvénients du véhicule électrique

Rouler en voiture électrique amène de nouvelles habitudes. Celles-ci présentent des avantages et des inconvénients qui auront chacun plus ou moins d'importance selon l'usage que l'on réserve à l'engin.

III.7.1 Avantages du véhicule électrique :

Les économies à l'utilisation

En moyenne, effectuer 100 kilomètres en voiture électrique coûte environ 2 dollars en électricité, contre 9 dollars de carburant avec un modèle diesel équivalent ou 12 dollars s'il s'agit d'un véhicule à essence.

Avec une telle équation, plus nous réalisons de kilomètres à l'année, plus rouler en voiture électrique sera financièrement intéressant.

Un avantage bien plus marqué si nous produisons notre propre électricité dans la maison. En revanche, s'il nous faut recharger sur des bornes payantes, on pourrait trouver des situations où mathématiquement il serait plus coûteux de se déplacer à l'électrique.

Fiabilité

Les moteurs électriques sont moins complexes et possèdent nettement moins de pièces que les moteurs thermiques. Ils nécessitent donc moins d'entretien que ces derniers, tandis que le risque de rencontrer un problème de fonctionnement est réduit, la fiabilité globale des VE est donc incomparable face aux modèles thermiques.

Véhicule électrique et l'environnement

Globalement, l'impact des véhicules électriques sur l'environnement et la santé publique est bien meilleur que celui des modèles thermiques. Des rapports parus fin 2017 indiquent que les émissions de gaz à effet de serre induites par la fabrication, l'usage et à la fin de vie d'un véhicule électrique, sont actuellement 2 à 3 fois inférieures à celles des véhicules essence et diesel. (45)

III.7.2 Inconvénients du véhicule électrique

Prix d'achat initial plus élevé

Les constructeurs proposent de plus en plus de modèles mais le marché reste actuellement limité et les prix sont toujours très élevés par rapport à un véhicule classique.

L'autonomie sur les longues distances

C'est la grande faiblesse des véhicules électriques. Si l'autonomie varie d'un modèle à l'autre, elle est souvent prohibitive pour les conducteurs qui parcourent de longues distances. Avec une autonomie maximale de 300 à 400 km pour les petites citadines, la voiture électrique reste un très bon choix que pour les petits trajets domicile/travail. Cependant, les progrès réalisés sur les batteries tendent à augmenter l'autonomie des véhicules. (46)

L'impact de ses batteries

C'est le point noir de la voiture électrique sur le plan environnemental, la production des batteries des voitures électriques pose de grands problèmes environnementaux et sociaux. On utilise de plus en plus de batteries au lithium pour les véhicules mais aussi pour leurs équipements informatiques et électroniques. Cela accroît la pression sur ce métal rare.

Le lithium provient souvent d'Amérique latine. Sa production, très gourmande en eau, met à mal les écosystèmes et la survie des populations locales dans des zones où la sécheresse est déjà problématique. Ces préoccupations restent d'actualité, même si l'efficacité des batteries évolue rapidement. Dans le même temps, leur prix a été divisé par trois. Tout indique que la performance des batteries va encore s'améliorer.

Cependant, la capacité des batteries diminue au cours du temps. Quand leur capacité n'atteint plus qu'environ 75 à 80% de leur capacité, elles ne peuvent plus être utilisées dans les véhicules mais peuvent encore servir comme solution de stockage stationnaire (par exemple comme batterie domestique si on a des panneaux photovoltaïques). (46)

Temps de recharge

L'un des plus gros inconvénients est de faire le plein qui peut prendre littéralement des heures, le type de branchement fait varier considérablement le temps de charge, mais il est impossible à l'heure actuelle d'égaliser les 5 minutes nécessaires pour faire le plein de son véhicule thermique. Même l'installation de chargeur haute vitesse ne résoudra pas ce problème. Faire un long trajet en électrique, c'est donc savoir prendre le temps de faire une pause de temps en temps.

Les émissions de particules fines

Les voitures particulières émettent des particules fines sur leur passage, dans l'état actuel des connaissances sur le sujet, il semblerait que le surpoids causé par la batterie de traction fait qu'un VE lance dans l'atmosphère plus de particules fines provenant de l'abrasion des pneus, du revêtement des sols et des garnitures des freins, qu'un équivalent diesel très récent, même en comprenant ses rejets à l'échappement. (41)

III.8 Véhicules électriques ou thermiques

III.8.1 Emissions en polluants

Si les émissions en polluants sont effectivement plus importantes lors de la fabrication d'un véhicule électrique par rapport à un véhicule thermique, sur toute la durée de vie de celui-ci, le bilan est nettement en faveur de l'électrique. Il faut donc déterminer si sur l'ensemble de son cycle de vie la voiture électrique est réellement moins polluante.

Au niveau des émissions de gaz à effet de serre, des études comparatives publiées fin mai 2020 par l'ONG Transport & Environnement confirment que les voitures électriques rejettent beaucoup moins de CO₂ qu'une voiture thermique équivalente. Pour aboutir à ce résultat, l'empreinte carbone de la production de l'électricité, de la combustion du carburant, ainsi que de l'extraction des ressources nécessaires pour fabriquer une batterie et construire une centrale électrique ont été pris en considération. (47)

La figure suivante représente les émissions de CO₂ sur le cycle de vie pour les différents types de véhicules et de carburants.

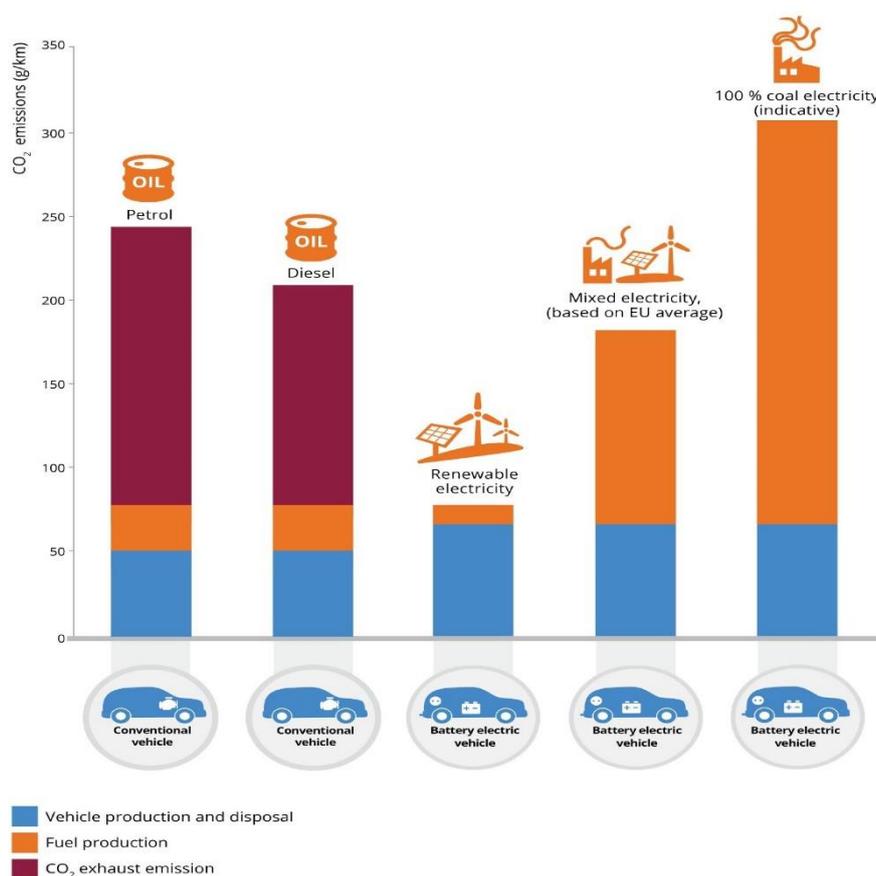


Figure III-4: Les émissions de CO₂ sur le cycle de vie pour les différents types de véhicules et de carburants (48)

Le mix énergétique utilisé pendant le processus de fabrication de la batterie a un impact significatif sur le total CO₂ émis pendant la vie du véhicule.

Pour un mix électrique fortement dépendant du charbon et des poids lourds, les émissions de CO₂ sur le cycle de vie des véhicules électriques seront supérieures à celles des véhicules conventionnels. (48)

III.8.2 Consommation des ressources

Une différence fondamentale entre les VEs et les véhicules thermiques, c'est qu'une voiture thermique, au cours de sa durée de vie brûle en moyenne près de 17 000 litres d'essence ou environ 13 500 de diesel. La consommation moyenne de carburant d'une voiture de taille moyenne roulant plus de 225 000 km.

En revanche, les VEs sont alimentés par l'électricité stockée chimiquement dans la batterie. Les métaux qui composent ces batteries ne sont pas affectés par ce processus, ce qui signifie qu'à la fin de sa vie, la batterie aura une composition presque identique.

D'après les études, une batterie de voiture électrique est aujourd'hui composée d'environ 160 kg de métaux, dont une grande partie de graphite (52 kg), d'aluminium (35 kg) et de nickel (29 kg). Une batterie moyenne contient également 8 kg de cobalt et 6 kg de lithium. Or, en prenant en considération les ambitions européennes en matière de recyclage des batteries, seuls 30 kg de matières premières seraient perdus à l'issue de la vie du véhicule, parmi lesquels 1,8 kg de lithium, 0,4 kg de cobalt et 1,4 kg de nickel.

Dans le tableau suivant, nous trouvons les principaux métaux qui composent la majorité des cellules des batteries avec leur moyenne contribution en masse. (49)

Tableau III-1: Les principaux métaux qui composent la majorité des cellules des batteries (49)

Matériaux	Masse moyenne dans la batterie (Kg)
Lithium	6
Cobalt	8
Nickel	29
Manganèse	10
Graphite	52
Aluminium	35
Cuivre	20

Sachant que le poids actuel des batteries de voitures électriques est généralement compris entre 250 et 300 kg environ. Afin d'obtenir la même autonomie avec une voiture électrique qu'avec une voiture thermique, le poids de la batterie devrait faire pas moins de 250 kg. (50)

III.8.3 Efficacité en termes d'énergie finale :

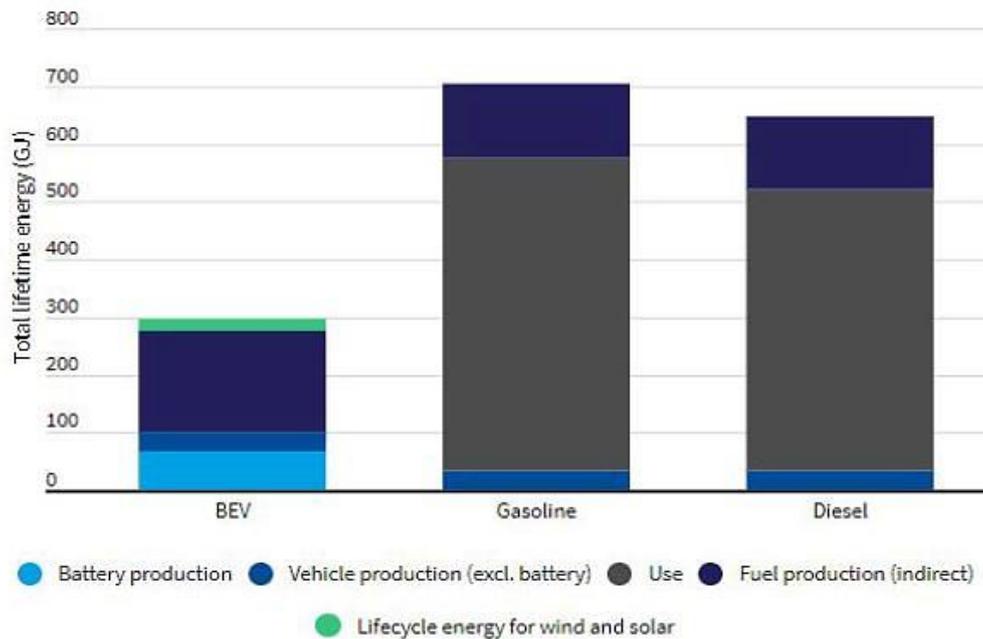
Une comparaison entre la consommation d'énergie sur le cycle de vie d'un véhicule électrique alimenté par des renouvelables et d'une voiture à carburant fossile a été faite. Cela comprend : l'énergie provenant de la production du véhicule (y compris la batterie), l'énergie directe provenant de la phase d'utilisation (le carburant brûlé dans le moteur à combustion interne), l'énergie indirecte de la phase d'utilisation (l'électricité pour charger le VE et l'énergie en amont nécessaire pour extraire, raffiner et transporter l'essence ou le diesel). Enfin, la consommation d'énergie sur le cycle de vie pour produire les panneaux solaires photovoltaïques et les turbines éoliennes nécessaires pour générer l'électricité que la VE utilise ensuite.

L'analyse a montré qu'au cours de sa durée de vie, la VE aura besoin de 58 % d'énergie en moins qu'une voiture à essence, c'est-à-dire 0,37 kWh/km contre 0,87 kWh/km (ou 54 % de moins qu'un diesel). (49)

Pour le VE, environ 60% de cette énergie provient de l'électricité produite pour recharger la voiture (y compris les différentes pertes et efficacités). Puis vient la production de la batterie (23 % du total), la production du véhicule (11 %, sans la batterie), et enfin l'énergie du cycle de vie nécessaire pour produire les panneaux solaires et les éoliennes qui produisent l'électricité 7%.

En revanche, 77% de la consommation d'énergie du cycle de vie de la voiture fossile est liée directement au carburant brûlé dans la phase d'utilisation, à laquelle s'ajoutent 18% de la consommation d'énergie en amont de l'extraction, du raffinage, de la production et du transport du carburant.

La figure suivante représente la consommation d'énergie sur le cycle de vie des VEs.



Source: T&E calculations, partly based on T&E lifecycle analysis of CO2 emissions (transenv.eu/LCA)

Figure III-5: Consommation d'énergie sur le cycle de vie des VEs (49)

III.9 Conclusion

Depuis son apparition, il y a plus de cent ans, le véhicule électrique ou hybride a toujours fasciné l'homme pour le côté futuriste qu'il procure. Cependant, depuis quelques années, ces véhicules d'avenir ont commencé à être intégrés dans le monde de façon rapide.

Le véhicule électrique est sur le point d'amener des bouleversements importants dans l'industrie du matériel de transport terrestre. Le moteur à combustion interne est appelé à céder une large place au moteur électrique moins polluant et plus efficace, de façon à diminuer la pollution en milieu urbain et à diminuer la dépendance vis à vis du pétrole importé.

Cette forte augmentation de la demande est en grande partie due aux mesures gouvernementales en faveur des véhicules à faibles émissions, plus les incitations sont importantes et plus les gains sont importants.

L'Algérie dans sa stratégie dans la locomotion électrique devrait s'associer avec des géants constructeurs pour assurer sa transition vers les carburants propres.

**CHAPITRE IV : L'ELABORATION DES
MODELES ENERGETIQUES DANS LE
SECTEUR DU TRANSPORT A
L'HORIZON 2030**

IV.1 Introduction

Actuellement, le monde passe de plus en plus de la dépendance aux combustibles fossiles. Pour cette raison, l'Algérie a initié la transition vers les carburants propres comme le Sirghaz (GPLc) par la mise en place des programmes des conversions des véhicules d'Essence et Gasoil au GPLc.

Durant la période 2015-2020, le parc national automobile est passé de 5,12 à 6,57 millions de véhicules, par conséquent la demande énergétique dans ce secteur énergivore est passé de 14.09 Mt à 16.02 Mt. Il est urgent donc d'introduire des alternatives tel que la mobilité électrique dans le modèle énergétique algérien afin de rationaliser la consommation dans ce secteur.

Notre travail consiste à étudier le parc national automobile Algérien, en termes de :

- Nombre des véhicules (importation, réduction et conversion) ;
- Consommation (croissance, décroissance, stabilité) ;
- Gain relatif à la consommation des carburants et ses coûts ;
- Réduction des émissions des CO₂.

Les hypothèses de calculs sont utilisées lors de l'absence des données fiables sur le parc national d'automobile algérien. Ces hypothèses seront identifiées dans la suite de ce travail.

Par ailleurs, cette partie consiste à proposer trois (03) Scénarios : i) Scénario « fil de l'eau » qui définit la situation du parc et sa consommation à l'horizon 2030 (même rythme d'importation et de consommation) ; ii) Scénario « réaliste » ayant l'objectif de réduire la consommation des carburants (Essence et Gasoil) par la conversion vers des véhicules qui roulent au GPLc et l'intégration progressive du parc électrique; iii) Scénario volontariste avec l'élimination des véhicules d'Age supérieur à 20 ans.

IV.2 Etats des lieux du PNA :

IV.2.1 Nombre des véhicules

Le rapport de l'APRUE relatif à la répartition du PNA est présenté comme suit (figure IV-1)

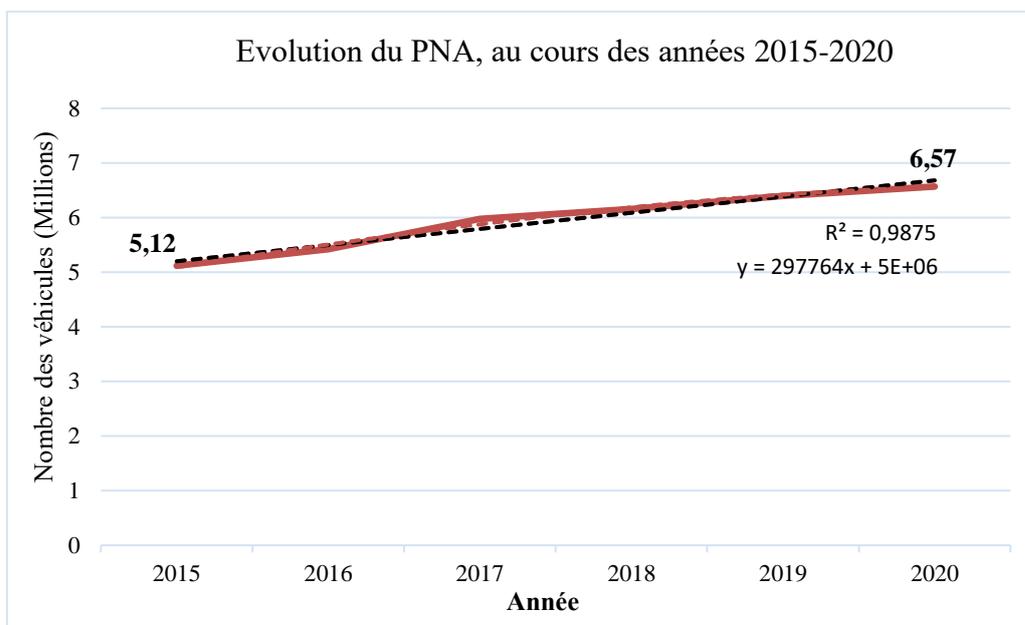


Figure IV-1: Evolution du PNA, au cours des années 2015-2020

D'après ces données, nous pouvons estimer l'augmentation annuelle du nombre des véhicules, elle est entre 200 000 et 300 000 véhicules par an, notamment :

- Un parc d'automobile d'environ 6.57 millions véhicules ;
- S'agissant des véhicules qui roulent en Essence et Gasoil avec une contribution relativement faible du GPLc ;
- Environ de 3,28 millions véhicules utilisent l'essence et représentent la moitié du PNA.

La répartition du parc, par type de carburant, est la suivante (Figure IV-2)

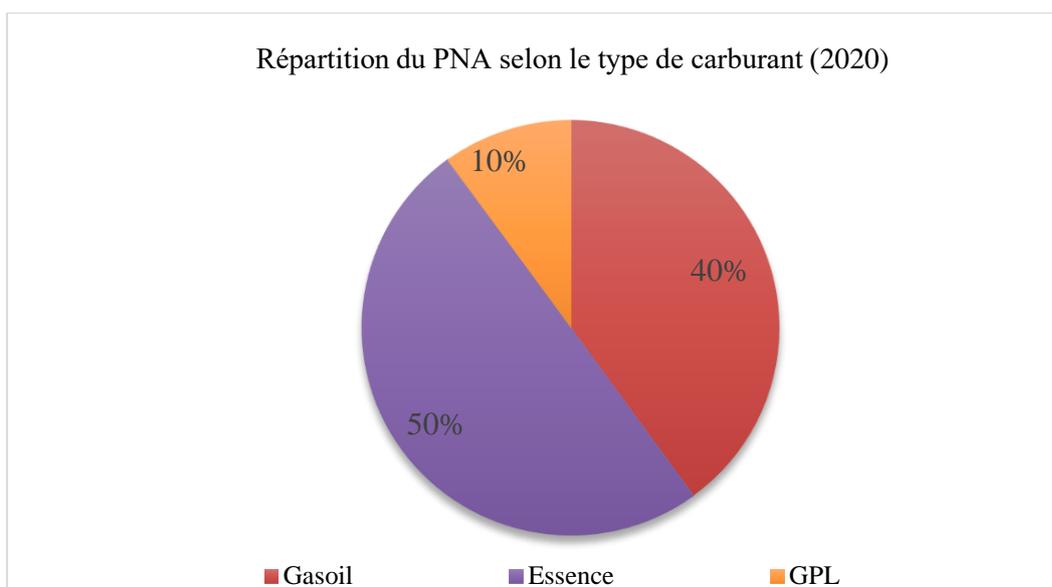


Figure IV-2: Répartition du PNA selon le type de carburant (2020)

IV.2.2 Situation du PNA par tranche d'Age

La répartition du PNA selon les tranches d'âge des véhicules montre que le nombre des moins de 5 ans représente 20 % de la totalité du parc, des 5 à 9 ans à 18%, des 10 à 14 ans à 14 %, des 15 à 19 ans à 4 %, des 20 ans et plus à 44%.

La figure IV-3 représente la répartition du PNA selon les tranches d'âge en 2018

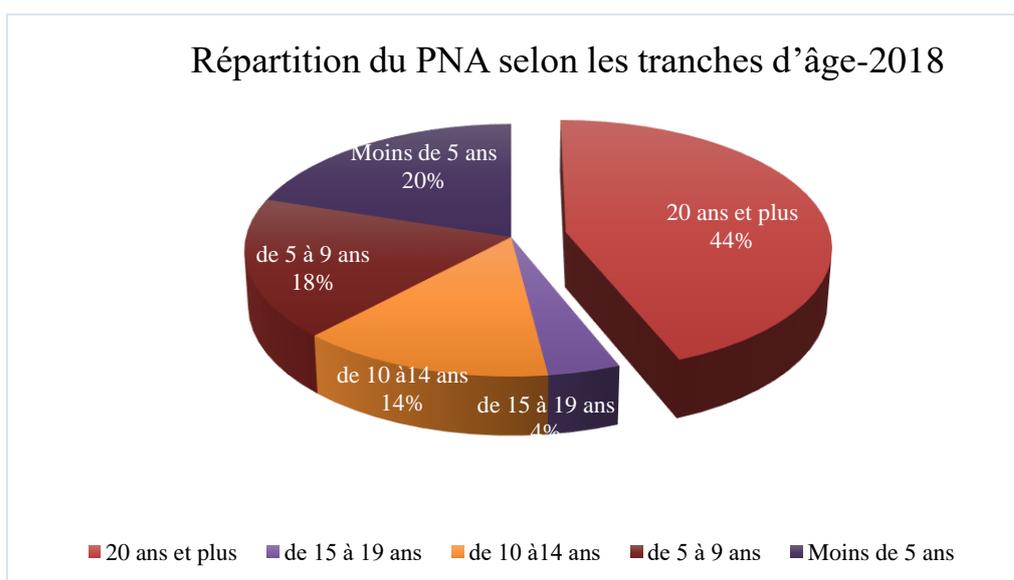


Figure IV-3: Répartition du PNA par tranches d'âge - 2018

Pour les véhicules de tourisme, les données ont indiqué que 39% du PNA ont plus de 20 ans, ce qui veut dire qu'ils consomment plus et polluent beaucoup plus.

La figure IV-4 représente la répartition des véhicules de tourisme selon les tranches d'âge en 2018.

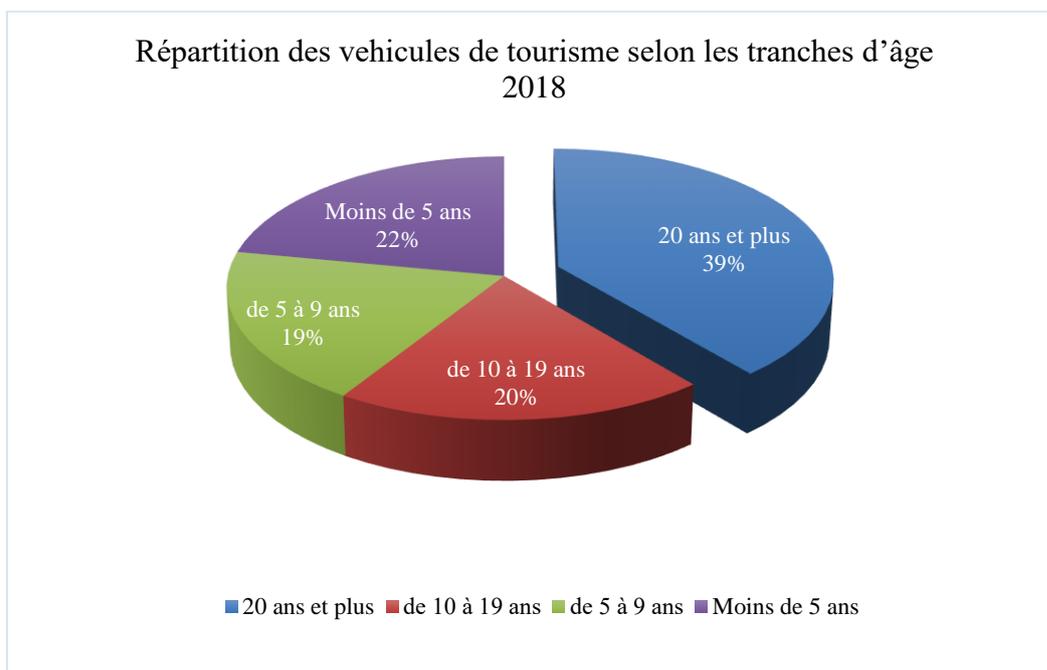


Figure IV-4: Répartition des véhicules de tourisme selon les tranches d'Age 2018

Pour les camions, les données ont indiqué que leur parc est vieux avec un pourcentage significatif de 71% qui sont âgés 20 ans et plus.

La figure IV-5 représente la répartition des camions selon les tranches d'âge en 2018

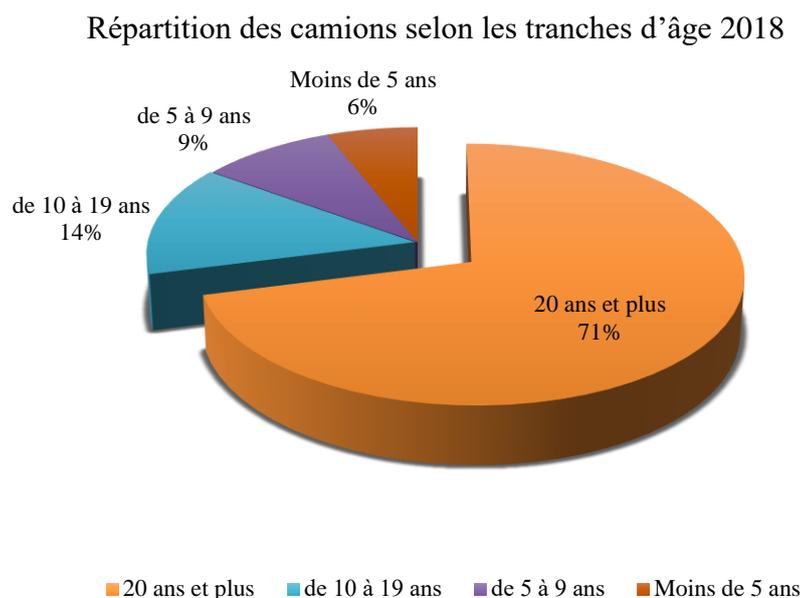


Figure IV-5: Répartition des camions selon les tranches d'âge 2018

IV.2.3 Consommation des carburants 2021

La figure suivante représente l'évolution de la consommation durant la période 2008-2021

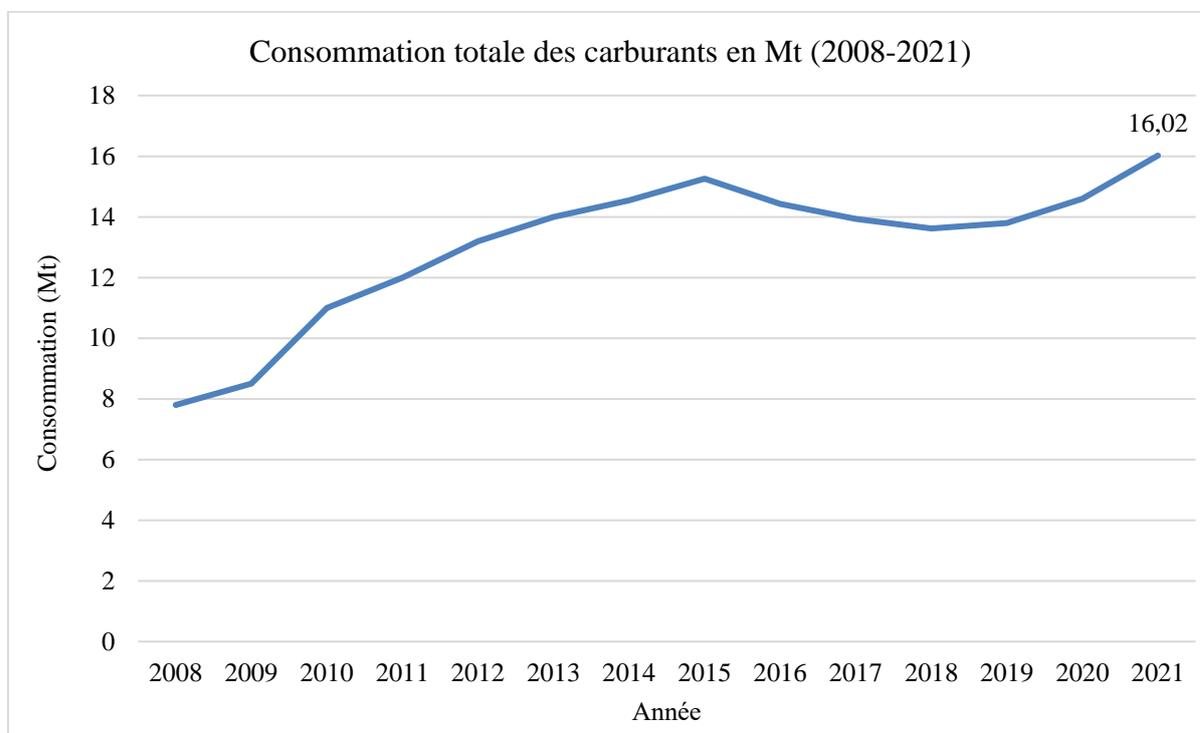


Figure IV-6: Consommation totale des carburants 2008-2021

Commentaires :

L'évolution de la consommation est liée par :

- Le nombre annuel des véhicules ajouté au PNA.
- L'augmentation de la population.
- L'amélioration de la qualité de vie
- Développement économique et l'encouragement de l'achat des véhicules.

Le tableau suivant représente la consommation pour chaque carburant en 2021.

Tableau IV -1: Consommation par type de carburant 2021

Carburant	Gasoil	Essence	GPLc	Totale
Consommation en Mt	11.99	3.45	0.57	16.79

La figure IV-7 représente Répartition de la consommation des carburants dans le PNA en 2021

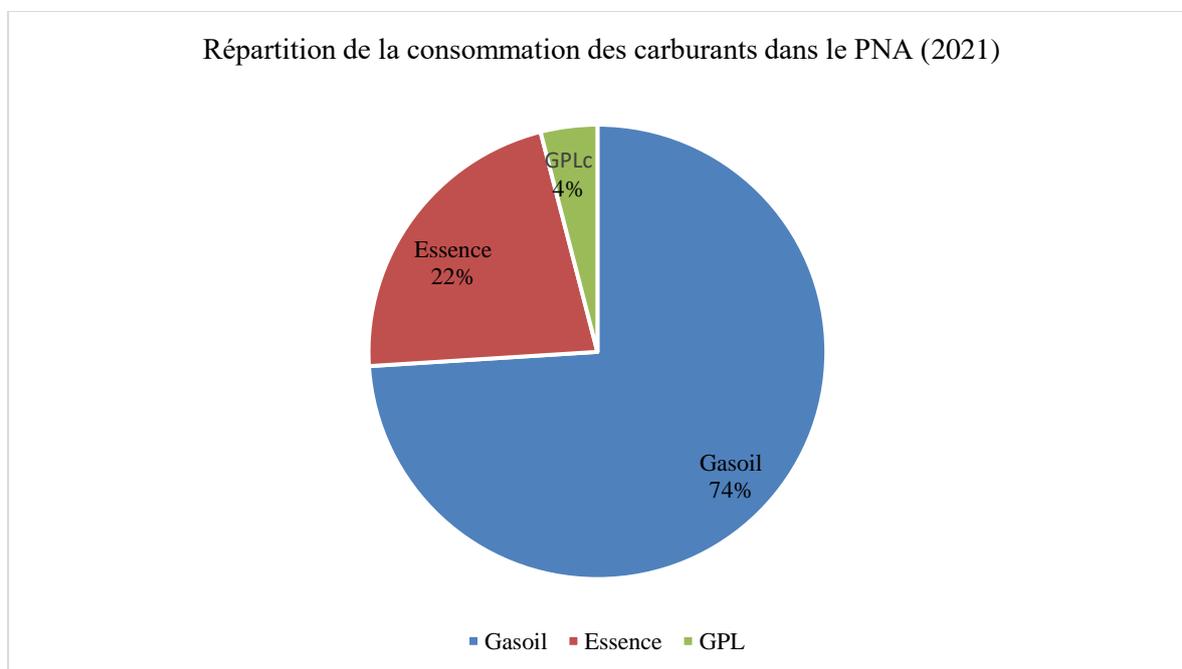


Figure IV-7: Répartition de la consommation des carburants dans le PNA (2021)

Commentaires :

Les véhicules de gasoil malgré qu'ils représentent 40% du total du PNA, ils absorbent 74% de la consommation totale.

Le parc d'essence constitue la moitié du PNA, sa consommation a atteint les 22%, et que 4% pour le GPLc. Ce déséquilibre est lié directement au parcours moyen annuel élevé des véhicules lourds qui représente un tiers du parc gasoil (60000 km/an) et la consommation dans 100 km (28L/100 km) de ces derniers types de véhicules.

IV.2.4 Données et hypothèses de calcul

Données :

- Evolution des prix :

Les prix du gasoil et d'essence a connu une augmentation annuelle respectivement d'environ 2.55 Da et 4.13 Da (Figure IV-2). Or le prix du GPLc reste inchangé (9 DA/litre).

La figure IV-8 représente l'évolution du prix de gasoil et essence durant la période (2015-2021)

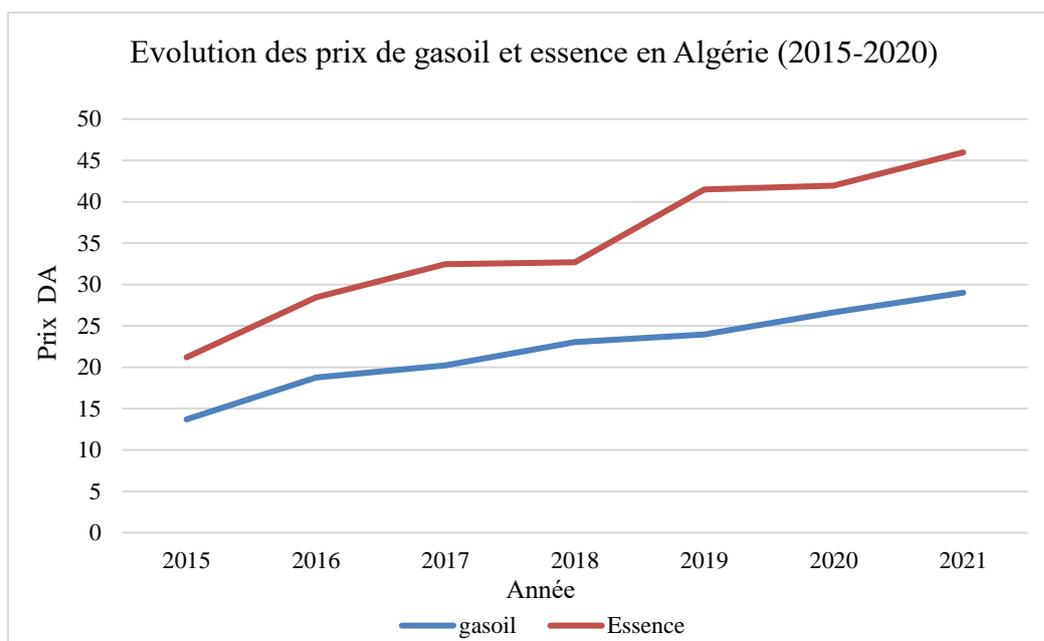


Figure IV-8: Evolution du prix de gasoil et essence en Algérie 2015-2021

Nous pouvons résumer la dernière figure dans le tableau IV-2

Tableau IV-2: Prix des carburants 2021

Carburant	Gasoil	Essence	GPL
Prix actuel d'1L (DA)	29.01	45.97	9

Le prix de baril de pétrole algérien (Sahara Blend) est d'environ \$64 (2021).

Densité des carburants :

Le tableau ci-dessous représente la densité de chaque carburant

Tableau IV-3: Densité des carburants

Carburant	Gasoil	Essence	GPLc
Densité (kg/l)	0.844	0.75	0.54

Hypothèses :

A- Véhicules thermiques

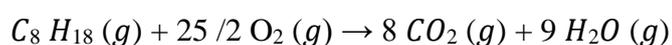
Les hypothèses de calcul pour les véhicules thermiques sont données dans tableau IV-4

Tableau IV-4: les hypothèses de calcul – Véhicules thermiques-

Type de véhicules	Véhicules Thermique					
Classification	Lourds			Légers		
Type de moteur	Gasoil	Dual-fuel		Gasoil	Essence	GPLc
		Gasoil	GPLc			
Consommation (L)/100km	28	22	9	8	7	8
Le parcours moyenne annuel (km)	60000			20000		

Emissions de CO₂

L'essence : est un composé d'un mélange d'hydrocarbures, auxquels peuvent être ajoutés des additifs, génère de CO₂ lors de sa combustion selon la réaction suivante



On constate que 1 litre d'essence peut produire environ 2,31 kg de CO₂.

Gasoil : ce carburant contient plus d'hydrocarbures que l'essence donc plus d'émissions de CO₂ (2,67 kg). En outre, c'est un produit plus nocif pour la santé humaine et l'environnement.

GPLc : essentiellement composé de propane et de butane. Néanmoins, comme tout produit fossile, il génère du Dioxyde de Carbone avec une quantité estimée de 1,70 kg pour un litre de GPLc brûlé. Donc :

- 2,67 kg de CO₂ pour chaque 1l de Gasoil.
- 2,31 kg de CO₂ pour chaque 1l d'essence.
- 1.70 kg de CO₂ pour chaque 1l de GPLc.

B- Véhicule électrique

Le tableau suivant représente nos hypothèses pour les véhicules électriques

Tableau IV-5: Les hypothèses de calcul pour les véhicules électriques

Type de véhicules	100% électrique
Le parcours moyenne annuel (km)	~20000
Consommation (kWh)/100km	14
Prix de kWh d'électricité (DA)	4

Méthodologie de calcul

A- Consommation

Véhicule thermique

$$\text{Consommation de carburant } X \left(\frac{t}{an} \right) = N_{\text{véhicules}} * \text{Consommation de } X \left(\frac{L}{100 km} \right) * \text{Parcours annuel (km)} * \text{Densité } X \dots 1$$

Véhicule électrique

$$\text{Consommation d'Electricité } \left(\frac{tWh}{an} \right) = N_{\text{véhicules}} * \frac{\text{consommation (tWh)}}{100km} * \text{Parcours annuel (km)} \dots\dots\dots 2$$

B- Coût :

$$\text{Cout annuel (Millions Dollars)} = N_{\text{véhicules}} * \text{consommation annuelle (Mtep)} * \text{prix de baril (Dollars)} \dots 3$$

C- Emissions de CO₂

$$\text{Quantité de CO}_2 \text{ dégagée } \frac{t}{\text{an}} = \frac{\text{Quantité de CO}_2 \text{ dégagée par 1L de carburant X}}{\text{densité X}} * \frac{\text{Consommation de Carburant X}}{\text{an}} \dots 4$$

IV.3 Scénario Fil de l'eau

Il s'agit d'un scénario « laisser faire » avec une même évolution de la population, nombres des véhicules et consommation des carburants.

IV.3.1 Prévision de la population Algérienne en 2030

La figure suivante représente l'évolution de la population durant la période 2015-2021

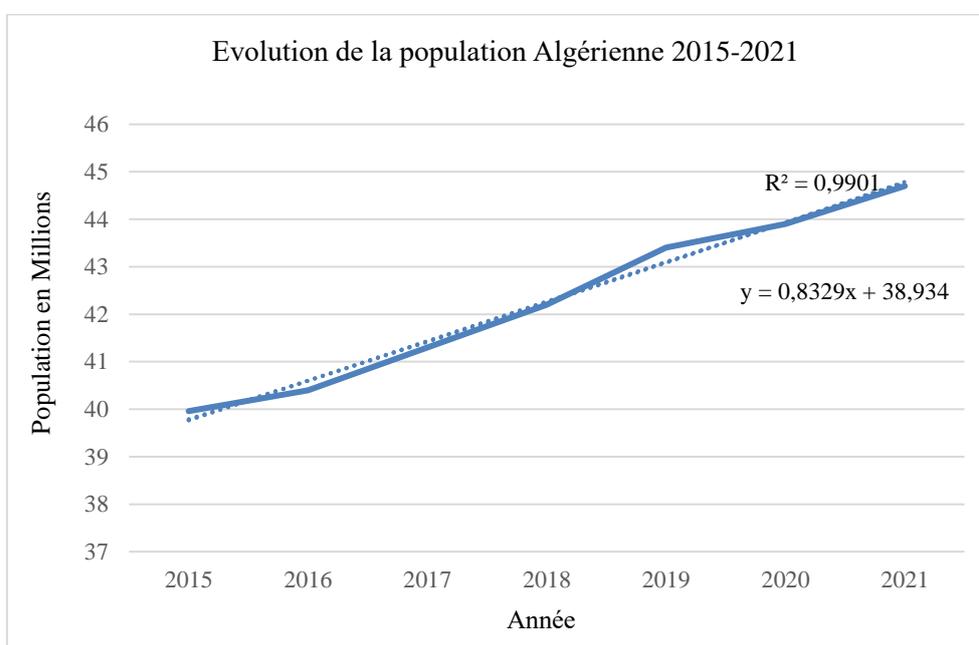


Figure IV-9: Evolution de la population Algérienne 2015-2021

- Avec le même rythme d'évolution, la population atteint le seuil d'environ 52 millions habitants en 2030.

IV.3.2 Prévision du parc du transport à l'horizon 2030

La prévision de l'évolution du nombre des véhicules est représentée dans la figure IV-10

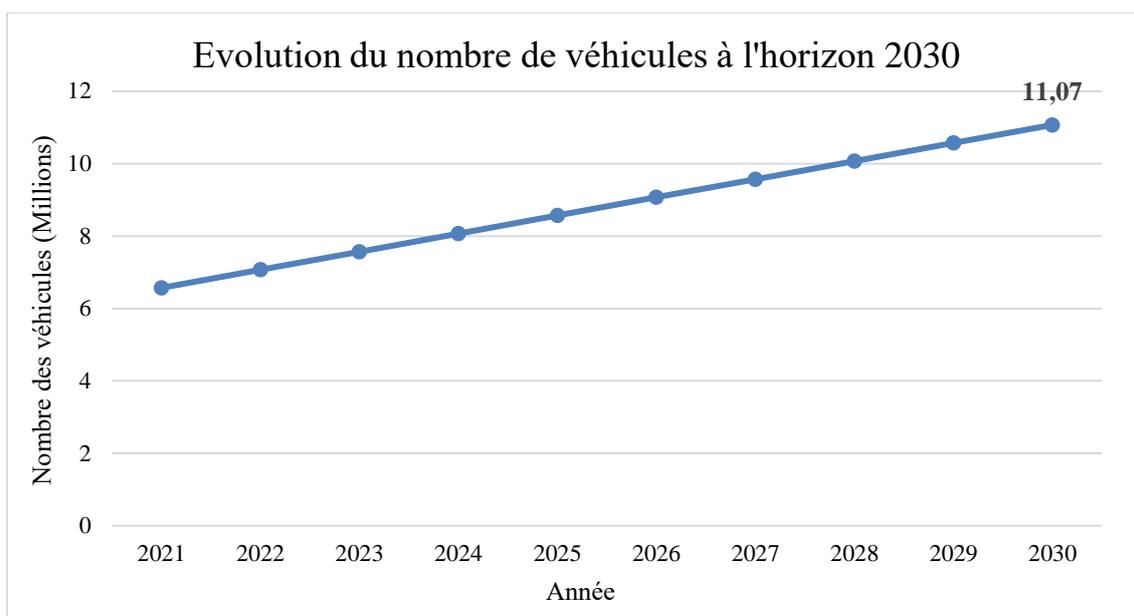


Figure IV-10: Evolution du parc des véhicules à l'horizon 2030 -Fil de l'eau-
La courbe de tendance montre que le PNA arrive à 11 millions de véhicules d'ici 2030.

IV.3.3 Prévision de la consommation totale à l'horizon 2030

A l'aide de la relation 1 et à l'aide des prévisions du nombre des véhicules du PNA nous pouvons estimer l'évolution de la consommation à l'horizon 2030 au fil de l'eau comme indique le graphe suivant :

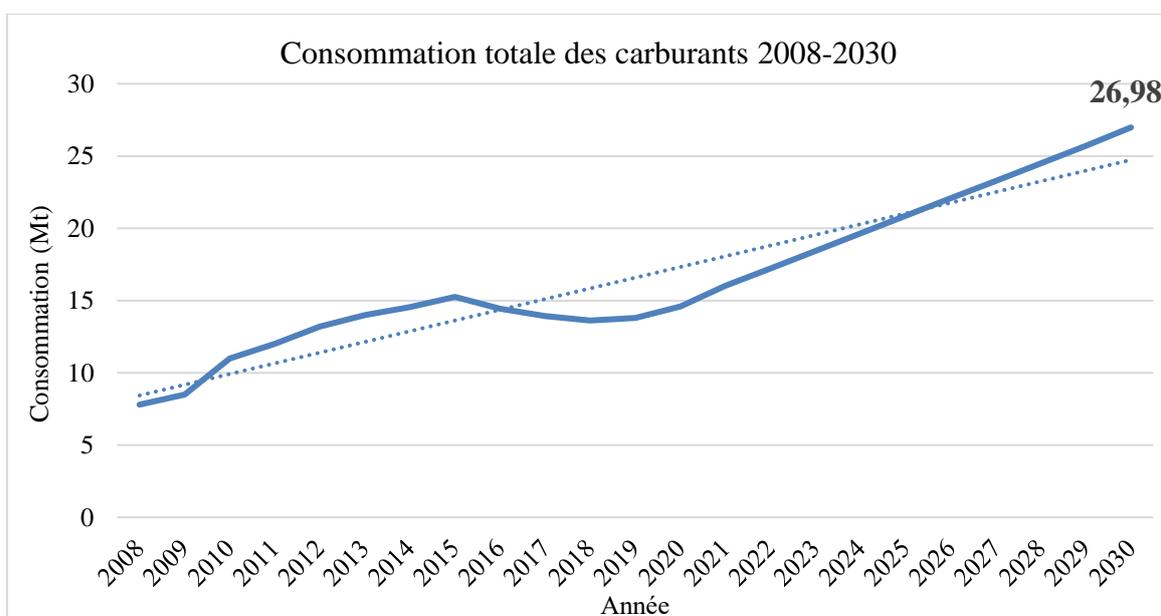


Figure IV-11: Evolution de la consommation des carburants scénario fil de l'eau en Mt (2008-2030).

En suivant le même rythme, nous allons atteindre 26.98 Mt, où la consommation du gasoil reste toujours dominante avec 74% de la consommation totale en 2030.

Coût de la consommation :

En utilisant la relation 3, nous trouvons que le coût de la consommation totale à l'horizon 2030 nous coûtera environ 1856,4 milliards de DA soit 13,26 milliards de dollar.

IV.4 Modèles énergétiques durables pour le secteur des transports à l'horizon 2030

Dans la partie suivante nous allons proposer deux modèles énergétiques afin de nous aider à abandonner progressivement la dépendance des combustibles fossiles dans les transports en Algérie dans la mesure où l'énergie verte prendra sa place dans le mix énergétique d'ici 2030. En réalité, l'énergie verte dans notre modèle durable encourage l'utilisation d'éco-carburants tels que le GPLc qui a des émissions de dioxyde de carbone inférieures à celles de l'essence et du gasoil qui est considéré comme le carburant le plus dangereux pour la santé humaine, ainsi que l'intégration de la locomotion électrique qui se caractérise par beaucoup d'avantage comme le prix bas de l'électricité et les émissions nulles de CO₂ lors de la consommation.

IV.4.1 Modèle énergétique réaliste

Dans ce premier modèle nous allons proposer notre vision pour le parc national Algérien que nous avons déjà estimé qu'environ 4.5 millions véhicules seront ajoutés d'ici 2030, notre but consiste à réorganiser le parc actuel et contrôler l'importation des véhicules durant cette période. Nous allons suivre le plan suivant :

A- Conversion : La conversion d'une voiture essence ou diesel en GPLc ou Dual-fuel consiste à ajouter un Kit à son système ou remplacer son moteur par un moteur bicarburant.

Parc lourd : Ce modèle consiste à convertir les véhicules lourds à moteur Diesel vers des moteurs Dual-fuel comme suit : à partir de 2022, on commence à convertir ce type de véhicule légèrement 3000 véhicules en 2022, 4000 en 2023... jusqu'on arrive à convertir 11000 véhicules en 2030, le totale sera 63000 véhicules convertis.

Parc léger : Nous continuerons avec le même rythme de la conversion (200 000 véhicule/an) des véhicules à essence au GPLc. D'ici 2030, on arrive à convertir 2 000 000 véhicules vers le GPLc.

B- Importation :

D'autre part, en ce qui concerne l'importation et la production nationale, on contrôle le nouveau parc comme suit :

- Pas d'importation des véhicules à gasoil.
- Pour les véhicules à essence, on importe entre 150 000 véhicules/an. D'ici 2030, environ 1,5 million de véhicules à essence sont ajoutés à ce parc.
- L'arrêt d'importation des véhicules gasoil sera remplacé par l'importation des véhicules en GPLc, par l'importation de 50 000-200 000 véhicules/an et à l'horizon 2030, nous arrivons à ajouter 1,4 millions véhicules à ce parc.
- Le lancement de l'importation des VEs en 2022, commençant par 50 000 véhicules puis 100 000 en 2023, en gardant le rythme ascendant jusqu'à 2030 afin d'atteindre 1,6 millions véhicules électriques en 2030.

Evolution du nombre des véhicules

Tableau IV-6: Evolution du nombre des véhicules par type de carburant 2021-2030 modèle réaliste

Année	Nombre total	Gasoil	Essence	GPLc	VEs	Dual-fuel
2021	6777188	2630875	3238594	907718	0	0
2022	7077188	2627875	3188594	1207718	50000	3000
2023	7427188	2623875	3138594	1507718	150000	7000
2024	7877187	2618875	3088594	1807718	350000	12000
2025	8327187	2612875	3038594	2107718	550000	18000
2026	8827187	2605875	2988594	2457718	750000	25000
2027	9377187	2597875	2938594	2857718	950000	33000
2028	9927187	2588875	2888594	3257718	1150000	42000
2029	10477187	2578875	2838594	3657718	1350000	52000
2030	11077187	2567875	2788594	4057718	1600000	63000

La répartition du PNA en 2030 sera comme suit :

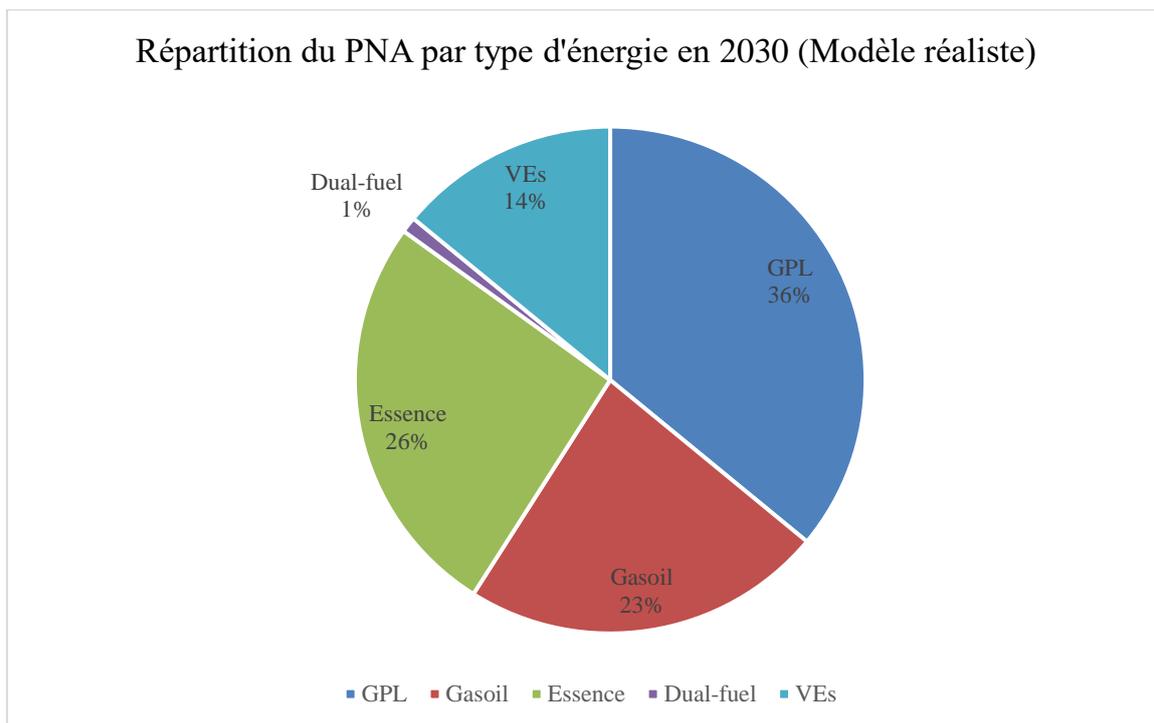


Figure IV-12: Répartition du PNA par type d'énergie en 2030-Modèle réaliste

Dans ce modèle, le gasoil représente 23% du total du parc qui utilise ce carburant contre 40% du scénario fil de l'eau, le parc essence sa proportion a diminué par 26%.

La consommation totale à l'horizon 2030 :

Avec cette répartition du parc, la consommation totale du PNA atteindra 20,81 Mtep.

L'évolution du nombre de véhicules et la consommation totale à l'horizon 2030 est représentée dans le tableau IV-7

Tableau IV-7: Evolution du nombre de véhicules et la consommation totale à l'horizon 2030 Modèle réaliste

Scénario 1	Nombre des véhicules	Consommation totale (Mtep)
2021	6777187	16,99
2022	7077187	17,28
2023	7427187	17,60
2024	7877187	17,99
2025	8327187	18,38
2026	8827187	18,82
2027	9377187	19,31
2028	9927187	19,80
2029	10477187	20,29
2030	11077187	20,81

L'évolution de la consommation de chaque type d'énergie est représentée dans le graphe suivant.

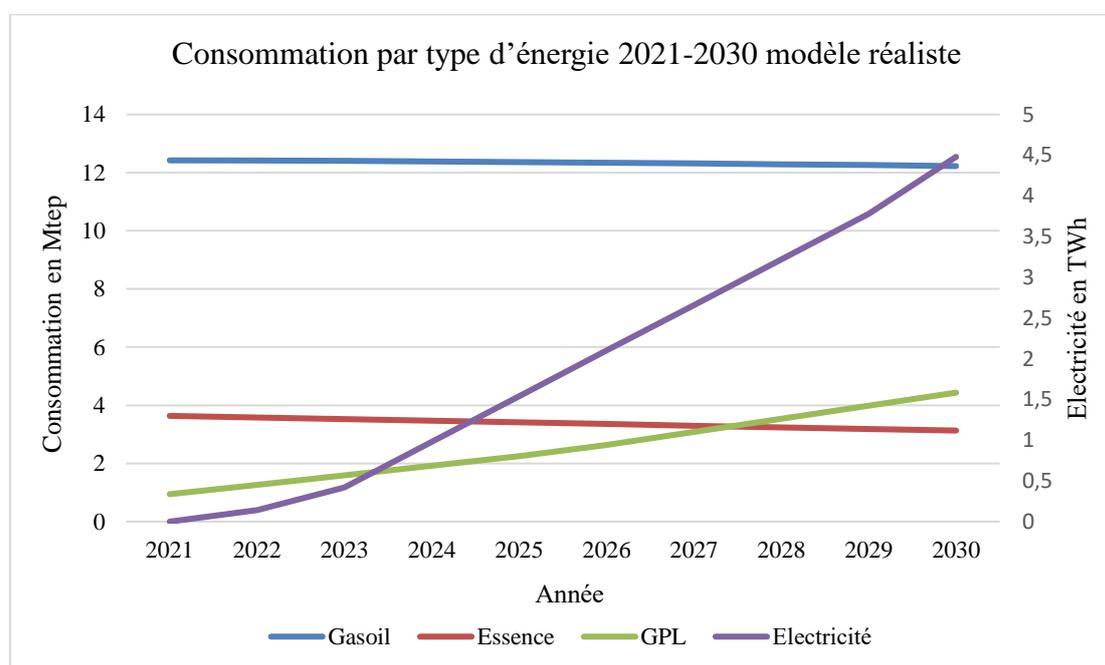


Figure IV-13: Evolution de la consommation par type d'énergie 2020-2030 modèle réaliste

La consommation de gasoil et l'essence diminue légèrement, à cause de la dominance de ces deux dans le parc actuel, où le GPLc et l'électricité augmente.

Coût de la consommation :

La consommation totale à l'horizon 2030 nous coûtera environ 1366 milliards de DA soit 9,76 milliards de dollar.

IV.4.2 Modèle énergétique volontariste

Tout comme le premier modèle, le parc de gasoil léger où lourd pose un problème car il a une contribution importante des émissions CO₂.

A- La casse des véhicules anciens :

Comme nous avons déjà montré que le PNA est vieux et que 44% de ce parc a plus de 20 ans. Ou devrait changer régulièrement des voitures afin d'économiser de l'énergie et ainsi réduire les émissions de CO₂. Pour cela on propose :

- Pour le parc gasoil, la 1ère année 2022, nous visons d'éliminer 50 000 véhicules, et en gardant ce rythme nous arriverons à récupérer 450 000 véhicules.
- Pour le parc essence, la récupération de 20 000 véhicules par an est suffisante pour atteindre 180 000 en 2030.

B- Conversion :

Parc lourd : nous visons augmenter le taux de conversion vers des moteurs Dual-fuel,

30 000 véhicules la 1ère année, 70 000 en 2023 jusqu'à arriver à convertir 630 000 véhicules lourds en 2030.

Parc léger : par l'augmentation du rythme de la conversion vers le GPLc, commençant par 200 000 véhicules pour arriver à 2 millions de véhicules convertis en 2030.

C- Importation :

- Pas d'importation des véhicules à gasoil.
- Pour les véhicules à essence, on importe 150 000 véhicules/an. D'ici 2030, environ 1.5 million de véhicules à essence sont ajoutés.

- Importation entre 50 000 et 200 000 véhicules en GPLc chaque année, en 2030 on arrive à importer 1,63 millions véhicules GPLc.
- Parc véhicules électrique : à partir de 2022, 50 000 véhicules durant la première année, puis 200 000 en 2023... jusqu'à on arrive à 2 millions véhicules.

Evolution du nombre des véhicules

L'évolution du nombre des véhicules pour ce modèle sera représentée dans le tableau suivant.

Tableau IV-8: Evolution du nombre des véhicules par type d'énergie 2021-2030 modèle volontariste

Année	Gasoil	Essence	GPLc	VE	Dual-fuel	Le nombre total
2021	2630875	3238594	907718	0	0	6777187
2022	2550875	3168594	1207718	50000	30000	6977187
2023	2460875	3098594	1507718	150000	70000	7287187
2024	2360875	3028594	1857718	350000	120000	7717187
2025	2250875	2958594	2257718	600000	180000	8247187
2026	2130875	2888594	2657718	850000	250000	8777187
2027	2000875	2818594	3057718	1100000	330000	9307187
2028	1860875	2748594	3457718	1400000	420000	9887187
2029	1710875	2678594	3857718	1700000	520000	10467187
2030	1550875	2608594	4287718	2000000	630000	11077187

La répartition du PNA en 2030 sera comme suit :

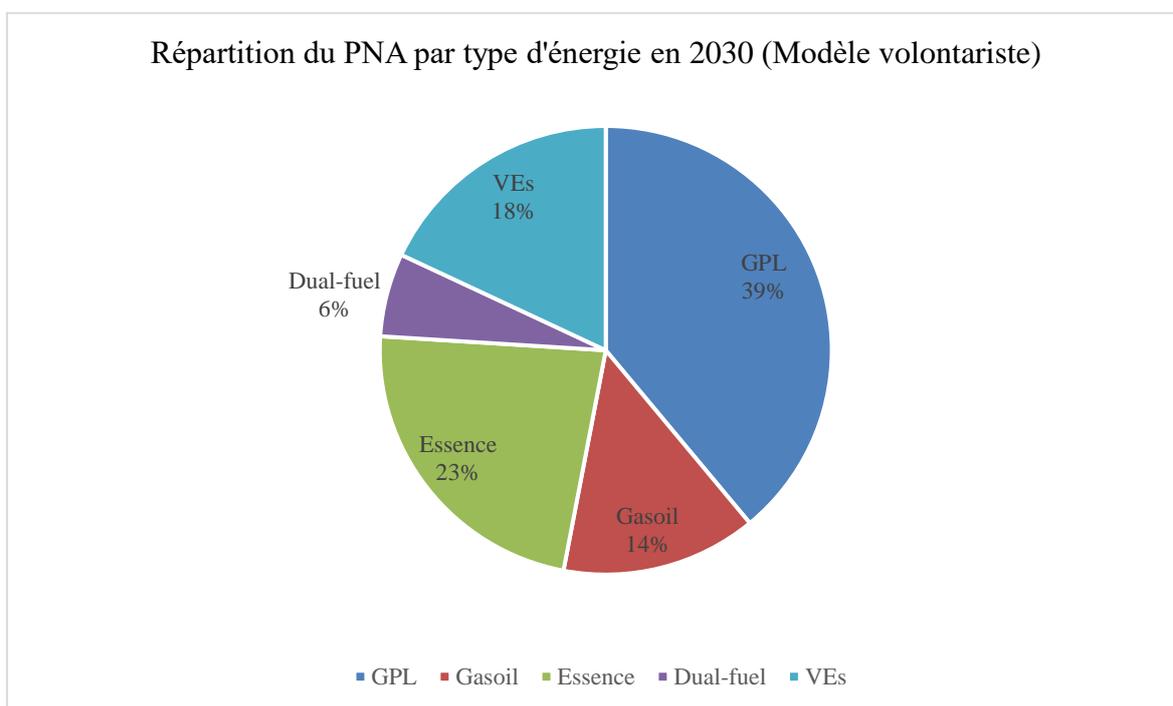


Figure IV-14: Répartition du PNA par type d'énergie en 2030-Modèle volontariste

Ce modèle nous permettra de diminuer la dépendance de gazoil à 14%, l'essence à 23% et d'augmenter la consommation de GPLc jusqu'à 39%.

La consommation totale à l'horizon 2030 :

Pour la consommation totale du PNA, elle atteindra les 20 Mtep en 2030.

L'évolution du nombre de véhicules et la consommation totale à l'horizon 2030 sont représentés dans le tableau IV-9

Tableau IV-9: Evolution du nombre de véhicules et la consommation totale à l'horizon 2030 modèle volontariste

Scénario 1	Nombre des véhicules	Consommation totale (Mtep)
2021	6777187	16,99
2022	6977187	17,16
2023	7287187	17,34
2024	7717187	17,64
2025	8247187	18,01
2026	8777187	18,36
2027	9307187	18,70
2028	9887187	19,07
2029	10467187	19,42
2030	11077187	19,80

L'évolution de la consommation de chaque type d'énergie est présentée dans le graphe suivant.

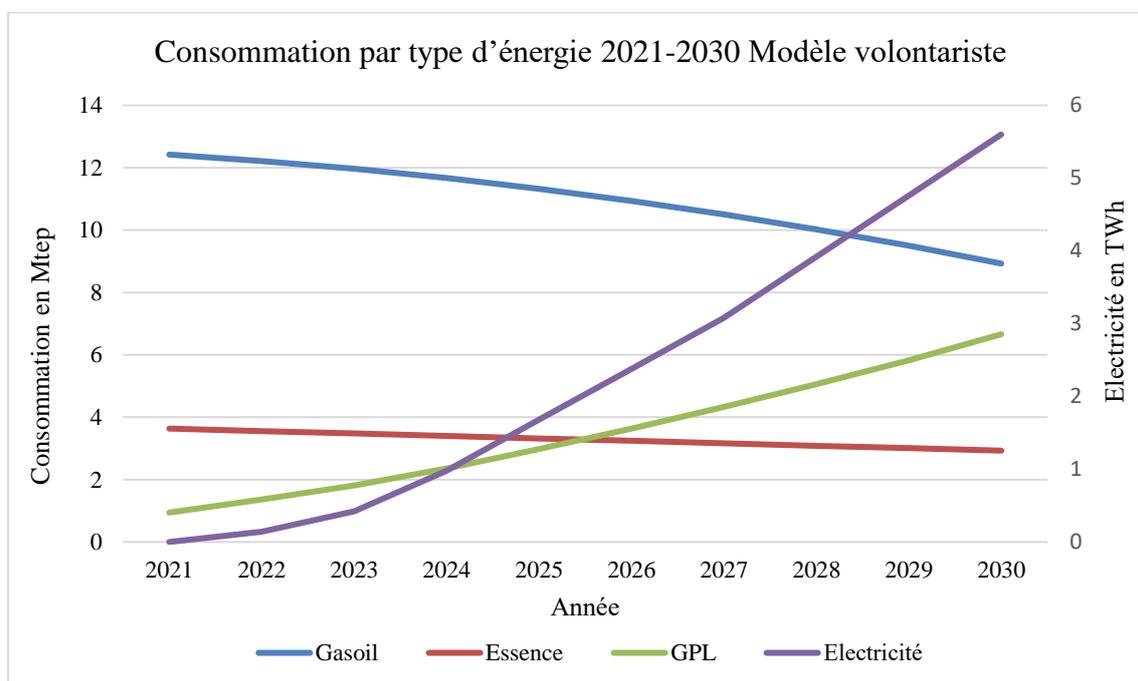


Figure IV-15: Evolution de la consommation par type d'énergie 2021-2030 modèle volontariste

La diminution de la consommation de gasoil et l'essence est remarquable, le gasoil est diminué par 33,2% par rapport à la consommation actuelle, d'autre part, le GPLc atteindra 6,66 Mtep et l'électricité 5,6 TWh.

Coût de la consommation :

La consommation totale de ce parc coûte environ 1296,4 milliards de DA soit 9,26 milliards de dollar.

IV.5 Aspect environnemental

IV.5.1 Les émissions actuelles de CO₂ issues du secteur des transports 2021

A l'aide de la dernière relation, nous trouvons que la quantité de CO₂ dégagée en 2021 est de 50,35 Mt.

La figure suivante montre la répartition de ces émissions.

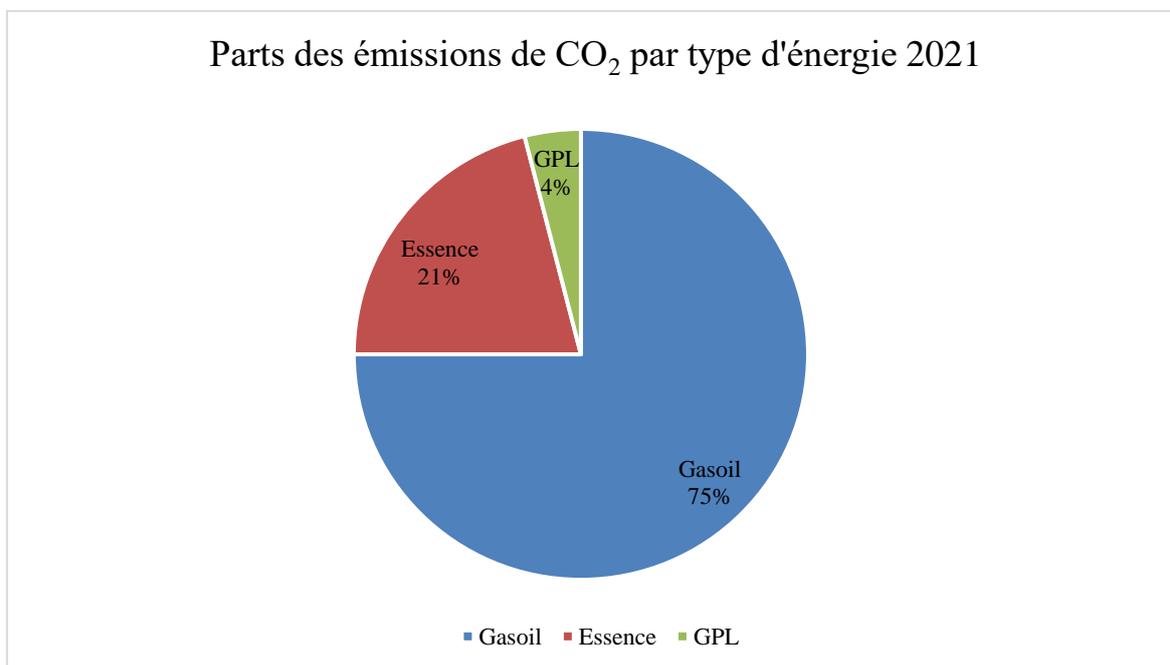


Figure IV-16: Parts des émissions de CO₂ par type de carburant 2021

IV.5.2 Le scénario fil de l'eau

Suivant la même procédure de calcul, et avec l'accroissement de la consommation, la quantité du CO₂ émise dans l'air augmente de la manière suivante.

Tableau IV-10: Prévision des émissions du CO₂ à l'horizon 2030 en Mt scénario fil de l'eau

Année	Gasoil	Essence	GPLc	Quantité totale dégagée
2021	37,93	10,63	1,761	50,32
2022	40,81	11,44	1,89	54,15
2023	43,69	12,24	2,03	57,97
2024	46,57	13,05	2,17	61,80
2025	49,45	13,86	2,31	65,63
2026	52,341	14,66	2,44	69,45
2027	55,22	15,47	2,58	73,28
2028	58,10	16,27	2,72	77,10
2029	60,98	17,08	2,81	80,93
2030	63,87	17,89	2,99	84,76

En 2030 le parc national d'automobile émit 84.76 Mt de CO₂ dans l'air où le gasoil représente trois quarts.

IV.5.3 Modèle énergétique réaliste :

Avec l'ajout de 4.5 millions de véhicules d'ici 2030, la quantité du CO₂ émise dans l'air est d'environ 57.96 Mt où le gasoil représente 61% de ces émissions. Comme montre le tableau IV-11.

Tableau IV-11: Prévision des émissions du CO₂ à l'horizon 2030 en Mt-modèle réaliste

Année	Gasoil	Essence	GPLc	Quantité totale dégagée
2021	37,93	10,47	2,46	50,87
2022	37,90	10,31	3,31	51,52
2023	37,86	10,15	4,16	52,18
2024	37,81	9,98	5,02	52,83
2025	37,753	9,82	5,89	53,48
2026	37,69	9,66	6,91	54,27
2027	37,61	9,50	8,07	55,19
2028	37,52	9,34	9,24	56,11
2029	37,43	9,18	10,42	57,04
2030	37,32	9,02	11,61	57,96

IV.5.4 Modèle énergétique volontariste :

La quantité du CO₂ émise dans l'air sera d'environ 53.14 Mt où la part de gasoil sera diminuer par 30% par rapport aux émissions actuelle du carburant.

Tableau IV-12: Les émissions du CO₂ à l'horizon 2030 en Mt-le modèle volontariste

Année	Gasoil	Essence	GPLc	Quantité totale dégagée
2021	37,93	10,47	2,46	50,87
2022	37,30	10,24	3,56	51,10
2023	36,53	10,02	4,74	51,29
2024	35,62	9,79	6,15	51,57
2025	34,57	9,56	7,793	51,93
2026	33,39	9,34	9,52	52,25
2027	32,06	9,11	11,346	52,53
2028	30,60	8,88	13,26	52,75
2029	29,00	8,66	15,26	52,9
2030	27,26	8,43	17,44	53,14

IV.6 Comparaison des scénarios :

Un récapitulatif des résultats obtenus dans les trois scénarios et qui engendrent le PNA, la consommation, les coûts et les émissions de CO₂.

IV.6.1 Consommation

Gasoil et Essence :

Le scénario fil de l'eau nous conduit à une consommation extrême pour les deux carburants, ce qui est indésirable avec notre objectif.

La figure IV-17 montre la comparaison de la consommation de gasoil et l'essence des trois scénarios

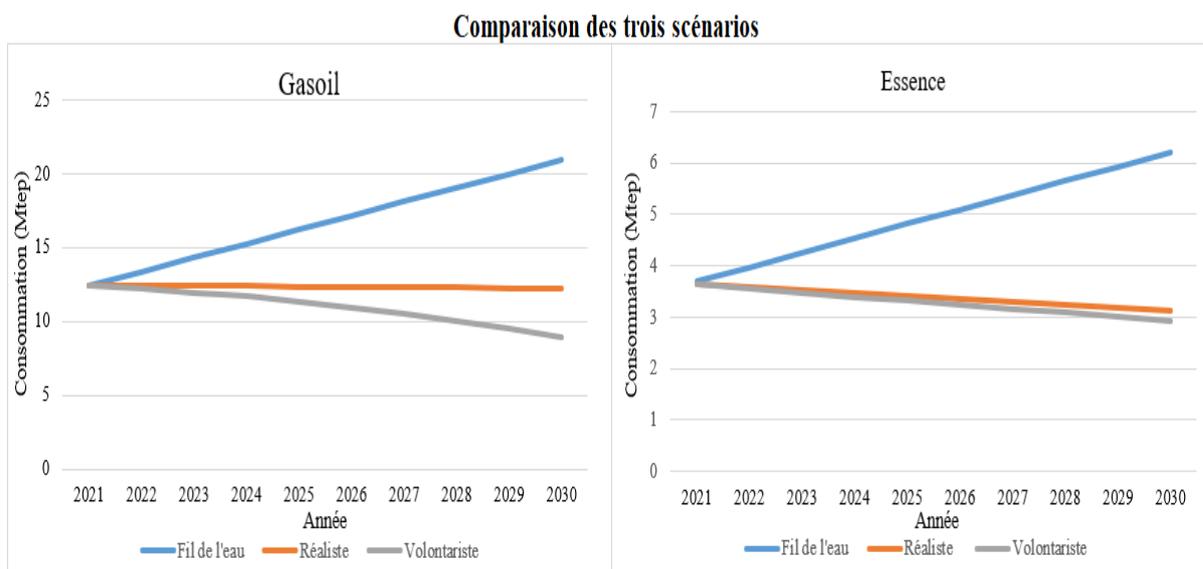


Figure IV-17: Comparaison de la consommation de gasoil et essence des trois scénarios 2021-2030

Le modèle réaliste diminue légèrement la consommation, nous arrivons à la garder constante jusqu'à 2030 par rapport à la quantité consommée actuellement pour le gasoil.

Le modèle volontariste donne des bons résultats avec une diminution considérable de la consommation.

GPLc et Electricité :

La promotion de l'utilisation de ces deux types d'énergies vertes conduit à une augmentation de la demande, mais avec leurs disponibilités à des prix bas ils seront abordables pour toutes les catégories de la société, ce qui aide à assurer le développement économique et social du pays.

La figure IV-18 montre la comparaison de la consommation de GPLc et l'électricité des trois scénarios

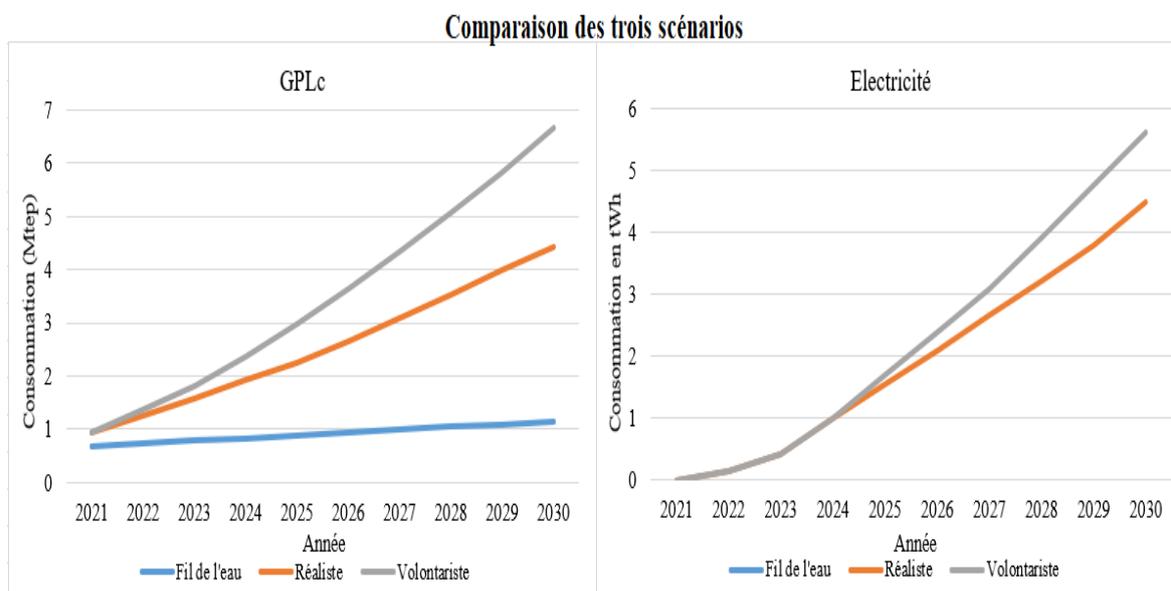


Figure IV-18: Comparaison de la consommation de GPLc et d'électricité des trois scénarios 2021-2030

Consommation totale à l'horizon 2030 :

Cet histogramme représente la consommation totale des carburants en Mtep des trois scénarios. Comme prévu le scénario fil de l'eau conduit à la grande quantité de consommation d'environ 27 Mtep en 2030. Pour le scénario volontariste, elle augmente légèrement ce qui permet d'économiser 19.5% par rapport au scénario fil de l'eau, ce dernier consomme presque la même consommation actuelle en 2030.

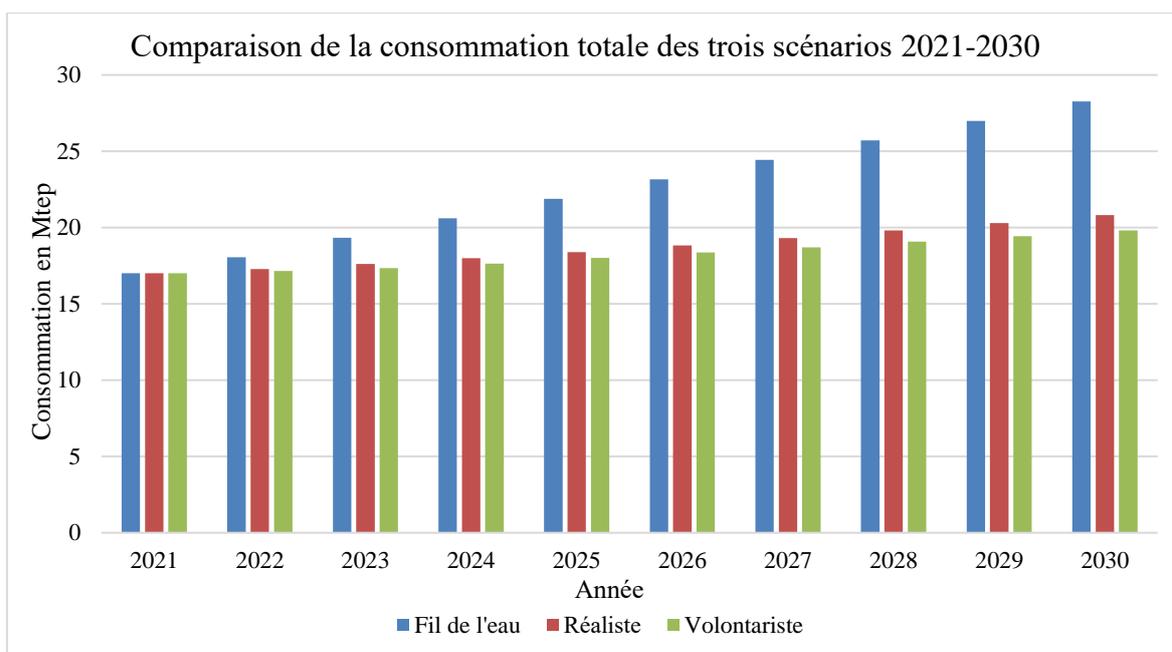


Figure IV-19: Comparaison de la consommation totale des trois scénarios 2021-2030

IV.6.2 Emissions

Pour cette partie, il est bien montré dans le graphe qu'on a atteint l'objectif des scénarios proposés en ce qui concerne les émissions du CO₂.

La figure suivante montre la défférence des émissions de CO₂ entre les trois scénarios

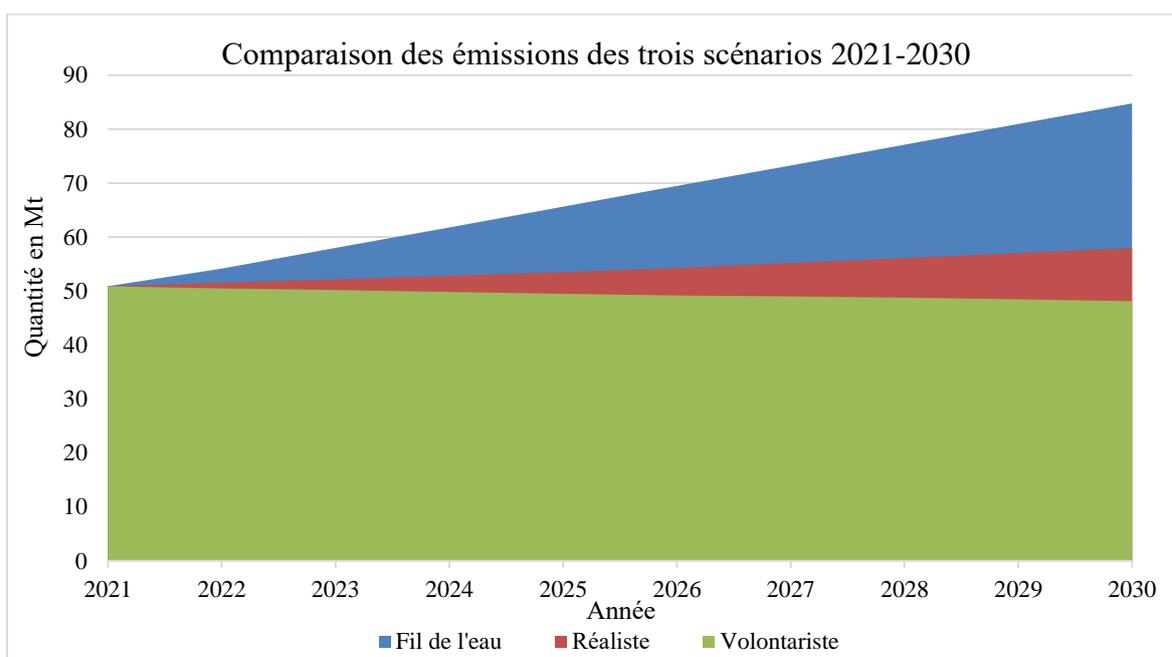


Figure IV-20: Comparaison des émissions des trois scénarios 2021-2030

IV.6.3 Coût

L'évolution des dépenses annuelles des carburants de chaque scénario sont représentée dans le diagramme ci-dessous.

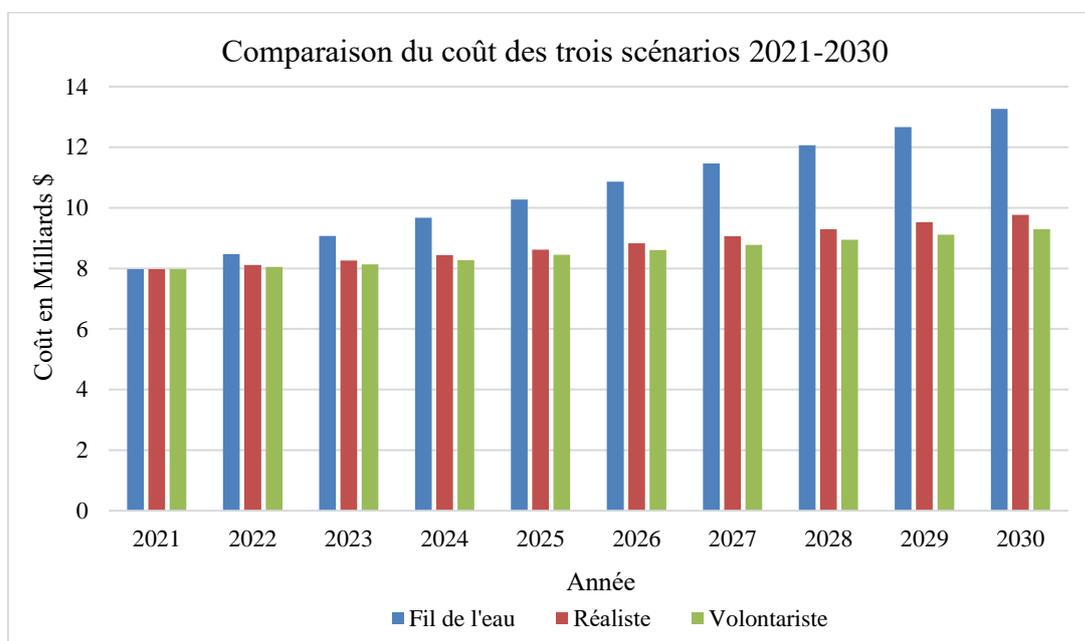


Figure IV-21: Comparaison du coût des trois scénarios 2021-2030

- Les dépenses du scénario fil de l'eau ne cessent d'augmenter.
- Le scénario réaliste présente un coût constant au cours des années et nous économise 28% par rapport au scénario fil de l'eau.
- Les économies du scénario volontariste sont à l'ordre de 51%.

IV.7 Gain

IV.7.1 Le Gain entre le Scénario fil de l'eau et le modèle réaliste

Le tableau IV-13 montre le gain du modèle réaliste par rapport au scénario fil de l'eau

Tableau IV-13: Le Gain entre le scénario fil de l'eau et le modèle réaliste 2021-2030

Année	Quantité des carburants économisée Mtep	Le montant total économisé milliards \$	Quantité de CO ₂ réduite Mt
2021	0,05	0	1,87
2022	1,34	0,36	2,62
2023	2,63	0,81	5,79
2024	3,93	1,22	8,97
2025	5,23	1,64	12,14
2026	6,53	2,03	15,18
2027	7,83	2,40	18,09
2028	9,14	2,77	20,99
2029	10,45	3,14	23,89
2030	11,77	3,49	26,80

Le modèle réaliste nous permettra durant la prochaine décennie de :

- Economiser 58.95 Mtep de gasoil et essence.
- Gain de 17.9 milliards \$.
- Eviter l'émission de 136 Mt de CO₂.

IV.7.2 Le Gain entre le Scénario fil de l'eau et le modèle volontariste

Le gain du modèle volontariste par rapport au scénario fil de l'eau est représenté dans le tableau IV-14

Tableau IV-14: Le Gain entre le scénario fil de l'eau et le modèle volontariste 2021-2030

Année	Quantité des carburants économisée Mtep	Le montant total économisé milliards \$	Quantité de CO ₂ réduite Mt
2021	0,05	0	1,91
2022	1,56	0,42	3,04
2023	3,11	0,93	6,68
2024	4,72	1,39	10,23
2025	6,36	1,82	13,69
2026	8,05	2,25	17,19
2027	9,78	2,69	20,75
2028	11,57	3,12	24,35
2029	13,39	3,55	28,00
2030	15,27	3,97	31,61

Le modèle volontariste nous permettra durant la prochaine décennie de :

- Economiser 74 Mtep de gasoil et essence.
- Gain de 20 milliards \$.
- Eviter l'émission de 157 Mt de CO₂.

IV.8 Conclusion

La situation actuelle de l'Algérie est confrontée à un choix difficile qui l'oblige à élaborer un modèle énergétique durable et flexible à l'horizon 2030, qui repose en premier lieu de rationaliser la consommation actuelle des carburants du secteur des transports.

Le gasoil et l'essence sont les majeurs carburants fossiles responsables qui contribuent aux émissions de gaz à effet de serre dû de ce secteur. Il est donc urgent de diminuer l'offre en ces carburants en allant vers la locomotion électrique.

Les deux modèles énergétiques proposés ont montré l'efficacité de l'élaboration d'une stratégie de diminution des véhicules à gasoil et encore à essence par la conversion vers le Dual-fuel et le GPLc et l'importation graduelle des VEs.

Les résultats obtenus à partir des modèles proposés confirment l'impact important du passage aux ressources énergétiques plus respectueuses de l'environnement en matière de coûts, consommation et les émissions de CO₂.

CHAPITRE V : STRATEGIES DE DEPLOIEMENT DU PARC ELECTRIQUE

V.1 Introduction

A l'échelle mondiale, les gouvernements tentent de soutenir la transition vers la mobilité électrique. Son introduction dans les sociétés est un processus complexe et imprévisible qui n'est pas susceptible de se produire tout seul.

La recharge d'un véhicule électrique constitue un enjeu pour les constructeurs et les automobilistes et forme un réel défi à relever avant de pouvoir comparer ces véhicules à la simplicité d'usage du véhicule thermique. En effet, l'autonomie limitée, la durée de recharge de la batterie, le coût du déploiement d'une infrastructure de charge rapide, le coût élevé de la batterie sont à l'origine de plusieurs obstacles empêchant l'adoption de ces types de véhicules.

Dans certains pays, le déploiement des véhicules électriques a atteint le sommet. Des décisions politiques ambitieuses ont été essentielles pour stimuler la transition vers la mobilité électrique sur les principaux marchés automobiles. Grâce à ça, les ventes de véhicules électriques dans le monde ont considérablement augmenté au cours de la dernière décennie, ils ont dépassé 2,1 millions en 2019, dépassant l'année record établie en 2018, leurs stocks atteignant 7,2 millions. (1)

Comprendre l'effet de ces facteurs sur le marché actuel des VE en parallèle à l'évolution récente du marché permettra non seulement de tirer les leçons d'expertise des pays leaders en matière d'électrification mobile, mais aussi de mettre en évidence le chemin à suivre et contribuer également à présenter aux décideurs politiques une voie solide pour le développement des VE.

V.2 Aspect technologique

Dans cette partie nous traitons le côté technique pour le bon déploiement des véhicules électriques : bornes de recharges et batteries.

V.2.1 Batterie

Les premières voitures électriques se dotaient de batteries au plomb, lourdes et à la capacité limitée. Dans le début des années 90 (51), la technologie lithium-ion a été inventée et s'est rapidement imposée dans l'univers de l'électronique, puis dans celui de l'automobile. Elle offre une densité énergétique élevée, une très bonne durabilité et n'est pas sujette à l'effet mémoire. (52)

La figure V-1 représente la batterie d'une voiture électrique.



Figure V-1: Batterie d'une voiture électrique (53)

Les progrès récents des batteries au lithium ont non seulement divisé leur coût par deux, mais également augmenté leur autonomie pour des parcours qui devraient atteindre 400 km, avec une recharge de 80 % de la capacité en vingt-cinq minutes (charge rapide).

Au fil des utilisations et des cycles de charge/décharge, la batterie d'une VE finit par s'user ; elle perd de sa capacité énergétique. Cette dégradation est cependant très lente, et il est estimé qu'elle conserve en moyenne 75 % de sa capacité au bout de dix ans. (54)

A la fin de sa vie, et sachant qu'elle contient bien des matériaux valorisables : lithium, cobalt, nickel, aluminium... son recyclage s'agit là d'une opération complexe et coûteuse qui exige des transformations chimiques. Donc les grands constructeurs pensaient à lui offrir une seconde vie et de la trouver de nouveaux usages (Nissan et Volkswagen, qui réutilisent les vieilles batteries de ses voitures Leaf dans les véhicules à guidage automatique qui livrent les pièces aux travailleurs de ses usines).

En ce qui concerne le prix des batteries à ce jour, elles restent coûteuses, par exemple, la batterie d'une Renault ZOE (de capacité 52 kWh) est facturée aux alentours de 8 000 euros selon les pays. Toutefois, grâce aux progrès technologiques, le coût des batteries ne cesse de baisser.

V.2.2 Bornes de recharge

Une borne de recharge se présente généralement sous la forme d'un appareil fixe raccordé directement à un tableau de distribution électrique ou, parfois, branché sur une prise de courant (figure V-2).



Figure V-2: Différents types des bornes de recharge (53)

V.2.3 Choix de la borne

Il faut noter que toutes les voitures électriques sont fournies avec un câble permettant de recharger sur une prise domestique standard. Il est possible d'utiliser ce câble pour recharger quotidiennement sa voiture électrique. Néanmoins, de nombreux types de bornes de recharge existent sur le marché. Le tableau suivant présente les principaux types d'alimentation.

Tableau V-1: Les trois principaux types d'alimentation pour un VE (55)

Vitesse et type de recharge	Puissance	Temps de charge approximatif*
Standard (AC monophasé)	3-7 kW	7-16 heures
Accélérée (AC triphasé)	11-22 kW	2-4 heures
Rapide (DC)	50-100 kW +350 kW	20-30 minutes 3 minutes

* Dépend également de la capacité de la batterie et d'autres variables.

On note bien que le temps de charge dépend de la batterie du véhicule et de la puissance délivrée par le point de recharge.

La recharge Standard ou lente convient mieux aux cycles de recharge à domicile.

L'utilisation d'une Wallbox est recommandée par les constructeurs qui invoquent une recharge plus sécurisée. Elle coûte d'environ 250-400 \$ mais son avantage est qu'elle permet de recharger plus rapidement votre voiture grâce à un courant d'une intensité plus élevée. La borne de recharge Wallbox est représentée dans la figure suivante :



Figure V-3: Borne de recharge Wallbox (56)

Les bornes de recharge 22 kW et au-delà correspondent à une recharge rapide qui convient à des arrêts de courte durée sur la route, dans les parkings ouverts au public, etc. Elle est beaucoup plus onéreuse à installer et à exploiter que la recharge normale, elle aussi plus coûteuse (4000\$ à 10 000 \$). Elle doit être réservée à des usages très spécifiques. La figure suivante représente une borne rapide.



Figure V-4: Borne rapide (52)

V.2.4 Echange de batterie

Une dernière solution qui s'agit d'un échange automatisé de batteries dans des stations-services dédiées. Elles pourraient être localisées sur autoroute, voirie ou parking. Ces stations sont conçues pour des usages lors de parcours de grandes distances (cette technologie n'est pas encore industrialisée à grande échelle).

V.2.4.1 Critères de sélection des bornes

Il existe sur le marché de nombreux modèles de bornes adaptés à différentes utilisations. La sélection d'une borne doit tenir compte les paramètres suivants :

- La puissance nécessaire (temps de charge, capacité des véhicules, tarification).
- Les besoins de communications (contrôle d'accès, système de paiement, assistance...).
- Le nombre de câbles et de prises mobiles (en cas d'accès partagé).

V.2.4.1.1 Bornes publiques

Certains endroits nécessitent l'installation de bornes publiques. Par exemple, les stationnements desservant une gare, un centre commercial, un restaurant, un hôtel.

L'emplacement des bornes doit être choisi selon les critères suivants :

- Fréquentation, l'installation devant être dimensionnée en fonction du nombre d'utilisateurs prévus.
- Bonne visibilité de la borne, de façon à encourager les automobilistes à utiliser celle-ci.
- Temps d'arrêt des VE à la borne.
- Circulation automobile, les véhicules en recharge ne devant pas entraver la circulation automobile.
- Impact sur la circulation des piétons, la borne de recharge ne devant pas entraver la circulation des piétons, ni être exposée à un flux trop important de piétons qui augmenterait les risques de destruction.
- Protection contre les chocs éventuels.
- Accès à un réseau de téléphonie cellulaire, si la borne le requiert.
- Tenir compte l'accessibilité aux personnes à mobilité réduite.
- La longueur du câble de charge

V.2.4.1.2 Bornes particuliers :

Borne installée dans une station-service :

L'installation de bornes dans une station-service, impose des précautions particulières, notamment les zones considérées comme dangereuses autour d'un distributeur de carburant ou d'un évent de réservoir de carburant. Il est fortement recommandé d'installer les bornes de recharge hors de ces zones dangereuses.

Borne installée en bordure de rue :

Outre les exigences générales relatives aux bornes publiques, on doit prendre en compte les paramètres suivants lorsqu'on prévoit l'installation d'une borne de recharge en bordure de rue :

- Disponibilité d'une alimentation électrique à la tension requise.
- Installation et branchement des équipements et, le cas échéant, d'un tableau de distribution à la tension requise.
- Protection de la borne contre les collisions éventuelles avec des véhicules ou des engins (installation de bornes de protection ou bollards).
- Règlements municipaux applicables.

Borne installée à une maison individuelle :

Un particulier peut acheter une borne de recharge (figure V-5) de type mural (Wallbox). Après avoir choisi l'emplacement de la borne, il peut la fixer au mur lui-même mais devra en confier l'installation électrique à un électricien spécialiste car les travaux de branchement électrique pour l'alimentation de la borne doivent être exécutés par lui.



Figure V-5: Prise de recharge d'un particulier (56)

Entretien des bornes de recharge :

Durant son utilisation, la borne de recharge peut être exposée à différents facteurs :

- Une température basse ou élevée.
- Des surtensions.
- La pollution ambiante (exemple : poussières, humidité, déjections animales, ...).
- L'usure de fonctionnement.

- Il est également important de mettre à jour régulièrement le Firmware (logiciel interne) pour effectuer les différentes opérations de maintenance aux intervalles préconisés qui assurera le fonctionnement de la borne de recharge dans des conditions optimales et maximisera sa durée de vie.
- Toutes les bornes de recharge nécessitent à peu près le même entretien :
- Inspection du câble de charge (recherche des signes d'usure).
- Inspection de l'intégrité de la prise mobile (recherche de fissures, de cassures et de métal dénudé).
- Vérification des connexions cartes électroniques.
- Remplacement des filtres (bornes de recharge en DC seulement).

V.3 Rôle des gouvernements dans le déploiement des VEs

À l'échelle mondiale, l'adoption des véhicules électriques dépend actuellement des politiques de gouvernement. Ces politiques solides comprennent un large éventail de privilèges d'espace routier, des options de stationnement et de tarification préférentielles, l'utilisation gratuite des ferries pour les conducteurs de VE, des réductions d'impôts pour les systèmes de taxation avec remise, des subventions et exemptions d'achat financier et des exemptions de plaque d'immatriculation.

La Norvège, la Chine, la France, le Canada sont probablement les pays qui ont le plus complet éventail de mesures de soutien, ces pays ayant les incitations financières les plus élevées pour les véhicules électriques seront également témoins de la part la plus élevée de véhicules électriques sur la route.

Le tableau V-2 donne un aperçu général des différents types de mesures de soutien aux VE qui ont été identifiés dans les pays européens.

Tableau V-2: Différents types de mesures de soutien pour les VEs. (56)

Impact sur	Type de soutien
Achat	Réduction d'impôt, exonération, prime d'achat, pénalité pour voitures polluantes.
Taxe annuelle	Réduction/ exonération
Accès privilégié	Accès gratuit aux voies bus/taxi, interdiction d'accès des véhicules polluants, réduction ou exonération des frais de stationnement.
Recharge	Fourniture de points de recharge publics (lent/rapide), recharge gratuite.

De nombreux chercheurs ont comparé la différence dans les politiques de VEs à travers plusieurs pays de 2008 à 2014, la conclusion basée sur leurs analyses indiquent que les investissements dans les infrastructures, les incitations à la vente, les subventions et incitations fiscales ont été des facteurs clés pour inciter les consommateurs à passer de véhicule thermique aux électrique. (57)

V.3.1 Politique de déploiement de la mobilité électrique

Plusieurs recommandations ont été faites pour développer la mobilité électrique en Algérie en se basant sur l'analyse du marché dans les pays avancés.

- La mise en place d'incitations permettant d'inciter le consommateur à acheter un véhicule durable, à des prix compétitifs, dans l'optique de garantir l'émergence d'une filière industrielle.
- Développement de l'infrastructure de recharge pour véhicules électriques.
- Un écosystème structuré et développé autour de plusieurs acteurs (constructeurs, acteurs de recharge, ...)
- L'utilisation du levier réglementaire pour favoriser le développement du marché des véhicules durables et les infrastructures de recharge associée.

V.3.2 Recommandations stratégiques

1. Mise en place d'incitations pour les véhicules électriques « Pour une période transitoire estimée à 10 ans »

Les pays du Benchmark ont mis en place des mesures plus significatives permettant d'inciter le consommateur à acheter un véhicule électrique à des prix compétitifs. Des mesures de type :

- Mise en place d'une prime à l'achat pour les voitures électriques.
- Remboursement de la TVA à l'achat de voitures électriques pour les entreprises.
- Mise en place d'offres préférentielles pour l'assurance auto des VEs.
- Mise en place de la prime à la casse pour le transport en commun.
- Mise en place des avantages à l'utilisation de véhicules électriques (gratuité péage, stationnement, exonération vignette, réduction des frais d'immatriculation, tarif d'homologation des cyclomoteurs).

2. Développement de l'infrastructure de recharge pour véhicules électriques

Des financements soient partiels ou totales sont mis en place des pays pour l'installation des bornes de recharges, appuyé par un cadre réglementaire.

- Réalisation d'une étude sur l'opportunité de déploiement d'une infrastructure de recharge pour véhicules électriques (IRVE).
- Déploiement progressif d'un réseau de bornes de recharges rapides des véhicules électriques couvrant le réseau routier national, principalement au niveau des stations de services et les administrations.
- Mise en place de subventions à l'installation de bornes de recharges pour le privé.
- Accompagner le déploiement des bornes de recharges avec ombrières photovoltaïques.

3. Renforcement de l'écosystème de la mobilité électrique

L'Algérie a besoin de mettre en place des mesures plus significatives dans le domaine de la recherche et le développement de types :

- Lancement des programmes de recherche en mobilité électrique.
- Formations qualifiantes à la mobilité électrique et aux bornes de recharge.
- Mise en place d'un cadre institutionnel pour le développement et la promotion de la mobilité durable.
- Développer des programmes de sensibilisation / communication sur la mobilité électrique.
- Elaboration d'un plan de communication en direction des utilisateurs et investisseurs.

4. Soutien à la filière industrielle de la mobilité électrique

Le véhicule électrique est à coup sûr une opportunité les industries d'automobile qu'il s'agit de ne pas laisser passer. Et ce, pour plusieurs raisons. D'abord parce qu'il s'agit d'un marché d'avenir très concurrentiel, avec des ventes annuelles, en progression où le parc automobile électrique représentera des dizaines de millions de véhicules en 2030. Ensuite parce que nous sommes à un tournant, le monde entre dans une nouvelle phase de la mobilité électrique. Pour cela :

- Accompagnement à l'implantation d'usines de production de véhicules électriques en Algérie.
- Accompagnement à l'implantation d'usines de production de batteries au niveau national.
- Accompagnement à l'émergence d'un écosystème de la filière industrielle automobile électrique (composants, systèmes électroniques, infrastructures, fourniture et stockage d'énergie, formation, recyclage et valorisation).

V.4 Proposition d'une démarche de déploiement d'un réseau des bornes de recharge

Dans cette partie nous allons faire une proposition pour savoir comment peut-on réaliser notre objectif de déploiement de réseau de bornes. Plus précisément, nous traitons les questions suivantes :

- Comment doit être organisée la recharge publique ?
- Comment dimensionner l'infrastructure ?

Concernant la recharge publique et privée, le déploiement de l'infrastructure va donc reposer sur l'initiative de l'état sans oublier les opérateurs privés voulant faire le pas. Le gouvernement par ses financements, autorisations et subventions vise à encourager l'action des collectivités vers l'adoption de la mobilité électrique.

Quel est le coût de l'infrastructure de recharge ?

Dans cette partie, nous évaluerons le coût économique de la mise en place de l'infrastructure permettant la recharge des véhicules. Nous nous appuyons essentiellement sur l'analyse des coûts des outils récemment utilisées dans le Maroc et la France.

- La charge accélérée à domicile ou sur le lieu de travail (Wallbox) est de 250 à 500\$.
- En accès public, le coût d'une borne de charge rapide est environ 4000 à 1000\$.
- Cout d'installation.

Vu qu'il est irrationnel de déployer des bornes de recharge normale sur la voie publique ou sur les parkings, les bornes doivent être donc rapide. Comme le coût des bornes de recharge rapide est élevé (de 5 000 à 10 000 \$ par borne), il convient de limiter leur densité. Dans ce but, nous suggérons de commencer par les déployer dans les grandes villes où on peut trouver des adopteurs potentiels. Le déploiement sera comme suit :

- Installation des bornes de recharge rapide sur : Alger, Annaba, Oran, Sétif, Constantine, Blida, Batna.
- Une distance de 100 à 150 km entre deux bornes.
- A partir de 2023 les constructions d'immeubles (bureaux et habitations) avec parking intégreront des prises de recharge.
- Installation dans les parkings des immeubles de bureaux existants (à l'aide des subventions).
- L'adoption d'un cadre commun sur le type de prise.

Dans la figure suivante montre notre vision de la distribution des bornes de recharge d'ici 2025.



Figure V-6: Exemple de la distribution des bornes électriques dans la partie Nord de l'Algérie durant la période (2022 - 2025)

Ce rythme de distribution nous permettra de déployer un grand nombre de bornes de recharges d à l'horizon 2030 comme montre la figure V-7.



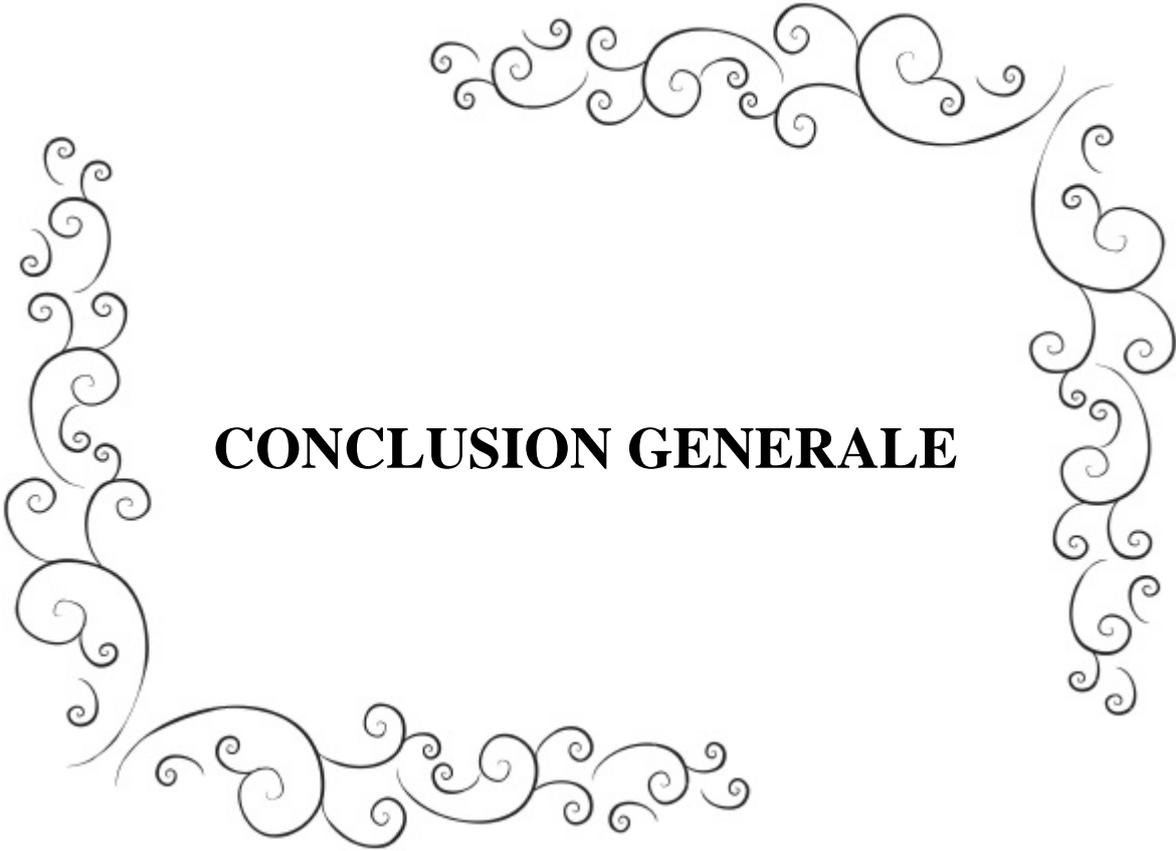
Figure V-7: Déploiement des bornes électriques à l'horizon 2030

V.5 Conclusion

Plusieurs gouvernements ont adopté des mesures et des politiques réglementaires pour aider à accélérer l'adoption de la mobilité électrique sur le marché, pour cela l'action du gouvernement Algérienne est nécessaire pour surmonter les problèmes de ce marché émergent, le reste de l'adoption reposera donc sur l'action des collectivités publiques.

La disponibilité d'infrastructures de recharge et les coûts d'achat (voiture ou batterie) sont des facteurs cruciaux permettant aux utilisateurs, quelles que soient leurs conditions d'habitation d'envisager leur utilisation dans des conditions de confort et de tranquillité.

A l'horizon 2030, il ne sera plus possible d'utiliser les carburants traditionnels polluants. Pour cela l'Algérie doit encourager l'utilisation de l'énergie électrique. Notamment dans le secteur des transports et ce avec la locomotion électrique : voitures, bus, tramway et métro qui font partie intégrante de cette révolution que notre pays ne doit absolument pas rater.

A decorative border composed of intricate, symmetrical scrollwork and floral motifs, framing the central text. The border is composed of four distinct sections: a top horizontal section, a bottom horizontal section, a left vertical section, and a right vertical section, all meeting at the corners.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

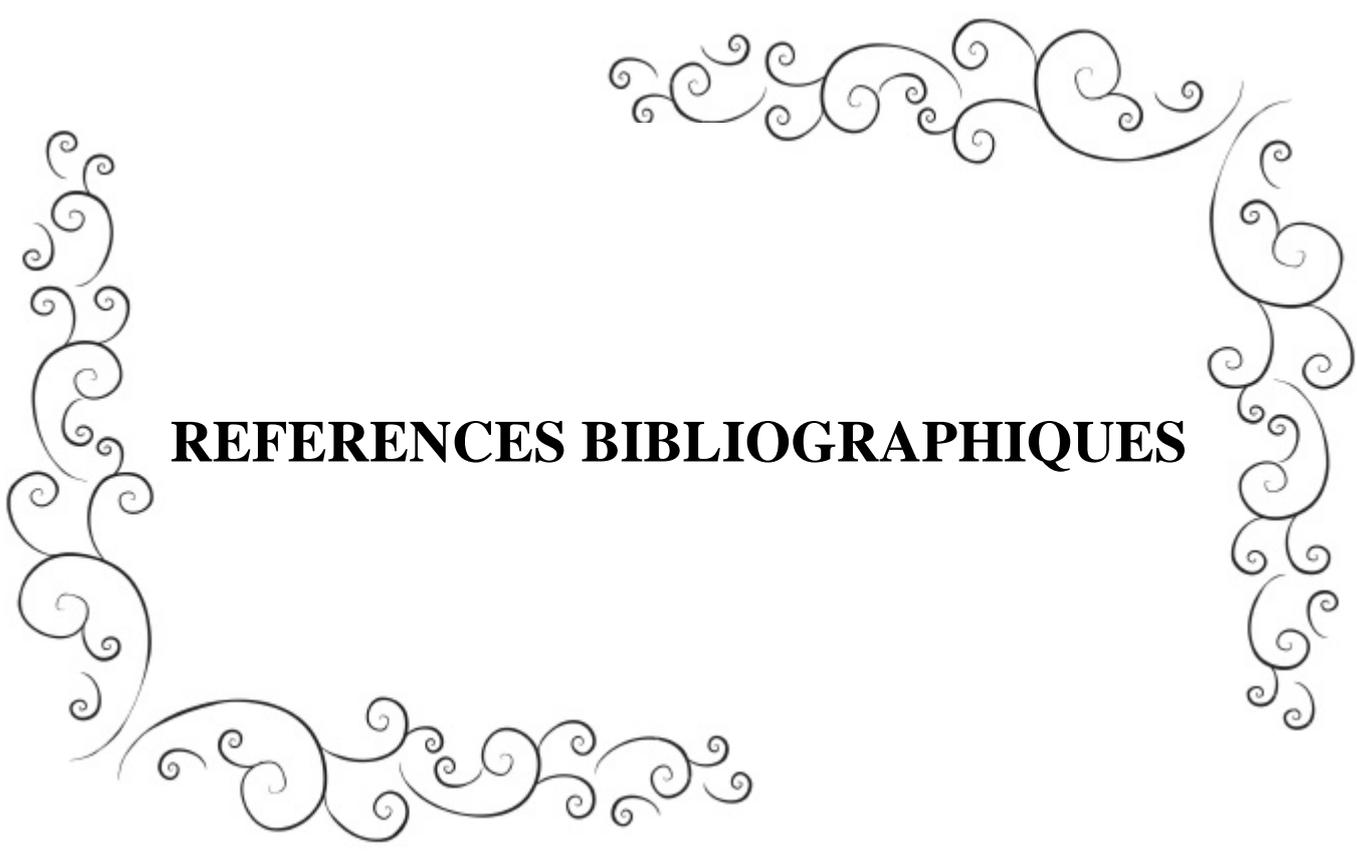
Dans ce travail nous proposons quelques modèles énergétiques pour améliorer le mode de consommation dans le secteur des transports en appliquant des nouvelles stratégies durables pour l'Algérie en 2030. Dans un premier temps, nous avons traité la situation énergétique globale dans le monde. Nous avons montré que l'augmentation de la demande énergétique a accompagné la crise du changement climatique au cours des dernières années. Par ailleurs, notre intérêt principal s'est porté sur la stratégie de consommation d'énergie appliquée dans le secteur des transports et les principaux carburants disponibles pour répondre aux besoins énergétiques en Algérie, tout en notant la nécessité de diminuer la pollution.

Le développement du parc automobile est la conséquence normale du développement économique et l'encouragement de l'achat des voitures particulières. Par ce fait, le parc de véhicules de tourisme a connu une croissance annuelle moyenne de 2% sur les 20 dernières années, passant de 1,3 millions de voitures en début 90 à 4.15 millions en 2020. Ce qui a eu un impact important sur la consommation des carburants classiques en Algérie.

Parmi les carburants alternatifs étudiés, le GPLc se positionne comme le carburant le plus prometteur et le plus simple à mettre en place. Ce dernier est disponible en Algérie et il est beaucoup moins polluant que le gasoil et l'essence. La solution la plus prometteuse en Algérie est de continuer la conversion des véhicules au GPLc. Il faut cependant régler les obstacles liés à la commercialisation de ce nouveau vecteur énergétique entre autres le coût d'installation du Kit GPLc et le prix bas du gasoil, qu'il faut augmenter.

L'autre but de cette étude est la nécessité d'introduire de façon graduelle la mobilité électrique. Pour cela l'Algérie peut gagner une étape, en utilisant l'énergie électrique pour la locomotion, ce qui lui permettra, comme nous l'avons montré d'économiser des quantités importantes d'essence, de réduire d'une façon drastique le gasoil qui est un problème majeur de santé publique et de diminuer le dégagement de CO₂. L'avenir appartient à l'usage des véhicules électriques avec le fait que l'électricité nécessaire à leur utilisation proviendra essentiellement des énergies renouvelables (solaire et éolienne).

La réussite de ces stratégies qui consacrent dans les faits une transition énergétique vers le développement durable ne peut se faire qu'avec l'adhésion des citoyens et citoyennes. Une pédagogie assidue à travers les médias peut contribuer à cette prise de conscience qui permettra un avenir acceptable pour les générations futures.

A decorative border composed of elegant, symmetrical scrollwork and flourishes, framing the central text. The scrollwork is rendered in a simple black line style, creating a classic and refined appearance.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. BP Statistical Review of World Energy 2020 : les chiffres clés de l'énergie dans le monde. [En ligne]. [Consulté le 19/05/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.connaissancedesenergies.org/les-chiffres-cles-de-lenergie-dans-le-monde-en-2019-200617>.
2. ABN news. [En ligne]. [Consulté le 22/05/2021]. Disponible à l'adresse : <https://asiapacifique.fr/energie-la-fin-du-charbon-pas-encore/>.
3. planète energie TOTALE. [En ligne]. [Consulté le 17/05/2021]. Disponible à l'adresse : [En ligne] <https://www.planete-energies.com/fr/medias/chiffres/la-consommation-mondiale-d-energie-en-2019>.
4. Wallonie. [En ligne]. [Consulté le 27/05/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.iweps.be/indicateur-statistique/consommation-denergie-secteur-vecteur/>.
5. IFP energies nouvelles. [En ligne]. [Consulté le 05/05/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeux-et-prospective/decryptages/energies-fossiles/tout-savoir-petrole>.
6. KHENFER, Abderaouf et CHACHA, Abdelbari. Modélisation des consommations d'énergie du secteur résidentiel en Algérie à long terme. Université KASDI Merbah d' Ouargla. 2018, p 35.
7. GAZ d'aujourd'hui. [En ligne]. [Consulté le 03/05/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.gazdaujourd'hui.fr/gazcedigaz/>.
8. IEA (2020), Key World Energy Statistics 2020. [En ligne]. [Consulté le 27/05/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2020>.
9. The Geography of Transport Systems. [En ligne]. [Consulté le 24/05/2021]. Disponible à l'adresse : <https://transportgeography.org/contents/chapter4/transportation-and-energy/#:~:text=Land%20transportation%20accounts%20for%20the,transport%20sector%20in%20developed%20economies>.
10. Mounia Tidjani, Nihal Mansouri, C.E Chitour. A sustainable energy model for Algeria in 2030: the study of Electro-mobility in the transport sector. Ecole nationale polytechnique, 2020, p 77.
11. Hakim BOUNOUA, Slimane GHANEM, C. E. CHITOUR. Pour une stratégie rationnelle de consommation de carburants dans le pays à 2030. Ecole nationale polytechnique, 2015, p 51.
12. MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES. [En ligne]. [Consulté le 28/05/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.energy.gov.dz/?article=nationalisation-des-hydrocarbures-cration-de-l-ugta-mobilisation-des-travailleurs-algiens#:~:text=Voici%20les%20chiffres%20clés%20des,dont%2055%25%20en%20Gaz%20naturel>.

13. Bilan Energétique National 2019. Ministère de l’Energie. [En ligne]. [Consulté le 22/05/2021]. Disponible à l’adresse : <https://www.energy.gov.dz/?article=bilan-energetique-national-du-secteur>.
14. office national des statistiques. LES IMMATRICULATIONS DES VEHICULES AUTOMOBILES 2019. [En ligne]. [Consulté le 20/05/2021]. Disponible à l’adresse : <https://www.ons.dz>.
15. office national des statistiques. LES IMMATRICULATIONS DES VEHICULES AUTOMOBILES 2018. [En ligne]. [Consulté le 20/05/2021]. Disponible à l’adresse : <https://www.ons.dz>.
16. Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l’Utilisation de l’Energie. Consommation Energétique Finale de l’Algérie 2015. [En ligne]. [Consulté le 20/05/2021]. Disponible à l’adresse : <http://www.aprue.org.dz>.
17. Hannah Ritchie and Max Rose. CO₂ and GHG Emissions By sector. [En ligne]. [Consulté le 03/06/2021]. Disponible à l’adresse : <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>.
18. Tracking Transport. [En ligne]. [Consulté le 05/06/2021]. Disponible à l’adresse : <https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2020>.
19. MOUSLI, Abdenadir et DERADERA, Marwa. Le GPL/c en Algérie. Thèse de doctorat. Université abderrahmane mira Bejaia/Aboudaou, 2020, p 38-67.
20. Économie, écologie, énergies et société. [En ligne]. [Consulté le 01/06/2021]. Disponible à l’adresse : <https://www.econologie.com/emissions-co2-litre-carburant-essence-diesel-ou-gpl/#:~:text=GPL%3A%201%2C7%20kg%20de%20CO2%20par%20litre>.
21. HORIZON GPL. [En ligne]. [Consulté le 06/06/2021]. Disponible à l’adresse : http://www.horizongpl.com/tout_gpl_cquoi.php.
22. NAFTAL. Atteindre un taux de 70% de stations-service proposant le Sirghaz d’ici 2025. 2019. [En ligne]. [Consulté le 20/05/2021]. Disponible à l’adresse : <https://www.naftal.dz/fr/>
23. Aline Dupont. Le Propane. [En ligne]. [Consulté le 03/06/2021]. Disponible à l’adresse : <https://lepropane.com/bouteilles>.
24. Richard TILAGONE, Bertrand LECOINTE. Gaz naturel – Carburant pour véhicule. s.l. : Technique de l’ingénieur, France, 2015, p9, ISBN BM2592 V2.
25. energir. [En ligne]. [Consulté le 02/06/2021]. Disponible à l’adresse : <https://www.energir.com/fr/a-propos/nos-energies/gaz-naturel/gaz-naturel-comprime/>.
26. NGV journal. [En ligne]. [Consulté le 03/06/2021]. Disponible à l’adresse : http://www.ngvjourn.com/?page_id=22218.
27. energuide.be. [En ligne]. [Consulté le 11/06/2021]. Disponible à l’adresse : <https://www.energuide.be/fr/questions-reponses/la-voiture-au-gaz-naturel-ou-au-cng-une-reelle-alternative/198/>.

28. TotalEnergies. [En ligne]. [Consulté le 03/05/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.totalenergies.fr/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/comprendre-le-marche-de-l-energie/gnc-le-gaz-naturel-comprime-pour-les-vehicules>.
29. benmostepha, zahir. liberte algerie. [En ligne]. [Consulté le 01/06/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.liberte-algerie.com/actualite/le-GNC-remplacera-t-il-lessence-et-le-mazout-48160/print/1>.
30. KARIM, Ghazi A. Dual-fuel diesel engines. CRC Press. LONDON, 2015, p58.
31. Tiwari, Abhay. Converting a Diesel Engine to Dual-Fuel Engine Using Natural Gas. [En ligne]. [Consulté le 13/06/2021]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/326543302_Converting_a_Diesel_Engine_to_Dual-Fuel_Engine_Using_Natural_Gas.
32. OURAIBA, Abdessamad. ETUDE DE LA COMBUSTION TURBULENTE DANS UN MOTEUR DUAL FUEL. Thèse de doctorat. Université Aboubakr Belkaïd -Tlemcen-, 2016, Page37, 2016.
33. Aklouche, Fatma Zohra. Etude caractéristique et développement de la combustion des moteurs Dieselen mode Dual-Fuel : optimisation de l'injection du combustible pilote. Thermique [physics.class-ph]. Ecole nationale supérieure Mines-Télécom Atlantique, 2018, p26.
34. Enerzine. L'energie au quotidien. [En ligne]. [Consulté le 10/06/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.enerzine.com/les-atouts-de-la-technologie-multi-carburants-dual-fuel/15318-2012-09>.
35. Alagérie presse service. [En ligne]. [Consulté le 05/06/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.aps.dz/economie/115451-transport-lancement-du-premier-bus-et-du-premier-camion-hybrides-dual-fuel-diesel-gplc>.
36. Chems Eddine chitour, DOULACHE Sid Ali, OULIKEN Ammar, LAIDANI Yakoub. 24 ème journée de l'énergie La révolution électrique verte de la locomotion électrique, 2019, p10.
37. Renault. [En ligne]. [Consulté le 08/06/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.renault.fr/vivre-en-electrique/transition-ecologique.html>.
38. POUPON, Lenaïc. L'acceptation de la voiture électrique: étude d'un processus, de l'acceptabilité à l'acceptation située. Thèse de doctorat. Université de Lyon, 2017, p51.
39. C.E.CHITOUR, M.BESSALAH, Y.LABASSI, R.SAHRAOUI. 25 e journée de l'énergie, Thème : Locomotion électrique : un défi à relever. 2021.
40. LARMINIE, James et LOWRY, John. Electric vehicle technology explained. John Wiley & Sons. [En ligne]. [Consulté le 16/06/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.wiley.com/en-us/Electric+Vehicle+Technology+Explained%2C+2nd+Edition-p-9781119942733>. [accès par abonnement].
41. automobile propre. [En ligne]. [Consulté le 14/06/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.automobile-propre.com/dossiers/le-fonctionnement-dune-voiture-electrique/#:~:text=la%20Renault%20Zoé.->

,Le%20convertisseur,en%20courant%20continu%20(DC).&text=Pour%20éviter%20cette%20étape%20et,courant%20continu%20dans%20la%20batterie..

42. Turbo. [En ligne]. [Consulté le 03/05/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.turbo.fr/conseils/acheter-voiture/voitures-hybrides-hybrides-rechargeables-electriques-et-hydrogene-quelles-differences-155284>.
43. connaissance des énergies. [En ligne]. [Consulté le 13/06/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/voiture-electrique>.
44. Tristan Gaudiaut. Statista. [En ligne]. [Consulté le 13/06/2021]. Disponible à l'adresse : <https://fr.statista.com/infographie/17401/classement-pays-selon-parts-de-marche-voitures-electriques-et-hybrides/>.
45. ADEME. [En ligne]. [Consulté le 13/06/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.ademe.fr>.
46. GAOUA, Yacine. Modèles mathématiques et techniques d'optimisation non linéaire et combinatoire pour la gestion d'énergie d'un système multi-source: vers une implantation temps-réel pour différentes structures électriques de véhicules hybrides. Thèse de doctorat, 2014, p30.
47. Veille technologique. Energie finale, CO2 et matériaux : le match voiture électrique contre voiture thermique décrypté. [En ligne]. [Consulté le 11/06/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.industrie-techno.com/article/energie-finale-co2-et-materiaux-le-match-voiture-electrique-contre-voiture-thermique-decrypte.64359>.
48. notre-planete.info. [En ligne]. [Consulté le 23/06/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.notre-planete.info/actualites/1802-comparatif-voiture-electrique-essence-diesel-pollution#:~:text=V%C3%A9hicules%20%C3%A9lectriques%20et%20%C3%A9missions%20en,en%20faveur%20de%20l'%C3%A9lectrique..>
49. Lucien Mathieu, Cecilia Mattea. Transport & Environment. Square de Meeûs, 18 – 2nd floor | B-1050 | Brussels | Belgium, p43, March 2021.
50. Eng, C Iclodean et al IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Comparison of Different Battery Types for Electric Vehicles. 2017.
51. REDDY, Mogalahalli V., MAUGER, Alain, JULIEN, Christian M., et al. Brief history of early lithium-battery development. Materials, 2020, vol. 13, no 8.
52. WANG, Ziqi, TAN, Rui, WANG, Hongbin, et al. WANG, Ziqi A Metal–Organic-Framework-Based Electrolyte with Nanowetted Interfaces for High-Energy-Density Solid-State Lithium Battery. Advanced Materials, 2018, vol. 30, no 2. 2018.
53. car. [En ligne]. [Consulté le 13/06/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.carmagazine.co.uk/electric/ev-car-battery-capacity-tech/>.

54. PISTOIA, Gianfranco et LIAW, Boryann (ed.). Behaviour of lithium-ion batteries in electric vehicles: battery health, performance, safety, and cost. Springer, 2018.p 200-286. 2018.
55. Recharge EU: How many charge points will Europe and its Member States need in the 2020s, T&E., janvier 2020.
56. TIETGE, Uwe, MOCK, Peter, LUTSEY, Nic, et al. Comparison of leading electric vehicle policy and deployment in Europe. Int. Council Clean Transp, 2016, p49.
57. Wesseling, J.H. Explaining variance in national electric vehicle policies. Environ. Innov. Soc. Transit, 2016, p28–38..

ANNEXE 1 : TAUX DE CONVERSION

B. Taux de conversion

L'unité de référence et de mesure est la tonne équivalente pétrole (Tep). Toutes les formes d'énergie sont exprimées en Tep sur la base de leur pouvoir calorifique supérieur.

Le tableau ci-dessous donne pour les principales ressources énergétiques, les éléments de conversion nécessaires à la transformation des quantités physiques en équivalents énergétiques :

Produits énergétiques	Unité de base (Spécifique)	Tonne équivalent pétrole (Tep)
Houille et charbon	Tec	0,70
Coke		
Bois	m ³ bois	0,20
Pétrole brut	Tonne	1,103
Condensat		1,132
Produits raffinés*, dont :		1,05
▶ Essences		1,069
▶ Gasoil		1,036
▶ Fuel oil		1,007
▶ Jet fuel		1,049
▶ Naphta	1,100	
Gaz naturel	1 000 m ³	0,945
GNL	1 m ³ GNL	0,586
GPL	Tonne	1,18
Electricité**	GWh	229,9

*- en moyenne ;

**- calculé sur la base d'un coefficient à la production

ANNEXE 2 : PARC ALGERIEN

- 6 -

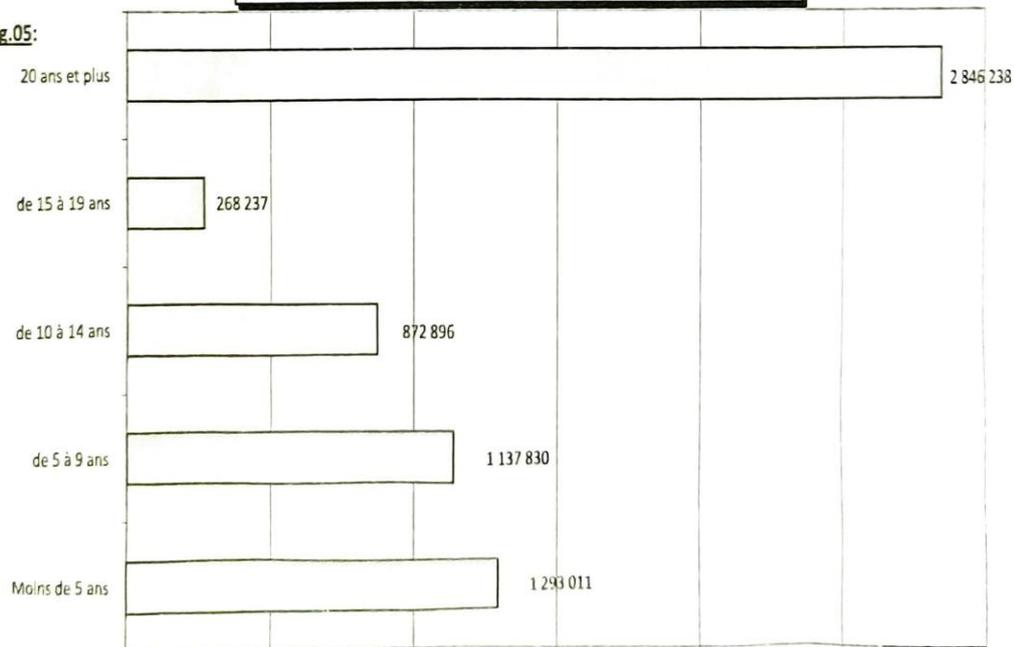
Tab.07 :

**REPARTITION DU PARC NATIONAL AUTOMOBILE SELON
LE GENRE ET LES TRANCHES D'AGES DES VEHICULES AU 31/12/2018**

GENRE	TRANCHES D'AGE										TOTAL
	Moins de 5 ans		de 5 à 9 ans		de 10 à 14 ans		de 15 à 19 ans		20 ans et plus		
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	
Véhicule de Tourisme	919 461	22,15	805 513	19,41	615 087	14,82	199 665	4,81	1 611 315	38,82	4 151 041
Camion	26 572	6,30	36 792	8,72	46 188	10,95	12 343	2,93	299 794	71,09	421 689
Camionnette	165 558	13,74	232 765	19,32	158 300	13,14	29 226	2,43	618 703	51,36	1 204 552
Autocar / Autobus	6 016	6,84	12 915	14,68	18 532	21,07	15 562	17,69	34 943	39,72	87 968
Tracteur Routier	11 590	13,30	12 231	14,03	11 279	12,94	2 311	2,65	49 758	57,08	87 169
Tracteur Agricole	20 694	12,58	11 555	7,03	7 339	4,46	3 760	2,29	121 129	73,64	164 477
Véhicule Spécial	1 661	22,78	955	13,09	356	4,88	118	1,62	4 203	57,63	7 293
Remorque	21 646	14,03	17 570	11,39	14 795	9,59	4 889	3,17	95 343	61,81	154 243
Moto	119 813	85,72	7 534	5,39	1 020	0,73	363	0,26	11 050	7,91	139 780
TOTAL	1 293 011	20,15	1 137 830	17,73	872 896	13,60	268 237	4,18	2 846 238	44,35	6 418 212

Parc National Automobile par genre et tranches d'âge au 31/12/2018

Fig.05:



**Tab08 : REPARTITION DES IMMATICULATIONS DU DEUXIEME SEMESTRE
2018 SELON LE GENRE ET LA SOURCE D'ENERGIE**

GENRE	SOURCE D'ENERGIE				TOTAL
	ESSENCE	%	GAZOIL	%	
VEHICULE DE TOURISME	371 936	45,85	196 996	24,28	568 932
CAMION	755	0,09	29 233	3,60	29 988
CAMIONNETTE	57 750	7,12	78 090	9,63	135 840
AUTOCAR / AUTOBUS	353	0,04	7 597	0,94	7 950
TRACTEUR ROUTIER	422	0,05	7 174	0,88	7 596
TRACTEUR AGRICOLE	282	0,03	8 791	1,08	9 073
VEHICULE SPECIAL	75	0,01	721	0,09	796
MOTO	49 552	6,11	1 506	0,19	51 058
TOTAL	481 125	59,31	330 108	40,69	811 233

(*) : N'apparaissent pas les remorques et semi-remorques (véhicules tractés).

La part de la source d'énergie pour le deuxième semestre 2018

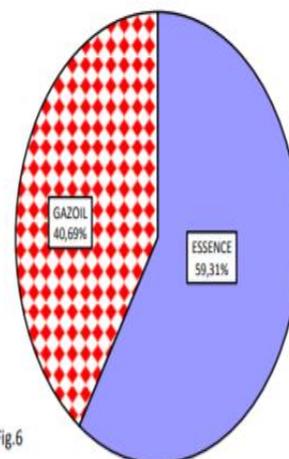
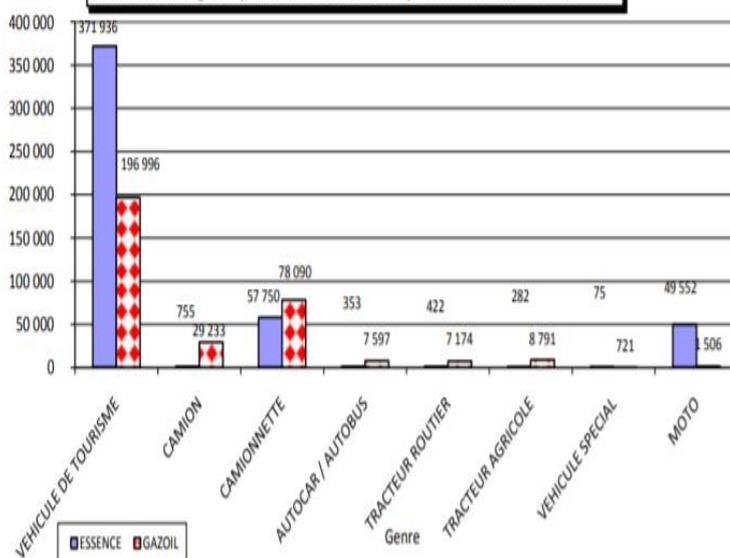


Fig.6

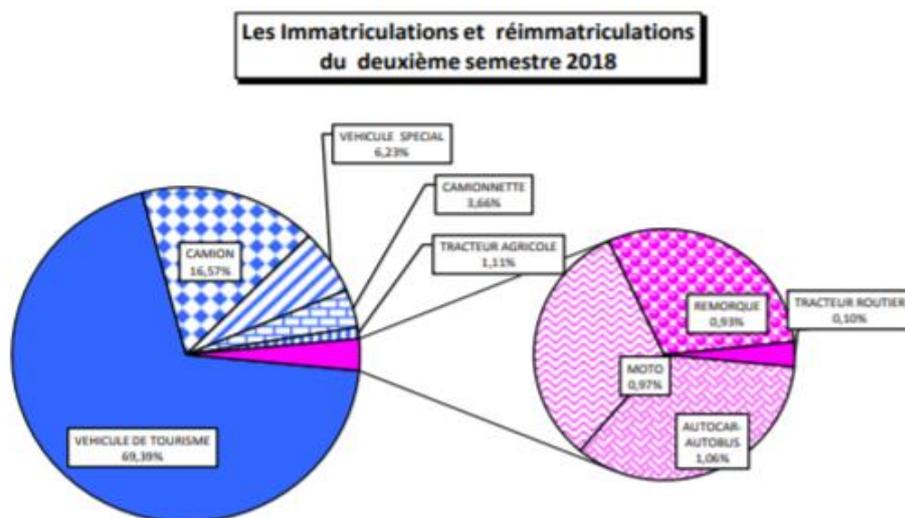
La source d'énergie du parc national automobile pour le deuxième semestre 2018



Tab.01 :

**REPARTITION DES IMMATRICULATIONS ET REIMMATRICULATIONS
DU DEUXIEME SEMESTRE 2018 SELON LE GENRE DES VEHICULES**

GENRE DU VEHICULE	Nombre	%
VEHICULE DE TOURISME	568 932	69,39
CAMION	29 988	3,66
CAMIONNETTE	135 840	16,57
AUTOCAR-AUTOBUS	7 950	0,97
TRACTEUR ROUTIER	7 596	0,93
TRACTEUR AGRICOLE	9 073	1,11
VEHICULE SPECIAL	796	0,10
REMORQUE	8 671	1,06
MOTO	51 058	6,23
TOTAL	819 904	100



ANNEXE 3 : BENCHMARK DES PAYS LEADERS

Benchmark Chine

17% du parc mondial des véhicules électriques



Données du marché - 2017 *	Objectifs à MT & LT
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Population : 1.386 milliard d'habitants ▪ PIB : 12 362 milliards \$ soit 8 827 \$ par habitant ▪ Parc automobile 1: 310 millions de véhicules dont 184 millions de voitures. ▪ Taux de motorisation : 133 voitures par 1000 habitants ▪ Parc de voitures électriques : 1,7 millions (0,9% du parc) ▪ Ventes de voitures électriques 2: 798 000 (2,3% de part de marché) ▪ Ventes de cyclomoteurs électriques : 14,7 millions (54% de part de marché) ▪ Stations de recharge : 253 000 publiques versus 268 000 privées. 3 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Augmenter les ventes de voitures électriques à 7% en 2020, 15% en 2025 et 40% en 2030. ▪ La Chine veut porter à 2 millions d'unités la production annuelle de voitures et bus électriques en 2020, 7 millions en 2025 et 16 millions en 2030. ▪ Produire 50 000 voitures à pile à combustible à zéro émission d'ici 2025 et 1 million d'ici 2030 ▪ 4,8 millions de bornes de recharge en libre service à l'horizon 2020 ▪ Leader mondial de la filière industrielle des véhicules électriques (production, batteries, bornes de recharge, ...)
Cadre réglementaire et législatif	Programme d'aide & subventions
<ul style="list-style-type: none"> • Réglementation quotas des voitures • Plan made in China 2025 	<ul style="list-style-type: none"> • Suppression de la taxe à l'achat pour les véhicules électriques (16%) • Subventions à l'achat de voitures électriques. • Mesure favorisant l'obtention d'une plaque d'immatriculation pour les véhicules électriques • Limitation de circulation pour les véhicules thermiques • Malus sur dépassement de l'objectif de seuils d'émission • Un dispositif de quota incitant les constructeurs à produire des véhicules électriques en Chine

Benchmark Norvège

6% du parc mondial des voitures électriques



Données du marché - 2017

- **Population** : 5,2 millions d'habitants
- **PIB** : 398 milliards \$ soit 75 504 \$ par habitant
- **Parc automobile** : 3,2 millions de véhicules dont 3 millions de voitures
- **Taux de motorisation** : 577 par mille habitants
- **Parc de voitures électriques** : 206 759 voitures électriques (7% du parc)
- **Ventes de voitures électriques** : 78 690 (39,4% de part de marché)
- **Stations de recharges** : 11 472 points de recharge publiques

Objectifs à MT & LT

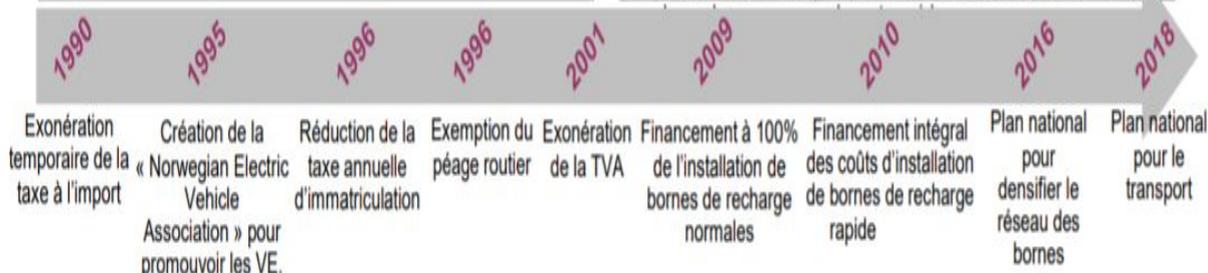
- Vente de voitures particuliers et utilitaires légers exclusivement électriques, hydrogène ou hybrides d'ici 2025.
- Vente de bus exclusivement full électriques, à l'hydrogène ou biogaz (GNV renouvelable) d'ici 2025.

Cadre réglementaire et législatif

- Le Road traffic Act, Vehicle import duty resolution, qui a régulé les systèmes de taxation en faveur des voitures full électriques

Programme d'aide & subventions

- Exemption de la taxe d'achat (CO2 + Nox + poids) pour les voitures full électriques, qui revient à environ 33% du prix d'import.
- Exonération de la TVA (fixée à 25%) lors de l'achat ou leasing d'une voiture full électrique
- Exonération de la taxe de circulation
- Financement intégral par l'Etat de l'installation de bornes



Benchmark France

5% du parc mondial des voitures électriques



Données du marché - 2017

- Population : 67 millions d'habitants
- PIB : 2 570 milliards \$ soit 38 358 \$ par habitant
- Parc automobile : 43,8 millions de véhicules dont 38 millions de voitures
- Taux de motorisation : 567 par 1000 habitants
- Parc de voitures électriques₂ : 152 354 (0,3% du parc)
- Ventes₁ de voitures électriques₂ : 42 797 (1,8% de part de marché)
- Stations de recharges : 10 062 ouverts au public soit 26 390 points de recharges

Objectifs à MT & LT

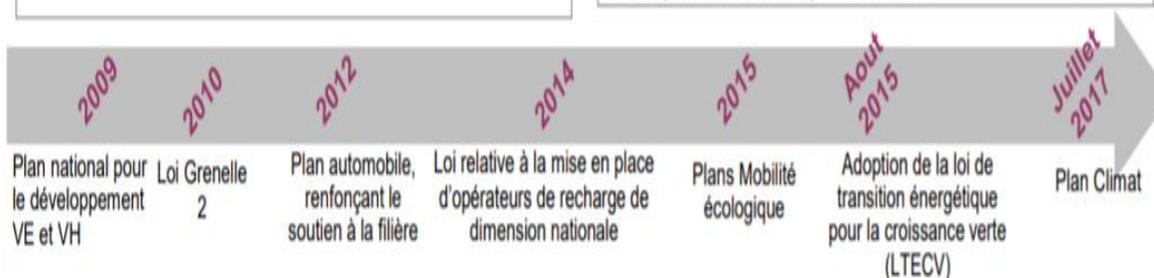
- Bannir les véhicules thermiques d'ici 2040, avec comme principale alternative le véhicule électrique
- Multiplier par 5 les ventes des VE à horizon 2022
- Atteindre un parc de 2,5 millions de VHR et 1,9 millions de VE en 2030
- 5 000 véhicules hydrogènes d'ici 2023
- Interdire de mettre en circulation des bus et autocars urbains thermiques à partir de 2025
- 7 millions de bornes de recharges à horizon 2030

Cadre réglementaire et législatif

- Loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) du 18 août 2015 et décrets d'application
- Décret n° 2017-26 du 12 janvier 2017 relatif aux infrastructures de recharge pour véhicules électriques (IRVE)

Programme d'aide & subventions

- Bonus-malus écologique : 6 000 € pour l'achat d'un VE abondés de 2 500€ en cas de Prime à la conversion
- Avantages fiscaux pour les sociétés (exonération TVS, récupération TVA, déduction amortissement fiscale...)
- Crédit d'impôt pour la transition énergétique (Cite)
- Programme Avenir « Prime CEE pour bornes de recharges des véhicules électriques »
- Dispositif certificat qualité de l'air



1) : Immatriculations; 2) : Le terme voiture électrique (VE) comprendra ici les voitures électriques à batteries (full électrique) (VEB), les voitures hybrides rechargeables (VHR) et les voitures à hydrogène (VEH)