

LT-LEDS

**Plan sectoriel de décarbonation
des Transports**

**Stratégie nationale Bas Carbone du Maroc
2050**

29/09/2023

TABLE DES MATIERES

TABLE DES FIGURES ET ILLUSTRATIONS	2
INTRODUCTION	4
1. ETAT DES LIEUX DU SECTEUR DU TRANSPORT AU MAROC	5
1.1. Demande énergétique et émissions du transport au Maroc	5
1.2. Evolution et tendances récentes	6
1.2.1. Le transport dans la nouvelle CDN du Maroc (2021)	6
1.2.2. Tendances récentes du secteur du transport au Maroc	6
2. LE SECTEUR DES TRANSPORTS EN 2050 DANS UN SCENARIO NET ZERO	8
2.1. Vision intersectorielle.....	8
2.1.1. Demande énergétique du transport et part dans la demande énergétique totale	8
2.1.2. Emissions du transport et part dans les émissions totales.....	8
2.1.3. Comparaison avec les scénarios CDN+ et Référence	9
2.2. Vision intermodale.....	10
2.2.1. Transport routier	11
2.2.2. Transport ferroviaire	13
2.2.3. Transport aérien.....	14
2.2.4. Transport maritime	15
3. POLITIQUES ET MESURES A DEPLOYER POUR ATTEINDRE LE SCENARIO NET ZERO	16
3.1. Examen des mesures.....	16
3.1.1. Transport routier	16
3.1.2. Transport ferroviaire	17
3.1.3. Transport aérien.....	17
3.2. Traduction quantitative des mesures.....	18
3.2.1. Transport routier	18
3.2.2. Evolution de l'activité des véhicules.....	18
3.2.3. Transport ferroviaire	22
3.2.4. Transport aérien.....	23
3.3. Coûts d'investissement des mesures	23
3.4. Remarques complémentaires	24
4. REFERENCES	25
5. ANNEXES	26
5.1. Liste exhaustive des mesures techniques de décarbonation.....	26
5.1. Distribution des émissions du transport par mode.....	27
5.2. Description plus détaillée des mesures prises par rapport au secteur routier.....	28
5.3. Feuille de route de l'hydrogène vert.....	30

Table des figures et illustrations

Figure 1 Demande énergétique sectorielle historique	5
Figure 2 Emissions sectorielles historiques	6
Figure 3 Demande énergétique sectorielle en historique et projection, scénario Net-Zéro	8
Figure 4 Emissions sectorielles historiques et en projection, scénario Net-Zéro...	9
Figure 5 Demande énergétique totale dans le transport, inter-scénarios	10
Figure 6 Emissions totales dans le transport, inter-scénarios.....	10
Figure 7 Distribution de la demande énergétique du transport par sous-secteur, scénario Net-Zéro	11
Figure 8 Demande énergétique par mode de transport, scénario Net-Zéro	12
Figure 9 Emissions par mode de transport, scénario Net-Zéro	12
Figure 10 Demande énergétique totale dans le transport routier, inter-scénarios	13
Figure 11 Emissions totales dans le transport routier, inter-scénarios.....	13
Figure 12 Demande énergétique totale dans le secteur ferroviaire inter-scénarios	14
Figure 13 Emissions totales dans le secteur ferroviaire inter-scénarios	14
Figure 14 Demande énergétique totale dans l'aviation inter-scénarios	15
Figure 15 Emissions totales dans l'aviation, inter-scénarios	15
Figure 16 Coûts d'investissement dans le transport, scénario Net Zéro.....	24
Figure 17 Distribution des émissions du transport par sous-secteur, scénario Net-Zéro	27
 Tableau 1 Véhicules distingués dans la modélisation	18
Tableau 2: Distance annuelle parcourue par type de véhicule en 2050	19
Tableau 3 Seuils de progression des ventes de véhicules électriques et hydrogène neufs au fil des ans	20
Tableau 4: Répartition de la flotte de camions en projection	21
Tableau 5 : Amélioration des consommations spécifiques à partir de 2030.....	22
Tableau 6 : Mix énergétique du transport aérien en projection	23
Tableau 7 Liste exhaustive des mesures de décarbonation.....	27

Avertissement

Les scénarios présentés, issus du travail de modélisation des différents plans nationaux et mesures de décarbonation, sont à utiliser avec précaution. Le degré élevé de détail fourni ne doit pas mener à sous-estimer les incertitudes à plusieurs niveaux. Impacts de la situation nationale et internationale sur les politiques choisies et développées, évolution des priorités ministérielles relatives, évolution du développement technologique au niveau international, possibles nouvelles connaissances et données sur le contexte local, hypothèses de modélisation : tous ces éléments impactent significativement les scénarios présentés ici. Pour ces raisons, une mise à jour des scénarios régulière permettrait d'affiner les trajectoires dessinées ici, prenant en compte l'évolution réelle de la situation économique, environnementale et sociale, ainsi que la disponibilité de nouvelles données techno-économiques pour la modélisation.

Les principales incertitudes associées à la modélisation du secteur des transports portent sur la vitesse de déploiement des nouvelles technologies électriques et hydrogène, ainsi que sur la disponibilité de l'hydrogène vert pour les transports.

Introduction

Les Plans Sectoriels de Décarbonation (PSD) ont pour objectif de proposer des trajectoires de réduction des émissions de GES permettant au Maroc d'atteindre le net-zéro d'ici à 2050. Six PSD ont été préparés pour les secteurs suivants : bâtiment, approvisionnements en énergie, transports, industrie, agriculture-forêts et déchets.

Les PSD sont basés sur le travail de modélisation très fin réalisé par SEI US à l'aide du modèle LEAP. La concertation et les échanges approfondis avec les acteurs nationaux a permis de traduire la vision marocaine dans un ensemble de scénarios intégrés et cohérents entre secteurs et sous-secteurs.

Au sein de chaque secteur, les actions permettant d'atteindre l'objectif net-zéro en 2050 correspondent aux différentes hypothèses qui sous-tendent la modélisation LEAP. Celles-ci ont été proposées et discutées lors des ateliers de consultation avec les parties prenantes et validées in fine par le comité de pilotage. Elles s'appuient sur les axes de réduction des émissions figurant dans la Contribution Déterminée Nationalement (CDN) pour la période allant jusqu'à 2030, sur des mesures complémentaires figurant dans les stratégies sectorielles et enfin, sur des mesures additionnelles, plausibles mais également ambitieuses, nécessaires pour atteindre le net-zéro en 2050.

Les PSD donnent donc une vision précise des changements techno-économiques et des efforts de décarbonation à opérer pour atteindre l'objectif de décarbonation à 2050. Les politiques et mesures correspondantes seront définies grâce à l'appropriation de ces résultats par les différents ministères concernés.

L'analyse qui suit porte sur la période 2020-2060, 2020 étant l'année de base de la modélisation et 2060, l'année de fin de la modélisation. Néanmoins, il est important de souligner que le scénario Net-Zéro est construit de manière à atteindre des émissions nettes nulles en 2050.

Les résultats de la modélisation LEAP présentés dans ce document sont tirés de la version lt-leds maroc v0.112.

1. Etat des lieux du secteur du transport au Maroc

1.1. Demande énergétique et émissions du transport au Maroc

Le transport représente une part croissante de la demande énergétique au Maroc: entre 2005 et 2015, celui-ci recouvrait 36% de la demande finale, soit plus d'un tiers de la consommation totale. Entre 2015 et 2019, cette part atteignait les 40%. En effet, la demande énergétique liée au transport ne cesse de croître : le volume de demande augmentait de 35% entre 2010 et 2019, rythme plus important que l'enveloppe globale de demande.

Ceci traduit le rôle accru du transport dans la société marocaine.

A titre de comparaison, l'industrie, le résidentiel et le tertiaire représentaient respectivement 19%, 27% et 7.5% de la demande énergétique finale en 2019.

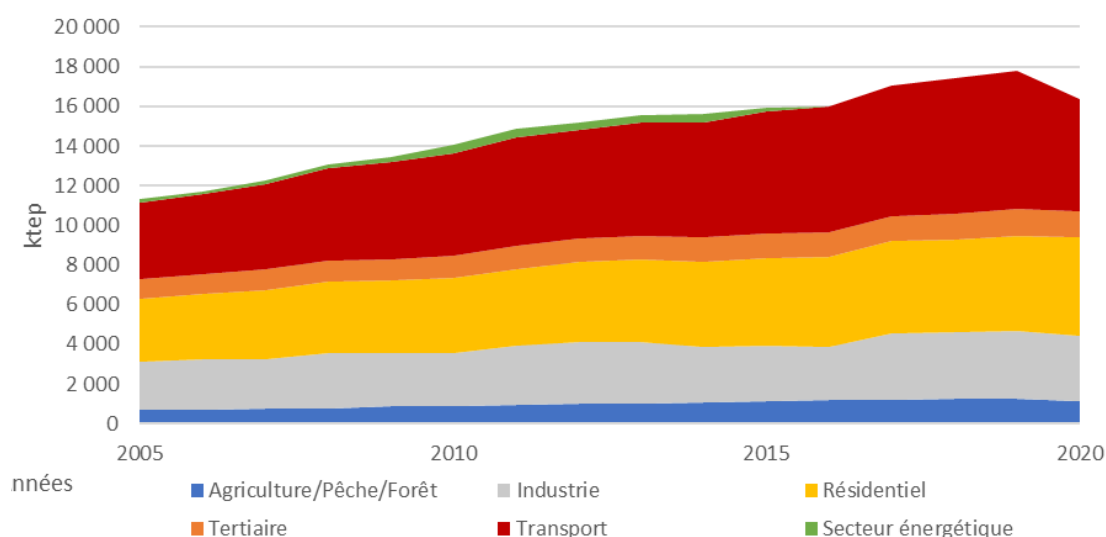


Figure 1 Demande énergétique sectorielle historique

La part relative du transport dans les émissions de gaz à effet de serre (GES) liées à la consommation finale d'énergie du Maroc a diminué durant les dernières décennies, passant de 46% en moyenne sur 2005-2016 à 41% sur en 2019. Cependant, les émissions du Maroc étant globalement en hausse, cela correspond à une augmentation de 19% des émissions de GES liées au transport entre 2010 et 2015. Sur la période 2015-2019 cependant, ces émissions se sont stabilisées à hauteur de 18.6 MtCo₂.

En 2019, les parts respectives des secteurs de l'industrie, du résidentiel et du tertiaire dans les émissions de la demande énergétique finale étaient de 32%, 18.5% et 1.4%.

L'industrie et le transport sont ainsi les deux secteurs où le contenu carbone (émissions générées par unité d'énergie consommée) est le plus fort. Considérant le volume de demande dans ces deux secteurs, il apparaît que la décarbonation du transport notamment jouera un rôle clef dans l'atteinte des objectifs climatiques du Maroc tels que définis dans la CDN.

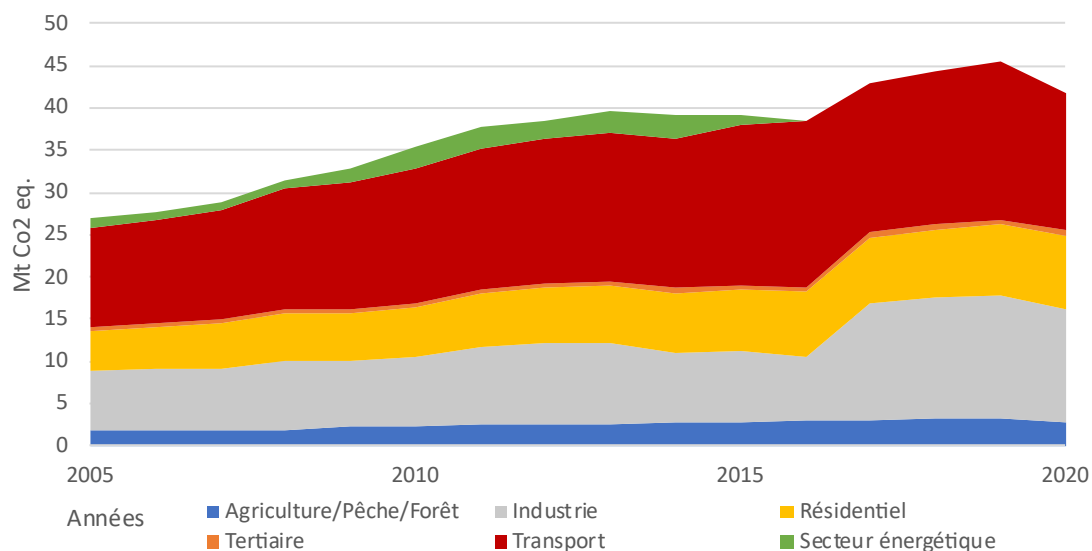


Figure 2 Emissions sectorielles historiques

1.2. Evolution et tendances récentes

1.2.1. Le transport dans la nouvelle CDN du Maroc (2021)

La nouvelle Contribution Déterminée Nationale (CDN) du Maroc de 2021 définit des objectifs plus ambitieux en matière de réduction des émissions GES. La cible actuelle est une réduction de 45.5% (conditionnel) et de 18.3% (inconditionnel) à l'horizon 2030 par rapport au scénario tendanciel de référence.

Parmi les 61 actions d'atténuation considérées dans la CDN, 2 actions inconditionnelles sur 34 sont liées au transport, ainsi que 5 actions conditionnelles. Les premières portent sur l'extension des tramways de Rabat et de Casablanca, ce qui renforce l'offre de transport au sein des deux villes. Les 5 actions conditionnelles sont les suivantes :

- Amélioration des normes environnementales des véhicules particuliers et utilitaires neufs, qui doivent être conformes à la norme Euro 6 dès 2023
- Système Bonus-Malus
- Programme de renouvellement et de casse pour le parc professionnel du transport routier
- Eco conduite
- Application des normes de performance en matière d'émissions de Co2 pour les véhicules particuliers et utilitaires légers neufs.

Au total, les efforts d'atténuation liés au transport cumulés sur la période 2020-2030 totalisent 4.8% des efforts totaux en émissions, l'essentiel étant situé sur la production d'électricité (34.5%), l'industrie (28.6%) et l'agriculture (14.1%).

1.2.2. Tendances récentes du secteur du transport au Maroc

Les mesures de la CDN dans le transport concernent principalement le secteur routier : c'est en effet celui-ci qu'il s'agira de décarboner en priorité, lui qui représente 85% de la demande énergétique du transport sur la période 2005-2019. L'aviation quant à elle couvre 12% de la demande énergétique, le ferroviaire 1% et le maritime 2%.

Cette tendance n'est pas près de s'inverser à l'avenir : on observe en effet une croissance du parc automobile de 5 à 6% par an ces dernières années et une croissance de 12% par an de la demande liée aux camions internationaux.

En 2019, cette demande était essentiellement satisfaite par des carburants fossiles, le diesel représentant 75% du mix de carburants global du transport, complété par 12% de jet kérosène pour l'aviation, 11% d'essence et une minorité d'autres carburants. Au sein du transport routier, la part du diesel était d'autant plus prépondérante et atteignait 87% du mix en 2019, les 13% restants étant constitués d'essence.

En outre, le rail étant en bonne partie électrifié et l'activité du cabotage et de l'aérien domestique étant faibles au Maroc, le transport routier représentait par conséquent 99% des émissions de GES du transport en 2019 (hors transport maritime international et aviation internationale). La décarbonation du transport routier représente donc un enjeu majeur dans les années à venir.

Ainsi, trois leviers majeurs ont été identifiés :

- A court terme, d'ici 2030, la mise en place de normes sur les émissions et les consommations des véhicules neufs et d'occasion permettra d'améliorer les performances énergétiques et environnementales des véhicules neufs
- A moyen terme, sur la période 2030-2035, l'investissement dans les infrastructures de transport, tel que le transport en commun urbain et interurbain et le transport ferroviaire, permettra de favoriser un transfert modal pour le transport de passagers et de marchandises. Pour le transport de marchandises, ceci inclut également le développement et la coordination des réseaux et plateformes logistiques multimodales, aucune structure telle n'existant à ce jour.
- Sur le plus long terme, la diffusion de technologies à 0 émissions tels que les véhicules électriques à batterie ou les véhicules à hydrogène permettra d'atteindre une mobilité décarbonée.

2. Le secteur des transports en 2050 dans un scénario Net Zéro

Dans le cadre de cette étude, trois scénarios ont été réalisés dans le modèle LEAP : un scénario tendanciel de référence, un scénario dit « CDN+ » et un scénario « Net Zéro ».

Concernant le transport, le scénario Net zéro est construit sur la base du scénario CDN+, c'est-à-dire qu'il intègre l'intégralité des hypothèses de mesures du CDN+, en considérant des mesures additionnelles et cibles plus ambitieuses. Il est donc pertinent de comparer ces deux scénarios, ce qui peut de surcroît permettre d'évaluer l'impact de mesures propres au scénario Net Zéro.

2.1. Vision intersectorielle

2.1.1. Demande énergétique du transport et part dans la demande énergétique totale

Le graphique ci-dessous présente la répartition de la demande énergétique entre les différents secteurs de l'économie, selon la projection du scénario Net-Zéro. Cette vision ne présente pas de rupture particulière vis-à-vis de l'historique analysé précédemment. D'une part, la demande énergétique liée au transport continue d'augmenter de 1.6%/an sur la période 2030-2060. D'autre part, sa part dans la demande énergétique totale demeure stable autour de 35% en moyenne sur 2030-2060.

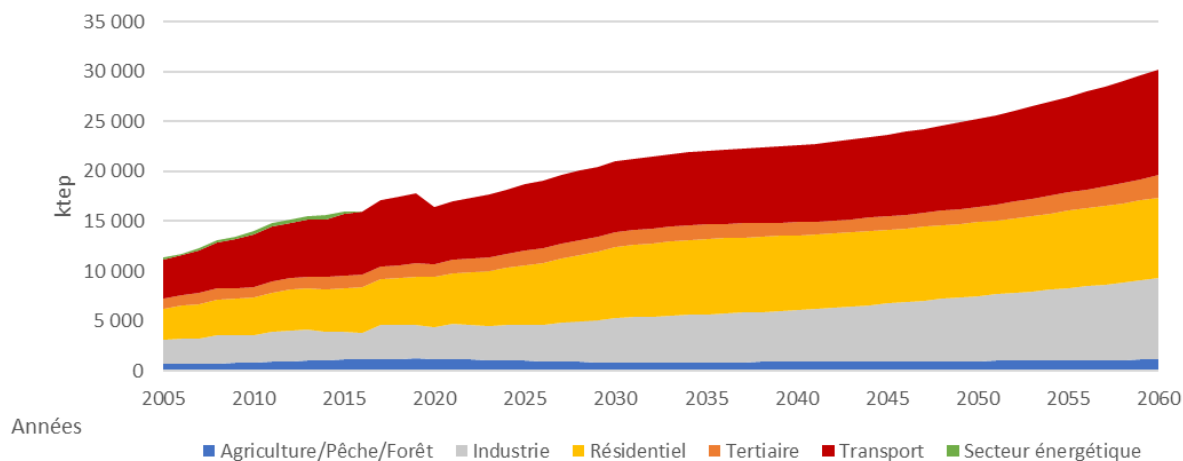


Figure 3 Demande énergétique sectorielle en historique et projection, scénario Net-Zéro

2.1.2. Emissions du transport et part dans les émissions totales

En revanche, les émissions présentent un récit différent. D'un point de vue global, la chute drastique des émissions des secteurs résidentiel et tertiaire octroie une part majeure au transport et à l'industrie dans les émissions. En particulier, le transport couvre 64.3% des émissions en 2050. En 2060, ce secteur représente

85% des émissions résiduelles, celles-ci étant en partie compensées par des émissions négatives dans l'industrie.

En parallèle, les émissions dues au transport diminuent elles aussi fortement (env. 2%/an sur la période 2019-2060), soit une réduction globale de 63% des émissions entre 2019 et 2050, et 80% entre 2019 et 2060.

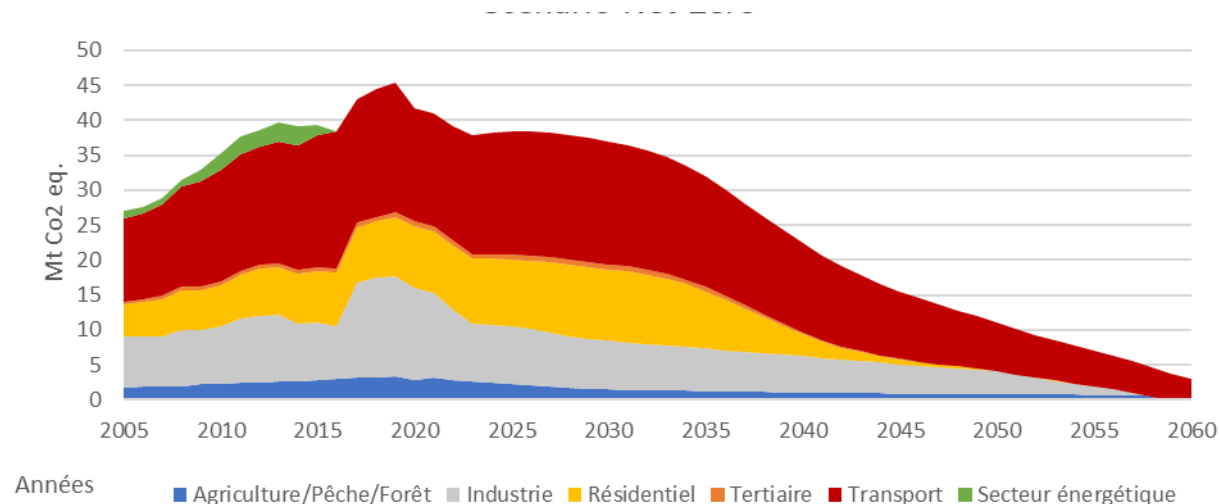


Figure 4 Emissions sectorielles historiques et en projection, scénario Net-Zéro

2.1.3. Comparaison avec les scénarios CDN+ et Référence

Le scénario Net Zéro est en rupture avec les deux scénarios CDN+ et Référence, dans lesquels la demande énergétique et les émissions liées au transport croissent tous deux de manière tendancielle entre 2019 et 2060 (env. 3%/an de croissance dans le scénario CDN+).

De plus, dans les scénarios CDN+ et Référence, le schéma global d'émissions reste similaire à l'historique sans rupture ni du côté du résidentiel ni du côté du transport, dont les émissions croissent proportionnellement à la demande.

La consommation énergétique associée au transport dans le scénario Net Zéro atteint 8777 ktep en 2050¹, soit une réduction de 27% par rapport à la vision du scénario CDN+ en 2050, et de 45% par rapport au scénario de Référence.

Au niveau des émissions du secteur, on note, dans le scénario Net Zéro, une réduction de 78% en 2050 par rapport au scénario CDN+, et de 84% par rapport au scénario de référence.

¹ Cette demande énergétique associée au transport est supérieure dans les versions antérieures du modèle (385 PJ dans la version 0.85 de juillet 2023, soit 9196 ktep), soit une réduction relative de respectivement 25% et 32% par rapport aux scénarios CDN+ et Référence correspondants.

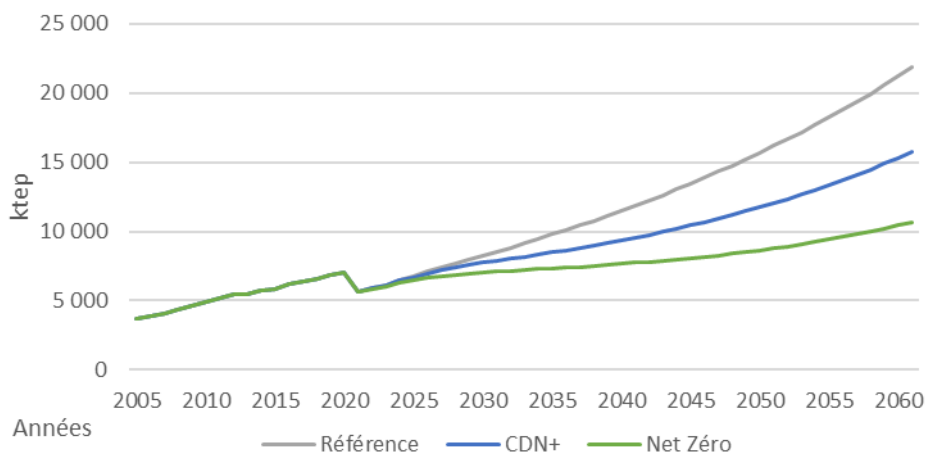


Figure 5 Demande énergétique totale dans le transport, inter-scénarios

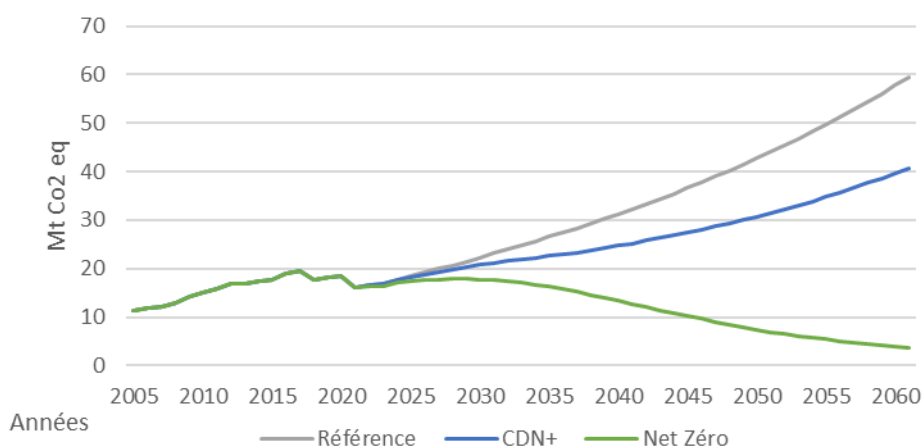


Figure 6 Emissions totales dans le transport, inter-scénarios

2.2. Vision intermodale

Si l'on s'attache à la répartition de la demande énergétique finale et des émissions par mode, i.e. aérien, routier, ferroviaire et maritime, on constate que l'essentiel de la consommation et des émissions demeure associé au domaine routier.

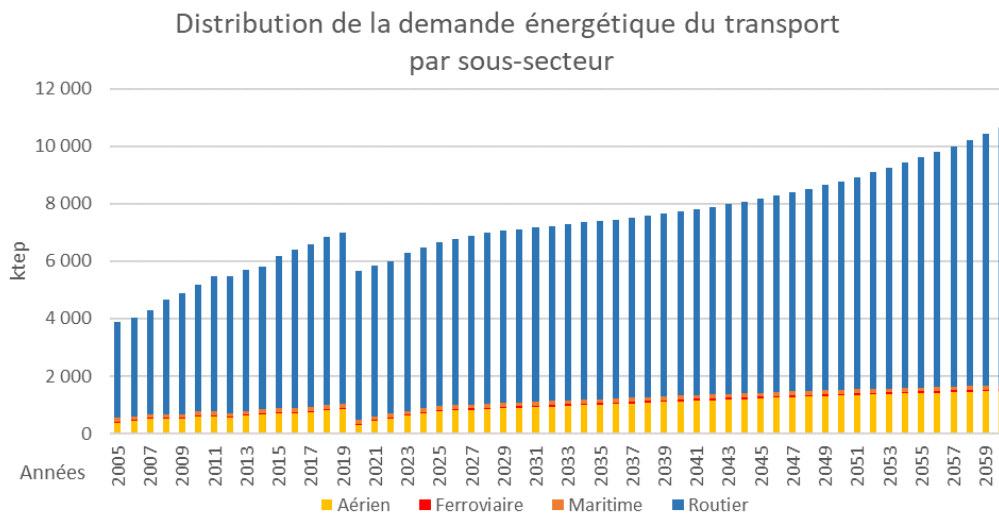


Figure 7 Distribution de la demande énergétique du transport par sous-secteur, scénario Net-Zéro

Comme observé précédemment, cette augmentation de la consommation énergétique est adjointe à une diminution absolue des émissions associées. Le transport routier pilote cette trajectoire qui est très semblable à l'évolution de l'enveloppe globale des émissions du transport global du fait du faible rôle joué par les autres sous-secteurs (voir Annexe 6.1.).

A contrario, les scénarios CDN+ et Référence présentent, tous modes confondus, une croissance à la fois de la consommation énergétique et des émissions qui contraste avec les trajectoires du scénario Net-Zéro.

2.2.1. Transport routier

Le sous-secteur du transport routier se décline dans le modèle en une pluralité de catégories de véhicules, à savoir les motos, les voitures privées, les véhicules utilitaires légers de fret (VULF), les véhicules utilitaires légers pour transport de passagers (VULP), les bus, les bus interurbains, les camions, et enfin les équipements hors-route (véhicules de chantier, véhicules agricoles...).

Comme illustré ci-dessous, la consommation énergétique du mode routier est historiquement dominée par le parc des voitures. A mesure que le temps passe, les camions prennent ensuite le dessus du fait d'une augmentation significative de la consommation, tandis que celle des voitures reste stable.

D'un point de vue énergétique, l'électricité couvre 40% de la demande en 2050, tandis que l'hydrogène recouvre 29% des besoins. Le reste se compose de diesel (27%) et d'essence (4%).

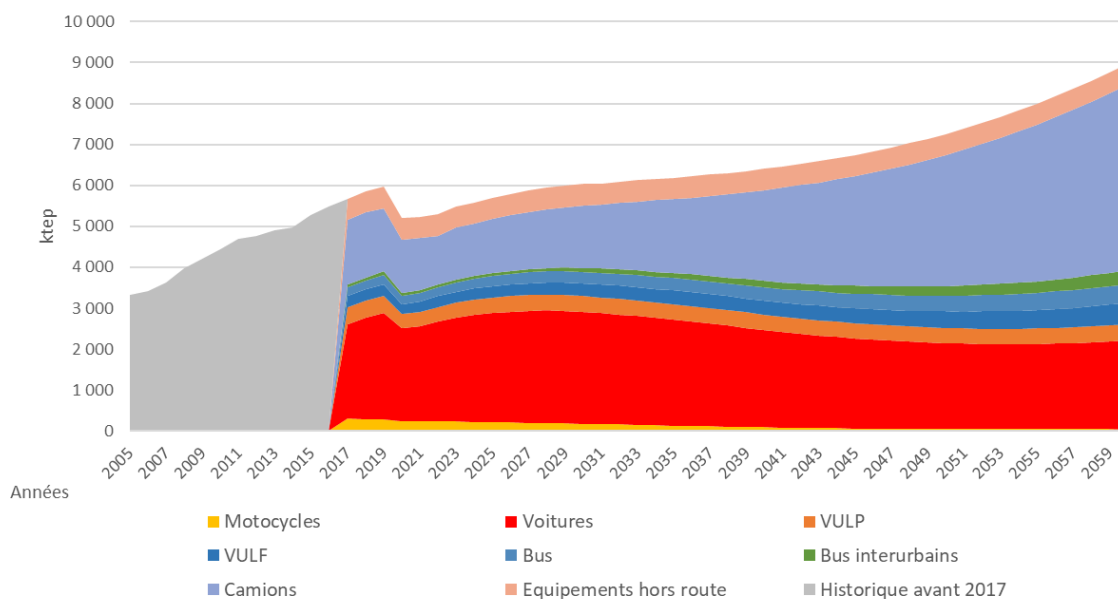


Figure 8 Demande énergétique par mode de transport, scénario Net-Zéro

Par ailleurs, les émissions diminuent fortement en projection, tous véhicules confondus. Dans l'ensemble, le contenu carbone du secteur routier (émissions par unité de consommation d'énergie) diminue de 70% entre 2019 et 2050 et de 87% entre 2019 et 2060.

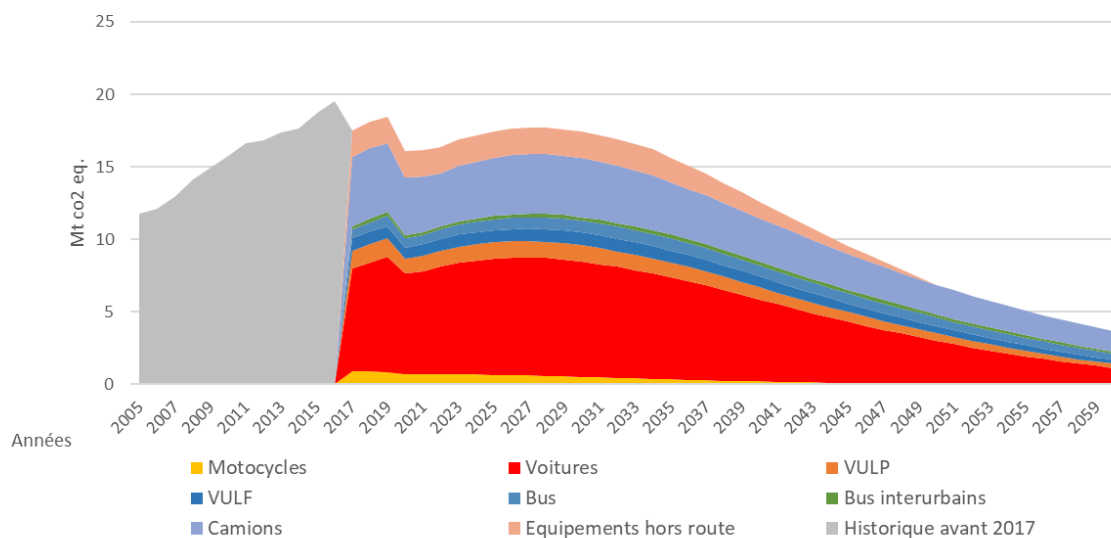


Figure 9 Emissions par mode de transport, scénario Net-Zéro

Le scénario Net Zéro présente enfin une nette rupture par rapport au scénario CDN+, dans lequel la consommation énergétique est supérieure de 40% en 2050 (48% en 2060). Dans le scénario CDN+, les émissions en 2050 sont près de 5 fois plus élevées que dans le scénario Net Zéro, 11 fois en 2060. Cette tendance est encore plus marquée si l'on compare avec le scénario Référence. Les émissions du scénario Net Zéro sont alors 6 fois plus faibles en 2050, 16 fois en 2060. On observe aussi une réduction conséquente de la consommation énergétique (-49% en 2050, -53% en 2060).

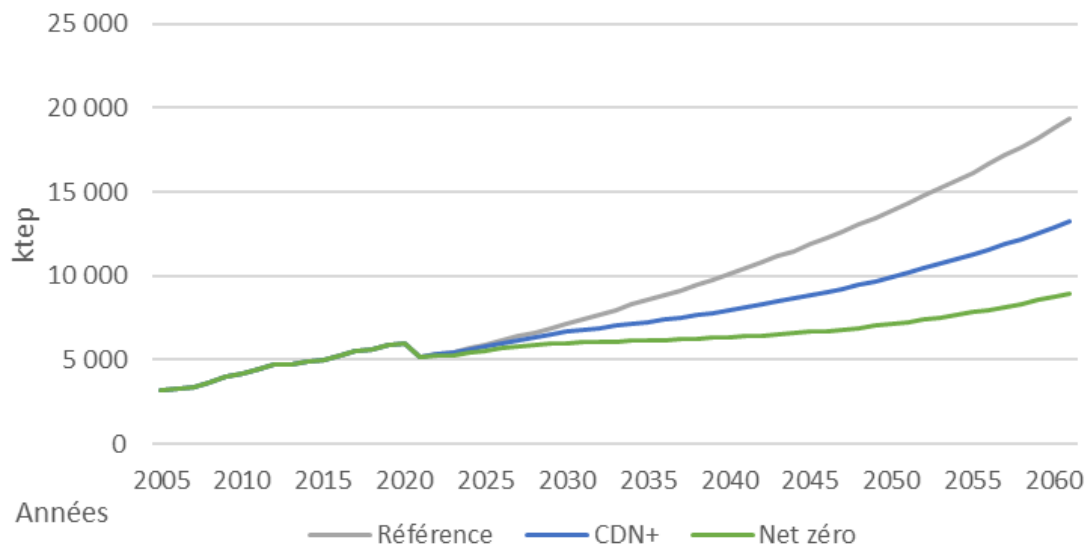


Figure 10 Demande énergétique totale dans le transport routier, inter-scénarios

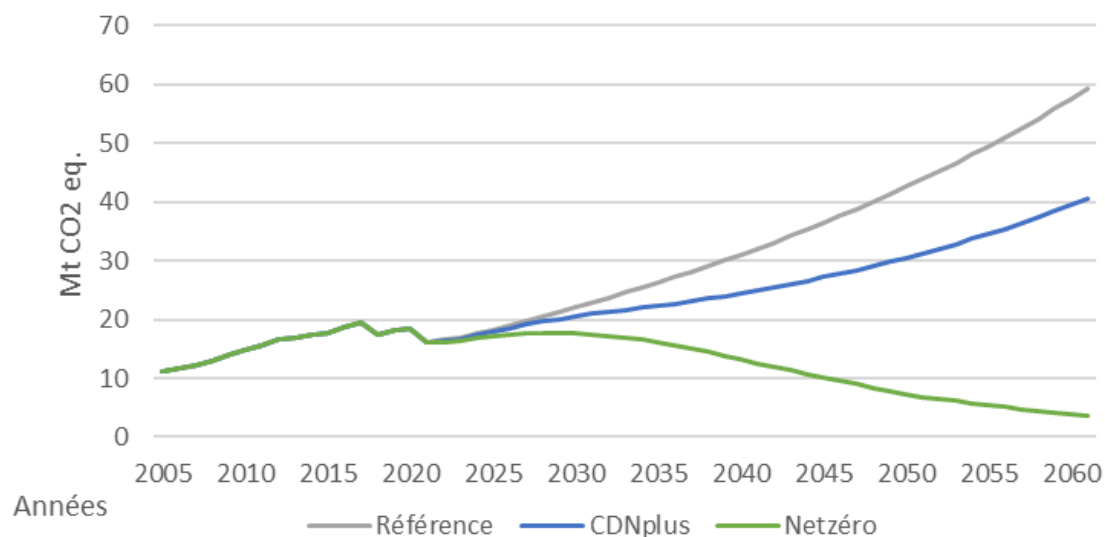


Figure 11 Emissions totales dans le transport routier, inter-scénarios

2.2.2. Transport ferroviaire

Le transport ferroviaire inclut à la fois le transport de passagers et le transport de marchandises. Dans le scénario Net Zéro, le transport de passagers connaît un essor particulièrement important par rapport au fret, atteignant 60% de la consommation énergétique en 2050 (pour 52% en 2019).

D'un point de vue énergétique, la demande associée connaît une hausse importante sur la période de projection (+43% en 2050 vs 2019, +51% en 2060). En parallèle, le ferroviaire atteint la neutralité en émissions à partir de 2050.

En comparaison, la demande croît à un rythme nettement moins important dans les scénarios CDN+ et Référence. On compte par exemple une augmentation de la

demande de 67% en 2050 par rapport au scénario Référence. En 2060, cet écart est réduit à 60%.

De plus, dans les scénarios CDN+ et Référence, les émissions continuent d'augmenter de façon linéaire, alors qu'elles s'effondrent après 2040 dans le scénario Net Zéro, pour atteindre la neutralité en 2050.

Ainsi, le secteur ferroviaire est un secteur très différenciant entre les scénarios, bien que les émissions associées soient mineures par rapport au transport routier.

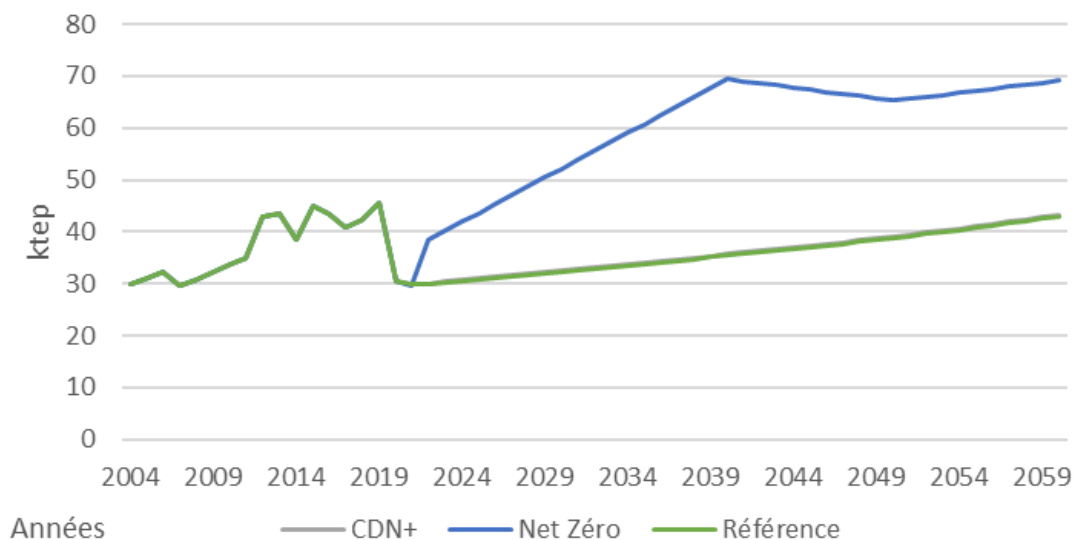


Figure 12 Demande énergétique totale dans le secteur ferroviaire inter-scénarios

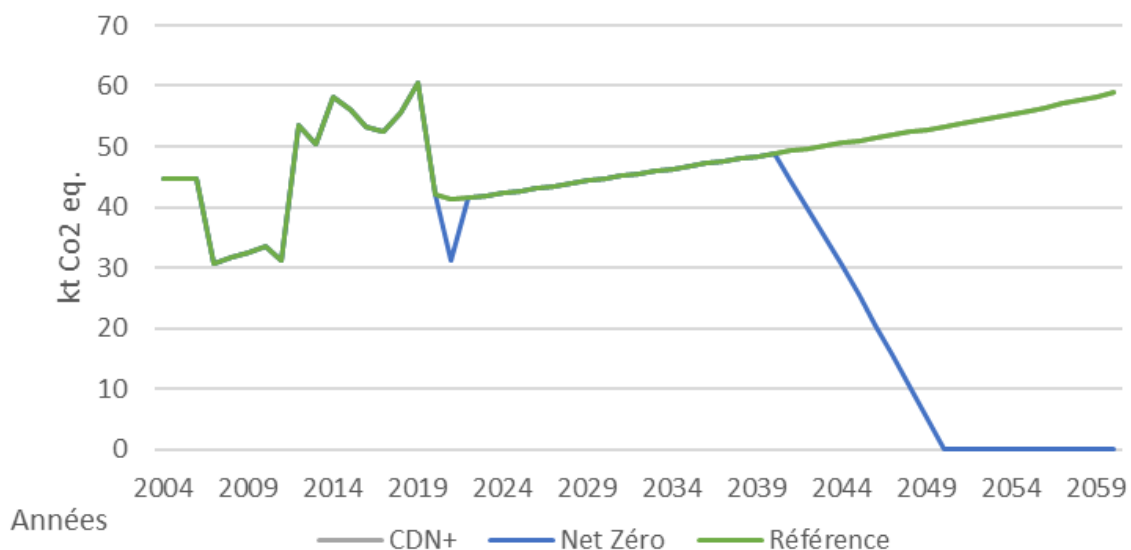


Figure 13 Emissions totales dans le secteur ferroviaire inter-scénarios

2.2.3. Transport aérien

Le secteur du transport aérien se subdivise entre le transport aérien national et le transport aérien international, lequel représente l'essentiel du trafic. A titre

d'illustration, la consommation énergétique du transport national en 2019 était de 34.4 ktep, tandis qu'elle était de 824 ktep pour l'international.

Les scénarios ne font pas d'hypothèse différenciante sur le transport international, qui observe donc les mêmes évolutions à la fois en termes de demande et d'émissions. C'est en revanche sur l'aviation nationale que les différences s'opèrent : la demande énergétique diminue dans le scénario Net Zéro et les émissions connaissent une nette rupture décroissante tandis qu'émissions et demande demeurent stables avec une légère croissance dans les autres scénarios.

Plus précisément, on note dans le scénario Net Zéro une réduction de la consommation énergétique en 2050 de 22% par rapport au scénario Référence. Cet écart croît jusqu'à atteindre 36% en 2060. Au niveau des émissions, on chiffre à 85% en 2050 la réduction du scénario Net Zéro par rapport au scénario Référence.

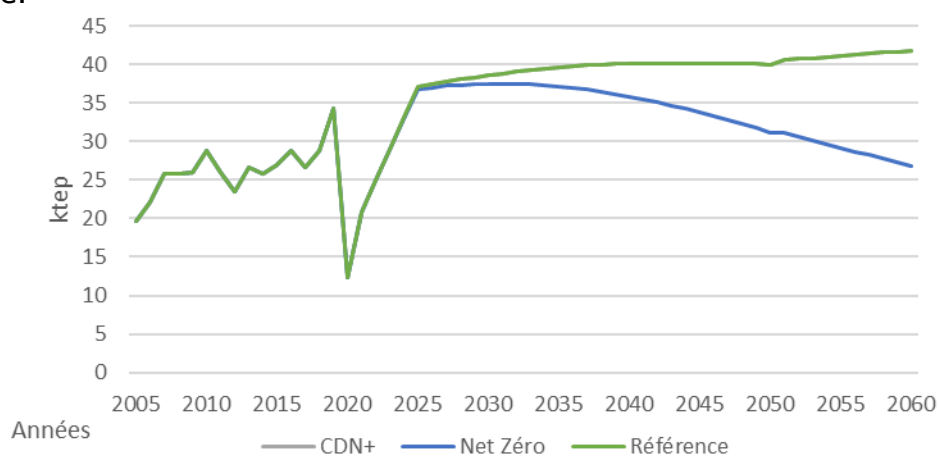


Figure 14 Demande énergétique totale dans l'aviation inter-scénarios

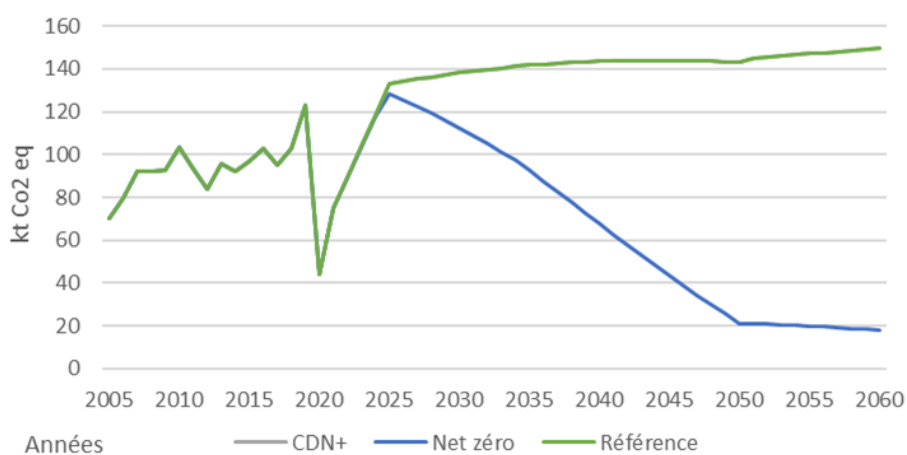


Figure 15 Emissions totales dans l'aviation, inter-scénarios

2.2.4.Transport maritime

Enfin, ses émissions n'étant pas comptabilisées dans les émissions nationales du Maroc, le secteur maritime international ne fait pas l'objet d'une modélisation particulière entre les scénarios, ni au cours du temps : sa demande énergétique reste stable, égale à l'historique.

3. Politiques et mesures à déployer pour atteindre le scénario Net Zéro

Cette section se concentre sur les efforts à mener dans le scénario Net Zéro pour atteindre les objectifs de décarbonation propres au secteur du transport. Ce qui suit reprend d'abord l'ensemble des mesures considérées dans chaque sous-secteur, avant d'analyser la quantification des efforts dans les scénarios au travers d'indicateurs physiques et technologiques.

3.1. Examen des mesures

3.1.1. Transport routier

Le transport routier produit l'essentiel des émissions liées au transport, c'est donc logiquement qu'il concentre une grande partie des mesures mises en œuvre. Certaines d'entre elles concernent une catégorie spécifique de véhicules, d'autres s'appliquent à tous les véhicules, en particulier les mesures provenant de la CDN, déjà incluses dans le scénario CDN+.

Les notations E et C suivantes indiquent que la mesure est quantifiée en termes d'impact sur la demande énergétique (E) et sur les coûts (C) dans le scénario. L'Annexe 5.2 définit plus précisément le cadre et l'objectif de ces mesures.

D'une part, une grande partie des mesures est commune à tous les types de véhicules routiers et provient essentiellement de la CDN :

- L'écoconduite (E/C, source : CDN)
- Le système bonus-malus (C/E, source : CDN)
- L'amélioration des normes environnementales des véhicules (C/E, source : CDN)
- L'application des normes de performance en matière d'émissions de Co2 pour les véhicules particuliers neufs et les véhicules utilitaires légers neufs (C/E, source : CDN)
- Le programme de renouvellement et de casse (E/C, source : CDN)
- Véhicules à zéro émissions (E/C, source : Ministère du Transport et de la Logistique, Feuille de route hydrogène vert, politique européenne)

Cette dernière mesure est l'unique mesure ajoutée dans le scénario Net Zéro par rapport au CDN+ qui soit commune à tous les véhicules, mais elle aura un impact conséquent sur les émissions puisqu'elle affecte directement les ventes de véhicules neufs sur le court-moyen terme et donc, sur le long terme, le stock de véhicules.

D'autre part, plusieurs mesures propres au scénario Net Zéro concernent spécifiquement les véhicules lourds de transport de marchandises.

Le transport de marchandises et en particulier les camions est celui qui concentre la majorité des mesures propres au scénario Net Zéro. Les mesures considérées sont les suivantes :

- Le renouvellement du parc du transport routier de marchandises (E/C, source : CDN)
- La gestion des flux de marchandises (source : Agence Marocaine du Développement de la Logistique (AMDL))
- Le développement du report modal et introduction du ferroutage (E, source : Enquête et inventaire des émissions des GES des flottes routières et ferroviaires dédiées au transport de marchandises)

Enfin, le scénario Net Zéro prévoit de convertir l'intégralité des équipements hors-route du thermique diesel à l'hydrogène. La réalisation de cette mesure est prévue entre les années 2035 et 2050.

3.1.2.Transport ferroviaire

Le transport ferroviaire fait l'objet d'un plan ambitieux à l'horizon 2040, le « Plan rail Maroc 2040 ». Celui-ci prévoit l'extension du réseau ferroviaire sur plusieurs niveaux : les lignes conventionnelles (1600km), les lignes à grande vitesse (1100km), ainsi que la création de connexions portuaires et l'amélioration de la robustesse du réseau. Ce projet permettrait de desservir 43 villes marocaines, soit 20 de plus que les 23 desservies actuellement. Il relierait également 12 ports et permettrait à 87% de la population d'accéder au rail, au lieu des 51% actuels.

En parallèle, le scénario Net Zéro prévoit la conversion de l'ensemble des trains diesel à l'hydrogène (E/C, source : Office Nationale des Chemins de Fer (ONCF)). Le modèle inclut aussi une mesure liée à l'extension du tramway de Rabat.

Un tel développement du rail via des lignes électrifiées pourrait avoir un impact non-négligeable sur les émissions du secteur de la mobilité, en favorisant par exemple un report modal de la voiture privée au ferroviaire pour le transport de passagers, ou bien en facilitant la mise en œuvre de réseaux optimisés de fret et de ferroutage.

3.1.3.Transport aérien

Le scénario Net Zéro prévoit les mesures suivantes pour le secteur aérien domestique :

- L'amélioration de l'efficacité énergétique de 2% par an pour les nouveaux avions (C/E, source : AIE, WEO 2022)
- L'adoption du biojet, du carburéacteur synthétique, de l'hydrogène et de l'électricité dans l'avion (C/E, source : AIE, WEO 2022, Feuille de route de l'hydrogène vert)

3.2. Traduction quantitative des mesures

Comme observé en 2, le transport voit son intensité énergétique nettement diminuer entre 2020 et 2060 dans le scénario Net Zéro. Ceci est principalement rendu possible par l'amélioration des performances énergétiques et environnementales des différents modes de transports, ainsi que le passage de carburants fossiles à des alternatives neutres en émissions. L'électrification est un moteur majeur de la décarbonation dans l'ensemble des secteurs, tandis que l'hydrogène est utilisé dans les usages plus difficilement électrifiables (trains au diesel, véhicules hors-route, aérien).

3.2.1. Transport routier

La demande énergétique et les émissions du transport routier sont impactées par trois paramètres majeurs sur lesquelles agissent les mesures :

- L'activité des véhicules, qui définit la demande intrinsèque (parc de véhicules, distance parcourue, nombre de passagers...)
- Les technologies sur le marché, caractérisées par les ventes, le stock de véhicules et indirectement par la durée de vie, le retrait précoce des véhicules...
- Les performances énergétiques et environnementales des véhicules (consommation spécifique, intensité énergétique...)

Comme vu précédemment, le transport routier inclut six catégories principales de véhicules qui se distinguent par leur taille et leur usage. Dans le modèle LEAP, chacune de ces catégories se décline ensuite en une pluralité de véhicules selon leur puissance, leur masse, le type de carburant utilisé (diesel, essence, électricité ou hydrogène) et enfin les normes environnementales et d'émissions auxquels les véhicules adhèrent (Euro 2/3/4/6). Ceci permet une représentation fine de l'évolution du parc de véhicules au fil du temps, et donc de la demande énergétique et des émissions associées.

Tableau 1 Véhicules distingués dans la modélisation

Motocycles	Non contrôlé 50cc, Non contrôlé 250cc, Euro 2 250 cc, Euro 3 250 cc Euro 6 3000W
Voitures privées	Euro 2/4/6 essence, Euro 2/4/6 diesel, electric, Non contrôlé essence/diesel
VULP	
VULF	
Bus	Léger Euro 2/4/6 essence, léger non contrôlé essence, moyen Euro 2/4/6 essence, myen non contrôlé essence, léger/moyen électrique, Moyen pile hydrogène
Bus interurbains	Léger Euro 2/4/6 essence, léger non contrôlé essence, léger électrique, lourd Euro 2/4/6 diesel, lourd non contrôlé diesel, lourd électrique/hydrogène
Camions	Non contrôlé essence 3.5t, non contrôlé diesel/Euro 2/Euro 2/4/6, >3.5t/<7.5t/<12t/<14t/<20t/<26t/<28t/<32t/<40t/>32t/>40t, électrique/hydrogène [4.5t-12t]/[12t-15t]/>15t

3.2.2. Evolution de l'activité des véhicules

Dans le scénario Net Zéro, l'activité des véhicules routiers ne cesse de croître : la flotte de voitures est multipliée par 3 entre 2019 et 2040 et par 6 entre 2019 et 2060. De même, le parc des camions connaît une croissance importante avec un parc global multiplié par 3.3 entre 2019 et 2060.

La distance annuelle parcourue par ces véhicules varie selon les technologies. On suppose en effet que les véhicules diesel neufs parcourent en moyenne plus de distance que les véhicules essence, selon la clef de détermination suivante.

Tableau 2: Distance annuelle parcourue par type de véhicule en 2050

(km)	Diesel	Essence
Motocycles	8 514	5 710
Voitures privées	17 955	12 040
VULP	31 973	21 441
VULF	26 148	17 534
Bus	95 200	63 840
Bus interurbains	49 633	33 283
Camions	-	-

La distance totale parcourue par la flotte de véhicules est ensuite impactée d'une part par les transferts modaux vers le ferroviaire, dans le cas de la voiture, et d'autre part par la mise en place de plateformes logistiques multimodales et le feroutage pour le transport de marchandises. Ceci conduit à réduire de 4% la distance moyenne parcourue par les voitures et de 9% la distance moyenne parcourue par les camions.

Ainsi, le kilométrage annuel des camions en 2050 et 2060 est le suivant :

- 36 169 km/an pour les camions diesel euro 2 et euro 4 restants sur la période 2050-2060
- 39 248 km/an pour les camions diesel euro 6 en 2050, puis en décroissant jusqu'à atteindre 36 169 km/an en 2060
- En moyenne 55 842 km/an pour les camions électriques en 2050, puis progressivement 52 404km/an en 2060
- En moyenne 57 155 km/an pour les camions à hydrogène en 2050, puis progressivement 53 190km/an en 2060

Il n'y a pas dans le scénario d'hypothèse particulière sur l'évolution du nombre de passagers ou le tonnage des véhicules (respectivement 2.27² et 6 personnes/véhicule pour les voitures et VULP, et un tonnage de 760kg pour les VULF. Pour les bus et camions, les valeurs varient en fonction de la taille des véhicules.).

3.2.2.1. Evolution du mix technologique

Dans l'ensemble, l'évolution des parcs de véhicules routiers se traduit par l'arrêt de la commercialisation de véhicules de normes Euro 2,3 et 4 sur le court terme (d'ici 2030) et par la vente de véhicules thermiques de normes Euro 6 ; avant une transition nette vers des véhicules neutres en émissions : véhicules électriques principalement, et véhicules à hydrogène en fin de période pour les véhicules lourds.

L'intégration des véhicules électriques s'opère selon la clef de répartition présentée dans le tableau 3 ci-dessous.

² Cette valeur est une valeur pondérée issue de la modélisation des CDN du Maroc.

Tableau 3 Seuils de progression des ventes de véhicules électriques et hydrogène neufs au fil des ans

Ventes de véhicules électriques et à zéro émission neufs (part en %)	
Motocycles	0% en 2020, 100% des ventes à partir de 2030
Voitures	0% en 2020, 100% des ventes à partir de 2040
VULP	
VULF	
Bus léger	
Bus moyen	0% en 2024, 100% zéro émission en 2040 (électricité + hydrogène)
Bus interurbains légers	0% en 2024, 100% des ventes en 2040
Bus interurbains lourds	0% en 2024, 100% zéro émission en 2040 (électricité + hydrogène)
Camions	

Conformément à la feuille de route de l'hydrogène vert, le scénario suppose la pénétration progressive des véhicules à hydrogène dans le stock de véhicules lourds, soit les bus moyens, les bus interurbains lourds et les camions. La diffusion des véhicules à hydrogène débute en 2024, et on suppose que 50% des véhicules neufs vendus en 2040 sont à hydrogène. Cette part reste stable en fin de période, les 50% des ventes restant étant composés de véhicules électriques.

Une telle politique de transformation du parc de véhicules lourds implique un nécessaire retrait précoce de véhicules en fonctionnement, en particulier les bus périurbains et les camions (respectivement 492 bus et 37 336 camions entre 2020 et 2060). Ceci est notamment encouragé par la mesure de renouvellement et modernisation du parc de transport routier de marchandises présent dans la CDN : celle-ci assure en effet le retrait, entre 2031 et 2040, de tous les camions datant de 1998 ou avant. Ceux-ci sont ainsi remplacés par des technologies électrique ou hydrogène.

A cela s'ajoute l'arrêt de commercialisation des véhicules Euro 4 diesel et essence à partir de 2024 pour les voitures.

L'impact sur le parc de véhicules est le suivant :

- Pour les motocycles, les véhicules de type Euro 2 et Euro 3 disparaissent graduellement à mesure qu'ils atteignent leur fin de vie. En 2030, les motocycles électriques représentent 20% du stock, puis 66% en 2040 (95% après 2050).
- Pour les voitures, la part des Euro 4 essence et Euro 4 diesel chute respectivement à 7% et 26% en 2030, 3% et 12% en 2040. En parallèle, les véhicules électriques atteignent 19% du stock en 2030, 54% en 2040 et

80% en 2050. Enfin, les véhicules Euro 6 essence et diesel culminent respectivement à 10% du stock et 26% du stock autour de 2035.

- Concernant les camions, il n'y aura plus de véhicules non-contrôlés en circulation à partir de 2039. Il subsiste néanmoins des véhicules diesel de norme Euro 2, Euro 4 et Euro 6 jusqu'à la fin de la période. La répartition de la flotte de camions est détaillée Tableau 4.

Tableau 4: Répartition de la flotte de camions en projection

(%)	2040	2050	2060
Euro 2 diesel	19%	8%	3%
Euro 4 diesel	12%	7%	3%
Euro 6 diesel	27%	16%	9%
Electrique	24%	36%	43%
Hydrogène	19%	33%	41%
Flotte totale (k)	251	356	495

- Le cas des bus est semblable aux camions : si la majorité de la flotte est constituée de véhicules électriques et véhicules hydrogène à l'horizon 2060 (70% du parc), il subsiste une part non négligeable de véhicules moyens diesel de normes Euro 6, Euro 4 et Euro 2, ainsi qu'une faible minorité de véhicules légers à essence Euro 2,4 et 6.
- Enfin, la même logique opère pour les bus interurbains, bien que la part de véhicules électriques et hydrogène en 2060 soit nettement supérieure, à hauteur de 90% du parc.

3.2.2.2. Evolution des performances énergétiques et environnementales des véhicules

Enfin, le dernier levier est la consommation spécifique de chaque véhicule ainsi que les émissions spécifiques. Dans le scénario Net Zéro, on suppose une amélioration des performances des véhicules à partir de 2030. Celle-ci est quantifiée dans le tableau suivant, en fonction des technologies et normes des véhicules.

Tableau 5 : Amélioration des consommations spécifiques à partir de 2030

Amélioration des consommations spécifiques à partir de 2030		% Activity level
Voitures	Euro 6	16.0%
	BM	4.0%
	Essence, normes CO2	28.1%
	Diesel, normes Co2	38.4%
VULP	Euro 6	10.0%
	Eessence, normes CO2	27.6%
	Diesel, normes Co2	24.0%
VULF	Euro 6	10.0%
	Essence, normes CO2	26.1%
	Diese, normes Co2	22.5%
Bus interurbains	Lourds, Euro 4 et 6	0.6%
Camions	Euro 4 et 6	0.6%

3.2.3. Transport ferroviaire

L'activité du secteur ferroviaire augmente significativement dans le scénario Net Zéro au fil des ans, comme observé au travers de la consommation énergétique induite. Ceci peut être justifié par les éléments suivants :

- L'augmentation de la mobilité rail pour les passagers : les passagers-kilomètres (PKM) augmentent en effet de 4.378 Gpkm en 2021 à 11.985 Gpkm à partir de 2040, soit une multiplication par près de 2.7 de l'activité en 19 ans.
- Le même phénomène s'opère dans le cadre du transport de marchandises, où les tonnes-kilomètres sont également multipliées par 2.

Ces deux phénomènes sont des conséquences directes du plan rail 2040 décrit en 3.1.2. L'impact du ferroutage sur le trafic ferroviaire n'est pas quantifié dans la version du modèle étudiée à ce jour, mais l'est dans les versions ultérieures.

D'un point de vue énergétique, l'hydrogène remplace progressivement les trains diesel à partir de 2040, jusqu'à atteindre 100% de substitution en 2050. Le développement de nouvelles lignes électrifiées continue en parallèle, et en 2050 la demande énergétique du transport ferroviaire est composée à 67% d'électricité, et à 33% d'hydrogène.

La modélisation ne présente pas d'éléments supplémentaires liés au nombre de kilomètres parcourus par les différentes lignes.

3.2.4. Transport aérien

L'aviation se divise entre l'aviation internationale, et l'aviation domestique. Celle-ci représentait seulement 4% de la demande énergétique de l'aviation en 2019, et représente seulement 1.2% de la demande totale en 2060.

D'une part, l'aviation internationale évolue de manière tendancielle : il n'y a pas de rupture technologique dans son approvisionnement, qui demeure uniquement composée de carburéacteur sur tout l'horizon de temps.

En revanche, le mix énergétique de l'aviation domestique évolue à partir de 2025, alors que du carburéacteur synthétique et du biojet sont introduits sur le marché. En 2034, ils représentent respectivement 10% et 17% du mix énergétique.

A partir de 2035, l'électricité et l'hydrogène sont également introduits sur le marché. S'ensuit la répartition suivante :

Tableau 6 : Mix énergétique du transport aérien en projection

Mix énergétique du transport aérien en projection (%)	2040	2050	2060
Electricité	1%	3%	3%
Carburéacteur	53%	19%	19%
Biojet	28%	45%	45%
Carburéacteur synthétique	15%	25%	25%
Hydrogène	3%	8%	8%
Demande énergétique totale (ktep)	35,9	31,2	26,8

On constate ainsi que le carburéacteur représente toujours 19% du mix énergétique du transport aérien dans le scénario Net Zéro en 2060.

La demande énergétique de l'aviation atteint son pic en 2030 avec 37.5 ktep. Elle diminue ensuite de 4.5% entre 2030 et 2040, et à nouveau de 33% entre 2040 et 2060. Cette diminution est rendue possible par les gains en efficacité énergétique des nouveaux équipements, qui compensent la création de demande liée à la croissance de la population.

3.3. Coûts d'investissement des mesures

Dans le scénario Net Zéro, et par rapport au scénario Référence, le ferroviaire représente un poste important des investissements dans le transport : environ 41% jusqu'à 2040, puis 9% entre 2041 et 2060. Avec le plan Rail Maroc 2040, le coût des investissements annuels du ferroviaire culmine à 1.88 milliard USD (Md\$) en 2040.

Les coûts associés à l'extension du tramway de Rabat sont constants, autour de 73 millions USD par an jusqu'en 2060. Les investissements supplémentaires du scénario Net Zéro dans l'infrastructure routière sont estimés à 26 millions USD par an jusqu'en 2030.

Les surcoûts associés aux carburants (« coûts sociaux ») sont majoritaires, ils croissent et culminent à environ 5 milliards USD en 2060. En effet, le coût de

l'achat d'électricité pour les voitures électriques est plus élevé que celui du diesel et de l'essence pour les véhicules Euro4 remplacés, malgré une diminution de plus de 80% de la consommation d'énergie liée au passage à l'électrique et aux programmes d'efficacité énergétique.

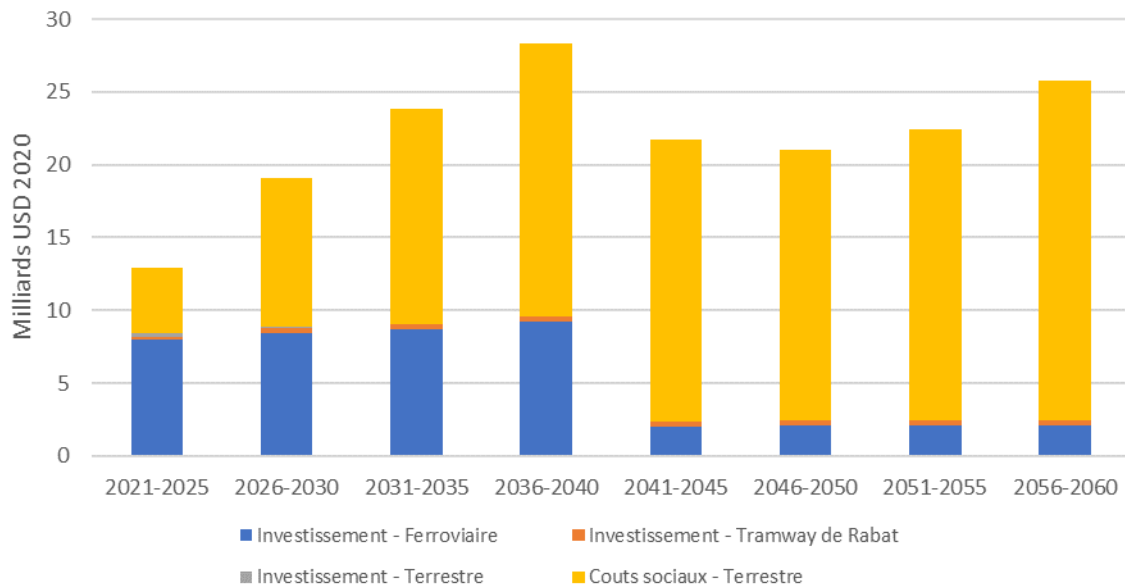


Figure 16 Surcoûts du secteur des transports, en comparant le scénario Net Zéro par rapport au scénario de Référence

Les coûts liés au transport aérien ne sont pas mis ici en évidence, car les équipements déployés dans le scénario Net Zéro sont similaires à ceux du scénario Référence, et n'engendrent donc pas d'investissements supplémentaires. Les coûts d'opération relatifs aux carburants bas-carbone (électricité, hydrogène) sont quant à eux pris en compte dans la partie Energie du modèle.

3.4. Remarques complémentaires

Certaines mesures envisagées dans la CDN du Maroc ou autres plans de mobilités n'ont pas pu être intégrés dans les scénarios présentés à ce jour.

- L'extension du tramway de Casablanca, devrait selon la CDN contribuer à un évitement d'émissions de l'ordre de 19 Mt cCo2 en 2030, pour un coût de 1600 M\$.

N.B. : Cette mesure n'a pu être intégrée par suite d'un manque de données correspondantes, en particulier celles caractérisant le report modal qui en résulterait.

Cette mesure est une mesure inconditionnelle de la CDN du Maroc concernant le transport. On pourrait donc s'attendre à ce que cette piste potentielle de réduction d'émissions de GES au Maroc soit implémentée en priorité.

D'autre part, le transfert modal du transport routier du fret vers le cabotage, du transport de passagers de l'avion vers le bateau n'a pas non plus pu être quantifié

et modélisé dans les scénarios. Pour l'heure, un manque de données a empêché cette modélisation, mais il pourrait être intéressant de réaliser l'exercice pour évaluer le potentiel d'économies en émissions. (Source : « Décarboner les Transports au Maroc : Quelques Pistes pour l'Avenir »)

Enfin, un point d'attention pourrait être porté sur les hypothèses d'intégration de technologies d'hydrogène pour les différents modes de transport. En effet, le scénario prévoit une forte pénétration de l'hydrogène, qui suppose la maturité de la technologie et sa forte diffusion sur le marché sur le moyen terme.

Les mesures évoquées dans cette stratégie devront être rigoureusement programmées et articulées sur différents horizons de temps. Si ces aspects, qu'ils soient financiers ou de planification et de gouvernance, ne sont pas du ressort du présent rapport, ils seront adressés plus en détail dans la suite de ces travaux.

4. Références

AMDAL (2020) Schéma Directeur National des Zones Logistiques. Disponible sur: <https://www.amdl.gov.ma/amdl/schema-directeur-national/>

ONCF - Plan Rail Maroc

Conception et réalisation d'une enquête et d'un inventaire des émissions des GES des flottes routières et ferroviaire dédiées au transport de marchandises – ECI

5. Annexes

5.1. Liste exhaustive des mesures techniques de décarbonation

Source	Mesure	Impacts sur l'énergie / les émissions modélisés	Coûts modélisés	Notes
Enquête et inventaire des émissions des GES des flottes routières et ferroviaires dédiées au transport de marchandises	Gestion des flux de marchandises (optimisation et massification des flux, connectivité des plates-formes)	Oui	Non	Des données sur les coûts ne sont pas disponibles dans la source.
Enquête et inventaire des émissions des GES des flottes routières et ferroviaires dédiées au transport de marchandises	Développement du shift modal et introduction du ferroutage	Oui	Non	Des données sur les coûts ne sont pas disponibles dans la source.
MTL, FdR hydrogène vert, politique européenne	Véhicules à zéro émission	Oui	Oui	Toutes les ventes de véhicules neufs sont électriques ou à hydrogène aux dates indiquées : • Motocycles – 2030 • Autres véhicules (légers et lourds) – 2040
CDN, Société du Tramway de Rabat Salé	Extensions du tramway de Rabat après 2020	Oui	Oui	En raison de lacunes dans les données, les extensions du tramway à Casablanca n'ont pas pu être modélisées.
CDN	Eco conduite	Oui	Oui	
CDN	Système Bonus-Malus	Oui	Oui	
CDN	Amélioration des normes environnementales des véhicules	Oui	Oui	
CDN	Application des normes de performance en matière d'émissions de CO2 pour les véhicules particuliers neufs et pour les véhicules utilitaires légers neufs	Oui	Oui	
CDN	Programme de renouvellement et de casse	Oui	Oui	
Enquête et inventaire des émissions des GES des flottes routières et ferroviaires dédiées au transport de marchandises	Renouvellement du parc du transport routier de marchandises	Oui	Oui	Retrait de tous les camions datant de 1998 ou d'avant qui subsistent en 2030. Le retrait a lieu entre 2031 et 2040.

Source	Mesure	Impacts sur l'énergie / les émissions modélisés	Coûts modélisés	Notes
AIE WEO 2022	Amélioration de l'efficacité énergétique de 2 % par an pour les nouveaux avions	Oui	Oui	S'applique également à l'aviation nationale et internationale.
AIE WEO 2022	Adoption du biojet, du carburacteur synthétique, de l'hydrogène et de l'électricité dans l'aviation	Oui	Oui	S'applique également à l'aviation nationale et internationale.
ONCF	Plan Rail Maroc 2040	Oui	Oui	
ONCF	Conversion des trains diesel à l'hydrogène	Oui	Oui	
Analyse LT-LEDS	Conversion des équipements diesel non routiers à l'hydrogène entre 2035 et 2050	Oui	Oui	

Tableau 7 Liste exhaustive des mesures de décarbonation

5.1. Distribution des émissions du transport par mode

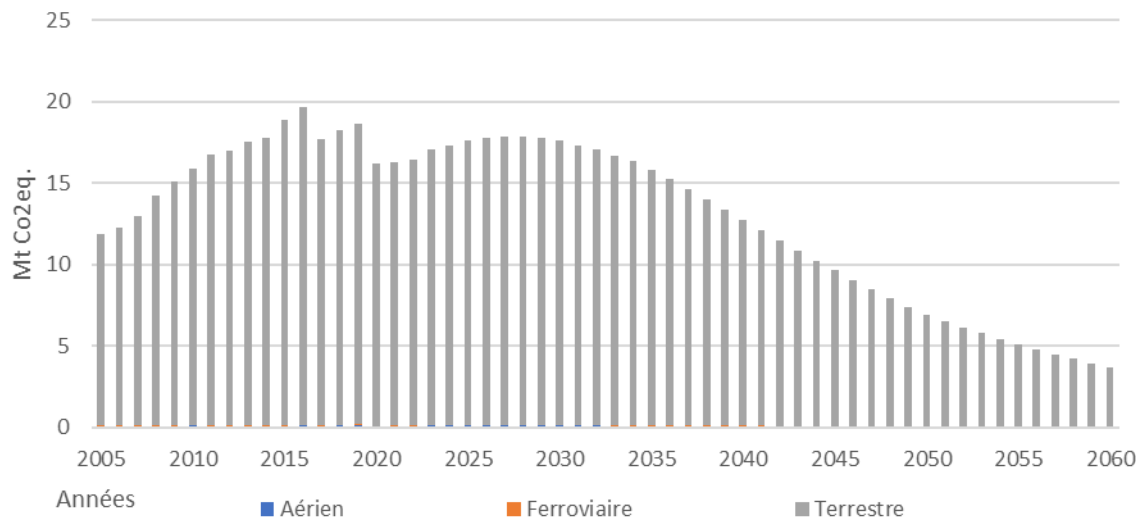


Figure 17 Distribution des émissions du transport par sous-secteur, scénario Net-Zéro

5.2. Description plus détaillée des mesures prises par rapport au secteur routier

5.2.1.1. Mesures communes au sous-secteur routier

- L'écoconduite (E/C, source : CDN)

C'est la première mesure prise en compte. Son principe consiste à adopter de nouvelles habitudes de conduite, plus douces, qui mènent à diminuer la facture de consommation de carburant et les frais d'entretien des véhicules, à polluer moins l'environnement et contribuer à améliorer la sécurité routière (source : CDN du Maroc).

Evitement estimé : 26.9 Ft Co2 / 0.3 M\$

- Le système bonus-malus (C/E, source : CDN)

Le système du bonus-malus vise à favoriser le choix d'un véhicule peu émetteur de CO2 et à pénaliser l'achat des modèles les plus polluants.

Evitement estimé : 363.9 Ft Co2 / 1.2 M\$

- Amélioration des normes environnementales des véhicules (C/E, source : CDN)

L'objectif de cette mesure est de limiter les émissions de certains gaz polluants provenant des émissions de véhicules. À partir de 2023, la norme oblige les constructeurs à produire des voitures plus propres, avec le respect, notamment, des taux d'émissions de particules fines et d'oxydes d'azote... Ainsi, à partir de janvier 2023, tous les véhicules particuliers et utilitaires (de catégories M et N) neufs mis sur le marché marocain doivent être conformes à la norme Euro 6.

L'évitement estimé est de 1571.2 Mt Co2 / 0.1 M\$

- Application des normes de performance en matière d'émissions de Co2 pour les véhicules particuliers neufs et les véhicules utilitaires légers neufs (C/E, source : CDN)

Cette action vise la convergence vers les normes de performance des véhicules européens en matière d'émissions de CO2 pour les véhicules particuliers neufs et véhicules utilitaires légers neufs.

L'évitement estimé est de 3113.6 Mt Co2 / 0.6 M\$

- Programme de renouvellement et de casse (E/C, source : CDN)

Cette mesure a pour but de moderniser le parc professionnel du transport routier au Maroc via l'octroi de primes de renouvellement et de casse.

L'évitement d'émissions estimé dans la CDN est de: 32.4 MtCo2, 2030 pour un coût de 154 M\$.

- Véhicules à zéro émissions (E/C, source : Ministère du Transport et de la Logistique, Feuille de route hydrogène vert, politique européenne)

Le but de cette mesure est de parvenir d'atteindre 100% des ventes de véhicules à 0 émission d'ici 2035, selon la règle suivante :

- 100% des ventes de véhicules légers et 50% des ventes de véhicules lourds seront électriques
- 50% des ventes de véhicules lourds seront à hydrogène

Cette mesure est l'unique mesure ajoutée dans le scénario Net Zéro par rapport au CDN+ qui soit communes à tous les véhicules, mais elle aura un impact conséquent sur les émissions puisqu'elle affecte directement les ventes de véhicules neufs sur le court-moyen terme et donc, sur le long terme, le stock de véhicules.

5.2.1.2. Mesures particulières

○ Camions / Fret

Le transport de marchandises et en particulier les camions est celui qui concentre la majorité des mesures propres au scénario Net Zéro. Les mesures considérées sont les suivantes :

- Renouvellement du parc du transport routier de marchandises (E/C, source : CDN) :

La traduction immédiate de cette mesure est le retrait des camions datant de 1998 ou avant qui subsistent en 2030. Ce retrait doit s'opérer entre 2031 et 2040.

- Gestion des flux de marchandises (source : Agence Marocaine du Développement de la Logistique (AMDL))

Il s'agit d'une mesure globale qui vise à optimiser et concentrer les flux de transports, notamment en améliorant la connectivité des plateformes logistiques. Le but est de parvenir à une réduction de 30% des émissions Co2 du fret d'ici 2030.

- Développement du shift modal et introduction du ferroutage (E, source : Enquête et inventaire des émissions des GES des flottes routières et ferroviaires dédiées au transport de marchandises)

Le shift modal consiste à répondre à un même besoin de mobilité ou de transport, tout en modifiant le mode de transport utilisé.

Le cas présent, il s'agirait de favoriser le transport de marchandise par voie ferroviaire plutôt que routière. Une première option consiste à modifier l'ensemble du processus d'acheminement, des camions au train. D'autre part, le ferroutage propose une alternative mixte qui consiste à utiliser un transport combiné de chemin de fer et de route pour transporter les marchandises. Des camions peuvent ainsi être transportés entièrement sur des remorques spéciales, ce qui dans le cas d'une ligne ferroviaire électrifiée permet d'éviter les émissions liées.

○ Equipements hors route (E/C)

Les équipements hors route constituent l'ensemble des véhicules dont l'essentiel de l'activité se fait hors route (véhicules de chantier, agricoles...).

Le scénario Net Zéro prévoit une mesure concernant ces véhicules : il s'agit de leur conversion du thermique diesel à l'hydrogène, dont la réalisation est prévue entre les années 2035 et 2050.

5.3. Feuille de route de l'hydrogène vert

L'adoption du carburéacteur synthétique et de l'hydrogène dans l'aviation font partie d'un plan global d'intégration de l'hydrogène dans le mix énergétique du pays, la « feuille de route de l'hydrogène vert ».

Cela concerne en particulier le transport, où l'hydrogène et les carburants synthétiques se diffusent dans la majorité des modes lourds : poids lourds, véhicules miniers, ferroviaire, autobus urbains, maritime, véhicules de tourisme, les engins agricoles, et enfin l'aviation. Pour chacun de ces modes, l'hydrogène commence à être introduit sur le marché entre 2025 et 2030, mais sa véritable pénétration s'opère à partir de 2040 dans le scénario optimiste.