



HAL
open science

Le transport routier énergiquement durable : état des lieux, modélisation et aide à la décision publique en Tunisie

Khaled Ben Abdallah

► **To cite this version:**

Khaled Ben Abdallah. Le transport routier énergiquement durable : état des lieux, modélisation et aide à la décision publique en Tunisie. Economies et finances. Université du Littoral Côte d'Opale; Université de Sousse (Tunisie). Faculté des sciences économiques et de gestion, 2015. Français. NNT : 2015DUNK0371 . tel-01323023

HAL Id: tel-01323023

<https://theses.hal.science/tel-01323023>

Submitted on 5 Jul 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université de Sousse
Faculté des Sciences Économiques et de
Gestion de Sousse
École Doctorale des Sciences Économiques et de
Gestion de Sousse
Laboratoire de Management de l'innovation et
Développement Durable (LAMIDED)

Université du Littoral Côte d'Opale
École Doctorale SESAM
Laboratoire Territoires, Villes, Environnement et
Société (TVES)

Thèse en cotutelle
PRÉSENTÉE
EN VUE DE L'OBTENTION DU TITRE DE DOCTEUR EN
SCIENCES ÉCONOMIQUES
PAR

Khaled BEN ABDALLAH

Sujet de la thèse :

**Le transport routier énergétiquement durable :
État des lieux, modélisation et aide à la décision publique en
Tunisie.**

Mr. Ludovic CAILLUET- Professeur à l'Université Littoral Cote d'Opale, France- **Président**
Mr. Khaireddine JEBSI- Professeur à l'Université de Sousse, Tunisie- **Rapporteur**
Mr. Frédéric LANTZ- Professeur à l'Institut Français du Pétrole, France- **Rapporteur**
Mr. Mounir BELLOUMI- Professeur à l'Université de Sousse, Tunisie- **Directeur de thèse**
Mr. Daniel DEWOLF- Professeur à l'Université Littoral Cote d'Opale, France- **Directeur de thèse.**

L'UNIVERSITE DE L'ULCO et L'UNIVERSITE DE SOUSSE n'entendent donner aucune approbation ou improbation aux opinions émises dans cette thèse. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.

*A mes chers parents,
A mes frères et sœurs.*

RÉSUMÉ

Dans le contexte actuel d'urgence environnementale, la consommation de carburant dans le secteur du transport routier, vu son impact négatif sur l'environnement et son rôle socioéconomique, doit évoluer dans une logique de durabilité. Nous initions notre travail de thèse par une approche comparative de 90 pays quant à leur intensité énergétique et leur intensité de CO₂ dans le transport routier durant la période 1980-2010. En calculant le coefficient de Theil, nos résultats empiriques mettent en évidence l'existence d'une disparité spatiale et temporelle. En 2010, la Tunisie occupe le 48^{ème} rang et le 38^{ème} rang, respectivement en termes d'efficacités énergétique et environnementale. Elle a une performance énergétique moyenne tout en occupant le 34^{ème} rang selon l'indice général de performance énergétique.

Dans une deuxième partie, nous adoptons la démarche de modélisation conceptuelle dans l'objectif est la construction des indicateurs du transport routier énergétiquement durable. La définition d'un tel indicateur économique est confrontée au problème de mesure de la valeur ajoutée réelle de secteur du transport. Par l'intermédiaire de l'approche de filtre de Kalman, nous pouvons conclure que la valeur ajoutée de transport informel est d'environ 61% de total de valeur ajoutée de secteur de transport durant la période 1980-2010 en Tunisie.

Enfin, nous procédons à une modélisation économétrique des interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie. L'étude de la dynamique des relations causales entre la consommation du carburant dans le transport routier, les émissions de CO₂ dus au secteur de transport, la valeur ajoutée réelle de secteur du transport, le prix moyen du carburant, la longueur de l'infrastructure routière et le taux de motorisation se base sur la technique de cointégration de Johansen et le modèle de la Courbe Environnementale de Kuznets (CEK). Les résultats empiriques confirment, d'une part, l'hypothèse de neutralité entre la consommation de carburant et la valeur ajoutée réelle de secteur de transport et, d'autre part, l'hypothèse de CEK stipulant une relation en U-inversée entre les émissions de CO₂ et la croissance économique du secteur du transport. Aussi, nous mettons en exergue une relation de causalité unidirectionnelle au sens de Granger allant de prix de carburant vers la consommation du carburant à court terme. Dans ce sens, en utilisant la technique de décomposition de prix, les résultats infirment l'hypothèse d'asymétrie de l'effet de prix sur la consommation de carburant. Avec la prise en compte de facteur technologique, nous estimons l'effet de rebond à l'ordre de 18% à court terme et 51% à long terme.

En termes d'implications politiques, ce travail de thèse montre l'importance d'adopter des politiques publiques transversales où la question énergétique du transport routier est résolue en adéquation avec l'offre infrastructurel, la politique de prix de carburant, le droit à la mobilité individuelle et la protection de l'environnement. Une combinaison optimale entre divers instruments fiscal, économique et de régulation parait la meilleure stratégie pour atteindre un tel objectif. Le rôle de la gouvernance énergétique est central pour concevoir et opérationnaliser toute politique de transport routier énergétiquement durable.

Mots Clés : Transport routier énergétiquement durable, coefficient de Theil, performance énergétique, transport informel, approche de filtre de Kalman, approche de cointégration de Johansen, courbe environnementale de Kuznets, effet de rebond, gouvernance énergétique, Tunisie.

ABSTRACT

As global concern about climate change increases, road transport energy consumption, given its impact on the environment and its socio-economic role, must evolve to sustainability logic. First, the present work provides an international comparison of the energy intensity and the CO₂ intensity in road transport for a group of 90 countries over the period 1980-2010. Through the calculated Theil coefficient, our empirical findings highlight the existence of spatial and temporal disparities between countries. In 2010, Tunisia occupies the 48th and the 38th rank respectively in terms of energy and environmental efficiency. Based on a general index of energy performance in the road transport sector, it is deemed to have a medium energy performance by occupying the 34th rank.

Secondly, through the adoption of conceptual modeling approach, several indicators for sustainable energy development in road transport sector are constructed. To measure the real transport value added, we used filter Kalman approach. We denote that the informal transport value added is about 61% during the period 1980-2010.

Finally, this thesis studies causal mechanisms between indicators for sustainable energy development related to energy consumption from Tunisian road transport sector. The investigation is made using the Johansen cointegration technique and the environmental Kuznets curve (EKC) approach. It examines the nexus between real transport value added, road transport-related energy consumption, road infrastructure, fuel price, rate of motorization and CO₂ emissions from Tunisian transport sector during the same period. Empirical results support the hypothesis of neutrality between energy and income for Tunisian road transport sector, and the hypothesis of an inverted U-shaped EKC for transport CO₂ emissions. Also, there is a unidirectional Granger causality running from fuel price to road transport-related energy consumption with no feedback in the short run. In this sense, using price decomposition technique, we refute asymmetric fuel price effect hypothesis. By the introducing of the technological factor, the rebound effect is about 18% in the short run and 51% in the long run.

The study shows the importance of enhancing a number of policies for the road transport system through the joint improvement of the fuel price policy, of the road infrastructure policy and of the road vehicles policy. The optimal combination of fiscal, economic and regulatory instruments is the main strategy to achieve these objectives. The energetic governance is necessary in order to maintain sustainable energy road transport

Keywords: Sustainable energy road transport, Theil coefficient, energy performance, informal transport, filter Kalman approach, Johansen's cointegration approach, environmental Kuznets curve, rebound effect, energetic governance, Tunisia.

REMERCIEMENTS

J'aime adresser ma gratitude et mes vifs remerciements à toutes les personnes, qui, de près ou de loin, m'ont accompagné, m'ont soutenu et m'ont apporté une aide précieuse dans ce laborieux travail de thèse.

Je tiens à présenter mes sincères remerciements à Monsieur Mounir BELLOUMI, professeur à l'université de Sousse, et Monsieur Daniel DEWOLF, professeur à l'université littoral Cote d'Opale, pour avoir accepté de diriger cette thèse, contribué à enrichir ma réflexion, et m'avoir suivi et guidé tout au long de mes travaux,

Je remercie également mes collègues chercheurs pour leur accueil, leur sympathie, leur disponibilité, leurs conseils et leurs échanges d'idées. Plus particulièrement, j'exprime ma gratitude à ceux qui m'ont aidé à avancer dans mes travaux, GHÉDIRA Aymen, RIHIMI Férid, GAM Imen et BAHRI Hend.

Enfin, que tous ceux, trop nombreux pour être cités ici, amis, collègues et étudiants, qui ont fait que ce travail puisse être mené à son terme, soient assurés de ma profonde gratitude.

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Introduction générale..... | 1 |
| Chapitre 1:La consommation d'énergie dans les transports et développement durable : Un essai de modélisation conceptuelle | 20 |
| <i>Section 1: Synthèse rétrospective sur la dualité développement durable-énergie</i> | <i>22</i> |
| I. Cadrage conceptuel du développement durable | 23 |
| 1. Des interprétations nombreuses et des conceptions variées | 23 |
| 2. Des principes difficiles à décliner en actions | 24 |
| 3. Pour une durabilité plus consensuelle | 26 |
| 4. Pluralité des démarches et des approches | 30 |
| II. La dualité énergie- développement durable..... | 32 |
| 1. Spécificités de la consommation d'énergie | 32 |
| 2. Énergie- développement durable : Quelle représentation ? | 33 |
| <i>Section 2: Rapprochement entre développement énergétique durable et transport durable</i> | <i>37</i> |
| I. Le développement énergétique durable : quelques éléments de réflexion..... | 37 |
| 1. Conceptualisation du développement énergétique durable..... | 38 |
| 2. Les options énergétiques durables | 40 |
| II. Le transport durable : repères théoriques | 44 |
| 1. Transport et développement durable | 44 |
| 2. Nécessité d'un transport durable..... | 46 |
| <i>Section 3: Développement théorique de transport routier énergétiquement durable : Du concept aux dimensions</i> | <i>49</i> |
| I. Transport énergétiquement durable : enseignements théoriques | 50 |
| 1. Conceptualisation du transport énergétiquement durable..... | 50 |
| 2. Dimensions du transport énergétiquement durable..... | 52 |
| II. Vers un transport routier énergétiquement durable | 54 |
| 1. Conceptualisation du transport routier..... | 54 |
| 2. Le transport routier énergétiquement durable : un engouement phénoménal | 58 |
| 3. Conceptualisation du transport routier énergétiquement durable..... | 67 |
| Chapitre 2: La problématique de la durabilité énergétique dans le secteur du transport routier en Tunisie: Un relevé de constats et comparaison internationale | 73 |
| <i>Section 1: Diagnostic énergétique du secteur de transport en Tunisie : Des objectifs théoriques à une réalité partout préoccupante</i> | <i>75</i> |

| | |
|---|------------|
| I. Le marché du carburant routier en Tunisie : Analyse factuelle et conjoncturelle | 75 |
| 1. La consommation d'énergie dans les transports, une source fondamentale de vulnérabilité énergétique | 76 |
| 2. La consommation d'énergie dans les transports, un révélateur d'un partage modal en faveur du transport routier | 77 |
| 3. La consommation d'énergie dans le transport routier, le moteur de la croissance | 78 |
| 4. La consommation excessive d'énergie dans le transport routier, une conséquence du phénomène de la dépendance à la voiture particulière | 79 |
| 5. La consommation excessive d'énergie dans le transport routier, le résultat de phénomène de la diésélisation du parc | 82 |
| 6. La consommation excessive d'énergie dans le transport routier, l'enjeu prégnant des émissions de gaz à effet de serre | 84 |
| 7. La consommation excessive d'énergie dans le transport routier, un trait de phénomène d'étalement urbain | 86 |
| 8. La consommation excessive d'énergie dans le transport routier, l'effet du prix de carburant | 88 |
| II. Implications de la consommation d'énergie dans le transport routier sur le transport énergétiquement durable en Tunisie | 89 |
| <i>Section 2: Retour sur l'expérience de la maîtrise de l'énergie dans le transport routier en Tunisie : Des perspectives peu soutenables</i> | <i>91</i> |
| I. Les orientations nationales en matière de la maîtrise de l'énergie dans le transport routier .. | 92 |
| 1. Le cadre institutionnel | 93 |
| 2. Le cadre législatif et réglementaire | 93 |
| 3. Les principales réalisations | 94 |
| II. Freins à la maîtrise de l'énergie dans le transport routier | 104 |
| <i>Section 3: Quelques éléments d'analyse comparative internationale</i> | <i>106</i> |
| I. Objectifs | 107 |
| II. Construction Méthodologie | 108 |
| III. Résultats de l'analyse comparative et implications politiques | 111 |
| 1. Une divergence entre l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale dans le mode de transport routier | 114 |
| 2. Une disparité spatiale et temporelle de la distribution de l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale dans le transport routier | 116 |
| 3. Une situation relativement satisfaisante pour la Tunisie | 119 |
| 4. Une amélioration relative de la performance générale de la Tunisie | 120 |
| 5. Une performance énergétique jugée moyenne-élevée pour la Tunisie | 121 |
| 6. Un effort à consolider afin de concevoir une feuille de route pour améliorer la performance énergétique globale en Tunisie | 124 |

| | |
|--|------------|
| Chapitre 3: Les indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie: de la construction aux mesures | 126 |
| <i>Section 1: La construction des indicateurs du transport routier énergétiquement durable : lignes directrices et méthodologies</i> | <i>129</i> |
| I. État de l’art : synoptique des indicateurs et argumentaire..... | 129 |
| 1. Définition de l’outil indicateur | 130 |
| 2. Les indicateurs et leurs fonctions : le rôle des indicateurs énergétiques durables | 132 |
| II. Méthodologies d’élaboration des indicateurs de développement énergétique durable : ressemblances et dissemblances | 135 |
| 1. Approche par les dimensions..... | 135 |
| 2. Approche par le modèle DPSIR..... | 136 |
| 3. Approche par les enjeux | 139 |
| <i>Section 2: La mesure des indicateurs du transport routier énergétiquement durable en Tunisie ..</i> | <i>140</i> |
| I. Le transport routier énergétiquement durable : le cercle d’indicateurs | 140 |
| 1. Développement des indicateurs : La méthode proposée | 141 |
| 2. Sélection des indicateurs | 145 |
| II. Mesure des indicateurs de transport énergétiquement durable en Tunisie..... | 146 |
| 1. Cadre spatial et temporel..... | 146 |
| 2. Présentation méthodologique et mesure des indicateurs proposés | 147 |
| <i>Section 3: L’estimation de la valeur ajoutée réelle du secteur de transport en Tunisie : Approche par le filtre de Kalman.....</i> | <i>159</i> |
| I. Du secteur informel aux transports informels | 159 |
| 1. Aperçu général sur le secteur informel | 160 |
| 2. Retour sur le concept de transport informel..... | 163 |
| II. Revue de la littérature empirique | 166 |
| III. L’estimation de la valeur ajoutée réelle du secteur du transport en Tunisie | 170 |
| 1. Démarche méthodologique | 171 |
| 2. Interprétation des résultats | 177 |
| Chapitre 4: Modélisation des interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie | 186 |
| <i>Section 1: État de l’art de modèles appliquées à la demande de carburant</i> | <i>188</i> |
| I. Des taxonomies spécifiques | 189 |
| 1. Les objectifs..... | 190 |
| 2. Les niveaux d’analyse..... | 190 |
| 3. Le caractère statique ou dynamique du modèle | 191 |
| 4. Le choix de variables exogènes | 191 |
| 5. Le choix des séries temporelles, coupe instantanée ou croisées | 193 |

| | |
|--|------------|
| II. Tour d’horizon sur les approches de modélisation de la demande de carburant dans le secteur de transport..... | 193 |
| 1. L’approche par l’ajustement partiel..... | 194 |
| 2. L’approche par la décomposition | 197 |
| III. L’approche par la cointégration : Pour une vision synoptique des interactions entre consommation du carburant-développement durable | 199 |
| 1. L’analyse causale..... | 199 |
| 2. Le modèle de la courbe environnementale de Kuznets (CEK)..... | 203 |
| <i>Section 2: Validation empirique en Tunisie : approche par l’analyse causale et le modèle CEK ..</i> | <i>208</i> |
| I. Description des données et exposition des hypothèses..... | 209 |
| 1. Caractéristiques et propriétés statistiques des données | 209 |
| 2. Cadrage hypothétique | 212 |
| II. Les résultats d’estimation de la 1 ^{ère} spécification | 216 |
| III. Les résultats d’estimation de la 2 ^{ème} spécification..... | 221 |
| <i>Section 3: Discussion des résultats et implications politiques</i> | <i>228</i> |
| I. Validation des hypothèses | 228 |
| II. Principaux enseignements | 230 |
| 1. Incohérence du triangle énergétique dans le transport routier en Tunisie | 230 |
| 2. Évidence de cercle vicieux de l’automobile en Tunisie..... | 231 |
| 3. Centralité d’impact de prix de carburant sur la dynamique des interactions..... | 233 |
| III. Les implications politiques: Vers une approche globale et concertée axée sur la maîtrise de la consommation de carburant et de l’offre de transport routier | 234 |
| 1. Éléments pour une politique de transport routier énergétiquement durable en Tunisie : la mise en œuvre des politiques | 234 |
| 2. Les axes stratégiques | 236 |
| 3. Les typologies d’instruments politiques..... | 238 |
| Chapitre 5 : La politique du prix du carburant routier en Tunisie : réflexion sur les mécanismes de transmission de l’effet prix | 244 |
| <i>Section 1: Contexte général de la tarification de carburant en Tunisie.....</i> | <i>247</i> |
| I. Description du système tarifaire de carburant routier en Tunisie..... | 247 |
| II. Les questions soulevées par le mécanisme de fixation des prix de carburant routier en Tunisie | 249 |
| III. Analyse de la distorsion tarifaire par rapport au prix du brut à l’international..... | 253 |
| 1. Séries temporelles et étude de stationnarité..... | 254 |
| 2. Les résultats des tests de cointégration et de causalité..... | 255 |
| 3. Commentaire des résultats | 257 |
| <i>Section 2: Signal prix de la consommation de carburant en Tunisie.....</i> | <i>259</i> |

| | |
|---|------------|
| I. Revue de la littérature | 259 |
| 1. L'outil d'élasticité-prix | 259 |
| 2. L'éventail des élasticités prix dans la littérature | 261 |
| 3. La prise en compte de l'hypothèse de l'asymétrie des ajustements de la demande | 266 |
| 4. Formalisation de l'asymétrie des ajustements de la demande par rapport au prix | 267 |
| II. Estimation de l'élasticité-prix de la consommation de carburant routier en Tunisie | 270 |
| 1. Méthodologie..... | 271 |
| 2. Résultats d'estimation | 273 |
| 3. Résultats des tests de constance de l'élasticité | 275 |
| <i>Section 3: L'effet de rebond dans le transport routier en Tunisie.....</i> | <i>279</i> |
| I. L'effet de rebond, « quand économiser fait consommer plus » | 279 |
| 1. Cadrage conceptuel | 279 |
| 2. Types de l'effet rebond..... | 282 |
| 3. Analyse micro-économique de l'effet rebond..... | 283 |
| 4. État de l'art sur effet rebond dans les transports..... | 287 |
| II. La mesure de l'effet rebond dans le transport routier en Tunisie | 288 |
| 1. Le modèle théorique de Khazoom (1980)..... | 289 |
| 2. Estimation de l'élasticité-prix de l'efficacité énergétique en Tunisie..... | 291 |
| 3. Évaluation de l'effet de rebond dans le transport routier en Tunisie..... | 293 |
| Conclusion générale | 297 |

Bibliographie

Annexes

Table des tableaux

| | |
|--|-----|
| Tableau II.1. Consommation d'énergie par secteur en Tunisie durant la période 1980-2010. | 76 |
| Tableau II.2. Consommation d'énergie par mode en Tunisie durant la période 1980-2010. | 77 |
| Tableau II.3. Consommation routière d'énergie par domaine d'activité de transport en Tunisie durant la période 1980 -2010. | 79 |
| Tableau II.4. La structure du parc véhicule routier en Tunisie durant la période 1980 -2010. | 80 |
| Tableau II.5. Consommation routière par type énergie en Tunisie durant la période 1980-2010. | 84 |
| Tableau II.6. Densité urbaine et infrastructure routière. | 86 |
| Tableau II.7. Synthèse des économies d'énergie finale réalisables grâce aux options portant sur la maîtrise de la demande d'énergie dans le secteur des transports (en ktep). | 95 |
| Tableau III.1. Présentation de la méthodologie d'élaboration d'indicateurs | 128 |
| Tableau III.2. Synthèse de définitions de la notion d'indicateur | 130 |
| Tableau III.3. Récapitulatif des indicateurs phares de la durabilité énergétique. | 135 |
| Tableau III.4. Synthèse des expériences sur l'élaboration des indicateurs énergétiques durables dans le transport routier | 143 |
| Tableau III.5. Les indicateurs phares d'un transport routier énergétiquement durable. | 148 |
| Tableau III. 6. Synthèse des méthodes de mesure et d'estimation des économies informelle | 167 |
| Tableau III.7. Test de racine unitaire. | 173 |
| Tableau III.8. Sélection du nombre de retard optimal | 174 |
| Tableau III.9. Tests de cointégration de Johansen | 175 |
| Tableau III.10. Résultats de l'estimation de l'équation III.9 (avec constante et tendance). | 177 |
| Tableau III.11. Résultats de l'estimation de l'équation III.9 (avec constante seulement) | 177 |
| Tableau IV.1. Les différentes formes de la CEK. | 205 |
| Tableau IV.2. Statistiques descriptives des données de l'étude. | 209 |
| Tableau IV.3. Résultats des tests de racine unitaire. | 212 |
| Tableau IV.4. Sélection du nombre de retard du modèle VAR (première spécification) | 216 |
| Tableau IV.5. Résultats des tests de cointégration de Johansen (première spécification) | 216 |
| Tableau IV.6. Résultats des tests sur les résidus (première spécification) | 218 |
| Tableau IV.7. Résultats des tests de causalité | 219 |
| Tableau IV.8. Résultats d'estimation de CEK. | 221 |

| | |
|---|------------|
| Tableau IV.9. Sélection du nombre de retard optimal (deuxième spécification)..... | 222 |
| Tableau IV.10. Résultats des tests de cointégration de Johansen (deuxième spécification) | 222 |
| Tableau IV.11. Résultats des tests sur les résidus (deuxième spécification)..... | 223 |
| Tableau IV.12. Résultats des tests Granger de causalité | 223 |
| Tableau IV.13. Résultats d'estimation de CEK selon la 2^{ème} spécification..... | 226 |
| Tableau VI.14. Validation des hypothèses de travail..... | 228 |
| Tableau V.1. Résultats de tests de racine unitaire..... | 255 |
| Tableau V.2. Sélection du nombre de retard du modèle VAR | 255 |
| Tableau V.3. Résultats des tests de cointegration de Johansen..... | 256 |
| Tableau V.4. Résultats du test de causalité au sens de Granger | 257 |
| Tableau V.5. Cadrage théorique de l'élasticité prix..... | 260 |
| Tableau V.6. Synthèse des résultats des élasticités-prix selon Dahl et Sterner (1991) | 262 |
| Tableau V.7. Synthèse des élasticités prix de la demande de carburant routier en Tunisie entre 1980-2010..... | 274 |
| Tableau V.8. Résultats de tests de racine unitaire..... | 291 |
| Tableau V.9. Sélection du nombre de retard du modèle VAR | 291 |
| Tableau V.10. Tests de cointegration de Johansen..... | 292 |
| Tableau V.11. Les résultats d'estimation d'élasticité prix de la consommation de carburant par véhicules | 293 |
| Tableau V.12. Évaluation de l'effet de rebond sur la consommation de carburant..... | 293 |

Table des figures

| | |
|--|-----|
| Figure I.1. La modélisation conceptuelle du concept de transport énergétiquement durable | 22 |
| Figure I.2. Conceptualisation du développement durable..... | 28 |
| Figure I.3. Conceptualisation du développement énergétique durable | 38 |
| Figure I.4. La maîtrise de l'énergie au cœur de la durabilité énergétique | 42 |
| Figure I.5. Conceptualisation du transport énergétiquement durable..... | 51 |
| Figure I.6. Conceptualisation du transport routier en Tunisie | 57 |
| Figure I.7. Complexité de l'environnement du transport routier énergétiquement durable | 59 |
| Figure I.8. Le phénomène de couplage | 61 |
| Figure I.9. L'effet de rebond dans le transport routier | 62 |
| Figure I.10. Cercle vicieux du déclin urbain..... | 64 |
| Figure I.11. Caractérisation du phénomène de transport routier informel..... | 65 |
| Figure I.12. Matrice d'interférences entre politique énergétique durable et politique du transport routier durable | 69 |
| Figure I.13. Conceptualisation du transport routier énergétiquement durable | 70 |
| Figure II.1. Importance du diagnostic énergétique | 74 |
| Figure II.2. L'évolution de l'intensité énergétique de la consommation routière en Tunisie..... | 78 |
| Figure II.3. Parts des premières immatriculations par catégorie en 2010 | 81 |
| Figure II.4. L'efficacité énergétique de la voiture particulière et l'intensité en voiture particulière..... | 82 |
| Figure II.5. L'intensité carbone dans le transport routier | 86 |
| Figure II.6. La concentration de la population sur le réseau routier..... | 87 |
| Figure II.7. Synthétisation des implications de la consommation d'énergie sur le transport routier énergétiquement durable en Tunisie | 89 |
| Figure II.8. Stratégies de la maîtrise de l'énergie dans le transport routier en Tunisie | 92 |
| Figure II.9. Évolution cumulée du nombre de CP conclus dans le secteur du transport. | 96 |
| Figure II.10. Répartition géographique des stations fixes de surveillance de la qualité d'air.... | 102 |
| Figure II.11. Le triangle énergétique dans le transport routier | 107 |
| Figure II.12. La distribution des pays selon l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale dans le transport routier en 1980 | 112 |

| | |
|---|-----|
| Figure II.13. La distribution des pays selon l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale dans le transport routier en 2010 | 113 |
| Figure II.14. L'évolution de l'efficacité énergétique et de l'efficacité environnementale..... | 115 |
| Figure II.15. Index de Theil pour l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale dans le mode routier..... | 118 |
| Figure II.16. Classification des pays selon l'index général en 2010 | 121 |
| Figure II.17. Cartographie de la performance énergétique dans le transport routier..... | 123 |
| Figure II.18. Vers un transport routier énergétiquement durable en Tunisie..... | 124 |
| Figure III.1. La pyramide de l'indicateur-information..... | 132 |
| Figure III.2. Les rôles des indicateurs de développement durable | 133 |
| Figure III.3. Modèle PER | 136 |
| Figure III.4. Les indicateurs énergétiques durables selon le modèle DPSIR..... | 138 |
| Figure III.5. Cartographie des indicateurs de transport énergétiquement durable en Tunisie : Modélisation PIR..... | 146 |
| Figure III.6. Évolution de l'intensité de consommation de carburant routier par habitant en Tunisie (1980-2010) | 149 |
| Figure III.7. Évolution de l'Intensité de la valeur ajoutée du secteur de transport par habitant en Tunisie (1980-2010) | 151 |
| Figure III.8. Évolution de l'intensité d'émissions de CO ₂ dues au trafic routier par habitant en Tunisie (1980-2010) | 153 |
| Figure III.9. Évolution de taux de motorisation en Tunisie (1980-2010)..... | 155 |
| Figure III.10. Évolution de l'intensité de l'infrastructure routière par habitant en Tunisie | 157 |
| Figure III.11. Évolution de prix moyen de carburant routier en Tunisie (1980-2010) | 159 |
| Figure III.12. Évolution de la VAT observée et de la VAT totale..... | 177 |
| Figure III.13. Évolution de la VAT non observée en termes de pourcentage de la VAT totale . | 178 |
| Figure III.14. Schéma d'ensemble de facteurs explicatifs de transport informel en Tunisie | 180 |
| Figure III.15. Le cercle vicieux de transport informel..... | 181 |
| Figure IV.1. Processus de modélisation des interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable | 188 |
| Figure IV.2. Les approches de modélisation de la demande de carburant | 194 |
| Figure IV.3. Construction théorique de la courbe environnementale de Kuznets | 204 |
| Figure IV.4. Évolution des séries au cours de la période 1980-2010..... | 211 |
| Figure IV.5. Dynamique des interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie selon la 1 ^{ère} spécification (1980-2010) | 220 |

| | |
|---|------------|
| Figure IV.6. CEK dans le secteur de transport selon la 1^{ère} spécification en Tunisie (1980-2010) | 221 |
| Figure IV.7. Dynamique des interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie selon la 2^{ème} spécification (1980-2010) | 224 |
| Figure IV.8. Résultats de la décomposition de la variance | 225 |
| Figure IV.9. CEK dans le secteur de transport selon la 2^{ème} spécification en Tunisie (1980-2010) | 227 |
| Figure IV.10. Des interactions entre indicateurs aux articulations entre politiques | 235 |
| Figure IV.11. Des axes stratégiques à l'opérationnalisation des actions | 239 |
| Figure V.1. Modèle conceptuel de mécanismes de transmission de prix du carburant | 246 |
| Figure V.2. Mode de fixation des prix de produits pétroliers en Tunisie | 248 |
| Figure V.3. Les composantes du prix des carburants en 2010. | 249 |
| Figure V.4. Défaillances de système de fixation des prix de carburant routier en Tunisie | 250 |
| Figure V.5. Prix de pétrole et prix moyen de carburant en Tunisie (échelle logarithmique) durant la période 1980-2010. | 254 |
| Figure V.6. Les différentes réponses de la demande aux prix | 266 |
| Figure V.7. Dynamique des composantes du prix moyen des carburants en Tunisie | 273 |
| Figure V.8. Résultats de tests de constance d'élasticité-prix | 278 |
| Figure V.9. Analyse économique de l'effet rebond | 283 |
| Figure V.10. Arbitrage économique entre l'efficacité et la sobriété | 284 |
| Figure V.11. Nouvelle conceptualisation de l'effet de rebond | 285 |

Liste des abréviations

- 4D** : Dossiers et Débats pour le Développement Durable.
- ADF** : Dickey-Fuller Augmenté.
- AEE** : Agence Européenne de l'Environnement.
- AIC** : critères d'information d'Akaike.
- AIE** : Agence Internationale de l'Énergie
- AIEA** : Agence Internationale de l'Énergie Atomique.
- ANER**: Agence Nationale des Énergies Renouvelables.
- ANME** : Agence Nationale pour la Maîtrise de l'énergie.
- ANPE**: Agence Nationale de Protection de l'Environnement.
- CEK** : Courbe Environnementale de Kuznets.
- CEMT** : Conférence Européenne des Ministres Transport
- CIF**: Cost insurance and freight.
- CMED** : Commission Mondiale pour l'Environnement et le Développement.
- CP** : Contrats Programmes.
- DGE**: Direction Générale de l'Énergie.
- DPSIR**: Driving forces, Pressure, State, Impact, Response.
- DT** : Dinars Tunisien.
- DYMIMIC** : Dynamic Multiple Indicators, Multiple Causes.
- ETAP** : Entreprise Tunisienne des Activités Pétrolières.
- FNME** : Fonds National de Maîtrise de l'Énergie.
- Km** : Kilomètre.
- Ktep** : Kg tonne équivalent pétrole.
- MCO** : Moindre Carrés Ordinaires.
- MDT** : Million Dinars Tunisien.
- Mtkm** : Million tonne kilomètre.
- ONPE** : Observatoire National de Protection de l'Environnement.
- PDU** : Plans de Déplacements Urbains.

PER: Pressions, État, Réponses.

PIB : Produit Intérieur Brut.

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

PP: Phillips-Perron.

SC : critères d'information de Schwartz.

SNDP : Société Nationale de Distribution des Pétroles.

SNTRI: Société Nationale de Transport Interurbain.

STIR : Société Tunisienne des Industries de Raffinage.

SusET : Sustainable Energy Transport.

Tep : Tonne équivalent pétrole.

URE : Utilisation Rationnelle de l'Énergie.

VAR : Vector Auto Regressive.

VECM : Modèle Vectoriel à Correction d'Erreur.

WDI: World Development Indicators.

WEHAB: Water, Energy, Health, Agriculture et Biodiversity

.

Introduction générale

«The energy sustainability requires development modes which provide reliable energy services at a less cost, demand few of energy and produce few of polluting gas. Although transport sector is considered an important consumer of energy, this problematic is empirically less studied in the sustainable transport literature. To evaluate the energy sustainability degree of transport sector, it is necessary to determine the driving factors influencing transport-related energy consumption». (Ben Abdallah et al., 2013)

Contexte scientifique de la thèse

Le développement durable est devenu un concept très à la mode. Le débat à son sujet est particulièrement riche et participe à « la définition d'un nouvel ordre, d'un nouveau mode de développement » (Joumard, 2005). Depuis le rapport Brundtland (1987), qui a permis d'initier ce concept et de fonder son modèle de base, le développement durable a subi de modifications structurelles quant à ses dimensions classiques.

Abondant dans ce sens, cette évolution conceptuelle est à l'origine de l'émergence de deux approches de durabilité : l'approche ressourcielle et l'approche sectorielle. L'approche « ressourcielle » du développement durable repose sur « l'idée que l'une des conditions principales de la durabilité consiste dans la capacité qu'a une collectivité à mettre en place des régulations capables de garantir un usage proportionné et soutenable des ressources » (Nahrath et Gerber, 2014). Ce postulat du primat de cette approche comme condition principale de la durabilité est fondé principalement sur l'analyse critique de l'efficacité des politiques environnementales (Jänicke et Weidner, 1997 ; Bollier, 2002 ; Knoepfel, 2007) sous l'optique des exigences du concept de développement durable. L'approche sectorielle repose quant à elle sur le fait que le développement économique réalisé par secteur doit respecter les limites physiques imposées par l'exploitation et la régénération des ressources naturelles et renforcer la qualité de vie. Une attention particulière est attribuée aux secteurs pesant fortement sur le bilan des ressources consommées.

A cet égard, **le développement énergétique durable** (Hofman et Li, 2009 ; Markovska et al., 2009 ; Tonn et al., 2010 ; Ma et al., 2011 ; Zhang et al., 2011 ; Lior, 2012 ; Schlör et al., 2013), facette fondamentale de l'approche ressourcielle de la durabilité, est

défini comme étant un mode de développement consommant moins et / ou mieux d'énergie et produisant peu de polluants. D'une manière plus précise, le développement énergétique durable vise l'accessibilité aux services énergétiques, la sécurité d'approvisionnement afin de garantir l'indépendance énergétique et l'acceptabilité sociale et environnementale d'un tel mode de développement. *Le système énergétique actuel est-il compatible avec les objectifs de développement économique, social, d'équité dans l'espace et dans le temps et d'équilibre écologique à long terme?* C'est une question qui nécessite plus de rigueur politique dans la définition de ses orientations, ses décisions, ses mesures et ses plans d'actions surtout dans le présent contexte de croissance des besoins énergétiques, d'augmentation du prix de l'énergie et d'urgence environnementale. Actuellement, tous les pays développés, aussi bien qu'émergents, sont soumis à trois contraintes à savoir la sécurité énergétique, l'indépendance énergétique et la protection de l'environnement. Dans ce sens, la maîtrise de l'énergie est une notion qui s'inscrit en ligne directe avec le développement énergétique durable. Elle se caractérise par son aspect transversal et politique dont les actions à mener dépendent d'une multiplicité d'acteurs qui se mobilisent dans un travail de planification de moyen et long terme.

La question de l'approche sectorielle de la durabilité tient progressivement une place de plus en plus importante dans les débats politiques. Dans ce sens, la particularité du secteur du transport routier lui confère un cadre favorable pour une discussion avancée en termes des enjeux et des pratiques de durabilité. En effet, ce secteur présente une pluralité d'intervenants dans le processus de prise de décision (plusieurs acteurs), un conflit d'intérêts avec d'autres domaines tels que l'aménagement du territoire (plusieurs priorités), un problème de gouvernance (plusieurs niveaux décisionnels), une multiplicité de perceptions et d'attitudes (plusieurs réalités) et une irréversibilité de la décision (plusieurs échelles temporelles et spatiales). Il est donc clair que **le transport routier durable** (Ediger et al., 2007 ; Santos et al., 2010) s'appuie sur la recherche d'un arbitrage équitable entre des préoccupations sociales (accessibilité et qualité de vie), environnementales (atteintes aux écosystèmes et à la biodiversité) et économiques (bien-être social et utilisation efficiente des ressources).

C'est dans cette alignée que **la question de l'interface entre le développement énergétique durable et le transport routier durable** revêt actuellement une importance extrême. Certes, le secteur du transport routier est particulièrement questionné par le développement énergétique durable. Il constitue d'une part, une des activités qui consomment

le plus d'énergie et produit plus des polluants. D'autre part, le transport routier est fortement couplé avec la croissance économique et est impliqué d'une manière accrue dans le secteur informel, et est donc relié directement au phénomène du changement climatique et fortement intégré dans le cercle vicieux de l'urbanisation. Il est donc évident que la théorisation des interrelations entre le couple durabilité énergétique-durabilité de transport routier mérite une attention particulière. L'absence d'un traitement conjointe de ces deux problématiques fondamentales, donne lieu à l'émergence de deux développements théoriques, à savoir l'économie de l'énergie et l'économie des transports routiers, sans arriver à s'inscrire dans une théorie intégrative axée sur une approche globale, multiscalaire et systémique (Voiron-Canicio, 2005).

S'inscrire dans cette logique de développement, les enjeux de la transition énergétique dans le secteur de transport routier vont au-delà des questions portant sur les seuls problèmes technologiques. Ils impliquent nécessairement les questions de politiques publiques, de stratégie territoriale et de pratique sociale. La problématique de la consommation de carburant routier est manifestement interdisciplinaire par essence, de telle manière que la définition d'une politique énergétique durable fait intervenir une multiplicité d'acteurs, impliquant ainsi le croisement de plusieurs enjeux et approches.

Dans ce contexte, les débats ont fortement évolué, ces dernières années, autour des formes possibles d'action politique visant à concrétiser la durabilité énergétique dans le secteur de transport routier. Il est largement admis que cela nécessite **la définition des instruments et outils améliorant l'efficacité et la sobriété énergétique** (Salomon et al., 2005 ; Alcott, 2008 ; Herring, 2009 ; Lovins, 2004). En pratique, le débat s'est concentré sur la nécessité d'évaluer les politiques engagées et également à éclairer la décision politique quant à la stratégie la plus efficace de la maîtrise de l'énergie dans le secteur de transport routier. Ce dernier point a été un des chantiers de modélisation majeurs. Les modèles développés alimentent les réflexions autour des questionnements relatifs à l'évaluation des politiques publiques et renvoient principalement à la nécessité de comprendre les réalités des interactions entre les sphères énergétiques, économiques, environnementales, territoriales et sociétales impliquées dans le système de transport routier.

L'investigation dans ce domaine n'est pas récente. En effet, il y a fort longtemps, que la littérature économique a commencé à s'intéresser à la durabilité énergétique du secteur du

transport. Les initiatives avancées se différencient par leur nature, les objectifs poursuivis et surtout les techniques employées. Un consensus s'est établi pour affirmer que le traitement de cette problématique passe par **la définition d'indicateurs pertinents** caractérisant l'interfaçage consommation d'énergie-développement durable d'une part, et **la modélisation de la relation entre eux**, d'autre part. Le recours à l'outil d'indicateurs présente un intérêt fondamental comme une approche indispensable pour le suivi et la conception des politiques publiques. Toutefois, plusieurs auteurs pionniers en la matière (Bentzen, 1994 ; Samimi, 1995 ; Dahl et Kurturbi, 1997 ; De Bruyn et al., 1998; Ramanathan, 1999 ; Roca et al., 2001; Frield et Getzer, 2003 ; Perman et Stern, 2003) se sont limités aux indicateurs de croissance économique et de dégradation environnementale en essayant à vulgariser en termes agrégées la relation entre la consommation d'énergie, le produit intérieur brut et les émissions de polluants dans le secteur de transport en utilisant les techniques de cointégration. Malgré leurs apports sur le plan académique et empirique, leurs tentatives sont perçues limitées, dans la mesure où ils n'ont pas transposé la réalité de différentes dimensions entrant en jeu.

Plus récemment, l'apport de l'application de modèle PER (Pressions, État, Réponses) ou son amélioration DPSIR (Force motrice, Pression, État, Impact, Réponse) sont devenus incontournables quant à la définition de ces indicateurs (Medina-Ross et al., 2005; Pao et Tsai, 2010). En conséquence, l'intégration d'indicateurs urbanistiques et sociaux constitue une alliée précieuse dans l'aide à la décision, en traçant une image cohérente de croisement entre la durabilité énergétique et la durabilité de transport routier. Dans ce sens, d'innombrables indicateurs ont fait l'objet de réflexions et d'investigations empiriques, tels la densité urbaine, la longueur d'infrastructure, le tonnage kilométrique, le passager-kilomètre,...

En Tunisie, l'étude de la problématique de la durabilité énergétique dans les transports routiers et plus spécifiquement l'investigation empirique sur les interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable n'a pas été traitée que récemment par Ben Abdallah et al (2013). L'apport principal de cette étude réside dans l'adoption d'une vision globale connectant les deux facettes de la durabilité énergétique et de transport routier en Tunisie. Le recours à l'outil indicateur a permis d'étudier les mécanismes de causalité entre la consommation du carburant routier, la valeur ajoutée et les émissions de CO₂ du secteur du transport, le prix du carburant et la longueur de l'infrastructure routière tout en utilisant la technique de **cointégration multivariée** et le **modèle de la courbe environnementale de**

Kuznets (CEK). Cependant, les implications politiques résultantes seront discutées avec certaines réserves pour deux raisons fondamentales. La première s'attache à l'absence d'un indicateur social reflétant le système de transport routier, alors que le phénomène social est une composante indispensable de la réalité d'un tel système (Mirabel, 1999 ; Le Roux, 2008). La seconde réserve concerne la négligence de l'apport de transport routier informel dans la création de la valeur ajoutée de secteur, compte tenu que le système de transport routier présente, en général, le support des activités informelles (Goldblum, 2001 ; Aworemi et al., 2008).

Motivations de la thèse

Les recherches menées dans cette thèse trouvent leur motivation dans quatre constats majeurs. Premièrement, le diagnostic énergétique du secteur du transport routier en Tunisie montre que la consommation d'énergie dans **le transport routier** augmente de plus en plus pour représenter presque 76% de la consommation totale du secteur de transport en 2010, contre 3% pour le mode ferroviaire [ANME, 2012]. Sa part dans le bilan énergétique ne cesse de s'accroître de manière on peut en conclure que la croissance de la demande énergétique est imputable au secteur du transport routier. A l'heure actuelle, la consommation du secteur des transports porte quasi-exclusivement sur des produits pétroliers. Le secteur du transport routier ne fait pas l'objet de grands choix stratégiques de point de vue énergétique et la substitution reste très limitée.

Deuxièmement, cette consommation accrue d'énergie engendre **une progression considérable des émissions de gaz à effet de serre**. Les émissions de CO₂ des transports routiers ont augmenté de 1.75 million de tonnes métriques en 1980 à 4.94 millions de tonnes métriques en 2010, représentant ainsi plus de 27% du total des émissions de CO₂ à l'échelle nationale [WDI, 2011] et 77% du total des émissions de CO₂ sont dus au secteur du transport, tous modes confondus en 2010 [ANME, 2012].

Troisièmement, la tendance générale à l'augmentation de consommation du carburant est due principalement à **l'accroissement du parc de voiture particulière**. En 2010, le parc de véhicules était de l'ordre de 1.164.829 unités dont 69% de voitures particulières. Cette prépondérance de la voiture particulière est à mettre en relation avec le taux de motorisation qui a augmenté de 19 véhicules pour 1000 habitants en 1980 à 76 véhicules pour 1000 habitants en 2010, avec un taux moyen de croissance annuelle de 4,76 % [ANME, 2012].

Quatrièmement, le phénomène de **commerce illégal des carburants** qui échappe à la comptabilité énergétique officielle, rend délicate l'appréciation exacte et l'interprétation des indicateurs énergétiques en Tunisie. D'après des statistiques issues de la banque mondiale (WDI, 2012), plus que 300 véhicules routiers dépassent chaque jour les frontières Algériennes et Libyennes de la Tunisie, dont 60% pour le commerce illégal des carburants. En 2010, ce dernier alimente 20% de la consommation nationale de carburants routiers. Ce phénomène est en train de s'accroître, surtout avec la forte attractivité de consommateur tunisien à l'indicateur de prix. En effet, par exemple un litre d'essence en l'Algérie coûte moins d'un dinar et en la Libye soit neuf fois moins que le prix en Tunisie.

Ceci suggère l'importance de développer une politique énergétique efficace dans le transport routier en Tunisie. Le gouvernement tunisien a recours à une série de mesures afin d'économiser l'énergie dans le secteur du transport. Sur la base de la lecture et de l'analyse des plans et des programmes de développement en Tunisie, on peut conclure que la gestion de la demande énergétique a été limitée seulement à la réalisation d'audits énergétiques et de contrats programmes, la mise en œuvre de stations de diagnostic des véhicules à moteur, la formation à la conduite rationnelle, le développement de plans directeurs de transport intra et inter-villes et la mise en place de centrales de fret. En conséquence, la question de la durabilité énergétique dans le transport routier est abordée avec des outils d'aide à la décision « traditionnels » révélant également des faiblesses méthodologiques importantes. En particulier, les interactions entre les différentes dimensions d'un tel développement énergétique durable sont généralement sous-estimées, voir même négligées, ce qui va à l'encontre des principaux défis inhérents au développement durable supposant une intégration beaucoup plus importante des différents piliers décisionnels. Ainsi, les évolutions enregistrées tracent des multiples limites de l'efficacité des politiques engagées et signalent l'existence de freins, barrières voire des incomplétudes empêchant la maîtrise de l'énergie dans le transport routier en Tunisie. Pour remédier à ces lacunes et soutenir la prise de décision, il paraît nécessaire de s'engager dans une approche interdisciplinaire et globale, de modéliser et de tenir compte de mécanismes relationnelles entre les indicateurs spécifiant les différentes dimensions tout en incorporant des variables de commande plus pertinentes.

Objectifs et intérêts de la thèse

Cette thèse a pour objectif de fournir une évaluation théorique et empirique de la relation entre la consommation d'énergie et le développement durable dans le secteur du

transport routier en Tunisie. Il s'agit, en premier lieu, de mettre l'accent sur la problématique de développement énergétique durable dans le secteur du transport routier en Tunisie en partant d'un ensemble des constats réels fondés principalement sur un diagnostic énergétique et une analyse comparative internationale. Les différents aspects de cadrage conceptuel sont abordés à travers une revue de la littérature, qui fournit une vision panoramique et critique des débats théoriques sur le sujet. La finalité recherchée est d'aboutir à un ensemble d'indicateurs spécifiant la durabilité énergétique d'un tel mode de transport. En second lieu, notre recherche représente une contribution originale à la compréhension des interactions entre les indicateurs relatifs à la consommation du carburant routier, la valeur ajoutée réelle et les émissions de CO₂ de secteur du transport routier, le prix de carburant, la longueur d'infrastructure routière et le taux de motorisation. Ceci sert à cerner les articulations entre les différentes politiques en question et à orienter donc l'action publique vers des politiques de transport routier énergétiquement durable en Tunisie.

Plus précisément, ce travail présente trois intérêts essentiels d'ordre théorique, méthodologique et managérial. *L'apport théorique* consiste à traiter conjointement deux thématiques qui ont été souvent traitées dans la littérature de manière mono-disciplinaire simpliste, à savoir le **développement énergétique durable** et le **transport durable**. Le rapprochement entre ces deux concepts est concrétisé en adoptant la démarche de modélisation conceptuelle initiée par Lazarsfeld (1965). L'originalité de ce travail consiste à appliquer cette démarche dans un domaine autre que celui de la sociologie. Sa philosophie de base consiste à passer du concept aux dimensions, des dimensions aux indicateurs et des indicateurs aux mesures et ensuite des mesures aux interactions. L'idée était simple, c'est de partir d'un cadre conceptuel déjà établi et suffisamment consensuel, celui de développement durable, développement énergétique durable et transport durable vers une représentation imagée **d'un nouveau concept**, celui du **transport énergétiquement durable**. L'opérationnalisation de ce dernier passe par la spécification de ses dimensions fondamentales à savoir le transport compétitif, le transport vert et le transport équitable. La construction des indicateurs pour les dimensions retenues fait l'objet d'une modélisation DPSIR. L'élaboration d'un tableau de bord énergétique pour le cas du transport routier en Tunisie pose le problème de la mesure des indicateurs sélectionnés. Une attention particulière sera donnée aux aspects méthodologiques de quantification des indicateurs. L'élaboration des indicateurs n'est pas un but en soi. Ce qui importe, ce n'est pas le choix des indicateurs eux-

mêmes mais plutôt la chaîne de causalité entre eux dont il faut prendre en compte pour la définition de toute politique de régulation.

L'apport méthodologique réside dans l'adoption d'une approche intégrée afin d'évaluer d'une manière pertinente la problématique actuelle de la durabilité énergétique dans les transports et de mettre en œuvre les différentes alternatives de choix de politiques énergétiques durables. Cette approche se base sur l'alternance entre la théorie et l'empirique dans chaque chapitre de cette thèse. Sur le plan empirique, ce travail est fondé sur quatre approches économétriques :

1. De prime abord, parmi les problèmes de mesure des indicateurs, se pose l'enjeu d'estimer la part des économies non enregistrées dans le secteur du transport, connues sous la terminologie du « transport routier informel ». Pour ce faire, l'approche adoptée est **le modèle du filtre de Kalman (1960)** récemment adapté par Karanfil et al (2007) pour estimer l'économie informelle au niveau agrégé.
2. En adoptant **la méthodologie de la cointégration multivariée** de Johansen (1990) et **le modèle de CEK** (Kuznets, 1955), notre recherche vise à déterminer le sens de la relation de causalité entre les différents indicateurs de transport routier énergétiquement durable et à déterminer les articulations entre la politique énergétique, la politique économique, la politique d'offre de transport routier, la politique de prix de carburant, la politique d'urbanisation et la politique environnementale en Tunisie.
3. La réflexion sur l'impact du prix de carburant sur la consommation fait appel au **modèle d'ajustement partiel** tout en attribuant plus d'importance au test d'hypothèse d'asymétrie de l'effet prix dans l'exercice d'estimation des élasticités prix de la consommation.
4. Afin de mettre en évidence l'impact du progrès technique en termes d'efficacité énergétique sur l'induction de la consommation, l'application de **modèle de Khazoom (1980)** permet d'évaluer l'effet de rebond dans le transport routier en Tunisie.

L'apport pratique consiste à identifier les approches susceptibles de renouveler la pratique de l'aide à la décision en matière de durabilité énergétique dans le secteur de transport routier en Tunisie tout en opérationnalisant le concept de transport routier énergétiquement durable. Concrètement, une telle décision constitue un processus complet, qui comprend d'abord une phase de diagnostic et d'évaluation des différentes actions

engagées, puis une phase de modélisation et d'analyse pour aboutir enfin à la formulation des stratégies possibles et l'identification des leviers d'action. Plus précisément, il s'agit de mettre en exergue l'importance de la modélisation économétrique des relations de causalité entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable comme un outil primordial pour orienter l'action publique vers la définition d'axes stratégiques pour maîtriser la consommation énergétique dans le transport routier. Ainsi, pour pouvoir décider, il paraît indispensable de disposer d'une représentation des conséquences possibles d'un changement de valeur d'une ou plusieurs variables de commande (les variables de contrôle)¹ sur les autres variables du système², celles que l'on cherche à modifier (les variables d'objectif) et donc d'une représentation de la dynamique relationnelle entre les unes et les autres. L'identification d'actions possibles suppose une modélisation de celles-ci en termes de variables susceptibles d'être manipulées, par opposition à celles sur lesquelles on ne pourrait pas agir. En outre, cette représentation du processus décisionnel permet d'identifier les pistes d'intervention des décideurs publics et donc de concevoir des politiques énergétiques durables dans le transport routier en Tunisie tout en garantissant l'intégration des préoccupations environnementales, économiques, sociales et urbanistiques, des stratégies de gouvernance politique et des mécanismes organisationnels et institutionnels.

Problématique et questions de recherche

La problématique abordée est bien sûr d'actualité. Nous défendons la thèse que la conception d'une politique énergétique durable dans le secteur de transport routier est avant tout une question d'intégration entre deux approches de la durabilité : l'approche ressourcielle et l'approche sectorielle. Dit autrement, il nous semble que c'est la compréhension et plus spécifiquement la modélisation des interfaces entre la sphère énergétique (carburant routier) et la sphère du système de transport routier est fondamentalement nécessaire pour bâtir un processus décisionnel performant. Dans cette lignée, notre problématique consiste à savoir *dans quelle mesure la modélisation des interactions entre les indicateurs de transport*

¹ L'identification des actions possibles suppose une représentation du système considéré où soient distinguées les variables sur lesquelles il peut agir et celles sur lesquelles il n'est pas possible de les contrôler. Dans le vocabulaire de la théorie des systèmes, on distingue les variables de commande et les variables d'objectif.

² La notion d'un système s'appuie sur trois conditions :

- Un ensemble composite comprenant une pluralité d'éléments plus ou moins complexes (*condition de globalité*) ;
- Un ensemble structuré dont les éléments sont en interaction permanente (*condition d'intégration*) ;
- Un ensemble placé dans un environnement, cadre de multiples influences positives et négatives (*condition d'adaptation*).

routier énergétiquement durable constitue-elle un outil d'aide à la décision pour orienter l'action publique ?

Bien que le contexte de ce travail se situe dans un cadre pluridisciplinaire, et que son objet porte sur l'aide à la décision pour l'action publique en matière de durabilité énergétique dans le secteur de transport routier, les questions que nous cherchons à soulever sont finalement fort simples.

La théorisation de la relation entre le triplet énergie- développement durable- transport montre la convergence des problématiques et des enjeux théoriques et managériaux entre le concept de développement énergétique durable (jonction énergie- développement durable) et le concept de transport durable (jonction transport- développement durable). Notre première question de recherche est donc la suivante :

Q1. Peut-on légitimer le rapprochement entre le concept de développement énergétique durable et de transport durable pour faire émerger un nouveau concept, celui du transport énergétiquement durable ?

La réponse consiste à mener un cadrage conceptuel explorant les travaux portant sur les deux concepts afin de montrer les racines communes, préciser les phénomènes d'interaction entre les deux et d'enrichir mutuellement les deux approches dans un objectif de clarification théorique et empirique.

Notre deuxième question de recherche découle directement de cette première question. Elle consiste à réfléchir sur la confrontation entre les objectifs permanents de transport énergétiquement durable indépendants de toute considération territoriale et les spécificités territoriales de la Tunisie. Dès lors, notre deuxième question de recherche sera la suivante :

Q 2. Dans quelles mesures les politiques tunisiennes en matière de la maîtrise de l'énergie ont répondu à une situation énergétique partout préoccupante du secteur de transport routier ?

L'analyse sera menée à travers un diagnostic décliné en points forts et points faibles afin de caractériser les dynamiques et les perspectives en cours et relever les principaux constats de la problématique énergétique dans ce secteur. Elle est consolidée par une

comparaison internationale afin de situer la Tunisie par rapport aux autres pays en termes d'efficacité énergétique et environnementale dans le secteur de transport routier.

Si l'intérêt d'intégrer le concept de la durabilité énergétique et de durabilité de transport s'avère fondé, et si le concept résultant d'un tel mariage épistémologique est contextualisé pour le cas de la Tunisie, reste alors la question du comment. Définir les dimensions et spécifier les indicateurs clés du concept de transport routier énergétiquement durable suppose de mener une approche de modélisation conceptuelle. Dès lors, notre troisième question de recherche sera la suivante :

Q 3. Comment opérationnaliser le concept du transport routier énergétiquement durable en Tunisie ?

La mise en œuvre et le suivi des politiques énergétiques durables dans le secteur de transport routier nécessitent la mise en place d'un tableau de bord des indicateurs pertinents pour la prise de décision. La question du calcul numérique des indicateurs pose souvent un problème lors de l'investigation empirique. Pour des raisons de fidélité lors de la reproduction de la réalité, la prise en compte de transport routier informel dans l'élaboration d'un tel tableau de bord constitue la quatrième question de recherche qui consiste à savoir :

Q 4. Comment peut-on estimer la valeur ajoutée réelle de secteur de transport en Tunisie ?

L'élaboration des indicateurs n'est pas un but en soi. Ce qui importe c'est plutôt l'étude de mécanismes de causalité entre eux afin de mettre en évidence les articulations entre les politiques publiques. L'analyse de l'interfaçage économie-énergie-environnement-société dans le secteur de transport fait l'objet d'une multiplicité de modèles économétriques dont les plus célèbres sont la cointégration et le modèle de la CEK. Ainsi, les deux questions de recherche suivantes se posent :

Q 5. Quelles sont les relations cause à effet entre la consommation du carburant routier, la valeur ajoutée réelle du transport, le prix du carburant, les émissions de CO₂ de secteur du transport, l'infrastructure routière et le taux de motorisation en Tunisie ?

Q 6. Peut-on confirmer l'hypothèse de modèle de CEK dans le secteur de transport en Tunisie en présence de transport informel ?

Le passage de relations causales entre indicateurs aux articulations entre politiques publiques fait émerger la question de tarification du carburant en Tunisie. La formation de

prix du carburant, la nature de son effet et l'incertitude comportementale face à un gain d'efficacité énergétique induisent les trois dernières questions de recherche. Il s'agit principalement de savoir :

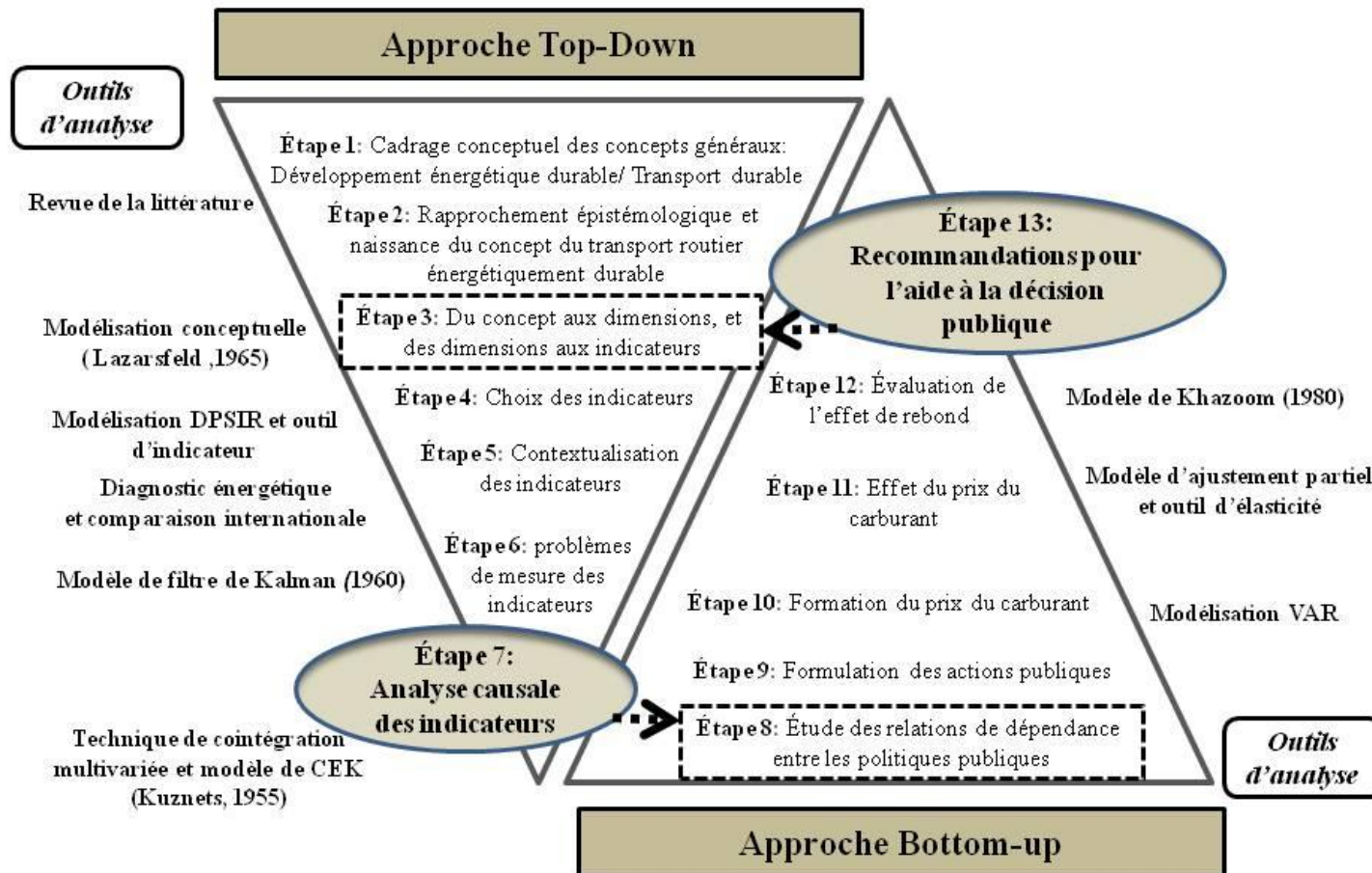
Q 7. Quelle est la relation entre le prix du pétrole à l'international et le prix moyen de carburant en Tunisie ?

Q 8. Est-ce-que la réaction de la consommation du carburant suite aux mouvements de prix est symétrique ou non ?

Q 8. Peut-on parler d'un effet de rebond dans le transport routier en Tunisie ?

Démarche méthodologique et outils d'analyse

L'originalité de la démarche procédurale de notre thèse réside dans l'adoption d'une **approche hybride top-down/bottom-up** (Rey-Valette et al., 2006). Comme illustré par la figure ci-dessous, notre méthodologie est articulée autour de deux leviers : (i) la nécessité d'une *approche top-down* afin d'aboutir à opérationnaliser le concept de transport routier énergétiquement durable à travers la construction, la mesure et la définition des mécanismes causales entre ses indicateurs ; (ii) la nécessité d'une *approche bottom-up* afin de passer à une réflexion sur les articulations entre politiques publiques et la conception des axes stratégiques d'action pour la concrétisation d'une politique de transport routier énergétiquement durable.



Démarche méthodologique de la thèse

Notre point de départ consiste à adopter une approche descendante (dite approche top-down) qui consiste en une analyse qui part des concepts généraux pour déboucher sur une dissection totale afin de simplifier la complexité et de donner une lecture plus aisée à la question traitée. Ainsi, la propriété fondatrice de la notion de « top down » nous a permis de mener un exercice de modélisation conceptuelle en passant du croisement entre concepts globaux (développement énergétique durable et transport durable) à la construction des indicateurs pilotes du concept résultant. Suite à la modélisation économétrique des interactions entre ces différents indicateurs en termes d'analyse causale, l'approche Bottom up correspond au mouvement ascendant qui consiste en une synthèse de la nature des articulations entre les politiques publiques en question (**question de relation de dépendance entre politiques**), ce qui nous permet de remonter de nouveau au niveau le plus agrégé. L'avantage de telle approche consiste à formuler les stratégies publiques dans une optique d'un transport routier énergétiquement durable en Tunisie (**question d'action publique**).

L'adoption d'une telle méthodologie et la suite des étapes mentionnées ci-dessus ont fait appel à une **boîte à outils de modélisation³ et d'analyse**, allant de la modélisation conceptuelle⁴ à la modélisation analytique. Quant à la modélisation conceptuelle, elle avait pour but d'identifier les différentes dimensions du concept du transport énergétiquement durable (**du concept aux dimensions**) et de décomposer de différentes dimensions en variables dont certaines seront retenues au titre d'indicateur, soit parce qu'elles paraissent particulièrement pertinentes soit parce qu'elles se prêtent plus aisément à la mesure (**des dimensions aux indicateurs**). Les méthodes économétriques déployées tout au long de ce travail ont multiples finalités :

1. Le recours à la régression linéaire simple entre l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale dans le transport routier d'une part et le calcul du coefficient de

³ **La modélisation** est une représentation simplifiée d'un système réel, opération par laquelle on établit un modèle d'un phénomène afin d'en proposer une représentation interprétable, reproductible et simulable. Tout modèle consiste à décrire la structure et les spécifications du système réel d'une part, et à étudier ses fonctionnements et ses dynamiques, d'autre part. L'objectif de la modélisation est de traduire sous forme d'un modèle des phénomènes complexes, sans omettre que la réalité ne se réduit pas à des ajustements purement mécaniques (Chorazewicz, 1998). Elle fournit des clés d'interprétation de mécanismes complexes et met en lumière des relations implicites. Elle est à la base des systèmes d'aide à la décision puisqu'elle permet avec excellence de s'appuyer sur des représentations à différents niveaux d'abstraction pour appréhender, conceptualiser, concevoir, décrire, expliquer voire simuler.

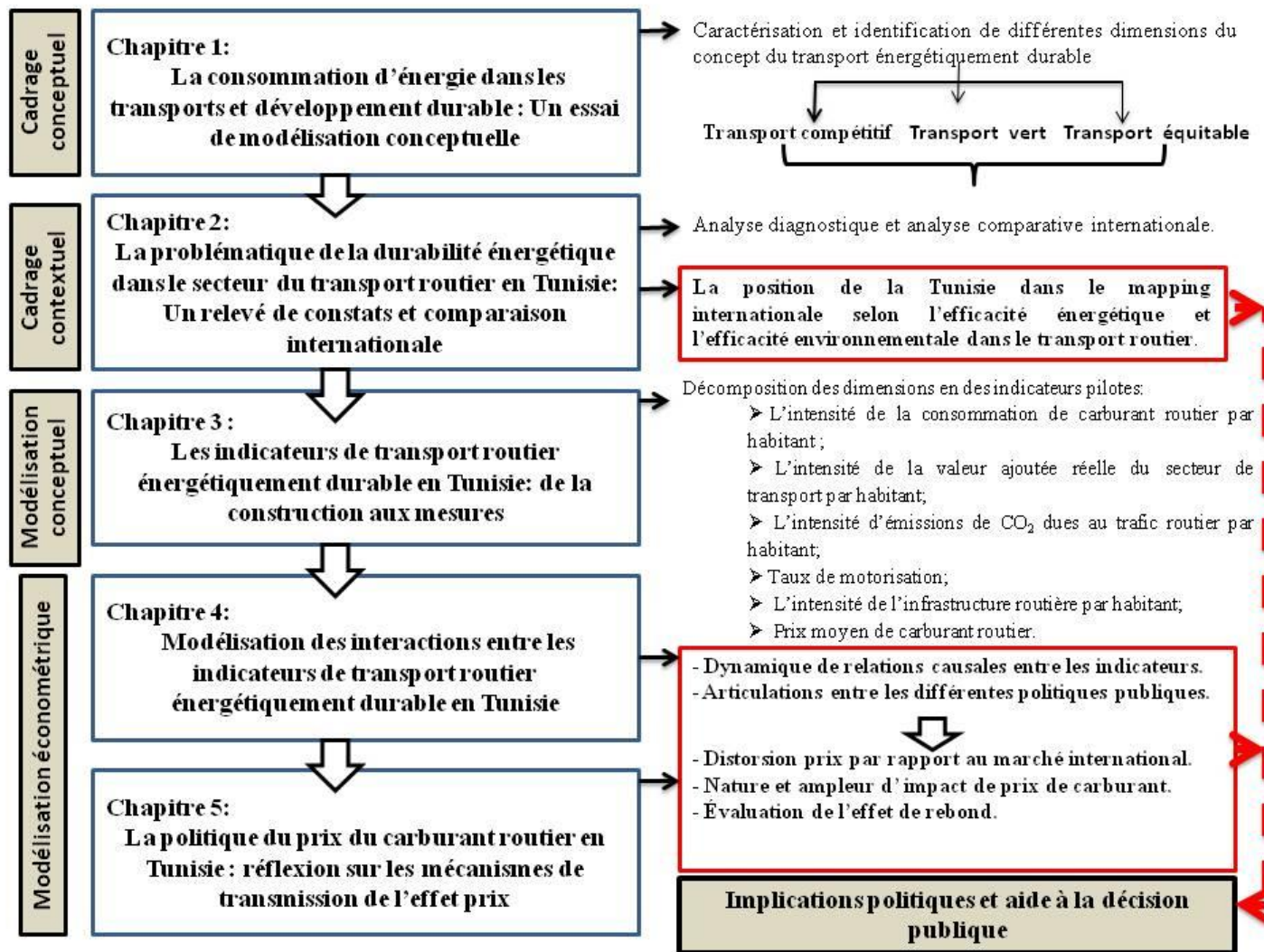
⁴ Généralement, on distingue trois types de modélisation : modèles conceptuels, modèles mathématiques et modèles par simulation (Taylor, 2003).

Theil d'autre part ont pour objectif d'analyser, comparer et cartographier la distribution de 90 pays en matière de performance énergétique dans le transport routier. La connaissance de la position de la Tunisie dans cet échantillon international est un préalable à la conception d'une politique de transport routier énergétiquement durable (**des indicateurs théoriques aux indicateurs territorialisés**);

2. L'utilisation de modèle de filtre de Kalman a pour but d'estimer la valeur ajoutée réelle du secteur du transport en Tunisie. Son intérêt principal consiste à la prise en compte de l'ampleur de transport routier informel dans la mesure de l'indicateur de croissance économique de secteur de transport (**des indicateurs aux mesures**);
3. La méthodologie de la cointégration multivariée et le modèle CEK ont pour but d'étudier les interactions entre les indicateurs pilotes (**des indicateurs à la causalité entre indicateurs**);
4. Le recours au modèle d'ajustement partiel et au modèle de Khazoom ont pour objectif d'apporter quelques éclaircissements sur la faisabilité de la politique de prix de carburant en Tunisie tout en testant l'importance des effets d'asymétrie transmis par les prix et en évaluant l'ampleur de l'effet de rebond et son articulation avec les autres politiques publiques en question (**de la causalité entre indicateurs à l'articulation entre politiques**).

Structure de la thèse

Compte tenu des objectifs évoqués ci-dessus, la présente thèse est subdivisée en cinq chapitres :



Organisation de la thèse

Le premier chapitre, purement théorique, sera consacré, à une revue de la littérature portant sur la notion de développement durable, ses orientations stratégiques, ses acceptions épistémologiques et ses pratiques. Il sera principalement question d'exposer les fondements théoriques à la base du **lien entre le développement énergétique durable et le transport routier durable**. Le rapprochement entre ces deux concepts conduira certainement à un nouveau cadre théorique de réflexion, celui du concept de transport routier énergétiquement durable. Dans ce sens, le recours à la modélisation conceptuelle permettra de décliner ce cadre théorique en passant successivement par la caractérisation d'un tel concept en définissant ses dimensions clés puis la décomposition de ces derniers en des indicateurs pilotes. Plus précisément, le concept d'un transport routier énergétiquement durable sera ventilé en trois dimensions fondamentales : le transport compétitif (la dimension économique), le transport vert (la dimension environnementale) et le transport équitable (la dimension sociale), sans négliger la dimension territoriale et la dimension de gouvernance.

Dans cette lignée, *le second chapitre* tracera le cadre territorial et s'attachera à délimiter notre périmètre d'étude, celui de la Tunisie, tout en s'engageant dans une double analyse : une analyse diagnostique et une analyse comparative. En effet, le recours à un diagnostic énergétique ventilé en points forts et faibles et enrichi par une analyse factuelle et conjoncturelle du marché de carburant en Tunisie permettra de détailler la problématique de la durabilité énergétique dans le secteur du transport routier en Tunisie et de détecter les principales défaillances. En outre, une analyse comparative internationale portant sur 90 pays sur des données annuelles de l'année 1980 et 2010, sera menée afin de connaître le positionnement international de la Tunisie en matière de performance énergétique globale dans le transport routier. Ce chapitre fait l'objet d'un papier intitulé «*International comparisons of energy and environmental efficiency in the road transport sector*». Ce papier est en révision à la revue 'Transportation Research Part D'.

Le troisième chapitre présentera une réflexion sur la construction et la mesure des indicateurs de transport routier énergétiquement durable. Il permettra de passer des différentes dimensions identifiées dans le premier chapitre aux indicateurs satellites à travers l'application de la modélisation DPSIR. Au terme de ce travail, le tableau de bord ainsi construit portera essentiellement sur six indicateurs, à savoir la consommation routière de carburant, l'émission de CO₂ due au transport routier, l'infrastructure routière, le prix moyen du carburant, le taux de motorisation et la valeur ajoutée réelle de secteur de transport. A ce

niveau d'investigation, le passage à la mesure de ces indicateurs posera des multiples difficultés méthodologiques. Partant du constat de la prépondérance de phénomène du transport routier informel en Tunisie, ce chapitre mettra l'accent sur la nécessité de connaître l'ampleur de participation de secteur de transport routier informel dans la formation de la valeur ajoutée de secteur. Pour ce faire, il s'attachera à l'estimation de la valeur ajoutée réelle de secteur de transport en Tunisie durant la période d'étude 1980-2010, tout en utilisant une approche environnementale (Kranfil et Ozkaya, 2007) basée sur la méthode de filtre de Kalman. Ce chapitre fait l'objet d'un papier intitulé « *Informal transportation and economic growth in Tunisia : Kalman filter approach* ».

Le quatrième chapitre mettra en exergue l'intérêt de la modélisation des interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable comme outil d'aide à la décision publique. Il présentera une revue synthétique des grandes classes de modèles exploitées aujourd'hui pour le soutien à la prise de décision publique en matière de développement énergétique durable dans le secteur de transport. Il constitue un approfondissement du papier intitulé « *Indicators for sustainable energy development: a multivariate cointegration and causality analysis from Tunisian road transport sector* » (Ben abdallah et al., 2013) qui est publié par la revue "Renewable and Sustainable Energy Reviews". L'approche choisie pour modéliser la dynamique des interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie sur la période 1980-2010 sera basée sur la technique de la cointégration multivariée et le modèle CEK. Au vu des résultats empiriques obtenus, l'étude des articulations entre les politiques énergétique, économique, environnementale et d'offre de transport routier permettra de souligner les éventuelles relations de dépendance entre eux d'une part, et de dégager les principales leviers d'action dans une optique d'une politique de transport routier énergétiquement durable. Ce chapitre sera synthétisé dans un papier intitulé « *Revisiting indicators for sustainable energy development: a multivariate cointegration and causality analysis from Tunisian road transport sector* ».

Le cinquième chapitre boucle l'analyse tout en accordant une attention particulière à la politique de prix de carburant en Tunisie. Il s'articulera autour d'une double réflexion : en amont et en aval de processus de consommation. En premier lieu, la question de la formation de prix de carburant routier en Tunisie et d'éventuelle distorsion par rapport au prix du pétrole

à l'international fera l'objet d'une discussion en termes d'analyse critique du système tarifaire actuel et d'une modélisation de la relation cointégrante entre le prix du pétrole à l'international et le prix moyen du carburant sur la période 1980-2010. En second lieu, les questions relatives à la nature de l'effet prix et à l'incertitude comportementale face à un gain d'efficacité énergétique suite à un progrès technique seront traitées à travers l'estimation des élasticités prix de la consommation en utilisant le modèle d'ajustements partiels avec l'introduction de l'hypothèse d'asymétrie de la réaction de demande suite aux mouvements de prix d'une part, et l'évaluation de l'effet de rebond dans le transport routier en Tunisie en appliquant le modèle de Khazoom (1980), d'autre part. À l'instar des résultats empiriques de ce chapitre, deux papiers seront tirés. Le premier papier sera intitulé «*Tests for the asymmetric effects of changes in fuel price on road transport-related energy consumption*». Le second papier portera principalement sur l'estimation de l'effet de rebond en se basant sur le modèle de Khazoom (1980). Il sera intitulé «*An investigation of the rebound effect on road transport sector: Empirical evidence from Tunisia*».

Enfin, à titre de conclusions, nous donnerons une synthèse des résultats empiriques et une série de recommandations orientant l'action publique en vue de la combinaison optimale des instruments afin de concrétiser une politique de transport routier énergétiquement durable en Tunisie. Nous présenterons de même les limites de nos investigations et quelques perspectives de recherches et d'améliorations futures.

Chapitre 1

La consommation d'énergie dans les transports et développement durable : Un essai de modélisation conceptuelle

Introduction

La théorisation de la relation entre le triplet énergie- développement durable- transport mérite une certaine rigueur en termes de conceptualisation et de définition des indicateurs. Ce chapitre a pour premier objectif de **montrer la convergence des problématiques et des enjeux théoriques et managériaux entre le concept de développement énergétique durable** (jonction Énergie- Développement durable) et **le concept de transport durable** (jonction Transport- Développement durable). En explorant les travaux portant sur les deux concepts, il s'agit de mieux montrer les racines communes, préciser les phénomènes d'interaction entre les deux et d'enrichir mutuellement les deux approches dans un objectif de clarification théorique et empirique. Le rapprochement entre les deux concepts fait naître un nouveau concept : le transport énergétiquement durable. Mais avant toute spéculation sur l'application de la durabilité énergétique à un secteur spécifique, celui du transport, **qu'entend-on réellement par développement durable ?**

Dans ce sens, la réflexion sur la notion de développement durable et sa transposition à la question énergétique dans le secteur du transport est concrétisée à travers un exercice de modélisation conceptuelle d'une notion d'actualité, celle de transport énergétiquement durable. Pour cela, ce chapitre a pour second objectif d'**énoncer les éléments de chaque dimension du SusET** (Sustainable Energy Transport) : le transport compétitif est vu comme la réponse économique du SusET, le transport vert comme réponse environnementale et le transport équitable comme réponse sociale.

Ce chapitre empreinte une démarche hypothético-déductive en partant d'un concept général, celui de développement durable, pour formuler des questionnements et des énoncés faisant naissance à un nouveau paradigme, celui du transport énergétiquement durable, régissant le triplet Énergie-développement durable-transport. L'originalité de ce chapitre réside dans l'application, pour la première fois, d'une démarche de modélisation conceptuelle,

inspirée de la célèbre publication intitulée « *Des concepts aux indices empiriques* » du sociologue Lazarsfeld (1965).

La notion de développement durable demeure "floue" et le concept désespérément "mou" (Chassande, 2002). Le transport et l'énergie représentent un dilemme fondamental pour le développement durable. Ils sont indispensables à la croissance socioéconomique, mais ils vont également de pair avec une dégradation de l'environnement. La consommation d'énergie dans le secteur de transport, basée essentiellement sur les énergies fossiles, constitue un handicap d'indépendance énergétique et entraîne des conséquences néfastes sur l'environnement. Ces externalités négatives sont incompatibles avec les objectifs d'un mode de développement durable alliant l'efficacité économique, sociale et environnementale. La consommation énergétique dans les transports est au cœur de la problématique développementale à l'échelle nationale et internationale surtout dans le présent contexte d'urgence environnementale et d'instabilité du prix de pétrole. **Faut-il remplacer les énergies fossiles incriminées par des énergies moins carbonées mais peut-être plus dommageables ou utiliser l'énergie plus intelligemment, c'est-à-dire efficacement, sobrement et en harmonie avec des besoins légitimes ?**

Ainsi, le transport durable s'avère trop complexe à cerner pour que le développement énergétique durable s'immisce aisément dans son organisation. Dans ce sens, il est légitime de savoir lequel des deux doit-il s'adapter aux principes organisationnels de l'un ou de l'autre ? **Le développement énergétique durable est à la fois un enjeu fort au cœur de la stratégie de la mobilité durable et un cadre régissant l'accomplissement d'une telle stratégie.**

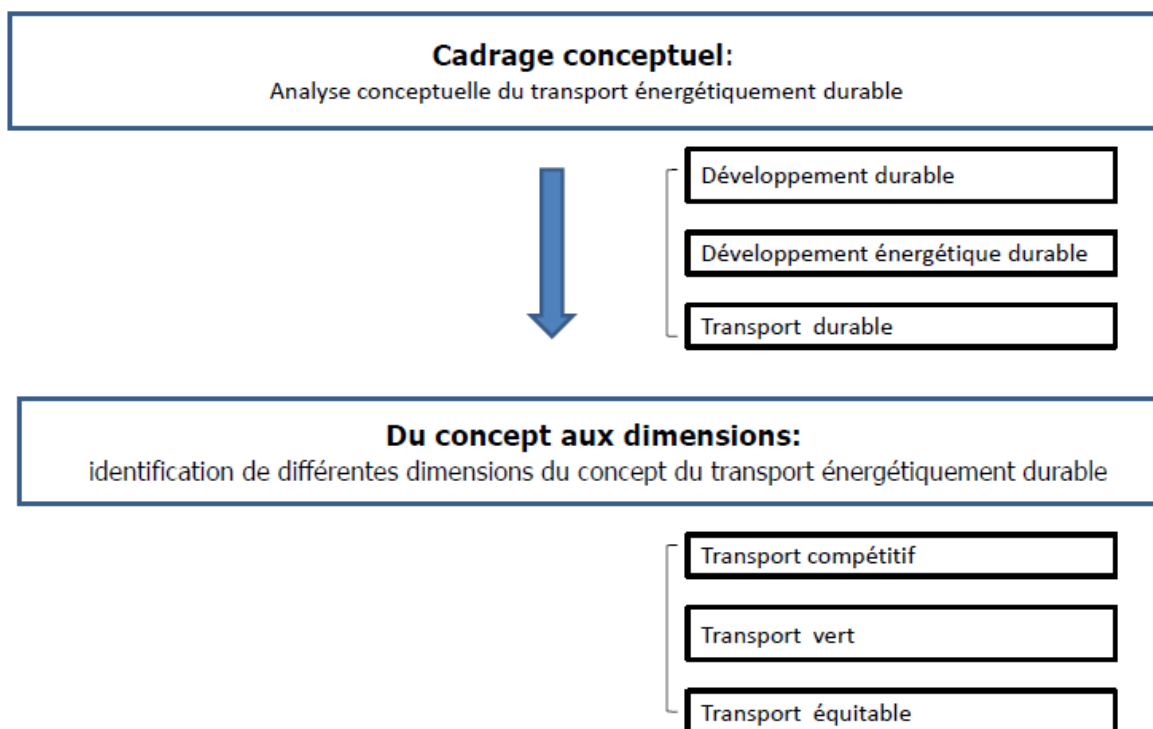


Figure I.1. Vers la modélisation conceptuelle du concept de transport énergétiquement durable

Source : Élaboration de l'auteur.

Section 1 : Synthèse rétrospective sur la dualité développement durable-énergie

L'énergie est au cœur des stratégies de développement durable et l'une de composantes principales de l'initiative WEHAB⁵ fortement liée aux trois dimensions du développement durable (Kaygusuz, 2012; Oyedepo, 2012) vu son lien étroit avec toutes les activités concourantes au développement économique et social, son impact sur l'équilibre écologique actuel et futur et son effet indiscutable sur les autres composants de WEHAB. Les objectifs retenus dans les domaines de l'eau, de la santé, de l'agriculture et de la diversité ne seront réalisés qu'avec des services énergétiques appropriés. La réflexion sur le contenu énergétique de la croissance reste au centre de débats nationaux et internationaux de la durabilité de développement. L'énergie, telle qu'elle est produite, distribuée et consommée, peut difficilement réaliser les objectifs de développement durable (Ni et Johansson, 2004). Dans ce sens, il est légitime *de se demander à quelles conditions notre système énergétique*

⁵ L'initiative WEHAB constitue les initiales de cinq domaines : Water, Energy, Health, Agriculture et Biodiversity, sur lesquels il a été décidé de concentrer les efforts de la communauté internationale pour la relance de la mise en œuvre de l'Agenda 21.

soit "durable"? Et dans quelle mesure la question énergétique a modifié le triptyque classique du développement durable ?

I. Cadrage conceptuel du développement durable

La problématique du développement durable trouve ses origines théoriques dans le milieu du XIXe siècle. Elle a suscité une vaste littérature dont l'objectif était d'aboutir à une définition standard de cette notion. Plusieurs chercheurs ont essayé de raffiner le cadre conceptuel de développement durable et loin de tous conflits, ils sont tous d'accord sur une même éthique, c'est que cette notion est en pleine mutation présentant des interprétations nombreuses et variées sous diverses conceptions et avec des principes difficiles à décliner en actions, constituant ainsi un défi scientifique à l'échelle mondiale et un enjeu démocratique qui consiste à aboutir à une durabilité plus consensuelle qui converge les enjeux économiques, environnementaux et sociétales vers une seule finalité ultime, celle de l'orientation de l'action publique dans la définition des politiques intégrant le développement économique, social et environnemental.

1. Des interprétations nombreuses et des conceptions variées

Une lecture rétrospective montre que la notion de développement durable était une question ouverte et récurrente dans les débats au niveau planétaire sur les questions liées au développement. Dans ce sens, l'institutionnalisation de développement durable a débuté avec les premiers débats au niveau planétaire sur les questions liées au développement et à l'environnement lors du sommet des Nations Unis à Stockholm la même année que le Club de Rome (1972). La question fondamentale discutée était la recherche de pistes de réflexion et d'action pour établir un autre mode de développement à l'échelle planétaire garantissant une prise de conscience de défis mondiaux de la dégradation des ressources naturelles. Cependant, et à cause de crises pétrolières des années 70, la maturité de concept de développement durable a daté les années 1987 avec les travaux de la Commission Mondiale pour l'Environnement et le Développement (CMED) dans leur rapport « *Our Common Future* », dit rapport de Brundtland. Suite à la reconnaissance mondiale de fondements réels de cette notion et la mobilisation d'une réflexion globale sur un mode de développement dit durable, les fondements théoriques de base de ce concept ont été de plus en plus identifiés surtout avec la déclaration de Rio (1992) et le Traité de Maastricht (1993). Dès lors, une multitude de définitions sont produites afin de spécifier de plus en plus l'association des termes "développement" et "durable".

De façon générale, la conceptualisation de développement durable rappelle combien ce concept est ouvert, riche et flou. Il peut s'appréhender de diverses façons et traiter de plusieurs manières. Le développement durable se base sur trois principes de base, le principe d'interdépendance, le principe d'équité et la gouvernance. Il s'agit d'une approche double dans l'espace et dans le temps en tenant compte des changements d'échelles spatiales et temporelles à travers une réflexion conjointe entre localité et globalité, entre passé, présent et futur dans une logique de transversalité pilotée par un système de gouvernance. Néanmoins, loin des imprécisions du concept dues principalement à la généralité du concept, les tendances actuelles ont exigées, pour avoir plus de précision, la contextualisation de ce concept en se basant sur une démarche cohérente dont l'action concilie les trois sphères classiques à savoir l'économique, le social et l'environnemental.

Actuellement, la déclinaison territoriale, intersectorielle, sectorielle de la durabilité ont gagné le terrain opérationnel de développement durable en s'intéressant plus aux questions de gestion des ressources naturelles et des acteurs pour le développement durable.

2. Des principes difficiles à décliner en actions

L'idée fondatrice de développement durable était au début simple et orientée principalement vers *la question d'équité intergénérationnelle et intra générationnelle*. La composante spatio-temporelle se présente avec excellence pour orienter la réflexion de la durabilité vers la mise en place d'un mode de développement permettant de préserver les besoins des générations dans le présent et le futur sur différentes échelles territoriales (régional, au national et mondial). Le développement durable « *s'est constitué comme une problématique s'interrogeant principalement sur la dimension temporelle. Plus précisément, elle a mis l'accent sur la notion d'équité inter-temporelle ou encore d'équité intergénérationnelle.* » (Laganier et al., 2002). Pour preuve, l'équité intergénérationnelle rappelée explicitement dans la définition "mère" suppose un « *développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs* » (Brundtland, 1987). La satisfaction de nos besoins ne doit pas nuire aux générations futures qui doivent avoir au minimum la capacité de répondre aux leurs. La prise en compte d'un changement d'échelles dans le temps nécessite l'articulation du court, du moyen et du long terme mais aussi du passé, du présent et du futur. Plus précisément, cette temporalité, appelée aussi principe de solidarité intergénérationnelle résume la durabilité dans la survie des générations futures et la préservation des capacités des générations successives à

faire leurs propres choix. L'interdépendance temporelle rappelle que les actions d'aujourd'hui auront des conséquences sur les générations futures.

Delors, « *l'approche en termes d'équité intergénérationnelle se complète nécessairement d'une approche en termes d'équité intra générationnelle* » (Zuindeau, 2000). Cette dernière établit qu'il est nécessaire d'agir pour que l'ensemble des hommes puissent satisfaire leur besoin. L'interdépendance spatiale rappelle que la terre est un tout appelant ainsi à concilier le local et le global. « *Les conditions de durabilité doivent être vérifiées sur l'espace de référence* » (Zuindeau, 1997). Ceci passe par le biais de prise en compte des préoccupations intra-générationnelles et interterritoriales à travers une articulation d'échelles territoriales, qualifiée principe de spatialité. Il est aussi question de « *satisfaire équitablement les besoins relatifs au développement et à l'environnement des générations présentes (...)* » à différents niveaux territoriaux allant du périmètre urbain vers une échelle plutôt mondiale en passant par le niveau national et régional. L'attention est portée aux autres territoires, à la solidarité entre États mais aussi aux pays les moins favorisés. Il est évident que « *la notion d'équité intra-générationnelle n'autorise pas la possibilité de compensation interterritoriale qui permettrait l'atteinte d'un objectif de développement durable global, au prix de disparités spatiales accentuées. L'acquisition de durabilité pour un territoire donné ne peut être obtenue au détriment de la durabilité d'autres territoires plus ou moins lointains*» (Zuindeau, 2000).

Classiquement, le développement durable se base sur la notion d'*interdépendance* entre trois domaines à relations dialogiques à savoir l'environnement, le social et l'économie. La croissance économique agit sur l'environnement et le social qui façonnent à leur tour le développement économique. Le développement ne veut pas dire croissance. Le développement durable consiste à développer « *... un ensemble coordonné de processus participatifs permettant de progresser de façon continue dans les domaines de l'analyse, du débat, du renforcement des capacités, de la planification et de la mobilisation des ressources et permettant de concilier les objectifs économiques, sociaux et environnementaux de la société de procéder, le cas échéant, à des arbitrages* » (4D, 2001).

Le développement durable est l'objet d'un cadre de *gouvernance*⁶ à différents échelles. Il était et reste une affaire politique d'État et des plusieurs organismes régionaux, nationaux et internationaux. Un dernier principe moins visible mais aussi important est la mise en place d'un système de pilotage d'une politique de développement durable. Aux trois piliers fondamentaux de développement durable s'ajoute la gouvernance comme un processus transversal, indispensable à la définition et à la mise en œuvre de politiques et d'actions relatives au développement durable. Le développement durable est une réponse de tous les acteurs. Il peut se décliner de différentes manières de gouvernance et d'éthique: gouvernance mondiale, gouvernance dans les États, gouvernance sur les territoires⁷, et gouvernance dans les entreprises⁸.

3. Pour une durabilité plus consensuelle

L'arbitrage entre les dimensions de développement durable présente un sujet de conflits affectant parfois la clarté et la précision d'un tel concept. « *Le développement durable se veut un processus de développement qui concilie l'environnement, l'économie et le social et établit un cercle vertueux entre ces trois sphère* ». (4D, 2001). L'importance attribuée à chacune de ces dimensions constitue un problème d'actualité surtout avec l'intégration d'autres dimensions à savoir la dimension spatio-temporelle et la dimension politique. Une priorité attribuée à une dimension dévoile un intérêt spécifique autre que la durabilité et risque de faire apparaître d'autres typologies de développement (PNUD: développement plutôt social-MAASTRICHT: priorité écologique et économique-MATE: priorité sociale et écologique). Lauriol (2005)⁹ considère le développement comme une représentation d'une nouvelle logique du développement économique et social qui devrait autoriser l'instauration d'un juste équilibre entre des aspirations sociales considérées comme nouvelles et un développement économique qui satisfait les besoins de chaque génération sans gêner la capacité des générations futures à satisfaire les leurs. Tel qu'il est défini, le développement durable ne se limite pas aux simples questions d'environnement mais il consiste à une

⁶ La gouvernance présente la sphère de l'action et consiste à développer le débat public et les échanges, favoriser la consultation, la concertation et la participation de tous les acteurs (citoyens, entreprises, associations,...) au processus décisionnel de l'action publique dans un cadre garantissant la transparence et la démocratie participative (Brodagh, 1998). Le principe de base est de penser globalement pour agir localement.

⁷ Lors du sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992

⁸ Lors du sommet de la Terre de Johannesburg

⁹ Lauriol (2005) « le développement durable à la recherche d'un corps de doctrine », Revue française de gestion, Volume 30, N°152, p.139.

combinaison équilibrée des aspects sociaux, environnementaux et économiques dans un cadre politique et spatio-temporel bien défini.

La durabilité ne se résume pas dans ses dimensions eux-mêmes mais plutôt dans l'interaction et la transversalité entre eux. Le développement durable s'inscrit ainsi dans une logique de complémentarité dont l'objectif est de concevoir des schémas de la croissance sous un angle plus viable, vivable et surtout équitable. Le développement durable n'est pas un processus simple vu que la relation entre ses dimensions est très complexe et présente un certain dynamisme avec absence totale des modèles standards à suivre. Réussir la mise en place d'une politique de développement durable nécessite la définition avec précision de contexte, la délimitation des horizons spatiotemporels et l'adoption d'une approche intégrée (Lourdel et al., 2004) garantissant une vision systémique. En outre, Bansal (2002) considère le développement durable comme une approche globale et une approche consensuelle qui croise trois principes fondamentaux ; un principe économique qui se manifeste par une utilisation raisonnable et rationnelle des ressources sans menacer pour autant l'avenir des générations futures, un principe environnemental qui se base sur la protection des ressources, et un principe social dont le fondement est le traitement équitable. C'est le fait de développer un monde où le développement économique se conjuguera avec les respects de soi, de l'autre et de la planète dans sa totalité en évitant tout « mal-développement » (Sachs, 1980) dans une perspective d'harmonisation avec la nature. Il s'agit d'un réajustement des interactions entre le triplet Économie-Société-Environnement mais dans une logique de continuité et avec une nouvelle forme de gouvernance axée sur la mobilisation et la participation de tous les acteurs aux processus de prise de décision.

D'une manière synthétique, quoiqu'il en soit, le développement durable devient le « maître mot » et il est question de se donner les moyens de le mettre en pratique. Dans cette lignée, bien que la conjugaison de l'économique, de l'écologique et du social dans le temps et dans l'espace ne semble pas si aisé, l'intérêt d'aboutir à une représentation du développement durable est primordial afin d'avoir les éléments à configurer, voire de reconfigurer le développement. Pour ce faire, la figure I.2 présente une réflexion sur les dimensions, mécanismes d'interactions et conceptions du développement durable.

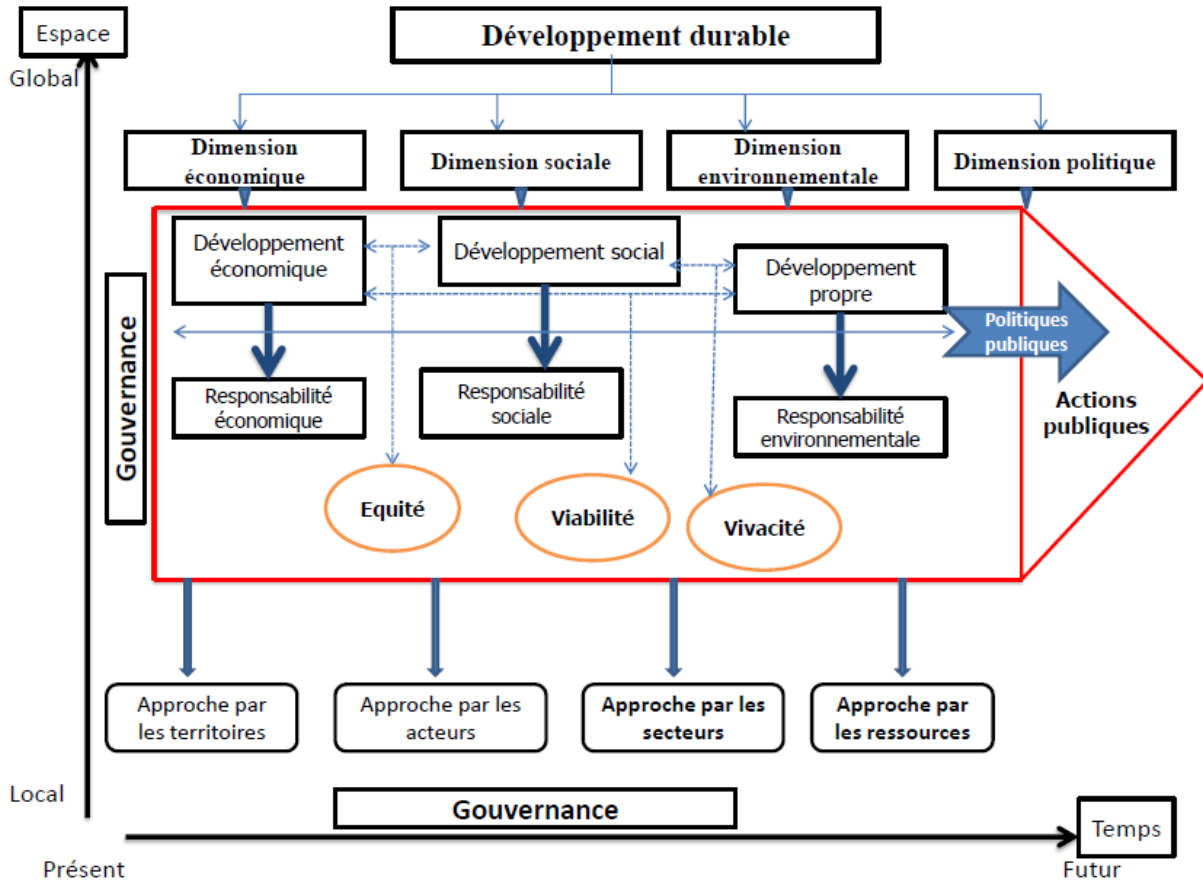


Figure I.2. Conceptualisation du développement durable

Source : élaboration de l'auteur sur la base des diverses lectures

Tel qu'il est présenté, le développement durable est conçu comme un processus à **quatre dimensions d'analyse**. La première, d'ordre **économique** concerne principalement la création de la richesse et l'amélioration de l'affectation des ressources en évitant le gaspillage et en maximisant la satisfaction des besoins des communautés humaines tout en neutralisant les effets externes. La dimension **sociale** défend l'idée que le développement durable ne vise pas la croissance du PIB pour le PIB, mais plutôt la satisfaction des besoins fondamentaux des humains en harmonie avec des objectifs d'équité et de cohésion sociale. La dimension **environnementale** se focalise sur la préservation des équilibres généraux des systèmes naturels (la diversité et la survie des espèces, la conservation et la gestion des ressources, la limitation des dégradations...) et la gestion optimale des ressources naturelles. La dernière dimension est d'ordre **politique** (ou de politiques publiques à l'échelle de la ville) qui concerne les actions, l'équilibre, le développement interne et/ou externe de la société, ses relations internes et ses relations avec d'autres ensembles. La politique reflète ainsi le programme, la façon d'agir ou l'action elle-même d'une autorité à savoir les politiques sociales, les politiques de régulation socioéconomique et les politiques civico-politiques.

À ce stade, face aux exigences de la durabilité, ces dimensions ne peuvent être qu'encore plus difficiles à assumer. Le changement de dimensions et l'idée de penser globalement pour agir localement ont été toujours des contraintes additionnelles pour concevoir un modèle de développement interférant le développement propre, économique et social. Il s'agit d'une complexification touchant les relations qui existent entre un **développement social** regroupant des aspects culturels, d'éducation, accès aux savoirs, pauvreté,..., un **développement propre** postulant la gestion économe des ressources naturelles, de l'espace et des territoires, la protection et la gestion du bien commun, la réduction des déchets,... et un **développement économique** qui englobe la création de l'activité et des emplois, la réduction de coûts de biens et services, l'internationalisation de coûts sociaux et environnementaux, la réduction, suppression ou recyclage des déchets,

Concilier entre ces fameux piliers de développement, ouvrir notre horizon temporel sur le long terme, et prolonger notre horizon spatial en prenant en compte le bien-être de la collectivité dans sa totalité nécessite la structuration du concept de développement durable en définissant et hiérarchisant les responsabilités inhérentes d'un tel développement. En revanche, quelque soit l'échelle d'étude, le développement durable est assimilé à concilier entre **trois typologies de responsabilité** dont la première, la plus classique, renvoie à la **responsabilité économique** alors que la deuxième reflète **le caractère sociale de responsabilité** qui s'intéresse plutôt à entretenir des relations avec l'environnement social (Freeman, 1984) permettant ainsi l'insertion dans la société (Pasquero, 2008) à travers la recherche en permanence de la conciliation des intérêts, parfois contradictoires de différents acteurs et des parties prenantes (Dontenwill, 2005). Sur cette lignée s'ajoute une troisième typologie de responsabilité, celle de **la responsabilité environnementale**, basée principalement sur la notion d'externalité¹⁰.

Le rapprochement entre les trois dimensions classiques du développement durable définit trois niveaux de correspondance. En effet, l'interfaçage entre les **trois couples possibles** permet de distinguer par conséquent trois relations bilatérales à examiner. Le développement durable consiste à concevoir **une société équitable** (la jonction Économie-Société) dont le principe général est l'impossibilité pour le développement économique de se

¹⁰ Celui qui occasionne une atteinte à l'environnement (le pollueur) est amené à payer pour remédier aux dommages qu'il a causés (Commission européenne, 2000).

concevoir aujourd'hui et pour l'avenir s'il ne prend pas en compte le progrès social et la lutte contre les inégalités à travers une équitable répartition des richesses, **un environnement viable** (la jonction Environnement-Société) qui valorise la satisfaction des besoins des sociétés en préservant l'environnement, et **une économie viable** (la jonction Économie -Environnement) qui cherche la prospérité en maintenant les réserves en ressources naturelles.

L'action publique, comme pilier des stratégies de développement, cherche « normalement » et essentiellement la cohérence entre ces trois notions clés. Elle vise à répondre particulièrement aux enjeux de développement territorial en intervenant sur le niveau spatial pour identifier les différents problèmes liés à l'aménagement, sur le niveau écologique pour veiller de la qualité du développement urbain, sur le niveau économique en tenant en compte de coût et de la rentabilité sociale et environnementale voire même sociétale des divers investissements effectués et enfin, sur le plan idéologique et politique en cherchant à assurer l'ordre social dans la commune et/ou l'agglomération et en imposant aux différentes parties prenantes certaines options et orientations d'aménagement.

4. Pluralité des démarches et des approches

« *Les voies du développement durable sont nombreuses et multiformes* » (Boutaud, 2003). Le développement durable n'est pas un état statique d'harmonie, mais un processus de transformation dans lequel l'exploitation des ressources naturelles, le choix des investissements, l'orientation des changements techniques et institutionnels sont rendus cohérents avec l'avenir comme avec les besoins du présent. Dans ce sens, penser le développement durable des villes, présume naturellement que la finalité ne sera en aucun cas un programme général à exiger, un plan idéal et unique, mais plutôt un choix judicieux des "bonnes pratiques" (Boulangier, 2004). De surcroît, la définition de ces pratiques exige une démarche en termes de territoires, des acteurs, des ressources et des secteurs pour garantir une certaine précision quant à la définition des indicateurs de développement durable (chapitre 3) et donc l'aide à l'action publique (chapitre 5).

Dans le rapprochement **territoire/durabilité**, le développement durable n'a de sens que si elle est territorialisée. Selon Camagni (1997), pratiquer le développement durable territorial ou développement durable territorialisé, c'est « *considérer l'ensemble des différents systèmes composant la ville dans leur coévolution et dans leurs interactions dynamiques et non simplement faire la somme d'aspects et d'objectifs différents (...)* C'est un processus

d'intégration synergétique et de co-évolution entre les grands sous-systèmes urbains (économique, social, physique et environnemental) qui garantit un niveau non décroissant de bien-être à la population locale dans le long terme ». Le lien légitime entre approche territoriale et développement durable est justifié principalement par l'unicité d'enjeu. En effet, la géographie permet de comprendre le monde dans lequel on vit et évite tout cloisonnement spatial (Bavoux, 2002) qui peut toucher le fondement du développement durable à cause de la neutralisation du principe de spatialité. « [...] *L'analyse d'un territoire donné permet de réfléchir au passage de normes théoriques de la durabilité à la définition de règles, de critères, d'indicateurs de la durabilité dans une situation donnée.* » (Zuindeau, 1997). Il n'y a pas de développement durable sans recours à une approche globale et sans connaître et faire gérer le territoire (Besancenot, 2006) Le développement durable s'envisage donc comme un processus résultant en fonction du territoire qui lui-même lui donne une assise véritable (Pinchemel, 1997).

La mise en œuvre effective du développement durable nécessite non pas seulement l'identification du territoire mais conjointement la mobilisation de tous **les acteurs concernés** (Hommes, institutions et sociétés) quant à la définition des valeurs et des objectifs du développement durable et à leur mise en œuvre à travers une réflexion et un effort pleinement collectif garantissant un changement progressif mais profond de nos comportements, de nos modes de production et de consommation, ...

Autres les questions intersectorielles, le développement durable est fondé sur une **approche sectorielle** spécifiant le fait que le développement économique réalisé par secteur doit d'une part, respecter les limites physiques imposées par l'exploitation et la régénération des ressources naturelles et d'autre part, promouvoir et renforcer la qualité de vie. Ainsi, il serait possible de s'engager durablement dès la conception du développement au niveau de chaque secteur. Les impératifs de la durabilité du développement nécessitent des approches, des moyens et des outils appropriés à chaque secteur afin de garantir une certaine pertinence dans l'analyse sectorielle. Aujourd'hui, parler de développement durable revêt plusieurs orientations : l'agriculture durable, tourisme durable, industrie durable, transport durable et énergie durable.

Le développement durable suppose une utilisation efficiente **des ressources** et insiste sur l'urgence de freiner sinon d'arrêter la destruction des ressources non renouvelables et se

doter d'une stratégie pour l'utilisation durable des ressources hydriques, des ressources énergétique et minérales, des ressources animales et des ressources végétales. La gestion et utilisation des ressources en énergie, surtout d'origine fossile, pour le développement durable est au centre de débats actuels (Dincer et Rosen, 2005; Midilli et al., 2006 ; Pereira et al., 2008) vu son rôle prépondérant dans la structuration des modes de développement économique et social, et dans l'amélioration de la qualité de la vie. Un large consensus international reconnaît que, actuellement, l'approvisionnement fiable et durable en énergie est l'une des conditions principales pour atteindre la prospérité économique, le développement social et la protection de l'environnement pour tous les pays du monde : si la pérennité et la sécurité de l'énergie font défaut, les objectifs premiers du développement humain ne peuvent pas être atteints.

II. La dualité énergie- développement durable

1. Spécificités de la consommation¹¹ d'énergie

L'énergie n'est pas utilisée pour elle-même, mais pour produire un service énergétique¹², destiné à assurer des besoins essentiels : chauffage, éclairage, cuisson, mobilité,... Elle fait l'objet d'une consommation finale¹³ ou d'une consommation intermédiaire¹⁴. L'approche de l'énergie par la consommation consiste à évaluer l'emprise

¹¹ La **consommation**, au sens économique du terme, c'est l'action **d'utiliser** ou de **détruire**, immédiatement ou progressivement, des **biens** et des **services**, dans le but de satisfaire un besoin. La théorie microéconomique néoclassique et marginaliste, confond la consommation et la demande d'un bien, confondant ainsi la destruction d'un bien avec l'intention d'achat qui dépend du prix. La notion de la demande doit être distinguée de celle de la consommation:

- La demande est une notion ex ante (en termes de projets) : c'est une intention d'achat d'une certaine quantité d'un bien ou d'un service pour un prix donné.
- La consommation est une notion ex post (en termes de réalisations) : elle suppose que l'agent dispose du bien et qu'il y a eu, précédemment, une dépense financée par le revenu.
-

¹² Le système énergétique d'un pays est constitué de l'ensemble des activités et des opérations qui permettent de satisfaire les besoins en produits énergétiques des activités économiques et sociales.

¹³ La **consommation finale**, qui est uniquement le fait des ménages (on parle de consommation finale des ménages), est composée des biens et des services destinés à la **satisfaction directe des besoins**, ainsi que de **l'autoconsommation**, c'est-à-dire de la consommation que les individus font de leur propre production (produits des jardins, utilisation des logements dont ils sont propriétaires...).

¹⁴ La **consommation intermédiaire**, qui est le fait des entreprises (on parle de consommation intermédiaire des entreprises), concerne les matières premières ou les produits semi-finis qui sont détruits, transformés ou incorporés, au cours du processus de production, pour réaliser le produit final (l'énergie et la farine utilisées pour fabriquer une baguette de pain).

énergétique¹⁵ des ménages, constituée par le total des énergies nécessaires à la satisfaction de leurs besoins finaux.

La consommation d'énergie est nécessairement médiatisée par des équipements ou appareils. En effet, l'énergie est **une consommation dérivée** puisqu'elle est en partie décidée lors de l'acquisition des équipements et appareils, et la consommation elle-même n'a lieu que lors de leur utilisation. La consommation d'énergie a une composante acquisition et une composante usage. Elle est caractérisée par une certaine **rigidité** dépendante essentiellement de l'équipement utilisant l'énergie, l'état de la technologie, des réglementations et des contraintes environnementales.

La consommation d'énergie passe par un marché imparfait qui manque de visibilité et de réflexivité. Elle **manque de visibilité** dans l'instant et se mesure à posteriori. En effet, la consommation d'énergie est en fait la conséquence de sa consommation et non la consommation en elle-même. Elle dépend d'un environnement social, culturel et technologique qui détermine les décisions individuelles. Le facteur déterminant pour la consommation d'énergie est plus l'appartenance à un groupe social (dans lequel le revenu joue un rôle important) que le revenu tout seul. Une sensibilisation à l'utilisation rationnelle de l'énergie peut contribuer aussi à développer de nouveaux statuts sociaux basés essentiellement sur la culture. La particularité de la consommation d'énergie est qu'elle **manque de réflexivité** pour l'utilisateur parce qu'elle rend des services pour lesquels la consommation d'énergie est secondaire en soi.

De plus, la consommation d'énergie est fortement **hétérogène**, à la fois du point de vue des activités (se chauffer, se laver, cuisiner, etc.) et du point de vue des consommateurs (leurs comportements et attitudes de consommation). Ainsi, leur consommation est difficilement quantifiable et donc comparable.

2. Énergie- développement durable : Quelle représentation ?

Les concertations sur l'énergie n'ont probablement jamais été aussi abondantes qu'aujourd'hui. Depuis les années 2000, une dizaine de débats ont été mobilisés dans ce sens

¹⁵ L'emprise énergétique lie ainsi les dépenses des ménages en biens et services à l'ensemble du besoin énergétique qu'elles créent (Pourouchottamin et al., 2013).

à savoir le rapport intitulé « *World Energy Outlook* » préparé par l'Agence internationale de l'énergie (AIE), Kyoto (1997) et ses textes d'application (2001),...

La thématique énergétique ayant un caractère multidimensionnel à questionnements multiples (le livre blanc portant sur l'efficacité énergétique, Février 2011), a profondément modifié le cadre conceptuel classique du développement durable (Peura, 2013) en s'intéressant aux problématiques suivantes :

- **La disponibilité énergétique et l'égalité énergétique** territoriale avec la mobilisation d'une culture d'énergie favorisant une utilisation rationnelle et modérée des ressources non renouvelables (*question sociale*);
- **La sécurité énergétique** afin de maintenir une compétitivité économique malgré une énergie plus rare et plus chère (*question économique*);
- La prise en conscience de la stricte **limitation des externalités** notamment le changement climatique (*question environnementale*);
- L'état de ressources et les perspectives géostratégiques de **dépendance énergétique** (*question politique*);
- La mise en cause du **paradoxe énergétique de l'urbanisation** (*question urbaine*).

a) La consommation énergétique est une question sociale

L'énergie revêt une dimension sociale très forte puisqu'il intervient dans la plupart des activités humaines. Elle dessine les territoires, façonne les rapports sociaux et constitue en retour un vecteur de transformation sociale. La disponibilité de l'énergie en quantité et qualité suffisantes et à prix abordable est primordial pour soutenir la croissance et répondre aux besoins futurs.

Aujourd'hui, l'énergie est loin d'être seulement une simple problématique technique à laquelle tentent de répondre les gouvernements et les décideurs locaux, mais plutôt une question de société qui présente actuellement un vaste débat sociétal impliquant toutes les parties prenantes en se focalisant principalement à la problématique de l'acceptabilité sociale à travers une réflexion collective sur les modes de vie passés, présents et à venir en s'engageant sur la voie d'une nouvelle culture de l'énergie basée sur une accessibilité non exclusive à l'énergie et sur une inégalité énergétique nulle.

‘Énergie – égalité’ constitue un couple problématique (Zaccaï, 2007). En effet, dans le domaine énergétique un constat s’impose aujourd’hui : Les inégalités d’accès aux ressources naturelles à savoir l’énergie laissent globalement les populations des pays les moins industrialisés plus touchées par les impacts climatiques dus à l’exploitation des ressources naturelles.

b) La consommation énergétique est une question économique

Les services énergétiques sont évidemment le moteur pour le développement économique puisqu’ils contribuent à l’amélioration du bien-être et au renforcement de la stabilité sociale grâce à l’augmentation régulière du niveau de vie en termes d’emploi, de revenu et d’échanges (Dincer, 1999).

L’énergie ne constitue pas une dimension à part entière. La sécurité énergétique (Zecca et al., 2010 ; Chester, 2010 ; Vivoda, 2010 ; Bigano et al., 2012) se trouve en réalité inscrite comme sous-ensemble de la sécurité économique en occupant une place centrale en amont de toute activité économique. Dans cette perspective, elle vise « *la disponibilité continue et assurée d’énergies en quantités suffisantes et à des coûts stables et acceptables* » (Schmid, 2007). Traditionnellement, elle désigne la garantie de façon stable et continue de l’approvisionnement en énergie dans un contexte de rareté des produits énergétiques et d’instabilité du prix, un choix judicieux du type d’énergie en lien avec la sécurité environnementale, la réduction de consommations d’énergie et la diminution, à niveau de productivité égal, des coûts environnementaux, économiques et sociaux liés à la production et à la consommation d’énergie.

c) La consommation énergétique est une question environnementale

La lutte contre le changement climatique aujourd’hui et demain, localement et mondialement fait partie des principaux défis mondiaux du 21^{ème} siècle. L’épuisement des ressources énergétiques surtout fossiles est une réalité (Le Roux, 2008) et ses impacts sur l’environnement sont non discutables (Dincer, 2000 ; Barreto et al., 2003; Bockris, 2003) présentant ainsi la principale cause de la dégradation environnementale en termes des émissions de polluants. Actuellement, la prise de conscience de la protection de la qualité de l’environnement (Midilli et al., 2006) contre la dégradation et les catastrophes est devenue une préoccupation primordiale des décideurs politiques. Ils ont pris en considération cette

nouvelle orientation dans leurs politiques en visant un mode de développement sous contraintes de rareté des richesses et d'utilisation efficace des ressources (Perroux, 1991).

d) La consommation énergétique est une question politique

L'énergie présente une source majeure de conflits et des tensions sur le plan géopolitiques. Entraînant un déséquilibre spatial (Schaumaker, 2007), elle tente de définir les rapports de force entre les États dans un cadre qualifié « guerre de l'énergie » où les ressources énergétiques sont utilisées comme des armes et l'arrêt de l'approvisionnement en énergie une stratégie gagnante. La forte dépendance énergétique¹⁶ fragilise les équilibres géopolitiques et les systèmes politico-économiques et amplifie la fragilité du développement économique et social.

La « capture d'énergie » détermine les trajectoires de développement et notamment la classification des pays. Face à cette réalité, Les politiques publiques se focalisent réellement sur deux paradigmes : la recherche de l'indépendance énergétique ou la constitution d'un espace vital énergétique évitant toute vulnérabilité énergétique¹⁷ et la sécurisation du marché national impliquant une projection substantielle de la puissance sur la scène internationale.

e) La consommation énergétique est une question urbaine

Il existe une forte interrelation entre la morphologie urbaine et la consommation énergétique (Le Roux, 2008). L'énergie est à la fois un déterminant majeur du fait urbain et une cause fondamentale de changement de sa structure. Les interrelations géographiques deviennent de plus en plus délicates entre les sources et les utilisateurs d'énergie : les territoires sont plus ou moins générateurs de consommations ou d'économies d'énergie et doivent être gérés en fonction de leurs caractéristiques et spécificités (Omer, 2008). A ce postulat de la forte articulation entre la densité et la structure urbaine d'une coté, et la

¹⁶ **Le taux de dépendance** mesure le rapport des importations nettes et la consommation totale d'énergie primaire. Cela permet de savoir combien représente les importations en pourcentage par rapport à la consommation globale. Il peut être défini aussi, pour une année donnée, comme le rapport de la production nationale à la consommation totale d'énergie primaire, ces consommations étant exprimées en tep (tonne équivalent pétrole). La simplicité de ce définition cache des hypothèses et des conventions qui mettent en cause la pertinence de cet indicateur comme sa méthode de calcul.

¹⁷ Percebois (2006) définit **la vulnérabilité** comme étant une situation où « le pays n'est plus en mesure de faire des choix de politiques énergétiques librement consentis ou si elle a un coût économique ou politique collectivement insupportable ».

cartographie d'utilisation énergétique d'autre coté (Karathodorou et al., 2010 ; Madlener et al., 2011) s'ajoute le paradoxe énergétique de l'urbanisation qui constate la concentration des besoins énergétiques d'une coté, et la décentralisation des politiques énergétiques d'autre coté (Breheny, 1995).

Section 2 : Rapprochement entre développement énergétique durable et transport durable

Il est légitime de rapprocher ces deux concepts génériques, le développement énergétique durable et le transport durable, et de mettre en parallèle l'importance de la durabilité énergétique et la durabilité dans le secteur du transport en favorisant la capacité à agir et à réagir conjointement face à deux approches différentes de la durabilité. En effet, l'étude détaillée séparément de ces deux concepts, jugés comme deux phénomènes de mode et de débats scientifiques, montre une convergence des problématiques et des enjeux théoriques et managériaux. En outre, en explorant la littérature, le rapprochement théorique entre les deux concepts est justifié principalement par les racines communes entre les deux concepts, notamment leur finalité qui se résume dans le développement durable.

Dans cette lignée, plusieurs questions peuvent se poser à savoir *quelle est la frontière entre ces deux concepts ? Pourquoi introduire un nouveau concept supplémentaire pour exprimer finalement des phénomènes que l'on connaît bien ? Et qu'est-ce que le concept de transport énergétiquement durable va apporter de nouveau ?*

I. Le développement énergétique durable : quelques éléments de réflexion

La satisfaction des besoins énergétiques humains et économiques fondée sur l'équité entre les peuples et entre les générations avec prise en conscience de questions environnementales a fait émerger récemment un nouveau paradigme : le développement énergétique durable (Hofman et Li, 2009 ; Hofman et al., 2009 ; Markovska et al., 2009 ; Tonn et al., 2010 ; Ma et al., 2011 ; Zhang et al., 2011 ; Lior, 2012 ; Schlör et al., 2013). Ce concept demeure composite en faisant appel à deux notions fondamentales, la première se rattache au monde physique, l'énergie, et est gouvernée par des lois objectives, et la seconde, le développement durable, renvoie à un idéal de société, nécessairement non normatif.

1. Conceptualisation du développement énergétique durable

D'une manière synoptique, le développement énergétique durable implique la satisfaction des besoins énergétiques à travers *une consommation engagée*¹⁸, *économe*, *solidaire/rationnelle* et respectueuse de l'environnement (*éco-consommation*) dans un objectif d'une recherche en permanence de la meilleure adéquation entre le maintien des niveaux et qualité de vie actuels et la conservation de ressources énergétiques pour les générations futures.

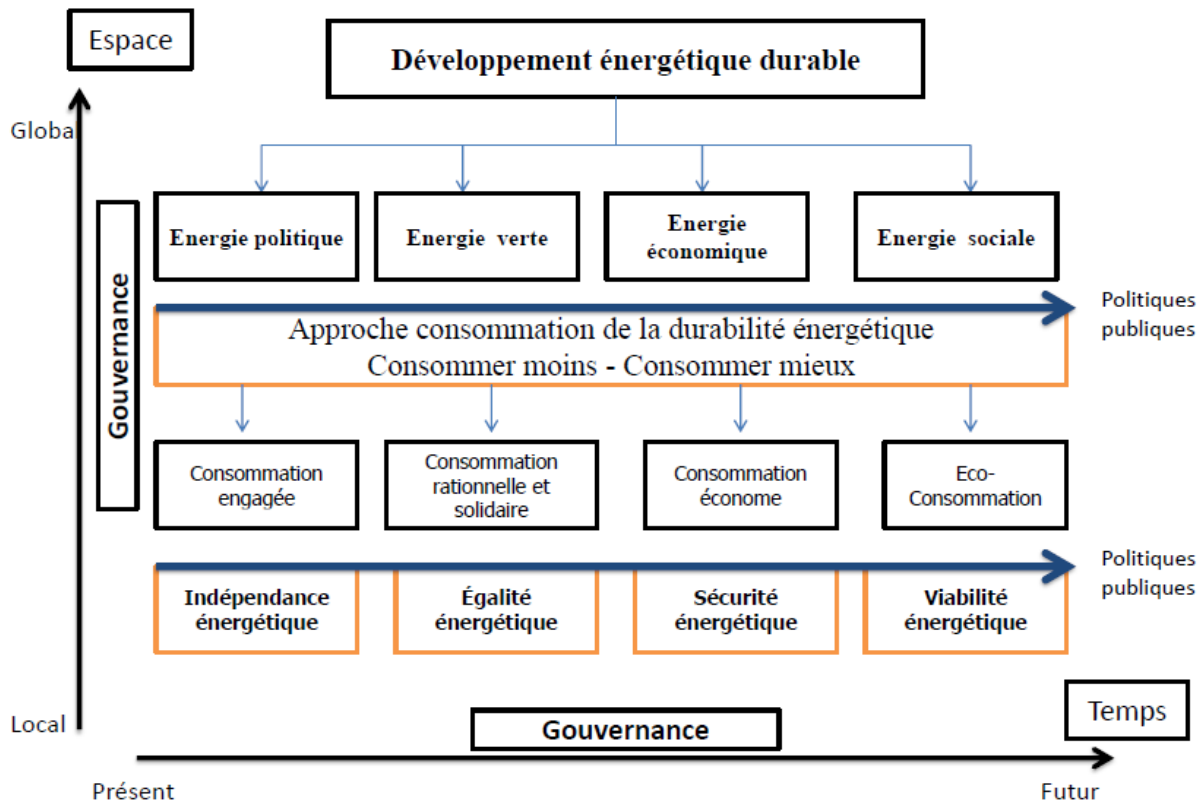


Figure I.3. Conceptualisation du développement énergétique durable

Source : Élaboration de l'auteur

Le mot clé est de *consommer moins* et *mieux* voire produire autrement si on pense au rôle de l'offre technologique. En d'autres termes, il s'agit de développer une démarche rigoureuse pour un avenir énergétique indépendant, sécurisant, viable et équitable. Ce quadruple forme une équation difficilement à résoudre dont le principe de départ est de mettre en place un système énergétique politiquement indépendant, écologiquement viable,

¹⁸ Le terme de **consommation engagée**, ou encore « consumérisme politique », « consommation responsable », « consommation citoyenne » ou bien « consommation éthique » ne fait pas l'objet d'une définition universelle. Il est associé à l'idée que les consommateurs peuvent poursuivre un engagement politique en refusant certains produits énergétiques, en privilégiant d'autres ou en modifiant certaines pratiques liées à la consommation (Micheletti, 2002).

économiquement rentable et socialement sobre et équitable : c'est la concrétisation du principe de la sécurité avec toutes ses dérives politique, économique, sociale et environnementale.

La conviction qui nous guide, c'est que le développement énergétique durable est plus qu'une déclinaison des principes de développement durable à l'échelle de la ressource énergétique.

Toute politique développée dans ce sens est à la croisée de l'économie sociale/solidaire¹⁹, de l'économie d'environnement²⁰, de l'économie des ressources naturelles²¹ et de l'économie verte²². Toutes ces théories ont des réponses et sont porteuse d'avenir énergétique durable.

En résumé, toute politique énergétique²³ s'inscrivant dans le développement durable donc avoir pour ambition à la fois (Ghezloun et al., 2011 ; Ghezloun et al., 2012 ; Martinez-Val, 2013) :

- Celui de la recherche d'une équité aussi bien temporelle que spatiale garantissant une certaine indépendance énergétique en assurant la disponibilité de l'énergie en quantité et qualité suffisantes et à prix abordable pour soutenir la croissance à long terme et répondre de façon équitable aux besoins de générations actuelles et futures ;
- Celui de la recherche d'une meilleure sécurité d'approvisionnement en énergie en cernant les incertitudes qui pèsent sur leur accessibilité et leur prix et réduisant la facture énergétique²⁴;

¹⁹ **L'économie solidaire** est un ensemble d'actions collectives d'initiative citoyenne, visant à instaurer de nouvelles régulations à plusieurs échelles, du local à l'international. Ses domaines d'application sont très variés, et ont en commun de mettre l'activité économique au service de finalités solidaires.

²⁰ **L'économie de l'environnement** tente de donner un éclairage aux questions environnementales en s'intéressant à l'interaction entre l'homme et l'environnement. Elle traite les biens « rares », de leur production et de leur consommation et part de l'analyse des comportements « rationnels » des acteurs pour finir à internaliser les effets externes.

²¹ **L'économie des ressources naturelles** traite la question de l'énergie fossile (Diemer et Labrune, 1999).

²² **L'économie verte** tente à quantifier la part du « vert » dans l'économie en vue d'une amélioration du bien-être humain et de l'équité sociale tout en réduisant de manière significative les risques environnementaux et la pénurie de ressources.

²³ **La politique énergétique** d'un pays ou d'un territoire est l'ensemble de ses orientations et de ses décisions politiques liées à l'énergie. Elle se concrétise à travers des actions, des mesures ou des plans d'action visant à assurer l'approvisionnement du pays et la couverture des besoins de différents secteurs à différents échelons de gouvernance.

²⁴ **La facture énergétique** comptabilise le coût net de l'énergie importée exprimée par rapport au PIB.

- Celui plus récent d'une prise de conscience des externalités²⁵ locales et globales qui caractérisent le secteur de l'énergie et de l'acceptabilité des politiques énergétiques dans un contexte d'urgence environnementale.

2. Les options énergétiques durables

L'enjeu principal est de savoir comment on peut répondre aux besoins énergétiques en forte croissance et réduire les émissions à effet de serre sans affecter la croissance économique. La résolution de cette équation n'est pas simple et consiste à concevoir un système énergétique englobant l'offre (secteur énergétique) et surtout la demande (consommation d'énergie) et garantir un service énergétique dans les meilleures conditions de ressources, de coûts économiques et sociaux et de protection de l'environnement (Laponche, 2006). Dans cette perspective, il est essentiel de connaître comment envisager un mix énergétique²⁶ qui puisse s'inscrire dans cette démarche de développement durable (Leray et de la Roncière, 2002).

Les options énergétiques durables gravitent autour d'un seul concept fondamental « *la maîtrise de l'énergie* » mais avec couleurs différents. La maîtrise de l'énergie (*energy conservation*) est une notion générale englobant l'ensemble des facettes relatives à la gestion et à la consommation des différentes ressources énergétiques disponibles. Elle se caractérise par un caractère transversal, multi-acteurs et à différents d'horizons d'actions. La question de l'énergie est loin d'être confiée à un ministère en particulier. Les actions à mener dépendent d'une multiplicité d'acteurs dont on doit gérer les conflits d'intérêts. Enfin, la maîtrise de l'énergie requiert un travail de programmation couvrant le moyen et le long terme.

²⁵ « La théorie économique définit les externalités comme des variations du bien être collectif générées par une activité donnée lorsque la transmission ne passe pas par les mécanismes de marché et de prix. Les externalités peuvent être négatives (coûts externes) ou positives (bénéfices externes) ; elles correspondent à des coûts ou bénéfices qui ne sont ni payés ni perçus par ceux qui en sont la source » (De Palma et Quinet, 2005). Techniquement, on parle d'externalité négative lorsque l'activité d'un agent impose une perte de bien-être à un autre agent et que cette perte de bien-être n'est pas compensée (déséconomie externe). A l'encontre, lorsqu'un acte d'un agent économique entraîne un effet positif sur un autre agent économique qui ne prend pas part à cet acte, on parle d'une externalité positive (économie externe) (Mankiw, 1998).

²⁶ Le terme de "**mix énergétique**" (ou "bouquet énergétique") désigne la répartition, au sein d'une zone géographique donnée, de la consommation des diverses sources d'énergie. Pour chaque région ou chaque pays, la **composition du mix énergétique** dépend de :

- La **disponibilité** de ressources exploitables sur le territoire ou la possibilité d'en importer ;
- L'ampleur et la nature des **besoins énergétiques** à couvrir ;
- Le **contexte économique, social, environnemental et géopolitique** ;
- Les **choix politiques** qui en découlent.

Trois éléments viennent donner à **la maîtrise de l'énergie** une légitimité nouvelle de s'inscrire étroitement avec le développement énergétique durable :

- La maîtrise de l'énergie retrouve son premier fondement historique pour répondre aux interrogations sur l'indépendance énergétique et la sécurité des approvisionnements.
- La maîtrise de l'énergie trouve une légitimité réelle, inscrite dans le long terme pour répondre aux préoccupations environnementales, croissantes dans la société, en cherchant en permanence à infléchir significativement l'augmentation de la consommation d'énergie.
- Un nouvel intérêt à la maîtrise de l'énergie porte sur la question de l'accès partagé à des ressources fossiles limitées, à l'échelle de la planète.

D'une manière générale, maîtriser de l'énergie, c'est contrôler sa production, choisir les sources d'approvisionnement et le type d'énergie d'une part, et contrôler son usage dans les différents secteurs consommateurs d'autre part. Mais, la plus courante approche adopte une action sur la consommation d'énergie et le développement des énergies renouvelables. Ce concept dépasse la notion plus ancienne **d'économie d'énergie** (*energy savings*) puisqu'il ne s'agit pas de réaliser toutes les économies techniquement possibles sans se soucier de leur consommation et impact social, mais plutôt de chercher un optimum, une gestion raisonnée de l'énergie disponible pour satisfaire les besoins par la société.

Selon la démarche négaWatt (2010), la maîtrise de l'énergie recouvre un triptyque à savoir l'efficacité énergétique, la sobriété énergétique et les énergies renouvelables. Les deux premiers définissent le concept **d'utilisation rationnelle de l'énergie** qui s'engage conjointement à réduire les besoins à travers de choix collectifs et la responsabilisation des particuliers (**Principe de Sobriété**), et à satisfaire les besoins à moindre coût énergétique à travers des réponses technologiques (**Principe de l'efficacité**).

En effet, la maîtrise de l'énergie couvre deux forces inhérentes au marché de l'énergie à savoir l'offre et la demande en visant précisément à agir sur la consommation d'énergie à travers l'efficacité énergétique des technologies employées et le comportement des consommateurs, contrairement à la politique énergétique de l'offre qui vise plutôt l'action sur le processus de la production. L'approche production de la durabilité énergétique (la politique énergétique de l'offre) consiste au recours aux énergies renouvelables par définition inépuisables, décentralisées et à faible impact sur notre environnement en se basant sur les principes de la substitution ou, pour les plus maximalistes, de renouvelabilité. De fait, certains

pays modifient leur structure d'offre en s'appuyant sur le développement d'énergies nationales pour pallier le prix élevé du pétrole brut importé et aux sources d'approvisionnement. En outre, les transformations de l'offre se heurtent à des rigidités telles (écologique, décisionnelle, financière) de sorte que les efforts se reportent principalement sur la maîtrise de la consommation d'énergie. Une telle approche consommation de la durabilité énergétique est justifiée actuellement par la forte libéralisation en cours des marchés de l'énergie qui a défini un cadre nouveau mais incertain.

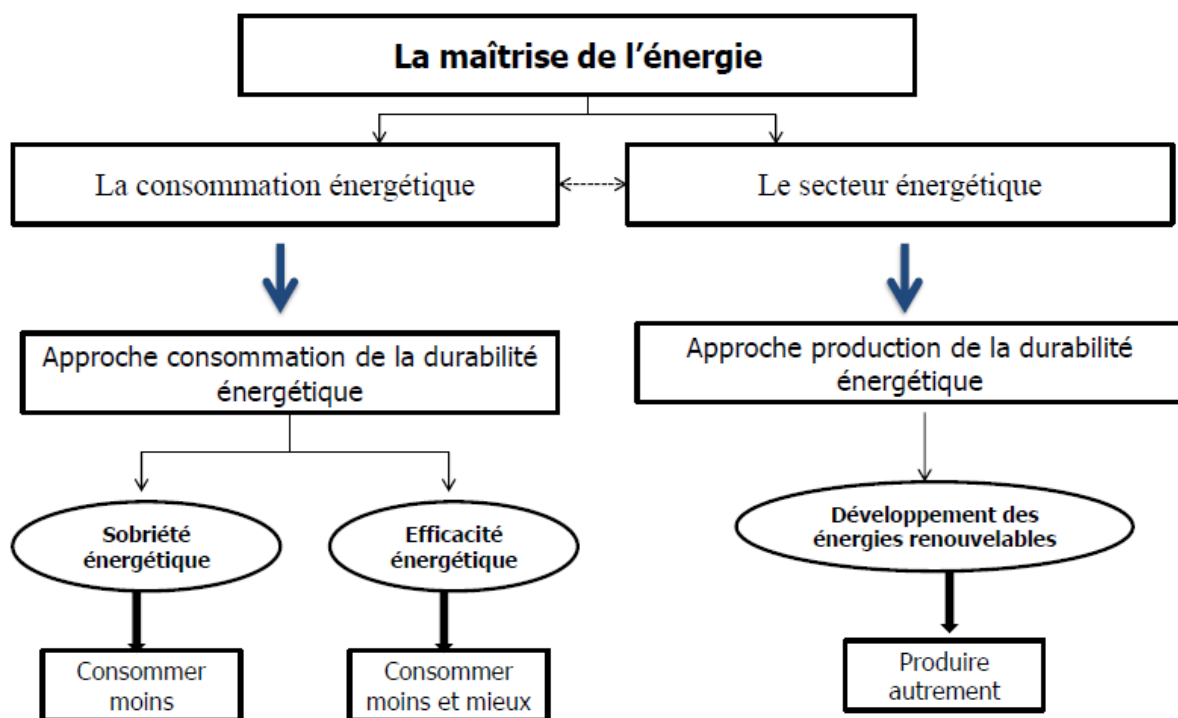


Figure I.4. La maîtrise de l'énergie au cœur de la durabilité énergétique

Source : élaboration de l'auteur

De point de vue épistémologique, l'utilisation du concept d'**utilisation rationnelle de l'énergie** "URE" et du concept de la consommation d'énergie pose un problème d'ordre technique malgré que les deux approches sont néanmoins intéressantes et complémentaires. L'URE fait référence à une rationalité ou à une culture qui fait défaut aujourd'hui mais qu'on cherche à l'intégrer dans nos modes de consommation. A l'encontre, la consommation d'énergie est révélatrice d'un paradoxe: elle passe par un marché imparfait. En effet, l'URE est "ce à quoi on veut arriver ?", une question assez simple mais dont la réponse est difficile posant ainsi le problème de la multiplicité des rationalités.

Techniquement, le concept d'URE vise à optimiser l'usage des ressources énergétiques en faisant le choix des solutions qui optimise la consommation (consommer moins et mieux) et la dépense énergétique²⁷ à savoir l'utilisation des équipements énergétiquement efficaces, des infrastructures énergétiquement efficaces, les matériaux et services ayant un faible contenu énergétique, agir sur les comportements,

Ces solutions gravitent tous autour de l'approche consommation de la durabilité énergétique, peuvent être classées selon deux principes fondamentaux : Le principe de Sobriété et le principe de l'efficacité.

a) Principe de Sobriété (*energy sufficiency*)

La sobriété énergétique « *consiste à interroger nos besoins puis agir à travers les comportements individuels et l'organisation collective sur nos différents usages de l'énergie, pour privilégier les plus utiles, restreindre les plus extravagants et supprimer les plus nuisibles* » (négaWatt, 2010). Il s'agit de définir les besoins réels et d'agir sur les comportements vers une diminution absolue de la consommation d'énergie (Salomon et al., 2005 ; Alcott, 2008 ; Herring, 2009). Au titre de la sobriété, on trouve bien entendu les comportements individuels quotidiens, comme par exemple le choix du mode de transport de proximité (à pied, en vélo, en transports en communs, en voiture) ou les comportements d'achat (4*4 contre petite voiture économe, etc.) mais aussi l'organisation collective (les quartiers piétonniers, les ramassages scolaires, le maintien des commerces de proximité, etc.) et les choix d'infrastructures.

b) Principe de l'efficacité (*energy efficiency*)

L'efficacité énergétique « *consiste à agir, essentiellement par des choix techniques en remontant de l'utilisation jusqu'à la production, sur la quantité d'énergie nécessaire pour satisfaire un service énergétique donné* » (négaWatt, 2010). Dans un sens plus général, l'efficacité énergétique se définit comme une consommation en énergie moindre pour le même service rendu. Elle est définie comme « *le ratio entre le service énergétique produit et la quantité d'énergie utilisée pour le produire* » (Lovins, 2004). Plus l'option (les

²⁷ **La dépense énergétique** comprend l'énergie consommée pour le service voulu (se chauffer, se déplacer, mener ses diverses activités), mais également celle contenue dans les objets, matériaux ou services utilisés, ainsi que les dépenses induites pour le futur c'est-à-dire l'énergie qui a été consommée tout au long de leur cycle de vie.

modifications techniques à savoir amélioration d'un procédé industriel, cogénération,) est efficace, plus elle réduit la consommation d'énergie finale pour un même service énergétique.

Il est important de signaler que ces terminologies ne présentent pas un consensus parfait à l'échelle internationale et même nationale malgré les éclaircissements avancés. Certains distinguent l'efficacité énergétique, qui résulterait de comportements humains (ex. éteindre la lumière en sortant d'une pièce), de l'efficacités énergétique, qui résulterait de modifications techniques (ex. ampoule basse consommation, cogénération...). La seule argumentation dans ce sens est que séparer l'efficacité et l'efficacités énergétique est artificiel puisque tout changement comportemental reste le résultat ou la cause d'une modification technique. Aussi, dans les politiques européennes, l'« efficacité énergétique » n'est qu'un nouveau terme à la mode pour désigner les « économies d'énergie ».

Toutefois, le principe de l'efficacités énergétique comme un levier fondamental de la transition énergétique²⁸, consiste à élaborer des politiques et à mettre en œuvre des mesures et des moyens permettant de modifier les conditions de la consommation d'énergie dans toutes les activités économiques et sociales en consommant moins et mieux en généralisant l'éco-conception de ses produits et équipements avec un mix-énergétique intégrant par exemple des équipements à haute performance énergétique. D'une manière plus précise, l'objectif des solutions d'efficacités énergétique est d'obtenir une meilleure réponse aux besoins du développement avec une consommation de produits énergétiques bien inférieure à celle résultant des pratiques actuelles d'une part, et un recours à des technologies performantes pour éviter tout gaspillage dû à une prestation inutile.

II. Le transport durable : repères théoriques

Le transport représente un vecteur fondamental de l'approche sectorielle de développement durable. Il est à la fois le principal vecteur de développement et de « mal » développement.

²⁸ **La transition énergétique** désigne le passage d'un modèle énergétique basé sur les énergies fossiles à un nouveau paradigme, celui de développement dé-carboné en faisant appel à l'efficacités énergétique la diversification des sources d'énergie, la réduction de la consommation et réduction des émissions de CO₂.

1. Transport et développement durable

Le transport pose de graves problèmes au regard des trois principaux axes du développement durable.

a) Transport et économie

Partant de sa définition la plus élémentaire, le transport constitue une activité de production dont le capital est constitué par les infrastructures et les véhicules et les produits sont les trafics et la qualité de service. Il est indispensable pour l'économie et son expansion pour chaque génération. Le bon fonctionnement du système²⁹ du transport conditionne de nos jours le succès de tout le système économique, ainsi que tout le système social. Il permet les relations entre personnes et unités de production, participant ainsi au développement économique (Huybrechts, 1971)³⁰. L'insuffisance des moyens de transport constitue des goulots d'étranglement difficilement surmontables. Le transport engendre des modifications de l'équilibre social à travers l'accroissement de phénomène d'exclusion spatiale, la dégradation de la qualité de vie dans les zones congestionnées,...

Hypothèse 1 : Les systèmes de transport devraient offrir des services et des installations rentables et abordables financièrement pour chaque génération et soutenir une activité économique durable et dynamique.

b) Transport et société

Les systèmes de transport sont, à la fois la condition et le résultat des relations sociales car ils créent le cadre spatial et temporel des échanges entre les acteurs et forment ainsi la base de toute société. Le système de transport ont un caractère structurant de l'espace et constituent avec excellence un élément essentiel de l'aménagement du territoire. En effet, les transports modifient la géographie physique et humaine par l'organisation des villes et les localisations industrielles (Mirabel, 1999). Ils présentent le nœud fondamental du cercle vicieux du déclin urbain (Le Roux, 2008).

²⁹ Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisée en fonction d'un but : il repose sur une structure et une activité et doit être finalisé et ouvert.

³⁰ « La réalité entre l'utilisation optimale des facteurs et la mise en valeur des ressources naturelles d'une part et le progrès des transports de l'autre part est évidemment symétrique, le développement économique peut se mesurer au volume des transports » (Huybrechts, 1971).

Hypothèse 2: Les systèmes de transport devraient répondre aux besoins fondamentaux des humains : santé, confort, commodité, sécurité... Ils devraient être en harmonie avec l'aménagement du territoire en brisant d'une part le cercle vicieux du déclin urbain et mettant en cause le paradoxe énergétique d'urbanisation.

c) Transport et environnement

Alors que le transport constitue un vecteur important de croissance économique, il présente divers externalités négatives³¹ (Santos et al., 2010) qui affectent l'utilisateur, la collectivité, l'économie et surtout l'environnement.

« Les transports sont tout particulièrement questionnés par le développement durable car ce sont les mauvais élèves de l'environnement » (Joumard, 2005). Les externalités négatives du transport sont nombreuses. On note la pollution acoustique, la pollution atmosphérique (Timilsina et Shrestha, 2009 ; Hwang, 2010 ; Ong et al., 2011), la congestion, les accidents, la pollution de l'eau, la pollution du sol, l'occupation de l'espace... La plupart de ces externalités sont dues essentiellement au mix énergétique encore fortement dépendant des énergies fossiles caractérisant le secteur du transport vu la prédominance de l'automobile privée.

Hypothèse 3: Les systèmes de transport devraient prendre en compte et évaluer les externalités et les coûts qui en découlent affectant l'utilisateur, la collectivité, l'économie et l'environnement. Ils devraient utiliser rationnellement les sources d'énergie et produire une quantité d'émissions et de déchets qui ne dépassent pas la capacité de la planète.

2. Nécessité d'un transport durable

Plusieurs travaux et discours scientifiques et politiques ont été basés sur le développement d'outils et solutions pour résoudre les problèmes de transport et assurer par conséquent, **un transport durable** (Ediger et al., 2007 ; Santos et al., 2010).

Le transport durable est un aspect de la durabilité mondiale. La Conférence Européenne des Ministres Transport (CEMT) retient une perception proche de celle du rapport Brundtland, en reprenant notamment les trois piliers traditionnels du développement

³¹ On parle d'**externalité négative** lorsqu'un acte (ou une décision) d'un agent économique entraîne un effet négatif sur un autre agent économique qui ne prend pas part à cet acte. Il s'agit de déséconomie externe. L'existence d'une externalité négative suppose deux conditions. La première est que l'activité d'un agent impose une perte de bien-être à un autre agent. La deuxième suggère que cette perte de bien-être n'est pas compensée (absence de transaction).

durable. Le transport durable doit « contribuer à la prospérité économique, au bien être social, et ce sans nuire à l'environnement et à la santé de l'homme » (CEMT, 2004).

L'intégration du développement durable dans les transports au niveau européen, s'est renforcée avec le livre blanc, intitulé : « *La politique des transports à l'horizon 2010: l'heure des choix* » (2001) qui a soulevé principalement trois difficultés majeures du secteur de transport à savoir la croissance inégale des différents modes de transport, le phénomène de la congestion et des nuisances à l'égard de l'environnement et de la santé des citoyens.

Dans cette optique et en se référant à la définition initiée par le conseil européen des ministres des transports (2001), « *Un système de transport durable est :*

- *Un système grâce auquel les individus, les entreprises et les collectivités peuvent satisfaire leurs besoins fondamentaux en matière d'accès et de développement en toute sécurité et d'une manière compatible avec la santé de l'homme et des écosystèmes, et un système qui favorise l'équité au sein de chaque génération et entre les générations successives;*
- *Un système financièrement abordable, qui fonctionne équitablement et efficacement, offre le choix du mode de transport et soutient une économie concurrentielle ainsi qu'un développement régional équilibré;*
- *Un système qui limite les émissions et les rejets en respectant la capacité de la planète à les absorber, qui utilise les ressources renouvelables à leur taux de reconstitution ou en-dessous et les ressources non renouvelables en fonction du rythme de développement de substituts renouvelables ou en-dessous, tout en ayant une incidence minimale sur l'utilisation des terres et la production de nuisances sonores.»*

Plus finement, pour le centre Canadien pour un transport durable (2002)³², leader sur ces réflexions, le transport durable doit « *permettre de répondre aux besoins en transport des personnes et des collectivités et ce en toute sécurité et de façon à respecter la santé des humains et des écosystèmes, ainsi qu'avec équité parmi les générations et entre celles-ci ; être abordable et efficace, offrir le choix du mode de transport et appuyer une économie dynamique ; restreindre les émissions et les déchets afin de respecter la capacité de la planète d'absorber ceux-ci, réduire au minimum la consommation des ressources non*

³² Le centre pour un transport durable, «Définition et vision du transport durable », Canada, octobre 2002.

renouvelables, réutiliser et recycler les composants employés et réduire au minimum l'utilisation du sol et la production de bruit ».

D'une manière synoptique, le transport durable a quatre objectifs :

- 1) **Accroître l'accessibilité³³ en améliorant la mobilité, le choix et la sécurité** : Le transport durable doit permettre à tous les habitants d'accéder facilement au transport en contre partie des coûts acceptables en assurant l'offre des modes de transport pratiques, confortables, sûrs, efficaces et bien intégrés ;
- 2) **Intégrer la durabilité à la planification des transports et à l'aménagement du territoire** : Le lien étroit entre l'aménagement du territoire et les transports est indiscutable. En effet, l'aménagement du territoire a un effet sur le choix de modes de transport, car il influence le nombre de déplacements et leur durée. Il est clair que l'emplacement et la nature de l'infrastructure de transport ont une incidence considérable sur l'avenir à long terme d'une région. Il peut être difficile de trouver un équilibre entre le maintien de réseaux de transport suffisamment vastes pour répondre aux besoins des particuliers et des entreprises, d'une part, et le désir de limiter l'étalement, d'autre part. Dans cette lignée, le transport durable encourage l'intégration de la durabilité à la planification de l'infrastructure afin de trouver un équilibre entre les besoins en matière de transport et de gérer l'étalement urbain ;
- 3) **Développer une approche d'évaluation des coûts environnementaux et sociaux** : Le transport durable vise à élaborer une approche rigoureuse servant à évaluer les coûts et les avantages sociaux, environnementaux et économiques à long terme. Cette approche permet d'internaliser les externalités en intégrant la durabilité au processus d'évaluation environnementale et de lutter ainsi contre les changements climatiques en réduisant les émissions produites par le secteur des transports et se préparer aux effets potentiels de ces changements;
- 4) **Axer la culture sur la durabilité** : Le transport durable cherche en premier lieu à faire participer tout les acteurs concernés et à les sensibiliser constamment aux avantages des pratiques du transport durable et surtout à l'utilisation valorisante des ressources (Rouxel et Rist, 2000).

³³ L'accessibilité est la capacité d'accéder à des biens, des services, des activités et des destinations sans supposer un mode de transport précis.

C'est dans ce sens que le concept de **la mobilité³⁴ durable³⁵** a vu le jour. En fait et par analogie avec le traitement du développement durable dans l'Agenda 21, la mobilité durable comprend l'intégration des aspects sociaux, écologiques et économiques dans les transports (Vanoeteren et De Bruyn, 2004)³⁶. « *La mobilité durable est considérée comme une des clés pour réussir à concilier les besoins et les attentes de mobilité (présents et futurs) avec les impératifs d'équité, de justice sociale et de sauvegarde de l'environnement* » (Pini et al., 2000). Elle consiste à assurer l'accessibilité aux territoires et satisfaire la liberté de mouvement et de déplacement des individus à court et long terme à travers un arbitrage équitable entre les sphères environnementales, sociales et économiques du développement.

Le transport constitue un élément vital des activités économiques et sociales. Il contribue à la création de la valeur ajoutée et joue un rôle primordial dans le fonctionnement des industries et dans la mobilité de la population. Le maintien de ce rôle implique une utilisation efficiente des ressources, en particulier les ressources non renouvelables sans affecter en conséquence la satisfaction des besoins des usagers, mesurée généralement par l'acceptabilité³⁷ sociale.

Section 3 : Développement théorique de transport routier énergétiquement durable : Du concept aux dimensions

Actuellement, la consommation énergétique constitue un défi pour le transport routier durable pour deux raisons fondamentales : la première est liée aux pressions environnementales auxquelles il conduit. La seconde renvoie à l'insuffisance des politiques

³⁴ Il est à noter qu'il est fortement nécessaire d'éviter la confusion entre le concept de la mobilité et le concept de transport. Le transport constitue la dimension technique du transport. La discipline transport était du ressort des sciences de l'ingénieur. Puis, petit à petit, on a assisté à l'enrichissement de cette discipline grâce à la socio-économie des transports dont la vocation principale était l'optimisation des coûts de transports et l'évaluation des externalités. Le concept de la mobilité constitue le fruit de toute une évolution des recherches menées par des sociologues, des psychosociologues, voire des philosophes. Dans ce sens, les réflexions menées ont mis l'accent sur la dimension sociale de la mobilité en cherchant à comprendre les conditions sociales et psychologiques du déplacement aussi bien que sa valeur culturelle.

³⁵ La mobilité durable est un processus évolutif et spécifique d'une entité géographique dont les objectifs prioritaires et les moyens doivent évoluer constamment en fonction de changements économiques, sociaux et technologiques engendrés par le processus de développement (Reniers et al., 2000)

³⁶ The centre for sustainable Transportation, « Définition et vision du transport durable », p.6.

³⁷ L'acceptabilité est la capacité d'un système à être admis dans un processus de travail ou dans le processus de prise de décision.

qui cherchent uniquement à réorienter les modes de production vu que l'augmentation de la productivité des ressources est en partie annulée par la modification des comportements du consommateur.

I. Transport énergétiquement durable : enseignements théoriques

Il est à signaler qu'il ya une incomplétude notable dans la réflexion sur la durabilité énergétique des transports dans la littérature et l'étude des interactions entre deux concepts reconnus à savoir le développement énergétique durable et le transport durable. L'équation à résoudre consiste à chercher la combinaison optimale entre le fait de consumer moins et/ou mieux comme finalité du développement énergétique durable d'une part, et de transporter moins et/ou mieux comme finalité du transport durable d'autre part.

1. Conceptualisation du transport énergétiquement durable

Il existe fortement un intérêt théorique et managérial à enrichir mutuellement et regrouper ces deux facettes de la durabilité (le développement énergétique durable et le transport durable) sous un même concept polémique, celui du transport énergétiquement durable, « trop » interdisciplinaire en liant le triplet développement durable -énergie- transport (Lund et al., 2008; Shunping et al., 2009; Ong et al., 2012). C'est peut-être au croisement que se situe le développement durable le plus prometteur.

En outre, la liaison de ceux thématiques de la durabilité n'est pas évidente. Si les acteurs de l'énergie se soucient de plus en plus du transport durable, les responsables des transports n'intègrent pas dans leurs premières préoccupations la durabilité énergétique. Les enseignements issus d'un tel rapprochement théorique entre ces deux concepts sont multiples et ouvrent la voie vers des investigations empiriques de valeur.

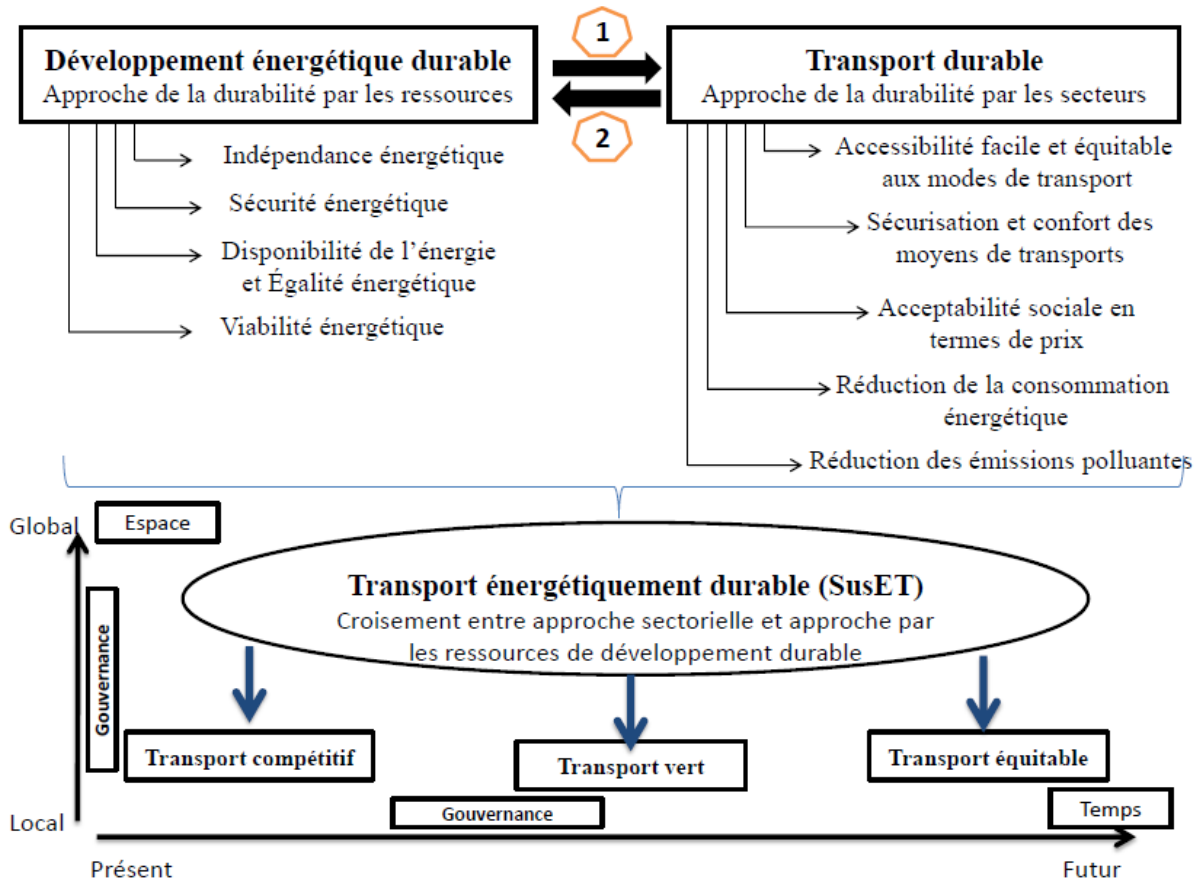


Figure I.5. Conceptualisation du transport énergétiquement durable

Source : élaboration de l'auteur

Au-delà de leur rapprochement, la question du sens d'interaction entre ces deux concepts est problématique. Les questionnements peuvent être résumés sous les deux hypothèses suivantes:

- ✓ une approche plus centrée sur *le développement énergétique durable comme étant une stratégie parmi d'autres du transport durable (sens 1)*.
- ✓ et une approche plus centrée sur *le transport durable comme une option sectorielle pour le développement énergétique durable (sens 2)*.

Dans sa conception la plus courante, **la durabilité de système de transport passe par une stratégie efficace de maîtrise d'énergie afin de réduire la consommation d'énergie fossile ainsi que les émissions de polluants et du gaz à effet de serre (sens 1)**. Le transport durable est perçu en tant qu'un processus sommatif d'un ensemble de projets (sociaux et économiques) et d'un ensemble de contraintes (environnementales, énergétiques, géographiques/physiques, etc.). La prise en compte du développement énergétique durable se

limite à une formalité procédurale (études de la consommation énergétique et son impact sur l'environnement). Toute politique et / ou stratégie de transport durable doit prendre en compte les exigences de la durabilité énergétique.

De même, **le transport durable est perçu en tant qu'une option de développement énergétique durable (sens 2)**. Il participe, oriente et accompagne le développement énergétique durable de la ville. Les stratégies énergétiques sectorielles sont l'enveloppe de toute durabilité énergétique. Cette dernière n'est qu'un ensemble d'inspiration dont les champs d'application sont divers et complémentaires.

Bien évidemment, une multitude d'acceptations sont possibles entre les deux concepts. D'une manière plus large, le développement durable questionne essentiellement la croissance des flux de trafic pour que le transport soit durable, mais qui ne peut être durable vu les niveaux très élevés des consommations énergétiques induites par le secteur. L'adoption d'une approche consensuelle et intégrée, plutôt qu'une approche partielle et indépendante, consiste à retenir le développement énergétique durable comme étant à la fois la cause et la conséquence du transport durable. Dans cette perception, le transport énergétiquement durable présente à la fois un état d'esprit, une façon de faire, une philosophie de développement et une finalité en soi. Il cherche une certaine continuité et une certaine homogénéité de développement durable (par secteur et par ressource).

2. Dimensions du transport énergétiquement durable

Il ressort donc de ce rapprochement une clarification théorique se résumant principalement dans la définition des dimensions de transport énergétiquement durable. Pour cela, et dans un objectif de facilitation, cet exercice de modélisation conceptuelle vise à énoncer les éléments de chaque dimension du transport énergétiquement durable SusET (Sustainable Energy Transport). La réflexion est alors de croiser les dimensions de développement énergétique durable avec ceux de transport durable pour aboutir à une nouvelle représentation.

En cela, **le transport compétitif est vu comme la réponse économique du SusET, le transport vert comme réponse environnementale et le transport équitable comme réponse sociale**. Dans cet ordre d'idée, l'objectif est d'aboutir à une représentation d'un SusET permettant facilement d'avoir les éléments à configurer, voire à reconfigurer pour

assurer la durabilité énergétique dans les transports. L'investigation en ce sens permet de passer par la suite des dimensions aux indicateurs³⁸.

En tout état de cause, il nous paraît possible de relier les deux facettes de la durabilité. Dans cette perspective, nous proposons le découpage suivant :

- ✓ La dimension économique du SusET renvoie particulièrement au *transport compétitif*.
- ✓ La dimension environnementale du SusET converge avec le *transport vert*.
- ✓ La dimension sociale du SusET trouve place dans un *transport équitable*.

a) Le transport compétitif comme réponse à la dimension économique du SusET

L'exécution d'un SusET dans sa dimension économique repose sur les enseignements suivants³⁹:

- La disponibilité de l'énergie, moteur du système de transport, pour soutenir l'activité économique mais en préconisant la solution d'un « découplage » entre la croissance économique et la croissance de la demande de transport.
- Le mix énergétique dont la structure est sans énergie fossile et dont la politique du prix est conçue en se basant sur des critères objectifs avec acceptabilité sociale.
- La disjonction entre la consommation énergétique et la croissance du secteur en termes de création de la valeur ajoutée pour garantir une compétitivité sans dépendance énergétique.
- Le marché parfait de l'énergie en évitant le transport informel et les économies non enregistrées.
- La maîtrise de développement des infrastructures de transport en brisant le cercle vicieux d'étalement urbain et en mettant en cause le paradoxe énergétique de l'urbanisation.

b) Le transport vert comme réponse à la dimension environnementale du SusET

La volonté à agir « vert » ou la « pensée verte » n'est pas nouvelle. L'aspect vert du transport s'identifie à travers une conception verte du système du transport et la mobilisation

³⁸ Cette investigation fera l'objet du troisième chapitre de la thèse.

³⁹ Ces enseignements seront détaillés dans les paragraphes suivants, objet du concept de transport routier énergétiquement durable.

des activités vertes de transport. En effet, la réflexion sur le transport vert s'articule autour de deux points fondamentaux :

- La conception d'un système transport dont sa croissance ne soit pas corrélée avec les émissions de polluants et dont les coûts environnementaux sont évalués et internalisés ;
- Le recours aux technologies propres économes en énergie et peu polluantes.

c) Le transport équitable comme réponse à la dimension sociale du SusET

Les dimensions humaines sont au centre du SusET. De fait, il devient maintenant opportun de clairement identifier un transport équitable. Sur ce plan, il convient de ne pas oublier l'importance de :

- l'amélioration de l'accès à l'énergie aux personnes, aux biens et aux services d'une manière équitable et à prix abordables pour garantir l'accessibilité au transport, mais en cherchant à réduire la demande de déplacement surtout dans le présent contexte caractérisé par la prépondérance de phénomène de la voiture particulière ;
- d'une culture d'énergie commune se fondant sur les stratégies de la maîtrise de l'énergie, sur toutes les échelles spatio-temporelles.

II. Vers un transport routier énergétiquement durable

Les implications du transport énergétiquement durable sont plus fortes dans le mode routier vu sa complexité en termes de découpage d'une part, et sa spécificité en termes de pratiques⁴⁰ et de phénomènes⁴¹ qui le caractérisent d'autre part.

1. Conceptualisation du transport routier

D'une manière générale, un mode de transport se définit par une technique spéciale et uniforme de propulsion de l'engin par rapport à l'infrastructure : Il s'agit de la transformation d'une source d'énergie en mouvement. La performance d'un mode de transport dépend

⁴⁰ Une pratique est le fait d'exercer une activité particulière, de mettre en œuvre les règles, les principes d'un art ou d'une technique. Il s'agit d'une manière habituelle d'agir, un comportement habituel.

⁴¹ Un phénomène est un fait observé, susceptible d'étude scientifique, et pouvant devenir un sujet d'expérience. Il s'agit d'une personne ou chose qui se fait remarquer par son caractère extraordinaire, singulier et exceptionnel.

principalement de l'articulation entre trois composants : le véhicule, l'infrastructure⁴² et les techniques d'exploitation :

- **Les infrastructures** de transport appartiennent le plus souvent à la puissance publique qui en concède l'exploitation pour en livrer l'usage aux particuliers ;
- **Les véhicules** appartiennent soit à des entreprises publiques ou privées (les transporteurs), soit à des agents économiques quelconques ;
- **Les techniques d'exploitation** d'un mode du transport renvoient conjointement à l'exploitation des infrastructures et celle des véhicules⁴³. Elles s'attachent principalement à la tarification. Il est intéressant de distinguer dans ce sens entre le coût de transport qui est le prix de revient de l'opération de transport⁴⁴ soit pour le transporteur (coût privé), soit par la collectivité (coût social) d'une part, et le prix de transport⁴⁵ qui est le prix de vente⁴⁶ du service de transport offert à l'usager d'autre part.

Classiquement, l'analyse modale distingue trois principaux modes : le transport terrestre englobant le transport routier et le transport ferroviaire, le transport maritime et le transport aérien. Parlant du mode routier, il présente une particularité extrême par rapport aux autres modes :

- Il a plus d'importance de point de vue historique⁴⁷, social⁴⁸, économique⁴⁹, politique⁵⁰, géographique⁵¹ et environnemental⁵² ;

⁴² L'ensemble des infrastructures utilisées par un même mode de transport sur un territoire donné constitue un réseau de transport.

⁴³ Cette distinction se fonde sur un grand nombre de différences : différence dans les durées de vie, différence au niveau de construction et de gestion,...

⁴⁴ Une opération de transport est un déplacement d'hommes (voyage) ou de biens (expédition) sur un itinéraire équipé à cet effet.

⁴⁵ Les frais de transport représentent la somme payée par l'expéditeur ou le voyageur pour un acheminement donné : c'est le produit du prix de transport par le volume de transport.

⁴⁶ Ce prix s'intitule tarif s'il est fixe et correspond à un barème publié, sinon c'est un fret.

⁴⁷ Le transport routier contribue avec excellence à la croissance des civilisations et au développement culturel et politiques de sociétés.

⁴⁸ Le transport routier facilite l'accès aux services et façonne les villes et les régions.

⁴⁹ Économiquement, le transport routier est un moteur catalyseur de développement en participant fortement au développement des activités.

- Le transport routier constitue un champ pluridisciplinaire au croisement de plusieurs domaines de vie, pratiques et phénomènes ;
- Il présente une complexité et une dynamique plus grande en termes de planification⁵³ vu la pluralité d'intervenants dans le processus de prise de décision (*plusieurs acteurs*), contradiction d'intérêts avec d'autres domaines tels que l'aménagement du territoire (*plusieurs priorités*), problème de gouvernance (*plusieurs niveaux décisionnels*), multiplicité de perceptions et d'attitudes (*plusieurs réalités*), irréversibilité de la décision à cause de l'importance de fonds et l'horizon lointain d'impacts (*plusieurs échelles temporelles et spatiales*) ;
- La formulation stratégique du transport routier manque souvent de clairvoyance et d'assurance en termes d'arbitrage entre ses effets positifs et négatifs.

Outre les spécificités présentées précédemment, le transport routier se distingue par la multiplicité de découpage :

- le découpage spatial en distinguant entre **les déplacements urbains**⁵⁴, **interurbains**⁵⁵ et **internationaux** ;
- le découpage fonctionnel selon le nombre de personnes transportées en distinguant entre les transports **routiers individuels**⁵⁶ et **les transports routiers collectifs**⁵⁷ ;

⁵⁰ Sur le plan politique, le transport routier présente une forte implication des gouvernements surtout en termes d'investissements.

⁵¹ Le transport routier assure les liaisons et les connexions ce qui influe positivement sur l'accessibilité.

⁵² Sur le plan environnemental, le transport routier a un coût environnemental à ne pas négliger, surtout en termes d'exploitation des ressources naturelles et pollution.

⁵³ La planification consiste à fixer de façon volontariste des objectifs et à engager les moyens correspondants (Acknoff, 1973).

⁵⁴ Le transport urbain est effectué entre deux points situés à l'intérieur du périmètre du transport urbain. Ce dernier peut être le périmètre communal, le périmètre d'un ensemble de communes adjacentes ou une limite dépassant les deux, fixée par arrêté.

⁵⁵ Le transport interurbain englobe le transport régional et le transport interrégional. Il est à signaler dans ce sens que le transport régional dépasse le périmètre de transport urbain sans dépasser les limites de la compétence territoriale de l'autorité régionale organisatrice des transports terrestres.

⁵⁶ C'est le cas où une seule personne utilise, pour son déplacement, outre les transports non motorisés (marche à pied, vélo,...), un moyen de transport particulier et pour son propre compte tels que l'automobile privée, les taxis publics.... La voiture particulière représente le mode de transport individuel le plus émergeant.

⁵⁷ Les transports routiers collectifs ou en commun, consiste à transporter plusieurs personnes ensemble sur un même trajet. Ils incluent tous les moyens de transport routier en commun dont à titre d'exemple les bus, les services réguliers publics tels que les transports scolaires, etc. Il est généralement accessible en contrepartie d'un titre de transport (billet, ticket, carte). Les transports collectifs regroupent des moyens qui sont destinés à la

- le découpage selon la nature du service rendu ou le domaine d'activité en distinguant entre **le transport routier de personnes**⁵⁸ et **le transport routier de marchandises**⁵⁹.

Dans ce travail, nous adoptons un découpage mixte à la fois spatial, fonctionnel et selon les domaines d'activités, les moyens utilisés et le mode de gestion, comme présentée ci-après :

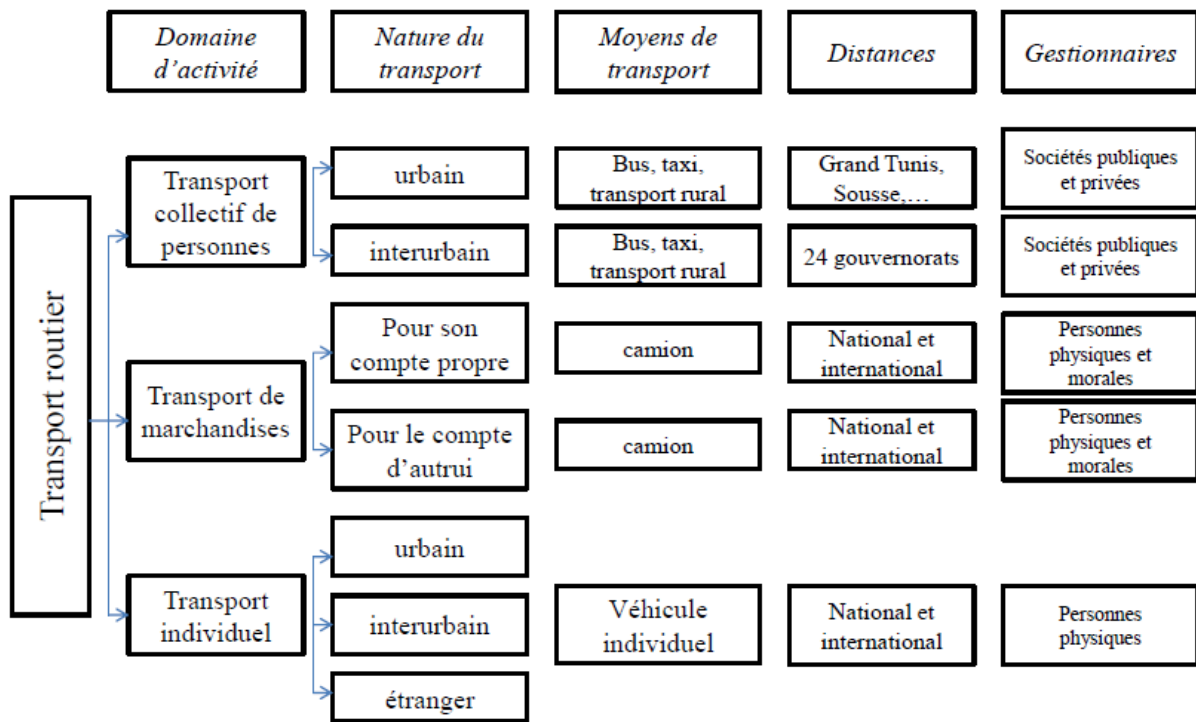


Figure I.6. Conceptualisation du transport routier en Tunisie

Source : Élaboration de l'auteur en se basant sur plusieurs lectures

collectivité. Cette catégorie de transports offre des services ouverts au grand public et dont toutes les informations (les trajets, les itinéraires, les points d'arrêt, les fréquences, les horaires et les tarifs) sont connues à l'avance.

⁵⁸ Selon la loi n°2004-33 du 19 avril 2004, le transport routier de personnes comprend :

- le transport public effectué à titre onéreux ou offert au public. Il peut être régulier, soumis à des horaires ou des fréquences, des tarifs, un itinéraire et des points d'arrêt préalablement fixés et publiés, ou non régulier ;
- le transport touristique réservé aux touristes ou assuré par un établissement touristique au profit de sa clientèle ;
- le transport privé.

⁵⁹ En Tunisie, le transport routier de marchandises est régi par la loi n°2004-33 du 19 avril 2004 qui distingue entre le transport pour le compte propre et le transport pour le compte d'autrui. Quant au premier type, il est réalisé par des personnes physiques ou morales pour leur propre compte sans avoir autorisation ou déclaration à condition que le transport de marchandises ne soit pas effectué à titre onéreux ou ne soit pas offert au public. Depuis 1992, ce genre de transport a été libéré quelque soit le nombre et la charge utile des véhicules. A l'encontre, le transport de marchandises pour compte d'autrui au moyen de véhicules dont le poids total autorisé en charge est supérieur à 12 tonnes, est soumis à un cahier de charges et à une déclaration préalable auprès des services compétents du ministère du transport.

Pour le transport collectif de personnes, il est assuré par des entreprises publiques et des opérateurs privés ayant conclu une convention de concession avec l'État. En Tunisie, les opérateurs publics sont de l'ordre de 12 sociétés régionales. Alors que pour les opérateurs privés, on distingue la société de transport collectif de voyageurs, la société de transport urbain de Tunis, la société de transport collectif, la société de transport urbain et suburbain. Outre les bus, ce genre de transport englobe :

- le transport urbain par voitures de taxi : il s'agit d'un transport non régulier comprenant le taxi individuel⁶⁰ et le taxi collectif⁶¹ ;
- le transport rural : il s'agit d'un transport non régulier assuré sur une ligne suivant un itinéraire fixé à l'intérieur d'une zone rurale⁶² au moyen d'une voiture offrant au maximum neuf places assises, y compris le chauffeur et dont le tarif est fixé à la place et calculé en fonction de la distance parcourue ;
- le transport par voitures de louage : la voiture de louage assure un service de transport de personnes sur une ligne suivant un itinéraire fixé reliant deux ou plusieurs périmètres de transport urbain au moyen d'une voiture offrant au maximum neuf places assises, y compris le chauffeur et dont le tarif est fixé à la place et calculé en fonction de la distance parcourue ;
- le transport par voitures de taxi « grand tourisme » : il s'agit d'un service de personnes assuré sans obligation d'horaire, à l'intérieur d'une zone déterminée pouvant couvrir tout le territoire, au moyen d'une voiture de grosse cylindrée offrant au maximum neuf places assises, y compris le chauffeur et équipée d'un taximètre.

2. Le transport routier énergétiquement durable : un engouement phénoménal

Le transport routier, plus que tout autre mode, dépend largement de ressources énergétiques. Il est également l'un des modes particulièrement visés par les critiques au nom de l'économie, de l'urbanisme et surtout de l'environnement. S'inscrire dans une logique du transport énergétiquement durable dans le mode de transport routier nécessite plus de rigueur

⁶⁰ C'est un service de transport de personnes effectué à l'intérieur d'un périmètre de transport urbain au moyen d'une voiture offrant au maximum cinq places assises, conducteur compris et équipé d'un taximètre permettant de déterminer le prix du voyage à la course.

⁶¹ C'est un service de transport de personnes effectué à l'intérieur d'un périmètre de transport urbain, sur une ou plusieurs lignes suivant un itinéraire fixé, au moyen d'une voiture non équipée d'un taximètre et offrant au maximum neuf places assises, y compris le chauffeur et dont le tarif est fixé à la place et calculé selon la distance parcourue.

⁶² On entend par zone rurale, toute zone non couverte par un périmètre de transport urbain.

vu le chevauchement de plusieurs pratiques et phénomènes rendant ainsi l'atteinte de cette finalité plus difficile.

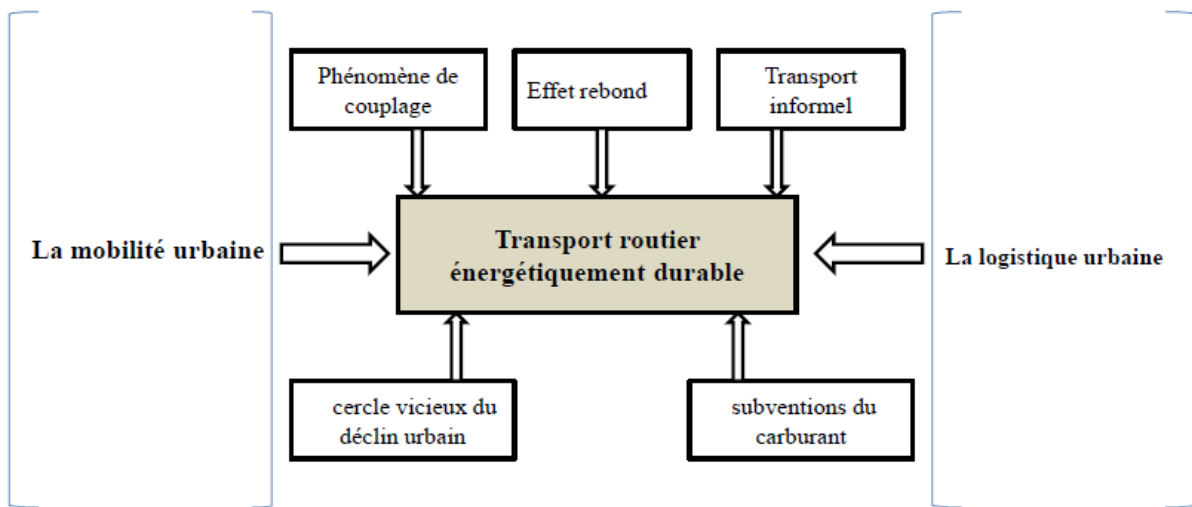


Figure I.7. Complexité de l'environnement du transport routier énergétiquement durable

Source : Élaboration de l'auteur en se basant sur plusieurs lectures

a) La consommation d'énergie dans le transport routier entre la mobilité individuelle et la logistique urbaine

La consommation d'énergie dans le transport routier est à la croisée de deux pratiques : la **mobilité urbaine** et la **logistique urbaine**.

La ville est complexe, la mobilité dans la ville l'est aussi. La ville est transversale, la mobilité l'est aussi. C'est de ceux deux arguments qu'on a assisté, il y a quelques années, à l'émergence du concept de mobilité urbaine qui repose sur la jonction entre le transport et l'urbain. Le fondement de ce concept revient principalement au fait que la réflexion sur la mobilité doit être intimement liée à la réflexion sur la ville, vu que le transport routier façonne la ville spatialement et socialement.

Aujourd'hui, le concept de mobilité urbaine renvoie à une approche intégrée des questions de transport et de développement urbain. L'analyse des déplacements dans la ville suggère une vision globale et systématique englobant les cinq dimensions suivantes:

- les transports urbains en s'intéressant aux conditions techniques du déplacement ;
- la structure urbaine à travers l'analyse de l'organisation des activités dans la ville;
- la société urbaine en étudiant les pratiques sociales dans la ville ;

- le paysage urbain en attribuant plus d'importance à la qualité des espaces ;
- les politiques urbaines en détaillant les mesures prises par les politiques pour organiser le développement urbain.

L'accessibilité urbaine, forte exigence d'une telle mobilité urbaine en assurant une forme d'équilibre entre les territoires de la ville et en évitant toute forme d'exclusion, repose principalement sur le mode routier. En effet, en favorisant l'accessibilité urbaine, on est devant une réalité incontournable qui se résume dans le phénomène de dépendance à l'automobile⁶³.

Dans l'autre facette, l'évolution a été dans le sens du passage de transport de marchandises à ce qu'on appelle aujourd'hui la logistique⁶⁴ urbaine. « Marchandises en ville », c'est une source de pollution et de conflit dans l'usage de la voirie. Ce postulat a conduit la réflexion vers la jonction entre la fonction transport-logistique et l'urbain et a fait émergé le concept de la logistique urbaine.

Jusqu'à aujourd'hui, ce concept est encore assez méconnu. Sa « *compréhension ne peut se faire par une simple analyse des flux de véhicules d'un point à un autre mais en suivant leur cheminement* » (Patier et Routhier, 2009). La logistique urbaine peut se traduire comme la façon et l'art d'acheminer dans les meilleures conditions les flux de marchandises qui entrent, sortent et circulent dans la ville. Elle relève d'un jeu d'acteurs multiples et d'une complexité de composantes diverses et interdépendantes.

Force est de constater que les livraisons en ville, dernier maillon de la chaîne logistique, sont le plus souvent assurées par camions. En effet, la logistique urbaine s'inscrit dans un contexte marqué par deux facteurs de déstabilisation d'origine consommation

⁶³ L'expression « **dépendance automobile** » est ancienne et date au moins des années 1970 (Carpenter, 1979). Heran (2001) postule que « *La consommation de carburant est un bon indicateur de la dépendance automobile* ». Actuellement, elle est devenue synonyme de ce que certains appellent de façon tout aussi vague le « **tout automobile** » ou encore « **l'automobilité** » (Kaufmann et Guidez, 1998). Pour Dupuy (1999), la dépendance automobile peut être définie précisément, et elle doit l'être en référence au « **système automobile** ».

⁶⁴ La logistique est un concept dynamique et multi facette. Il s'agit d'une « *technique de contrôle et de gestion des flux de matières et produits depuis leur source d'approvisionnement jusqu'à leur point de consommation* » (Magee, 1970). Aujourd'hui, on est face à 431 définitions de la logistique. Elle est perçue à la fois comme étant un ensemble d'activités à réaliser, un processus à respecter, une technique à utiliser, une fonction à accomplir, une stratégie à adopter, une démarche à suivre et un système à mettre en place.

énergétique : le changement climatique et la hausse des prix de l'énergie. Ce constat demeure largement archaïque dans les cas de véhicules mal remplis, des ruptures de charge et des retours à vide.

b) Le phénomène de couplage entre la consommation d'énergie dans le transport routier et la croissance économique

La croissance économique et la consommation routière d'énergie sont fortement liées. Plus précisément, cette consommation génère un trafic d'automobile, de marchandises et de transport en commun. Ce développement du trafic routier s'explique généralement par la nouvelle organisation de l'industrie, de la croissance des échanges, les faibles prix du transport routier, leur souplesse et d'une motorisation de plus en plus accrue (Livre Blanc de la Commission Européenne, 2001).

C'est le caractère évident de cette tendance séculaire à l'accroissement de la mobilité et croissance économique que de nombreux travaux rétrospectifs ont montré que la consommation d'énergie dans le transport routier est étroitement corrélée à la croissance économique (Crozet, 2009). C'est ainsi qu'est née **la notion de couplage** (coupling) entre la demande de transport, cause et résultat d'un processus de consommation énergétique, et la croissance économique postulant ainsi la relation d'induction de la demande de transports par la croissance économique (Schäfer et Victor, 2000 ; Joignaux et Verny, 2003; Schäfer et al., 2009).

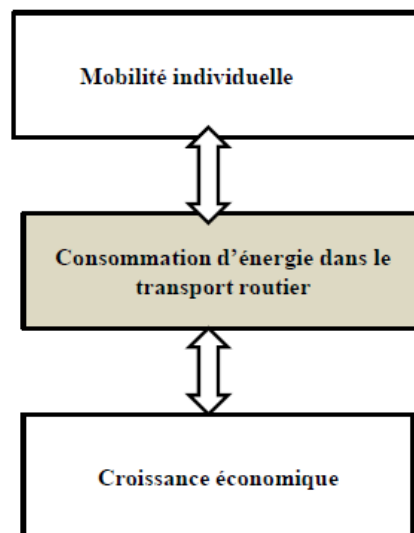


Figure I.8. Le phénomène de couplage entre la demande de transport routier et croissance économique

Source : Élaboration de l'auteur.

En effet, plusieurs études économétriques bien avancées ont montré que le parallèle entre la croissance économique et la consommation d'énergie dans le transport routier est un fait avéré. En outre, l'observation robuste et stable des tendances passées révèle une forte corrélation laissant croire à l'existence d'un lien consubstantiel entre consommation routière d'énergie et économie (Attia, 2006).

c) L'effet rebond dans le transport routier

Une analyse rétrospective de la notion de **l'effet rebond ou effet de « reprise »** (Chalkley et al., 2001) montre une pluralité de définitions. Elle peut être définie comme « *l'accroissement de la consommation d'énergie induite par la baisse du coût unitaire d'usage permis par le progrès technique* » (Berkhout et al., 2000). Autrement dit, il s'agit de la part de l'efficacité énergétique perdue par l'accroissement de l'usage. En outre, la baisse des consommations unitaires suite au progrès technique incorporé entraîne un accroissement du pouvoir d'achat à dépense constante, ce qui stimule et encourage davantage l'usage de l'appareil, entraînant ainsi une augmentation de la consommation finale d'énergie ex-post, malgré le recours à une technologie plus performante. Il en découle le corollaire suivant : les économies d'énergie initialement prévues par l'utilisation d'une nouvelle technologie sont le sujet d'une compensation partielle ou complète.

Comme il est mentionné dans la figure I.9, l'effet de rebond dans le transport routier peut être développé autour de deux paramètres différents, soit financier soit temporel.

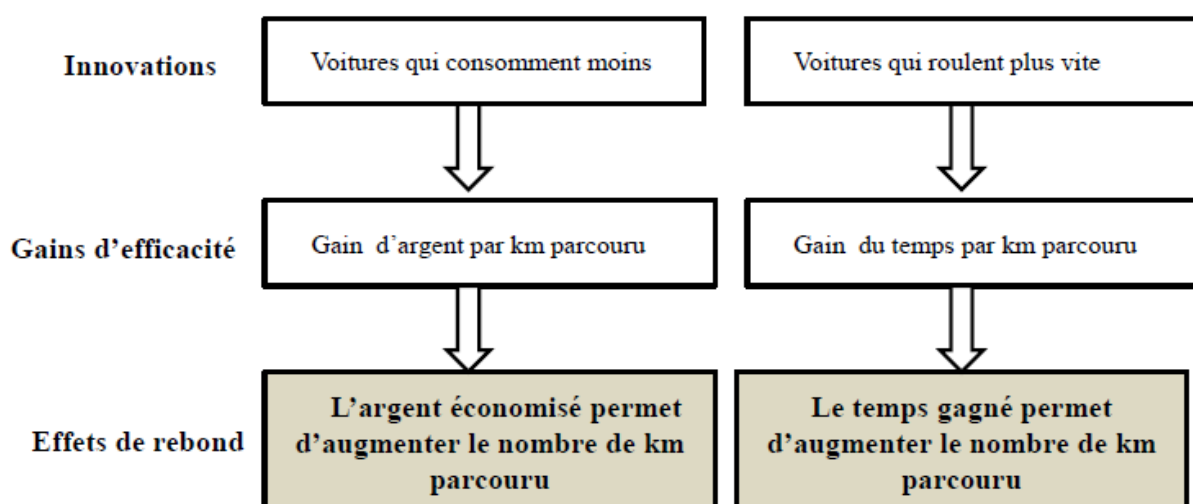


Figure I.9. L'effet de rebond dans le transport routier

Source : Élaboration de l'auteur en se basant sur plusieurs lectures

Dans le premier cas, l'effet de rebond est expliqué par deux dimensions :

- **L'effet prix** : le progrès technique se traduisant par le recours à des voitures plus performantes qui consomment moins du carburant, entraîne une augmentation du nombre de kilomètres parcourus par litre de carburant. Par conséquent, le coût du kilomètre parcouru baisse selon l'effet prix et le nombre de kilomètres parcourus augmente, ayant la possibilité de consommer plus de ce service, à budget temps et monétaire constant.
- **L'effet de revenu** : la baisse du coût unitaire du service engendre l'accroissement du pouvoir d'achat. Dans ce sens, à revenus constants, l'argent économisé grâce à une sobriété peut être réinvesti dans d'autres consommations et amener par là même un effet rebond. Ce pendant, l'effet revenu n'est pas prévisible en règle générale. Il reste l'effet ambigu et même de signe incertain car la modification du coût du service peut réallouer différemment les usages entre eux, soit à la hausse soit à la baisse.

En se basant sur la variable temporelle, Binswanger (2001) suggère que le temps gagné grâce aux technologies prometteuses en termes de vitesse permet de voyager plus loin.

d) Le phénomène d'étalement urbain

L'augmentation de la mobilité et de la consommation d'énergie qui en découle est liée à la forme des villes. En effet, le phénomène d'étalement urbain⁶⁵ et de développement de l'automobile⁶⁶ pèsent largement sur la consommation d'énergie. Plus la ville est dense moins la consommation d'énergie dans le transport est importante (Huzayyin et Salem, 2013). Inversement, plus la ville s'étalait, plus la consommation augmente. Ce postulat est reconnu sous **le concept de cercle vicieux de déclin urbain ou cercle vicieux de la dépendance à l'automobile.**

⁶⁵ Plus précisément, l'urbanisation a un impact essentiel sur surtout la mobilité contrainte, liée principalement aux déplacements domicile-travail. Les entreprises et les zones d'activités tendent à s'installer en périphérie, encouragée par les pouvoirs publics. L'habitat a changé de nature rendu accessible par la réalisation des infrastructures routières surtout les voies rapides. Avec ce phénomène d'urbanisation périphérique ou de périurbanisation, la mobilité devient individualisée et motorisée.

⁶⁶ L'avènement de l'automobile a bouleversé le mode de développement des villes en passant de villes compactes axées sur la marche et les transports collectifs à des villes étalées.

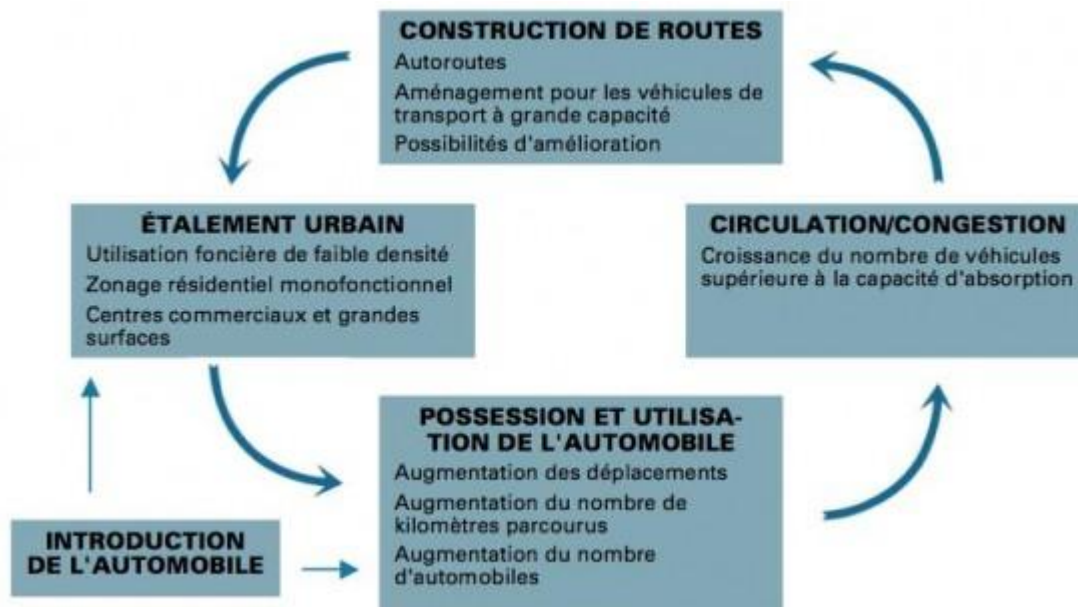


Figure I.10. Cercle vicieux du déclin urbain ou cercle vicieux de la dépendance à l'automobile

Source : Vivre en Ville, inspiré de Société de transport de Montréal, d'après Raad, 1998.

En effet, ce n'est qu'avec le développement des routes et l'avènement en masse de l'automobile que l'espace urbain a explosé. En conséquence, le tissu urbain s'est ainsi détendu et les distances de déplacement ont augmenté. Ce choix urbanistique engendre une congestion⁶⁷ accrue de routes existantes. Pour faire face à cette situation aussi préoccupante, la tendance de l'action publique était orientée vers l'augmentation de la capacité routière. Cette solution est critiquée dans le fait que l'investissement dans de nouvelles routes attirent de nouveaux développements et génèrent de nouveaux déplacements, qualifiés par la terminologie de la demande induite⁶⁸. En outre, la construction d'une autoroute en amène une autre et le problème reste toujours le même : un réseau congestionné et une motorisation accrue ce qui renforcent davantage le cercle vicieux de la dépendance à l'automobile. Ainsi, le schéma ci-dessus démontre bien ce lien cyclique entre la construction d'infrastructure et

⁶⁷ La congestion représente un phénomène très visible et sensible surtout dans les zones urbaines. Elle est définie comme étant « la gêne que les véhicules s'imposent les uns aux autres en raison de la relation existant entre la vitesse et l'écoulement du trafic dans des conditions où l'utilisation du système de transport se rapproche de la capacité de ce système » (conclusion de la table ronde 110, 1999). En présence de congestion, la vitesse des véhicules se réduit sensiblement, la consommation du carburant augmente et les conséquences environnementales sont perverses.

⁶⁸ La construction d'une route ou bien d'une autoroute, qui facilite le déplacement vers des zones urbaines éloignées, incitera les habitants à utiliser leurs automobiles pour leurs déplacements quotidiens. En effet, les infrastructures routières ont une grande influence sur l'étalement urbain, car elles permettent des liens rapides entre des endroits éloignés (Ascher et al., 1993).

l'étalement urbain qui mènera vers une nouvelle congestion, suivi de la construction d'une autre infrastructure. Cette saturation des axes routiers est alimentée par un double phénomène : la dépendance automobile pour les déplacements quotidiens surtout avec la mauvaise localisation des activités et de l'habitat et l'absence de dessertes par les transports collectifs d'une part, et l'augmentation des distances parcourus en raison de l'étalement urbain, d'autre part.

e) Le phénomène de transport informel

D'une manière générale, le **concept de secteur informel**⁶⁹, qualifié aussi dans la littérature par le phénomène d'économie souterraine, non enregistrée, non officielle, non structurée ou encore parallèle (Feige, 1990), a été émergé au début des années 1970, avec le lancement du programme mondial de l'emploi par le Bureau International du Travail en 1972. Il fait référence à toutes activités économiques non reconnues, non enregistrées, non protégées et non réglementées par les taxes fiscales (Hussmanns, 1997). Dans ce sens, le transport routier présente un cadre favorable pour le développement d'une multitude d'activités non enregistrées, connues sous la terminologie du **transport routier informel**. La prépondérance de ce phénomène est d'autant anarchique qu'il est dépourvu de toute identité et ne repose sur aucun référentiel.

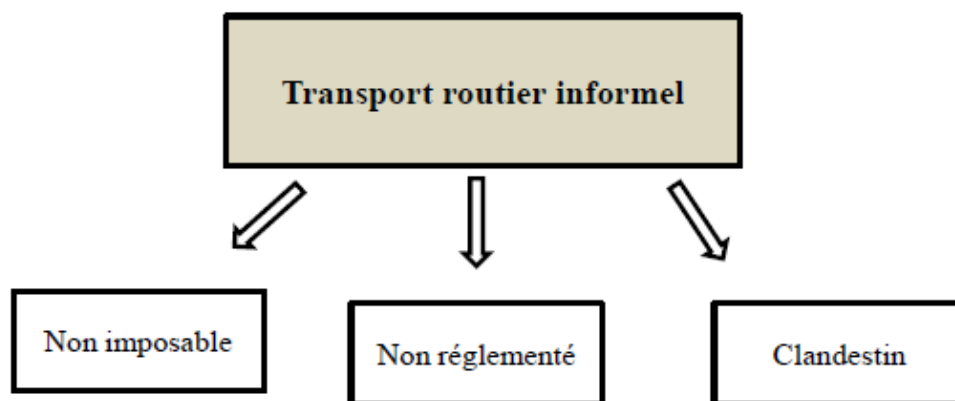


Figure I.11. Caractérisation du phénomène de transport routier informel

Source : Élaboration de l'auteur en se basant sur plusieurs lectures

⁶⁹ Le secteur informel, toutes unités ne tenant pas de comptabilité conforme à la loi, a des avantages et des inconvénients. Il offre de l'emploi d'une part, et s'échappe à toute régulation et protection de l'autre part. En effet, l'emploi informel est :

- Un moyen de subsistance de nombreuses personnes ;
- Un travail non déclaré qui ne protège pas suffisamment les travailleurs contre des divers risques: maladie, conditions de travail dangereuses et perte éventuelle de gains ;
- Une source de non équité sociale et d'insécurité.
- Un cadre favorable pour une mauvaise utilisation des ressources humaines et une perte d'efficience et de productivité.
- Une cause fondamentale d'externalités négatives non négligeables sur l'environnement.

De prime abord, la problématique du transport routier informel⁷⁰ a été traitée seulement d'une manière générale dans quelques études (Gbezo, 1999 ; Ichi, 2008). Elle fera l'objet d'une analyse détaillée dans le troisième chapitre.

f) Le phénomène de subventions du carburant

A l'échelle macro-économique, les politiques énergétiques et climatiques sont influencées fortement par la politique du prix adoptée. En effet, la connaissance de l'effet prix constitue un élément appréciable d'aide à la décision pour fixer la séquence des augmentations de prix correspondant aux économies d'énergie recherchées.

Dans le transport routier, le prix de l'énergie représente une part significative des coûts d'usage ou de coût global du déplacement en véhicules légers. En effet, la hausse de prix des carburants diminue la demande de transport, avec des variantes selon l'horizon. A court terme, elle réduit les vitesses routières, le nombre et la longueur des déplacements. A moyen terme, cela se traduit par une réduction du parc véhicules et une modification de la nature du parc. A long terme, les prix de l'énergie définissent les stratégies de localisation.

Cependant, la politique de prix souffre de plusieurs distorsions dans quelques pays, surtout en voie de développement. L'une réside dans **le phénomène de subventions du carburant**⁷¹. Selon Achy (2000), les subventions du carburant, bien qu'elles soient politiquement populaires, n'en posent pas moins trois problèmes :

- *«Les différentes études disponibles révèlent que les subventions universelles (non-ciblées) de carburant profitent davantage aux riches qu'aux pauvres».*
- *«En abaissant artificiellement les prix du pétrole, les subventions favorisent l'usage de technologies intensives en carburant et conduisent à un comportement de surconsommation».*
- *«Les subventions au carburant étant dépendantes du prix mondial du pétrole, leur charge dans le budget de l'État est fortement volatile».*

⁷⁰ Elle fera l'objet d'une analyse théorique et d'une validation empirique dans le troisième chapitre de cette thèse.

⁷¹ On revient au phénomène de subventions du carburant avec plus de détail dans le dernier chapitre de cette thèse.

3. Conceptualisation du transport routier énergétiquement durable

Face aux exigences de la durabilité énergétique dans le transport routier ainsi que les contraintes qui l'entrave, l'intégration d'une telle philosophie ne peut être qu'encore plus difficile à assumer sur le plan épistémologique, théorique et pratique.

En effet, il s'agit d'une complexification touchant à la fois l'objet de la réflexion (le transport routier), la dimension énergétique et les relations qui existent entre le deux. Autrement dit, l'exercice est avant tout de la planification intégrée entre la politique d'urbanisation, la politique de la technologie de véhicules routiers et la politique du prix. C'est à partir de ce point qu'on passe de la théorie aux illustrations pratiques d'un transport routier énergétiquement durable. En outre, l'intégration signifie également que les questions de durabilité énergétique, dans toute leur complexité et leur richesse, soient prises en compte dans une telle coordination entre les dimensions du transport énergétiquement durable définis précédemment et les composants du transport routier, sous multiples contraintes à savoir :

- le passage au découplage entre consommation d'énergie dans le transport routier et la demande de transport routier ;
- la lutte contre l'effet rebond dans le transport routier et l'informalité des ses activités ;
- la brise du cercle vicieux d'étalement urbain ;
- la mise en place d'une politique du prix efficace sans distorsion.

Le rôle de la consommation du carburant dans la transition vers un transport routier énergétiquement durable est pourtant incontournable. L'enjeu est de définir un modèle qui ne cherche pas seulement à minimiser les impacts négatifs de la consommation d'énergie dans le mode de transport routier, mais qui s'attache à en maximiser les retombées positives sur le plan économique, social et environnemental. Cette transition s'annonce difficile :

- *Comment s'inscrire dans un modèle qui cherche à équilibrer entre le « consommer moins » et le « consommer mieux » du carburant d'une part, et le « rouler moins » et le « rouler mieux » de l'autre part ?*
- *Comment mesurer et piloter la transition vers un tel nouveau modèle ?*
- *Pourquoi la durabilité énergétique dans le transport routier est-elle si délicate à aborder ?*
- *L'affaire est-elle trop sensible politiquement ou trop complexe à cerner ?*

C'est précisément en ce sens que se positionne notre engagement à analyser les interférences épistémologiques entre les quatre notions clés suivantes : consommer moins, consommer mieux, rouler moins et rouler mieux.

D'une manière générale, les théoriciens ne concordent pas non plus sur ce que recouvre **la consommation durable**⁷² : *consommer moins ou consommer mieux*. En effet, certains s'attachent qu'il est nécessaire de réduire la consommation (consommer moins) et d'autres se focalisent plutôt sur la nécessité de consommer mieux (de manière plus responsable) en généralisant l'éco-conception de ses produits et équipements. Ce pendant, pour la plupart des acteurs, l'expression « consommation durable » renvoie implicitement à la notion de la consommation « responsable », puisque le but est de trouver des solutions pour faire « durer » les modes de consommation actuels et non pas de s'interroger sur la finalité même de la consommation. Plus fondamentalement, *une politique de consommation durable du carburant dans le transport routier consiste-elle à forcer les individus à consommer moins, à promouvoir une consommation différente reposant sur d'autres fondamentaux que sa dimension matérielle ou à procéder à un arbitrage simpliste entre le « consommer moins » et le « consommer mieux » de manière intégrée et sélective ?*

Dans l'autre facette, les théoriciens ne concordent pas aussi sur le fait *est ce que la consommation durable du carburant dans le transport routier revient-elle à « rouler moins » ou « rouler mieux » ?* La première option réside dans la réduction des volumes de trafic routier en termes de nombre de déplacements, des distances parcourues et à l'augmentation des taux de remplissage des véhicules routiers et si nécessaire, le report des trafics routiers vers les modes moins consommateurs et moins polluants, alors que la deuxième option s'oriente plutôt vers l'innovation technologique et l'optimisation du transport routier surtout en termes de tournées de véhicules.

La synthèse de ce qui a été développé précédemment nous mène à distinguer 4 niveaux de correspondance (voir figure I.12).

⁷² **La notion de consommation durable** est apparue sur la scène internationale avec le Sommet de la Terre à Rio Par extension, il s'agit d'une déclinaison du concept de développement durable aux actes de consommation. C'est « *la consommation durable ne signifie pas consommer moins : il s'agit de consommer différemment, de consommer plus efficacement, pour améliorer la qualité de vie* » (le Programme des Nations unies pour l'environnement, PNUE, 1999).

| | Consommer moins du carburant | Consommer mieux le carburant |
|--------------|------------------------------|------------------------------|
| Rouler moins | Interférence 1 | Interférence 3 |
| Rouler mieux | Interférence 2 | Interférence 4 |

Figure I.12. Matrice d'interférences entre politique énergétique durable et politique du transport routier durable

Source : Élaboration de l'auteur.

Chacune des interférences **1, 2, 3 et 4** reflète les zones d'interaction entre les notions clés prises deux à deux. Nous comptons prospecter ces zones afin d'étudier la nature des interactions et de proposer les différentes configurations théoriques possibles d'un transport routier énergétiquement durable :

Interférence 1 : La réduction de la consommation du carburant (politique de sobriété énergétique) est couplée par une réduction du trafic routier, moteur de croissance économique et facteur d'accessibilité urbaine. L'action sur la consommation du carburant se traduit par un report modal et une diminution du système de transport routier.

Interférence 2 : La réduction de la consommation du carburant se concrétise par une utilisation meilleure de transport routier, justifiée essentiellement par une meilleure organisation du transport routier en termes de régulation et de techniques d'exploitation. L'effort fourni réside surtout dans l'optimisation du transport routier à travers une bonne politique d'investissement dans l'infrastructure routière et autoroutière (et de briser ainsi le cercle vicieux d'urbanisation), la bonne gestion de cette infrastructure et l'optimisation de tournées de véhicules.

Interférence 3 : La consommation responsable du carburant et la prise en conscience des externalités négatives se traduisent par un changement comportemental vers le report modal, surtout en absence des technologies de véhicules propres et des instruments économiques internalisant ces effets négatifs.

Interférence 4 : La consommation responsable du carburant est supportée par un système de transport routier efficace en mobilisant un véhicule routier moins consommateur et moins polluant, une infrastructure bien définie et bien gérée et une politique de prix adéquate.

Dans cette lignée, un constat majeur s'impose : la concrétisation d'un transport routier énergétiquement durable est souvent formulée de manière à ne pas apporter préjudice à la mobilité. Le débat se concentra logiquement sur la recherche d'un compromis entre l'action sur la demande du carburant sans affecter la demande de transport routier. En conséquence, suivant une logique dynamique et continue dans le temps, les décideurs doivent adopter une approche intégrée d'efficacité qui cherche à synchroniser les trois défis suivants :

- Amélioration de l'efficacité énergétique et environnementale des **moens de transport routier** en termes quantitatifs et qualitatifs ;
- Amélioration de l'efficacité énergétique et environnementale et sécurité **des infrastructures routières** grâce auxquelles les services sont rendus.
- Adaptation **des techniques d'exploitation** en termes de tarification et de prise en compte des coûts sociaux et environnementaux.

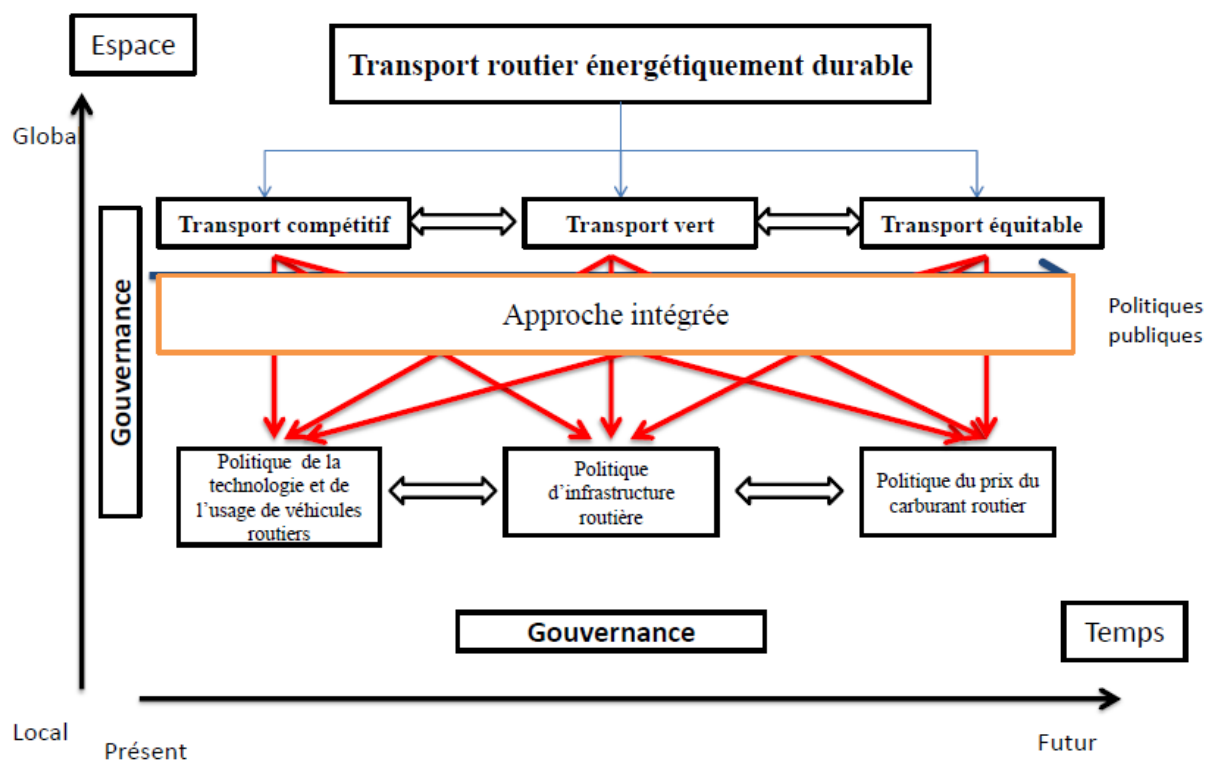


Figure I.13. Conceptualisation du transport routier énergétiquement durable

Source : Élaboration de l'auteur.

Dans ce sens, cette approche intégrée (« *consommer moins et rouler mieux* », et / ou « *consommer mieux et rouler mieux* »), dépendra d' :

- une meilleure appréhension de *la formation des préférences des usagers* ;
- la lutte contre l'effet rebond vu que *l'innovation technologique* (moteurs propres, hybrides, électriques) est souvent annulée par la modification de comportements des usagers.
- une transition fondamentale dans les modes de déplacements et de consommation. Faute de quoi, seule une *innovation sociale et politique* permet de concrétiser un transport routier énergétiquement durable, à travers un changement dans les modes de vie et les comportements d'une part, et la mise en place des politiques publiques axées sur une transition vers une société durable.

Conclusion

Au cours de ces dix dernières années, de nombreuses initiatives ont porté sur la caractérisation de la durabilité des systèmes de transport vu le lien étroit de ce secteur avec la problématique du développement durable. Elles s'accordent sur le fait que les systèmes de transport fournissent un service vital mais produisent des impacts environnementaux, sociaux et économiques, négatifs et insuffisamment pris en compte. L'enjeu fondamental de nos jours est de rééquilibrer les coûts et les avantages dans le secteur des transports (Giorgi, 2003).

Ces initiatives se différencient aussi bien par leur nature que par les démarches adoptées. Néanmoins, un consensus ressort pour affirmer que le traitement de la problématique de transport durable passe par la mise en place de stratégies capables d'intégrer la question de la durabilité énergétique dans les politiques de transports traditionnelles. La problématique du transport durable dépend et fait dépendre le développement énergétique durable : elle s'inscrit avec excellence dans toute démarche de durabilité énergétique et présente, en même temps, un cadre vierge pour la recherche des options énergétiques durables spécifiques pour le secteur du transport.

L'objet de ce chapitre est d'étendre la réflexion sur le triplet transport- énergie- développement durable en adoptant une approche de modélisation conceptuelle. En partant d'une littérature assez riche portant principalement sur le concept de développement durable, le développement énergétique durable et le transport durable, l'objectif était d'intégrer la durabilité du transport et la durabilité énergétique. L'output de ce rapprochement tend vers **la**

mise en œuvre d'un transport énergétiquement durable : un transport dont la consommation énergétique, perçue sous l'angle d'un développement énergétique durable, est conçue à la fois comme une cause et un résultat d'un transport durable. Delors, la réflexion menée a eu pour but de « personnaliser » chaque dimension économique, environnementale et sociale d'un transport routier énergétiquement durable, en proposant en conséquence **le transport compétitif, le transport vert et le transport équitable comme les trois piliers fondamentaux de la durabilité, le « consommer moins et rouler mieux », et / ou « consommer mieux et rouler mieux » comme les deux configurations possibles d'un tel développement,** et l'intégration entre la politique de véhicules routiers, la politique d'infrastructure routière et la politique du prix comme la démarche la plus appropriée pour une telle approche. Toutefois, il est à remarquer que ce découpage du concept en dimensions *« ne peut être considérée comme figée du fait de l'évolution naturelle de toute structure »* (Morana, 2010). En considérant les objectifs généraux de chacune de ses dimensions, la finalité recherchée sera de les faire opérationnaliser tout en les confrontant aux spécificités du cadre territorial d'étude, afin de mettre en pratique les éléments qui les composent et définir ainsi des indicateurs énergétiques durables spécifiques au transport routier en Tunisie.

Chapitre 2

La problématique de la durabilité énergétique dans le secteur du transport routier en Tunisie: Un relevé de constats et comparaison internationale

Introduction

La consommation d'énergie dans le secteur du transport, vu les pressions environnementales qu'elle exerce et le rôle socio-économique qu'elle joue, est appelée à évoluer dans une logique de durabilité. L'intérêt de ce chapitre est de dresser, en premier lieu, **un état des lieux du bilan énergétique du secteur du transport** à travers une recherche documentaire de données précises et fiables sur ce secteur et de ses impacts économiques, sociaux et environnementaux. Ensuite, une connaissance approfondie de la situation énergétique actuelle du secteur du transport permettra d'évaluer les politiques publiques mobilisées en matière de la concrétisation du transport énergétiquement durable d'autre part. Préalablement à l'analyse et à la détermination des éléments les plus significatifs, il est possible de détecter les freins et les obstacles à la réalisation d'une telle finalité. Nous porterons quelques éclairages sur les orientations et les perspectives vers un transport énergétiquement durable tout en cherchant une forte adaptation entre les politiques publiques et les spécificités locales.

Notons à ce propos que la politique énergétique tunisienne, sous la tutelle de l'Agence Nationale pour la Maîtrise de l'énergie (ANME), est axée sur la maîtrise de la demande d'énergie, la diversification des sources de production, la réduction des pollutions et des émissions de gaz à effet de serre et le développement de la recherche dans le secteur de l'énergie en établissant des programmes en vue de l'utilisation rationnelle de l'énergie. C'est dans ce sens que s'inscrit l'interrogation fondamentale de ce chapitre qui vise principalement à savoir **dans quelle mesure les politiques tunisiennes en matière de la maîtrise de l'énergie ont répondu à une situation énergétique partout préoccupante du secteur de transport routier?**

En clair, l'objectif de ce chapitre est de contribuer à une meilleure connaissance de la situation énergétique du secteur de transport en Tunisie. L'analyse est menée d'abord à travers un diagnostic décliné en points forts et points faibles afin de relever les principaux constats de la problématique énergétique dans ce secteur. Ensuite, elle est orientée vers **une comparaison internationale afin de situer la Tunisie par rapport aux autres pays de notre échantillon**. Ce chapitre fait l'objet d'un papier intitulé «*International comparisons of energy and environmental efficiency in the road transport sector*»⁷³.

A ce niveau de réflexion, la confrontation entre les objectifs permanents de transport énergétiquement durable indépendants de toute considération territoriale, discutés en premier chapitre d'une part, et les spécificités et les données du territoire d'étude, la Tunisie, indépendantes de tout principe de durabilité, permettra de soulever les vraies problématiques dont on doit répondre et de définir les indicateurs les plus solides dont on doit prendre en compte (chapitre 3).

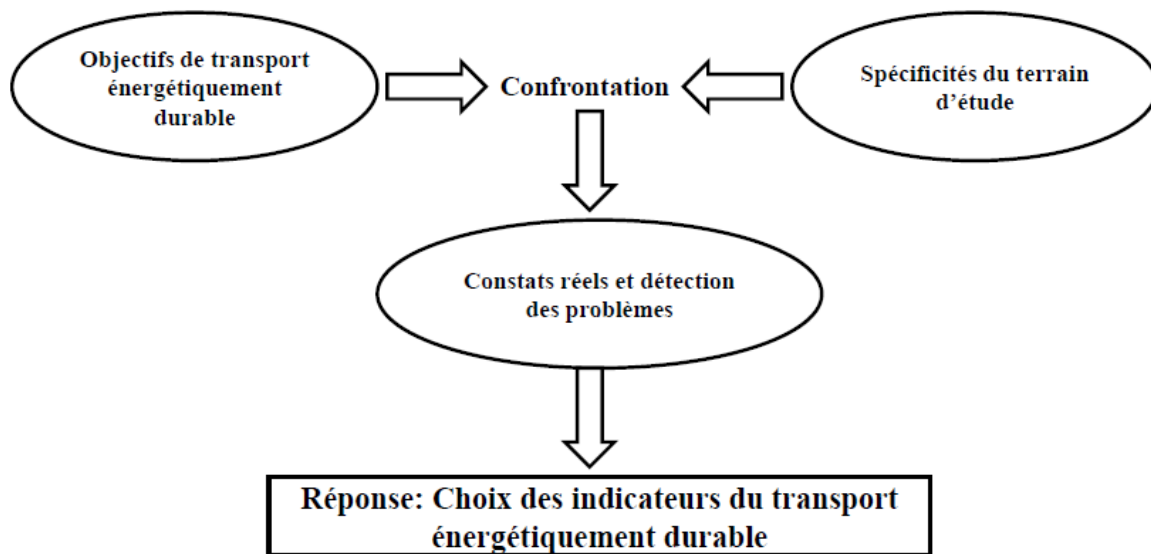


Figure II.1. Importance du diagnostic énergétique

Source : Adaptée d'après Rouxel (2000).

Ce diagnostic a l'ambition prospective puisqu'il a pour finalité principale de caractériser les dynamiques et les perspectives en cours et de poser les premiers jalons vers la définition de stratégies d'intervention en rapport avec les spécificités du territoire en question, plutôt que de dresser simplement un état des lieux exhaustif de la situation énergétique actuelle de transport en Tunisie.

⁷³ Ce papier est en révision à la revue 'Transportation Research Part D.

Section 1 : Diagnostic énergétique du secteur de transport en Tunisie : Des objectifs théoriques à une réalité partout préoccupante

Rappelons que récemment la Tunisie a enregistré un changement de statut d'un pays excédentaire en importateur net d'énergie. En effet, depuis le contre-choc pétrolier de 1986⁷⁴, la contribution du secteur énergétique dans la croissance économique n'a cessé de baisser à cause de la chute des cours des produits pétroliers, d'une quasi-stagnation de la production d'hydrocarbures due essentiellement à l'épuisement du principal gisement pétrolier d'El Borma et de la croissance importante et soutenue de la consommation d'énergie. A l'heure actuelle, la part du secteur des transports dans le bilan énergétique global est de plus en plus grande. Il participe largement à l'approfondissement aussi bien de la contrainte physique (épuisement de ressources non renouvelables) que de la contrainte économique (augmentation de subventions).

I. Le marché du carburant routier en Tunisie : Analyse factuelle et conjoncturelle

Le diagnostic du marché du carburant en Tunisie est effectué au regard des principaux enjeux qui ont été soulevés lors du croisement de la problématique de développement énergétique durable, d'une part, et de transport durable, d'autre part. Il est réalisé en termes de forces et de faiblesses et ventilé en huit axes pertinents révélateurs des constats les plus importants à propos de la problématique de la durabilité énergétique dans le transport routier en Tunisie.

Dans notre investigation d'analyse diagnostique, nous avons procédé à des recherches documentaires en nous basant sur des contenus des guides existants, étalant sur la période 1980-2010, établis par l'Agence Nationale de Maîtrise de l'Énergie ANME (2011, 2012), le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, le Ministère de transport et les

⁷⁴ La qualification du contre-choc pétrolier revient dans le fait qu'il a succédé les deux chocs pétroliers de 1973 et 1979. Rappelons que ces deux derniers avaient des raisons essentiellement politiques : la guerre du Kippour et la révolution iranienne. Par conséquent, dans la première moitié des années 1980, la surproduction de pétrole due au ralentissement de l'économie a entraîné une baisse brutale du prix du brut pour atteindre un minimum de 10 dollars en 1986. Les deux causes fondamentales de cette baisse sont : une cause politique se justifiant principalement dans l'accord entre les États-Unis et l'Arabie saoudite visant à augmenter la production de pétrole afin de satisfaire les besoins occidentaux en énergie, et une cause géopolitique qui réside dans le fait que la baisse des prix du pétrole entraîne la diminution des revenus de l'Union soviétique, à l'époque fortement exportatrice de pétrole.

données de la banque mondiale (WDI, 2012). L'analyse de la documentation sur le sujet en question a été complétée par des analyses complémentaires afin de mieux présenter la réalité.

1. La consommation d'énergie dans les transports, une source fondamentale de vulnérabilité énergétique

La répartition sectorielle de la consommation énergétique montre la place prépondérante et en croissance des transports. Plus d'un tiers de la consommation d'énergie (34%) et plus de 47% de la consommation pétrolière de la Tunisie relèvent du secteur du transport en 2010 [WDI, 2012]⁷⁵. Il occupe ainsi le second rang après le secteur industriel (35%).

Tableau II.1. Consommation d'énergie par secteur en Tunisie durant la période 1980-2010.

| Consommation totale d'énergie | 1980 | 1990 | 2000 | 2010 |
|---|-------|-------|-------|-------|
| Industrie | 37,8% | 39,6% | 34,9% | 35% |
| Transport | 37,2% | 30,8% | 32,3% | 34% |
| Résidentiel | 11,4% | 14,1% | 16,9% | 16% |
| Tertiaire | 8,1% | 8,6% | 8,6% | 9% |
| Agriculture | 5,5% | 6,9% | 7,3% | 6% |
| Consommation des produits pétroliers | | | | |
| Industrie | 33,9% | 33,6% | 26% | 25% |
| Transport | 42,3% | 38,5% | 44% | 47% |
| Résidentiel | 10,7% | 13,1% | 14,8% | 11% |
| Tertiaire | 7,2% | 7% | 6,5% | 9% |
| Agriculture | 5,9% | 7,8% | 8,7% | 8% |
| Consommation de transport par type d'énergie | | | | |
| Consommation d'électricité | 0,1% | 0,2% | 0,6% | 0,5% |
| Consommation pétrolière | 99,9% | 99,8% | 99,4% | 99,5% |

Source: auteur en se basant sur [WDI, 2011 ; ANME, 2012].

Toutefois, il est caractérisé par un boom énergétique vu que sa consommation finale d'énergie est en croissance plus forte que celle des autres secteurs. Par ailleurs, sa part dans le bilan énergétique ne cesse d'augmenter en passant de 827,7 Ktep en 1980 à 1821 Ktep en 2010, de sorte que la croissance de la demande énergétique en Tunisie paraît imputable au secteur de transport.

À l'heure actuelle, l'énergie consommée dans ce secteur est exclusivement issue du pétrole (99,5%), évaluée à 826,7 Ktep en 1980 contre 1812,2 Ktep en 2010 [WDI, 2012]. Une des grandes faiblesses est donc le fait qu'il paraît difficile d'envisager un secteur des transports sans pétrole en Tunisie.

⁷⁵ WDI, World Development Indicators 2012: IBRD, World Bank, Washington, DC

Constat 1: Les transports ne font pas l'objet de grands choix stratégiques car ils sont loin de toute substitution. A l'opposé des autres secteurs, la dépendance des transports au pétrole est conséquente en Tunisie : le pétrole maintient sa position dominante et exclusive dans un contexte général de contraction de la demande globale de pétrole. Par conséquent, cette situation rend ce secteur vulnérable à tout choc externe qu'il soit pétrolier ou environnemental.

2. La consommation d'énergie dans les transports, un révélateur d'un partage modal en faveur du transport routier

L'autre fait marquant est la **prépondérance du mode de transport routier** à l'intérieur de bilan énergétique du secteur des transports en Tunisie. En effet, le dynamisme de la consommation énergétique dans les transports est principalement dû au mode routier. De plus, leur part se renforce de plus en plus pour présenter 76% de la consommation totale du secteur en 2010, contre 3% pour le mode ferroviaire, en passant de 514 Ktep en 1980 à 1689 Ktep en 2010 (voir tableau II.3).

Tableau II.2. Consommation d'énergie par mode en Tunisie durant la période 1980-2010.

| Répartition modale de la consommation énergétique | 1980 | 1990 | 2000 | 2010 |
|--|------|------|------|------|
| Route | 66% | 70% | 71% | 76% |
| Aérien | 21% | 20% | 19% | 18% |
| Maritime | 3% | 2% | 1% | 3% |
| ferroviaire | 10% | 8% | 9% | 3% |

Source: Calcul de l'auteur en se basant sur [WDI, 2011 ; ANME, 2012].

Ce phénomène singulier est la conséquence de l'aspiration de plus en plus prononcée des Tunisiens aux besoins de transport routier, aussi bien pour le transport de personnes que le transport de marchandises. En effet, selon une récente étude de l'Agence nationale de la maîtrise de l'énergie, la voiture particulière est devenue le premier moyen de déplacement en assurant plus de 32% des déplacements contre 31% pour les véhicules privés de transport (taxis et voitures de louage) et 27% pour les moyens de transport collectif publics en 2010. Cet engouement pour les voitures particulières explique largement l'augmentation du kilométrage annuel effectué par un automobiliste tunisien à plus de 22000 kilomètre (Km). Ce constat est expliqué surtout par la souplesse, la flexibilité et la qualité de service d'un tel mode de transport.

De même, le mode routier présente beaucoup d'avantages pour le transport de marchandises à savoir la flexibilité, la rapidité et le bas coût de transport. Le trafic de marchandise par voie routière a augmenté en conséquence, en passant de 9450 million tonne kilomètre (mtkm) en 1990 à 21290 mtkm en 2010 [Ministère de transport, 2012] avec une participation majoritaire du transport pour compte propre (51,5%), expliqué principalement par la libéralisation de transport routier de marchandises en Tunisie ces dernières années. Cependant, le fret n'est pas jusqu'à ce jour un enjeu politique majeur et la question de transport de marchandises est, contrairement au transport de personnes, encore peu politisée.

Constat 2: L'évolution sociologique en Tunisie est en faveur du mode routier, premier responsable de la croissance de la consommation des carburants. A l'heure actuelle, la consommation imputable à ce mode porte quasi-exclusivement sur des produits pétroliers (moins de 1% seulement d'électricité).

3. La consommation d'énergie dans le transport routier, le moteur de la croissance économique

La relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique est concrétisée en calculant l'intensité énergétique⁷⁶ qui représente la quantité d'énergie nécessaire pour constituer une unité de PIB. L'évolution de cette dernière montre la capacité de l'économie à générer de la richesse en utilisant plus ou moins d'énergie.

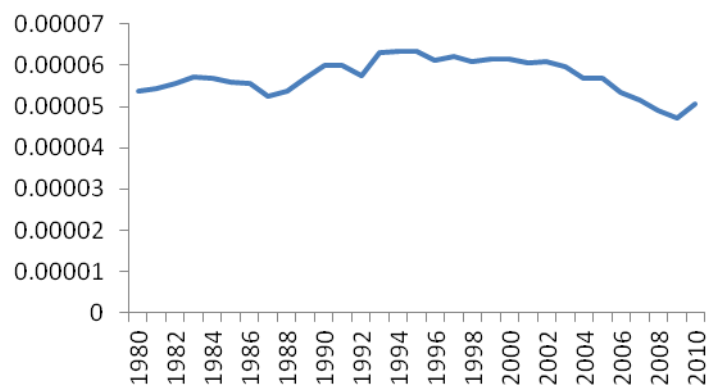


Figure II.2. L'évolution de l'intensité énergétique de la consommation routière en Tunisie

Source : Élaboration de l'auteur en se basant sur des données de WDI (2011).

⁷⁶ L'intensité énergétique est la mesure de l'efficacité énergétique d'une économie. Elle est obtenue par le rapport de la consommation d'énergie exprimée en tonne équivalent pétrole (tep) au PIB. Elle indique si une économie est 'gourmande' en consommation énergétique. Une intensité énergétique élevée correspond à une économie "gourmande" en énergie pour un niveau de PIB donné.

En Tunisie, l'intensité énergétique de la consommation routière a enregistré des évolutions fluctuantes et étonnantes. L'intensité énergétique la plus élevée a été marquée l'année 1995 et la plus basse l'année 2009. Cependant, à partir des années 2000, l'évolution de l'intensité énergétique a montré une tendance vers la baisse reflétant ainsi l'évolution vers une croissance économique moins consommateur d'énergie au niveau du transport routier. Il est remarquable que cette tendance résulte d'une certaine politique de maîtrise d'énergie suivie par l'État tunisien dont l'objectif principal est de réduire l'intensité énergétique. L'année 2010 a marqué une augmentation de l'intensité énergétique pour revenir enfin presque à la même situation que dans l'année 1980.

Constat 3: La réalité est plus difficile : C'est vrai que l'intensité énergétique de la consommation routière est un outil indispensable pour juger la relation entre la consommation énergétique et la croissance économique, mais en se référant à un agrégat économique plus exacte et plus fiable que le PIB en termes agrégées. Présentant un grand potentiel pour transport informel, la prise en compte de la valeur ajoutée réelle du secteur de transport donne plus de pertinence quant aux résultats obtenus.

4. La consommation excessive d'énergie dans le transport routier, une conséquence du phénomène de la dépendance à la voiture particulière

La répartition de la consommation d'énergie dans le transport routier en Tunisie montre **la prépondérance de la consommation d'énergie par la voiture particulière** en présentant plus que 61% de la consommation totale du mode routier contre 37% pour le transport de marchandises et 2% pour le transport public de passagers en 2010. Le tableau II.4 montre que la consommation d'énergie par les voitures particulières est passée de 287 ktep en 1980 à 1031 ktep en 2010.

Tableau II.3. Consommation routière d'énergie par domaine d'activité de transport en Tunisie durant la période 1980 -2010.

| | 1980 | 1990 | 2000 | 2010 |
|---|------|------|------|------|
| Consommation routière totale d'énergie (ktep) | 514 | 811 | 1321 | 1689 |
| Consommation du transport individuel (ktep) | 287 | 478 | 752 | 1031 |
| Consommation du transport de marchandises (ktep) | 198 | 304 | 537 | 621 |
| Consommation du transport public de passagers (ktep) | 29 | 29 | 32 | 37 |

Source: [ANME, 2012].

Ce constat s'explique principalement par l'évolution et la structure du parc de véhicules routiers qui a augmenté avec un rythme annuel significatif de 5.66% durant la période d'étude 1980-2010, en faveur de la voiture particulière et des véhicules spéciales⁷⁷.

Tableau II.4. La structure du parc véhicule routier en Tunisie durant la période 1980 - 2010.

| | 1980 | 1990 | 2000 | 2010 | Taux moyen de croissance annuelle (%) |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------------------------------|
| Total de véhicules | 222994 | 388738 | 789308 | 1164829 | 5,66 |
| Voiture | 118796 | 259846 | 519439 | 801372 | 6,57 |
| Bus | 3718 | 5544 | 10922 | 14879 | 4,73 |
| Véhicules spéciales | 678 | 1588 | 8783 | 13879 | 10,58 |
| Camion et camionnette | 96193 | 116555 | 234824 | 314572 | 4,02 |
| Remorques et semi-remorques | 3609 | 5205 | 15340 | 20127 | 5,9 |

Source: auteur en se basant sur [ANME, 2012].

Plus précisément, l'année 2010, le parc véhicule était de l'ordre de 1164829 unités dont 69% de voitures particulières. Cette croissance soutenue des voitures particulières s'est répercutée sur le taux de motorisation qui a augmenté de 19 véhicules pour 1000 habitants en 1980 à 76 véhicules pour 1000 habitants en 2010, avec un taux moyen de croissance annuelle de 4,76 % [ANME, 2012].

Globalement, cette croissance peut être attribuée à plusieurs mécanismes économiques et sociaux à savoir la croissance du revenu, changement démographique, évolution des modes de vie et de structure familiale,... De surcroît, en Tunisie, cet écart de taux de motorisation s'explique surtout par la croissance rapide des immatriculations des voitures particulières, l'augmentation de nombre de permis, et les avantages fiscaux et les facilités de crédits accordés pour l'acquisition des voitures de petite cylindrée dites «voitures populaire» d'un côté, et l'offre du transport public jugé de non-qualité, de l'autre côté.

⁷⁷ Le ministère du transport classe les véhicules routiers en cinq catégories :

1. Les voitures particulières destinées pour le transport de personnes et englobent les berlines commerciales, fourgonnettes, avec ou sans remorque (roulotte) ;
2. Les bus des sociétés nationales et régionales de transports, ainsi que les bus de tourisme ;
3. Les véhicules spéciales qui englobent les engins de travaux publics et de l'agriculture (Motorgraders, pelles mécaniques, bulldozers, cylindres, traxcavators, moissonneuses batteuses, automotrices) ;
4. Les camions et camionnettes : les camionnettes ont une charge utile inférieure à 1,5 tonnes (type Isuzu, Estafette) et englobent aussi tracteur sans semi-remorque. Pour les camions, il s'agit de distinguer entre camions légers de charge utile comprise entre 1,5 tonnes et 3,5 tonnes (type OM) d'un côté, et camions lourds de charge utile supérieure à 3,5 tonnes (type Berliet, Saviem) ;
5. Les remorques et semi-remorques (type Tankers et des sociétés pétrolières,...).

Le nombre de nouvelles immatriculations a augmenté de 18611 en 1980 à 52639 unités en 2010 [Ministère de transport, 2012] et la tendance est en augmentation pour les années à venir vu l'amélioration du niveau de vie du citoyen, l'accroissement du revenu par habitant et aux mesures d'encouragement d'ordre social prises par les autorités publiques en faveur des citoyens à revenu moyen. Les voitures particulières représentent près des deux tiers des nouvelles immatriculations en 2010 avec 33015 unités, même si leur part dans l'ensemble a enregistré une baisse de près de deux points par an, passant de 64,49% en 2009 à 62,72% en 2010. Cet accroissement de nouvelles immatriculations de voitures particulières est fortement corrélée avec l'augmentation du nombre de permis qui a presque doublé en dix ans en passant de 1598802 en 2000 à 2753000 en 2010 [Ministère de transport, 2012].

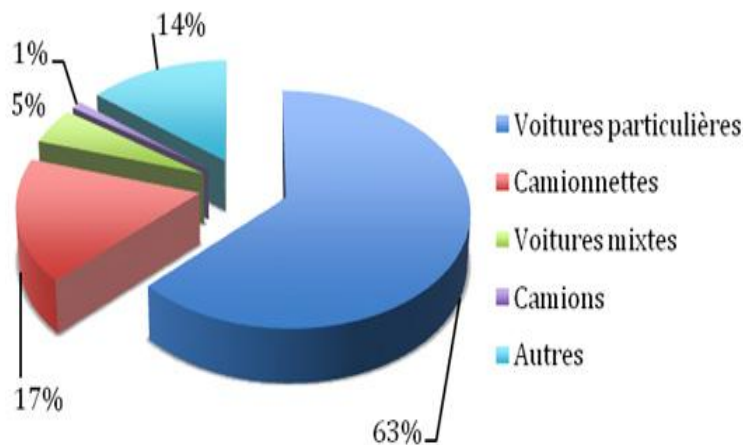


Figure II.3. Parts des premières immatriculations par catégorie en 2010

Source : Élaboration de l'auteur à partir des données de l'ANME (2012).

Parmi les facteurs directs de cette croissance de la mobilité individuelle, citons principalement, les avantages fiscaux et les possibilités accrues de crédits qu'accordent les banques commerciales et les caisses de sécurité sociale pour l'acquisition des voitures de petite cylindrée quatre chevaux, communément appelées «voitures populaires», évaluées à 9200 unités en 2010. En Tunisie, le phénomène de la voiture populaire a fait plus au moins dérapé les résultats attendus des programmes de maîtrise de l'énergie dans le mode routier.

Pour aller plus loin dans cette analyse à la fois factuelle et conjoncturelle, il paraît nécessaire pour plus de détail, de faire recours à la notion de l'efficacité énergétique de la voiture particulière⁷⁸ et de l'intensité en voiture particulière⁷⁹ :

⁷⁸ L'efficacité énergétique de la voiture particulière mesure la quantité d'énergie demandée par voiture particulière.

⁷⁹ L'intensité en voiture particulière mesure le nombre de voiture nécessaire pour une unité de PIB.

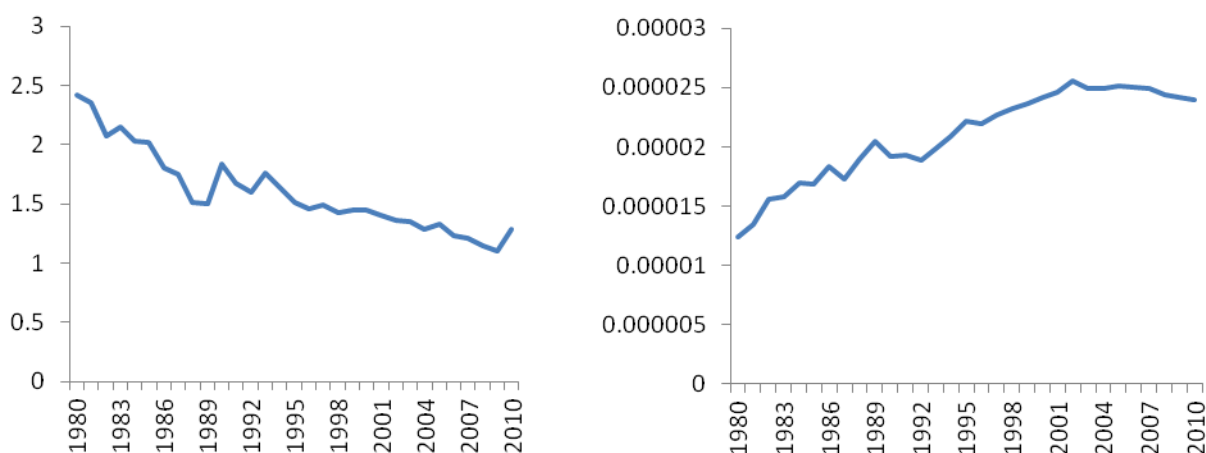


Figure II.4. L'efficacité énergétique de la voiture particulière et l'intensité en voiture particulière

Source : Élaboration de l'auteur en se basant sur des données de l'ANME (2012) et WDI (2011).

L'exemple de la Tunisie montre une fluctuation vers la décroissance de l'efficacité énergétique de la voiture particulière durant la période 1980-2010, ce qui implique l'amélioration de l'intensité carburant de la voiture particulière expliqué principalement par l'augmentation du prix du carburant. Concernant l'intensité en voiture particulière, elle est en croissance impliquant ainsi une demande de plus en plus accentuée de la voiture particulière pour assurer la croissance économique.

Constat 4 : La voiture particulière devient un élément central en raison de sa participation majoritaire à la consommation énergétique. Le choix de la voiture particulière est beaucoup plus lié à des motivations affectives : désir d'indépendance, de puissance, voire de supériorité, plutôt qu'à des considérations d'ordre économique.

5. La consommation excessive d'énergie dans le transport routier, le résultat de phénomène de la diésélisation du parc

L'analyse de l'évolution et de la structure du parc tunisien de véhicules routiers au cours des quarante dernières années montre une tendance majeure vers une dilution de gamme avec trois caractéristiques principales influant potentiellement les consommations et les émissions de CO₂ des véhicules :

- **Le vieillissement du parc :** Une tendance continue assez marquée est le vieillissement du parc Tunisien. L'impact de ce phénomène sur les émissions peut être en partie relativisé. En effet, les niveaux de pollution et de consommation de carburant

augmentent fortement avec l'âge des véhicules. Cependant, les véhicules anciens roulent beaucoup moins que les véhicules récents. Il n'empêche que ceci conduit à la distinction de deux parcs, l'un ancien et l'autre neuf, pour lesquels les actions à mener doivent être différentes.

- **La diésélisation⁸⁰ du parc** : Une seconde tendance consiste dans la forte diésélisation du parc de véhicules depuis le début des années 2000. En termes agrégés, la structure du parc de véhicules routiers est dominée par les véhicules à diesel (52,3% en 2010). Cette agrégation cache beaucoup de disparités à l'intérieur. Notant dans cette lignée, que 74.6 % de voitures particulières sont à essence en 2010 et que les camions et les véhicules spéciales sont en totalité à moteur diesel. D'une coté, cette tendance influe profondément les caractéristiques d'émissions des véhicules et favorise plutôt la baisse des consommations unitaires moyennes. Paradoxalement, compte tenu du plus faible coût d'usage du diesel, elle contribue à l'expansion du trafic et, par là, à la hausse des émissions et de la consommation globale d'autre coté⁸¹. En effet, avec la diésélisation du parc en Tunisie, la question des comportements consommateurs d'énergie n'est pas résolue et l'effet rebond devient une réalité. En outre, la croissance du parc des véhicules diesel beaucoup plus performants en termes de consommation et de longévité du moteur, provoque l'allongement des distances parcourues à cause des comportements individuels (vitesse, circulation avec moteur froid,..), ce qui augmente la consommation d'énergie dans le transport routier.
- **L'évolution des gammes** : Une troisième tendance actuelle est l'augmentation du poids et de la puissance des véhicules et l'ajout d'éléments de confort et de sécurité. Les voitures ayant une puissance fiscale de quatre chevaux (4CV) représentent 38% du total des voitures particulières contre 28% pour les 5CV et 11% pour les 6CV et plus en 2010. Les progrès technologiques en matière de rendement énergétique ont permis une légère baisse de la consommation unitaire moyenne des véhicules. Cependant, il n'empêche que ce gain est mis en balance avec les émissions et la sécurité. En outre, les changements profonds des standards garantissant de gains de poids et de puissance, sont au détriment de la sécurité du véhicule. De même, l'ajout d'éléments de confort comme la climatisation, a des impacts environnementaux non discutables. Cette tendance majeure motivée par les progrès technologiques a donc

⁸⁰ Pour plus d'approfondissement concernant le phénomène de diésélisation et leur impact sur la consommation d'énergie dans le transport routier, il est préconisé de revoir l'article de Bonilla (2009).

⁸¹ Pour plus de détail, il est conseillé de se référer à l'article de Marques et al (2012).

joué différemment sur l'évolution des consommations énergétiques : Les progrès technologiques n'ont pu allier que partiellement l'évolution des gammes à la réduction de la consommation énergétique dans le transport routier. En revanche, ils ont motivé indirectement l'augmentation de nombre de déplacements individuels et de leur kilométrage parcouru, entraînant ainsi une croissance de la consommation d'énergie.

Constat 5 : Le vieillissement, la diésélisation et l'évolution des gammes de véhicules en Tunisie ont influencé différemment aussi bien le niveau que la nature de la consommation d'énergie dans le transport routier.

6. La consommation excessive d'énergie dans le transport routier, l'enjeu prégnant des émissions de gaz à effet de serre

Il faut se demander si le système actuel de transport en Tunisie ne coûte pas à la collectivité plus qu'il ne lui rapporte. Parmi les préoccupations environnementales liées à la consommation du carburant, il y a l'effet de serre, un des enjeux majeurs de ce siècle. La pollution est considérée comme l'une des principales faiblesses du secteur du transport. Il est difficile de réduire les émissions de gaz à effet de serre sans réduire proportionnellement la consommation du carburant. La consommation routière d'énergie a triplé entre 1980 et 2010, engendrant ainsi une progression notable pour les émissions de gaz carbonique. Elle représente 27% du total des émissions de CO₂ à l'échelle nationale [WDI, 2011] et 77% du total des émissions de CO₂ dû au secteur de transport, tous modes confondus en 2010 [ANME, 2012] en passant de 1,75 million tonne métrique en 1980 à 4,94 million tonnes métriques en 2010.

Ce constat s'explique par le fait que la consommation d'énergie dans le transport routier en Tunisie se base sur deux types de carburant, à savoir l'essence et le diesel. En 2010, la consommation routière de diesel est majoritaire en présentant 60,6% de la consommation routière totale contre 25% pour l'essence.

Tableau II.5. Consommation routière par type énergie en Tunisie durant la période 1980-2010.

| | 1980 | 1990 | 2000 | 2010 |
|--|------|------|-------|-------|
| Consommation routière totale d'énergie (ktep) | 514 | 811 | 1.321 | 1689 |
| Consommation routière d'essence (ktep) | 152 | 264 | 391 | 434 |
| Consommation routière de diesel (ktep) | 340 | 511 | 871 | 1.024 |
| Autres types d'énergie (ktep) | 22 | 36 | 59 | 231 |

Source: [WDI, 2011].

L'expansion de la demande de diesel en Tunisie est aujourd'hui imputable à l'augmentation de taux de pénétration du diesel dans les nouvelles immatriculations. Cette expansion au détriment de la consommation d'essence s'explique par des raisons économiques, stratégiques et écologiques. Économiquement, il y a un important différentiel entre le prix de l'essence et celui de diesel, en faveur de ce dernier. De point de vue stratégique, l'offre des constructeurs automobiles propose des modèles diesel dans chaque gamme de véhicules. Pour l'automobiliste, acquérir un modèle diesel est autant avantageux en moindre prix du diesel, faible consommation de ces véhicules et leur fiabilité. La diésélisation du parc s'est accélérée en raison de son efficacité énergétique : un véhicule diesel consomme entre 25% et 30% de carburant en moins par rapport à un véhicule à essence de même taille et de même poids. Sur le plan écologique, les véhicules à essence consomment plus d'énergie et donc dégagent plus de CO₂. Par contre, le diesel bénéficie d'un meilleur rendement énergétique et satisfait plus aux normes d'émission de CO₂, mais il est moins performant en émissions de particules fines et de NOx, dangereux pour la santé.

Par ailleurs, la pénétration des moteurs diesel dans le parc automobile Tunisien s'est fortement accélérée dans la mesure où ce type de véhicules roule plus et a une durée de vie plus longue que les véhicules à essence, favorisant ainsi une augmentation des émissions totales de CO₂ vu l'augmentation de kilométrage annuel qu'il favorise⁸².

La relation entre les émissions de CO₂ de transport routier et la croissance économique du pays est étroite et elle peut être chiffrée au moyen de l'intensité carbone⁸³. La figure suivante montre une diminution de l'intensité de carbone appliquée au transport routier de 0.00018 tonne métrique / US\$ en 1980 à 0.00014 tonne métrique / US\$ en 2010.

⁸² Selon Hivert (1996), en passant au diesel, un automobiliste augmente son kilométrage de 21 %. Néanmoins, son impact négatif sur les émissions de CO₂ doit être relativisé dans la mesure où les véhicules diesel ont en moyenne une consommation unitaire moindre. Mais c'est à travers l'effet rebond, qu'ils participent énormément aux émissions de CO₂.

⁸³ L'intensité carbone est définie comme étant la quantité de CO₂ par unité de PIB.

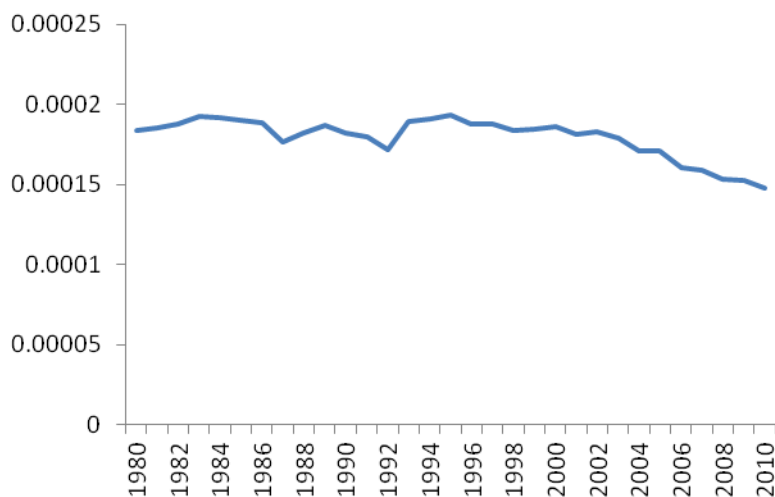


Figure II.5. L'intensité carbone dans le transport routier

Source : Élaboration de l'auteur en se basant sur des données de WDI (2011).

Constat 6: « Rouler propre » est un enjeu environnemental fondamental pour les années à venir. Le transport routier a une responsabilité importante et croissante dans les rejets de gaz à effet de serre. La maîtrise, voire la reformulation des carburants paraît nécessaire pour lutter contre la pollution atmosphérique.

7. La consommation excessive d'énergie dans le transport routier, un trait de phénomène d'étalement urbain

Bien évidemment, il est à noter que l'augmentation de la consommation routière d'une part, et de la densité urbaine et de la longueur de réseau d'infrastructure routière d'autre part, sont fortement corrélés. Le nombre de kilomètres urbanisés augmente avec l'augmentation de la densité urbaine, qui a évolué avec un taux de croissance annuelle de 1,69% durant la période 1980-2010, et la distribution spatiale des activités à côté des routes urbaines. Toutes les zones urbaines en Tunisie sont plus accessibles à la route ce qui explique bien l'utilisation massive du mode routier et la croissance de taux de motorisation. En outre, l'infrastructure routière et autoroutière présente un facteur stimulant la consommation routière.

Tableau II.6. Densité urbaine et infrastructure routière.

| | 1980 | 1990 | 2000 | 2010 | Taux moyen de croissance annuelle (%) |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------------|
| Densité urbaine | 41,09 | 52,48 | 61,55 | 68 | 1,69 |
| Longueur d'infrastructure (km) | 18010 | 20020 | 18997 | 19379 | 0,24 |

Source: Élaboration de l'auteur en se basant sur des données de [Ministère de transport, 2012].

La longueur de l'infrastructure routière a fluctué en passant de 18010 km en 1980 à 19379 km en 2010 avec un taux de croissance annuelle de 0,24%. Le réseau est caractérisé par plus de 60% goudronnés [Ministère de transport, 2012] ainsi que de trois autoroutes reliant Tunis à Sfax au sud, à Bizerte au nord et à Oued Zarga à l'ouest, ce qui permet une meilleure fluidité du trafic entre les villes tunisiennes. Des voies express et des prolongements d'autoroutes sont en cours de réalisation et de rénovation. Il est indéniable que les travaux d'infrastructures routières sont visibles et partout où on se déplace en Tunisie, surtout dans les grandes villes, on n'échappe pas à remarquer la volonté d'élargissement et de modernisation des chaussées, des échangeurs et des ponts. L'objectif est de désenclaver les villes et de dynamiser la circulation des personnes et des marchandises. Cependant, devant l'envahissement croissant des voitures, on se demande parfois qui rattrapera l'autre, l'aménagement du territoire ou le transport?

La réponse à cette interrogation implique toutefois l'adéquation entre le rythme de croissance du marché automobile et les améliorations de l'infrastructure.

Dans ce sens, la connaissance de la concentration de la population dans le réseau routier permet de fournir de renseignements sur l'impact de l'urbanisation sur la consommation routière du carburant. En Tunisie, comme le montre la figure ci-dessous, le nombre de kilomètres urbanisés est en forte croissance, surtout depuis l'année 1997, à cause de la croissance de la densité urbaine et la distribution spatiale des ménages et des activités à côté des routes urbaines, ce qui augmente d'avantage l'utilisation de véhicules routiers.

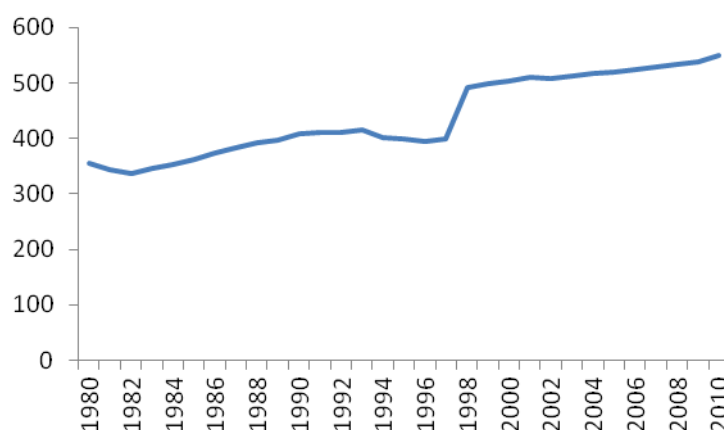


Figure II.6. La concentration de la population sur le réseau routier

Source : Élaboration de l'auteur en se basant sur des données fournies par le ministère de transport (2012).

Autrement dit, c'est vrai que le transport routier permet l'épanouissement des libertés individuelles de déplacement et les pratiques de gestion en émergence pour les entreprises à savoir le « juste à temps ». Mais, ces points forts ne peuvent s'exister que si le système de

transport les permet par des infrastructures adaptées. La nouvelle organisation spatiale résultante de cette dernière n'est pas conçue de façon à minimiser la demande de transport. En Tunisie, le choix des infrastructures n'a jamais été perçu durablement, surtout avec le problème majeur d'inégalité régionale qui en découle. Les politiques de transports rencontrent en conséquence des freins puissants à cause de cet effet structurant du transport. Réduire la consommation d'énergie n'est pas perçu sûr sans imposer des restrictions à la mobilité.

Constat 7: La situation énergétique du transport routier est contrastée. Les choix énergétiques en matière de transport forment un enjeu de société : Ils sont perdus dans un cercle vicieux de déclin urbain. En effet, le paradoxe énergétique d'urbanisation est une tendance lourde en Tunisie et l'inégalité régionale quant à la répartition des infrastructures pose beaucoup d'interrogations quant à la durabilité énergétique du secteur.

8. La consommation excessive d'énergie dans le transport routier, l'effet du prix de carburant

En Tunisie, la croissance de la consommation routière est très liée au prix du carburant, aux taxes imposées aux sociétés de transport de marchandises et aux subventions données aux sociétés de transport de personnes afin d'améliorer l'offre du transport public. Le prix d'essence a augmenté, d'une manière dramatique en passant de 0,2 Dinars tunisien (DT) en 1980 à 1,34 DT en 2010 [Ministère de transport, 2012], avec un taux de croissance annuel de 6,45%. En outre, l'État consacre une partie très importante de son budget comme des subventions sur la consommation des carburants (770 MDT en 2005).

Consciente de coût financier considérable des subventions aux carburants, L'État tunisien a mis en place, dès janvier 2009, un mécanisme de détermination des produits pétrolier consistant à indexer partiellement les prix locaux des produits pétroliers sur ceux du marché mondial dans l'objectif fondamental est de diminuer l'ampleur de ses subventions qui ont marqué, en conséquence une baisse de 12% entre 2005 et 2010.

Constat 8: En Tunisie, l'automobile ne connaît pas la crise. Un engouement phénoménal réside dans le fait que l'acquisition d'une voiture est devenue plus facile par le biais des crédits bancaires et que cet engouement ne semble pas être freiné ou même ralenti par la hausse des prix des carburants. Ni la cherté des hydrocarbures, ni la hausse des prix des voitures ont incité les Tunisiens à renoncer à leur passion à la voiture particulière. Le

prix du carburant est totalement contrôlé par l'État ce qui introduit généralement deux types de distorsions économiques : des distorsions par rapport au prix internationaux⁸⁴ et des distorsions inter-produits (le diesel est nettement plus favorisé que l'essence).

II. Implications de la consommation d'énergie dans le transport routier sur le transport énergétiquement durable en Tunisie

D'une manière synthétique, les implications en matière d'un transport routier énergétiquement durable en Tunisie sont multiples et diverses. Malgré les avantages sur le plan socio-économique de la consommation routière d'énergie entant que moteur et catalyseur de développement en favorisant la mobilité individuelle et l'émergence des nouvelles pratiques de gestion pour les entreprises, les pressions qu'elle exerce sur l'environnement, l'économie et la société sont majeures et prépondérantes.

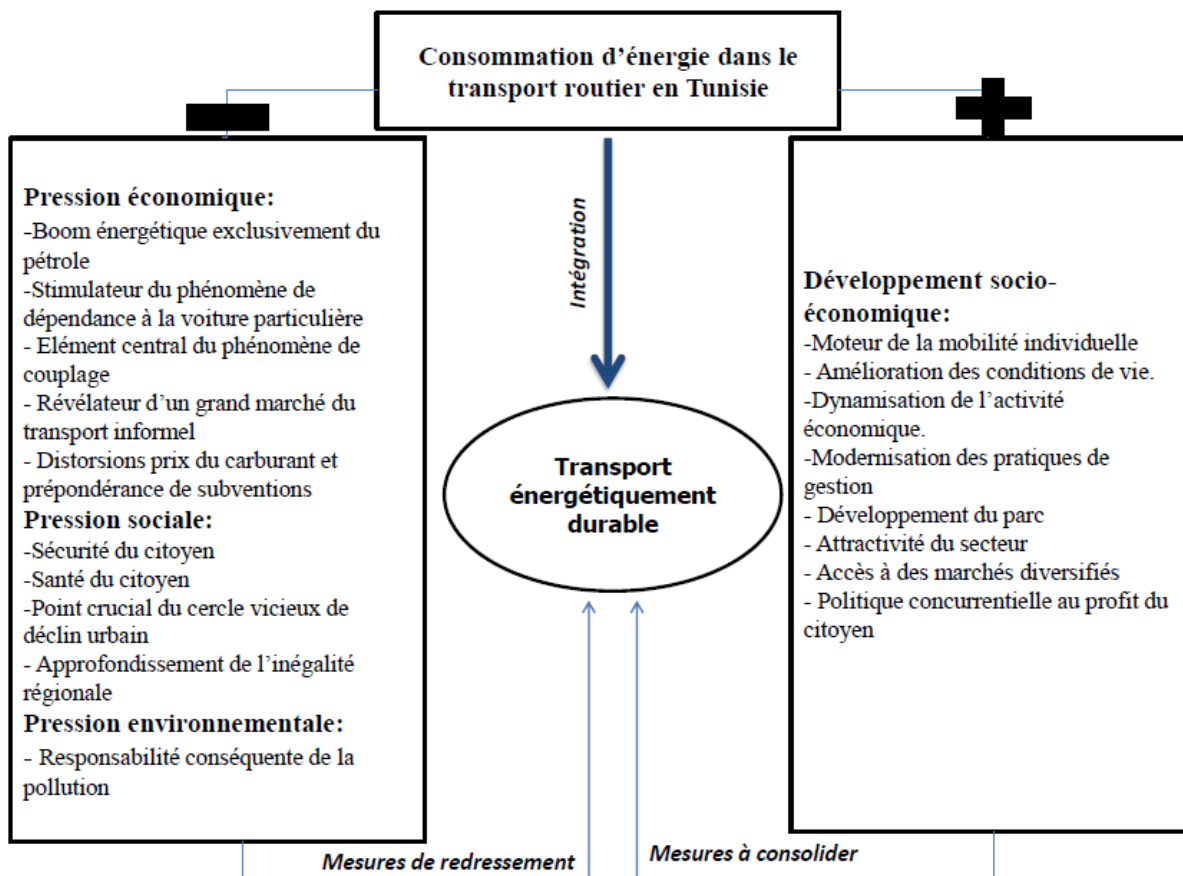


Figure II.7. Synthétisation des implications de la consommation d'énergie sur le transport routier énergétiquement durable en Tunisie

Source : Élaboration de l'auteur.

⁸⁴ L'objet de cinquième chapitre de la thèse.

L'état des lieux montre bien que la situation actuelle est partout préoccupante. Les tendances majeures sont contrastées mais convergentes :

- Une augmentation constante de la consommation d'énergie dans le transport routier favorisée principalement par l'étalement urbain et la dépendance à la voiture particulière ;
- Des dynamiques de motorisation de masse favorisées par l'ouverture des marchés et la facilité des crédits à la consommation ;
- Des investissements lourds en infrastructures routières favorisant de plus en plus l'inégalité régionale et la prépondérance du paradoxe énergétique d'urbanisation ;
- Un grand potentiel pour le développement des activités clandestines et la création d'un marché de transport informel ;
- Des distorsions de la politique du prix de carburant et importance de subventions ;
- Des insuffisances récurrentes de l'offre de transport public en termes de qualité, de desserte, de niveau de service, ... ;
- Une augmentation constante des émissions de gaz à effet de serre liées au transport routier et les insuffisances des politiques de régulation environnementale.
- Une intervention de l'État dans le système énergétique ;
- Une rigidité écologique, décisionnelle et financière au niveau de la modification de la structure de l'offre de transport.

A ces constats nationaux s'ajoutent le poids du contexte international marqué par une instabilité du cours de pétrole et un engagement collectif et moral de plus en plus contraignant en faveur de la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

D'une manière générale, la littérature est riche en termes d'instrumentation contribuant à la maîtrise de l'énergie dans une telle situation préoccupante à savoir les instruments réglementaires et les instruments économiques (Crocker, 1966 ; Dales, 1968 ; Montgomery, 1972). Dans cette lignée, la question qui se pose porte principalement sur la faisabilité et l'ampleur d'une telle instrumentation dans le cas de la Tunisie.

Section 2 : Retour sur l'expérience de la maîtrise de l'énergie dans le transport routier en Tunisie : Des perspectives peu soutenables

Sur la base de la lecture et de l'analyse des principaux plans et programmes de développement en Tunisie, nous pourrions conclure que la maîtrise de l'énergie dans le transport routier est une composante fondamentale de la stratégie énergétique nationale. A long terme, cette dernière vise la transition énergétique et le développement à bas carbone en répondant aux principaux défis de la durabilité en Tunisie, à savoir la sécurité énergétique et la lutte contre le changement climatique.

En tenant compte de leur poids dans le bilan énergétique et des formes d'énergie consommées, le secteur du transport et plus précisément le mode routier, a été caractérisé comme un secteur prioritaire exigeant ainsi une modalité de traitement spécifique et une stratégie sectorielle propre en matière de la maîtrise de l'énergie. De surcroît, le gouvernement tunisien a essayé de repérer les axes stratégiques d'intervention en mettant en place **des moyens** et **des programmes** vers la concrétisation **des actions** afin de surpasser les contraintes énergétiques et environnementales d'un tel mode de transport en répondant à **un double objectif** : la réduction de l'intensité énergétique et la réduction de l'intensité CO₂ dans le transport routier. La feuille de route suivie se base sur un cadre institutionnel et réglementaire bien déterminé, avec un recours accru à une meilleure gouvernance des actions définies et une mobilisation transparente de sources de financement exigées.

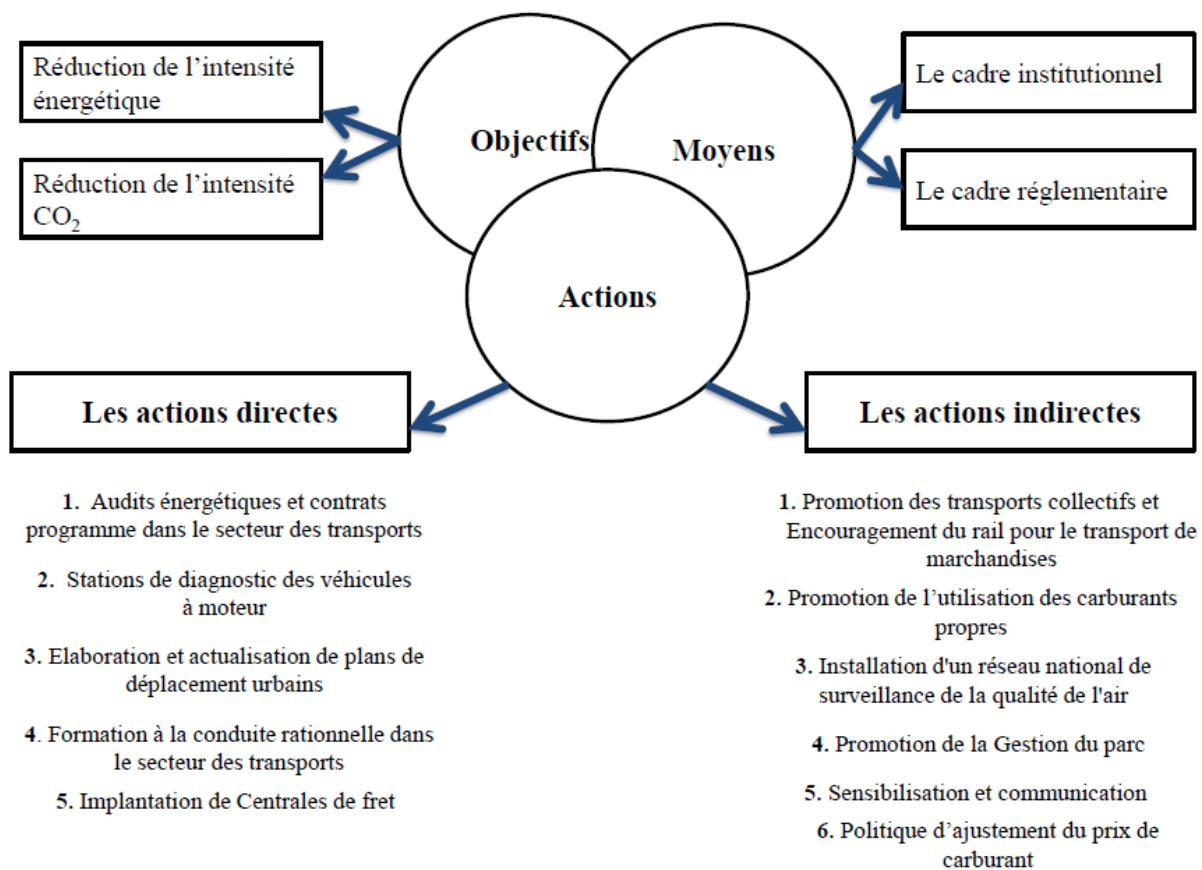


Figure II.8. Stratégies de la maîtrise de l'énergie dans le transport routier en Tunisie

Source : Élaboration de l'auteur.

I. Les grandes orientations nationales en matière de la maîtrise de l'énergie dans le transport routier

Les principales mesures adoptées pour mettre en œuvre cette politique sectorielle de la maîtrise de l'énergie sont la mise en place d'un cadre institutionnel et organisationnel opérant, l'élaboration d'un cadre réglementaire, et enfin l'amélioration du système de transport actuel en termes d'efficacité énergétique, de protection de l'environnement et d'orientation stratégique de report modal. Ceci passe par la réalisation d'études structurantes menées en amont par les pouvoirs publics afin d'élaborer différents scénarios et d'en mesurer les impacts en termes d'économie d'énergie, de développement économique et social et de réduction de la contrainte environnementale. Bien évidemment, le plus important est la programmation et la définition de plans d'actions, d'une part, et la mobilisation des moyens nécessaires pour leur mise en œuvre effective, d'autre part.

En effet, la Tunisie, dotée d'une expérience de plus de 30 ans dans le domaine de la maîtrise de l'énergie, a développé une politique axée particulièrement sur :

- ✓ La mise en place d'un cadre institutionnel spécifique ;

- ✓ La mise en œuvre d'un dispositif réglementaire évolutif;
- ✓ Le développement d'une panoplie d'outils incitatifs encourageant les investissements dans ce domaine;
- ✓ La mobilisation des actions en matière d'efficacité énergétique dans le transport routier.

1. Le cadre institutionnel

Le diagnostic du cadre institutionnel relatif à la maîtrise de l'énergie dans le transport, fait apparaître les enseignements suivants :

- Une prise de conscience des enjeux énergétiques et du rôle de la maîtrise de l'énergie dans le transport comme un des principaux axes de la politique énergétique nationale et élément clé du développement du pays ;
- Une tendance vers le renforcement du cadre institutionnel de la maîtrise de l'énergie dans le transport vu l'aggravation du phénomène de la dépendance énergétique dans laquelle se trouve notre pays et les risques de la hausse irréversible des cours internationaux du pétrole;
- La multiplicité des structures publiques actives dans le domaine de la maîtrise de l'énergie sous la tutelle de ministère de l'environnement et de développement durable, ministère de l'industrie, de l'énergie et des petites et moyennes entreprises, l'Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE), l'Agence Nationale des Énergies Renouvelables (ANER), l'Agence Nationale de Maîtrise de l'énergie (ANME), et l'Observatoire National de Protection de l'Environnement (ONPE).

2. Le cadre législatif et réglementaire

D'une manière générale, la politique volontariste de la Tunisie en matière d'efficacité énergétique s'est traduite aussi par la promulgation de nouvelles lois et l'adoption de textes réglementaires exprimant à la fois l'appui aux investissements dans ce domaine et l'intérêt attaché à la maîtrise de l'énergie en tant qu'un axe prioritaire de la politique énergétique du pays. En effet, la Tunisie a dynamisé et amélioré, il y a quelques années, l'arsenal réglementaire en mettant en place un cadre réglementaire et incitatif relativement favorable à la maîtrise de l'énergie, par rapport à d'autres pays de la région. Ce cadre est régi principalement par les lois suivantes:

- La promulgation de la loi 85-48 du 25 avril 1985 portant encouragement de la recherche, de la production et de la commercialisation des énergies renouvelables et de la loi 90-62 du 24 juillet 1990 relative à la maîtrise de l'énergie ;
- La promulgation de la loi 82-106 du 19 décembre 2005 venue pour consolider la politique de l'énergie par la création d'un système de maîtrise de l'énergie, qui a évolué vers un Fonds National de Maîtrise de l'Énergie (FNME), apportant un soutien public extra budgétaire et concourant au changement d'échelle dans le volume des investissements dédiés à la maîtrise de l'énergie;
- La promulgation de la loi 2009-7 du 9 février 2009 est venue compléter la loi 2004-72 du 2 août 2004, en donnant plus de valeur aux actions de maîtrise de l'énergie et ouvrant notamment la voie à plus de stratégies dans la matière.

En résumé, ces textes juridiques introduisent certaines obligations concernant la consommation d'énergie ainsi qu'un certain nombre d'aides et d'avantages fiscaux pour la promotion de la maîtrise de l'énergie.

3. Les principales réalisations

Un panel d'outils a été mobilisé pour maîtriser l'énergie dans le transport routier en Tunisie. L'effort a été focalisé sur cinq **actions directes**, à savoir :

1. Audits énergétiques et contrats programmes dans le secteur des transports.
2. Stations de diagnostic des véhicules à moteur.
3. Formation à la conduite rationnelle dans le secteur des transports.
4. Élaboration et actualisation de plans de déplacements urbains.
5. Mise en place de Centrales de fret.

D'autres **actions indirectes** dont l'effet sur la maîtrise de l'énergie dans le transport routier est difficilement quantifiable, s'ajoutent pour appuyer cette volonté et enrichir l'expérience tunisienne dans la matière.

a) Les actions principales ou directes

Selon une étude publiée par l'Agence Nationale des Énergies Renouvelables (ANER) en 2002⁸⁵, l'impact estimé de chacune des principales actions en termes d'économie d'énergie, respectivement aux horizons 2010 et 2020 est évalué dans le tableau II.7.

⁸⁵ Rapport intitulé « Étude sur l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur de l'énergie en Tunisie », aout 2002.

Tableau II.7. Synthèse des économies d'énergie finale réalisables grâce aux options portant sur la maîtrise de la demande d'énergie dans le secteur des transports (en ktep).

| | 2010 | 2020 |
|--|------------|------------|
| Audits énergétiques et contrats programme dans le secteur des transports | 17 | 45 |
| Stations de diagnostic des véhicules à moteur | 81 | 178 |
| Formation à la conduite rationnelle dans le secteur des transports | 45 | 74 |
| Élaboration et actualisation de plans de déplacement urbains | 70 | 148 |
| Implantation de Centrales de fret | 100 | 207 |
| TOTAL | 313 | 652 |

Source : [ANER, 2002]

1) Audits énergétiques et contrat-programmes dans le secteur des transports :

L'audit énergétique⁸⁶ obligatoire et périodique dans le secteur des transports a démarré en 1986. Cette initiative se poursuit d'une manière régulière et touche principalement les entreprises de transport. En effet, ces dernières assujetties à l'audit énergétique obligatoire ont été classées en trois catégories : Les entreprises dont la consommation dépasse 7 ktep, celles qui consomment entre 2 et 7 ktep et enfin celles dont la consommation est inférieure à 2 ktep. L'audit énergétique est adossé à un dispositif incitatif octroyé dans le cadre de contrats programmes (CP) avec l'ANME.

Ce système constitue la pierre angulaire de la politique tunisienne de maîtrise de l'énergie dans les transports. En effet, il présente à la fois une manière efficace d'informer et de sensibiliser les consommateurs sur les actions possibles pour générer des économies d'énergie et un moyen efficace pour la mise en place de mesures d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre. En outre, d'après les résultats estimatifs de l'étude mentionnée ci-dessus, la nouvelle formule du programme d'audit dans le secteur des transports est supposée pouvoir réaliser des économies d'énergie supplémentaires, par rapport au scénario de référence, s'élevant à 17 ktep en 2010, et 45 ktep à l'horizon 2020.

Le rythme des CP dans le secteur du transport a été progressivement accentué à partir de l'année 2008 avec le lancement du programme quadriennal 2008-2011 de maîtrise de

⁸⁶ Cette action est régie par l'article 4 de la loi n°2009-7 du 9 février 2009 : « Les établissements dont la consommation totale d'énergie dépasse un seuil fixé par décret sont assujettis à un audit énergétique obligatoire et périodique effectué par les experts-auditeurs. On entend par audit périodique, toute opération de diagnostic de la consommation d'énergie au sein de l'établissement à travers la réalisation de recherches, d'études et de contrôles visant à évaluer le niveau de performance énergétique de l'établissement, à analyser les causes des insuffisances et à proposer les actions correctives »

l'énergie. Au total et jusqu'au 2010, 60 audits énergétiques suivis de CP ont été conclus suite surtout à la focalisation des efforts sur les entreprises de transport grosses consommatrices d'énergie et la promotion et la vulgarisation des actions génériques d'économie d'énergie pour les entreprises à faible consommation. Il est à noter dans ce sens que plus que de 95% de CP réalisés concerne le transport routier.

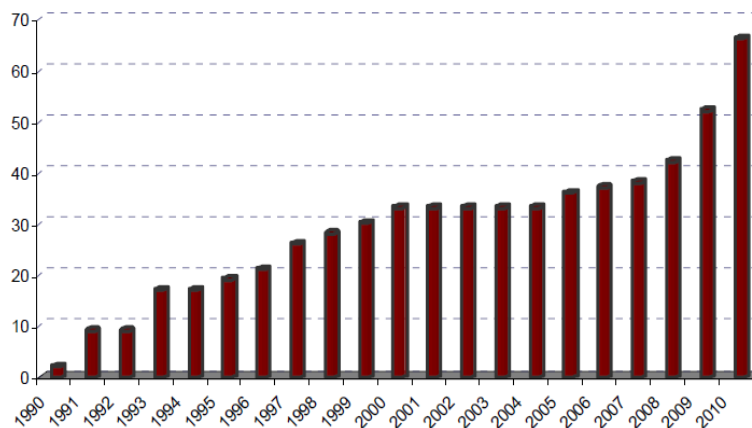


Figure II.9. Évolution cumulée du nombre de CP conclus dans le secteur du transport de 1990 à 2010.

Source : ANME (2013).

2) Stations de diagnostic des véhicules à moteur :

Cette action, prévue par l'article 3 de la loi n°2009-7 du 9 février 2009, consiste à mettre en place des stations de diagnostic de véhicules à moteur permettant de faire un diagnostic complet des performances du moteur (allumage, carburation, injection, analyse des gaz d'échappement), d'une part, et de prescrire à l'utilisateur les opérations de réparation et d'entretien nécessaires au bon fonctionnement de son véhicule, d'autre part. En outre, la promotion des bancs de diagnostic moteurs vise essentiellement la réduction des émissions et de la consommation des véhicules par le contrôle et le réglage systématique des moteurs.

Dès 1995, cette action a démarré en Tunisie avec l'installation progressive d'un nombre suffisant de stations de diagnostic des moteurs de véhicules de transport sur l'ensemble du territoire tunisien. La concrétisation de cette action a été orientée vers :

- l'installation de 26 stations de diagnostic auprès des distributeurs d'essence et ateliers privés de réparation (à partir de 1995) ;
- l'introduction du diagnostic moteur au niveau des centres de visite technique des véhicules de transport (à partir de 1997) et ;

- l'obligation du diagnostic moteur⁸⁷ à travers la mise en application de la réglementation relative au contrôle de la pollution (à partir de 1998).

A la fin de l'année 2010, 11 stations de diagnostic ont été implantées et ce par rapport à des prévisions de 20 stations. Les économies d'énergie supplémentaires envisageables, par rapport au scénario de référence, s'élèvent à 81 ktep en 2010, et 178 ktep à l'horizon 2020.

3) Formation à la conduite rationnelle dans le secteur des transports :

Suite aux progrès technologiques au niveau des véhicules et de la motorisation, la notion de la conduite économique a changé. Par conséquent, l'action portant sur la formation à la conduite rationnelle vise la mise en place d'un nouveau programme généralisant de nouvelle notion à toutes les catégories de conducteurs (débutants ou déjà titulaires du permis de conduire).

En Tunisie, cette action a démarré en 1995, en intégrant au niveau de la formation et de l'examen du permis de conduire, un module spécifique à la conduite rationnelle et l'entretien préventif du véhicule. Cette action s'est dirigée en quatre axes fondamentaux:

- Enrichir le code de la route par un chapitre portant sur des notions de conduite rationnelle et d'entretien préventif des véhicules;
- Réaliser plusieurs formations pilotes au profit des 113 examinateurs du ministère du transport et des 818 moniteurs des auto-écoles (étape réalisée en 1996 et 1997);
- Introduire obligatoirement, à partir de 1998, des notions de conduite rationnelle dans les examens de permis de conduire et;
- Élargir le champ de formation⁸⁸ et établir un guide simplifié et pratique sur la conduite rationnelle, les bonnes pratiques de maintenance ainsi qu'aux bonnes pratiques d'achat de véhicules performants et peu polluants, destiné aux automobilistes.

⁸⁷ L'article 13 de la loi n°2009-7 du 9 février 2009 prévoit que « *Les automobiles sont soumises, à l'occasion de la visite technique périodique qu'elles subissent conformément aux dispositions du code de la route, à un diagnostic de leurs moteurs dans le but de la maîtrise de la consommation d'énergie* ».

⁸⁸ L'exemple type est l'étude qui a été réalisée par le Ministère du Transport avec l'appui de la Coopération Technique Allemande "GIZ", pour l'élaboration d'un programme de formation et de perfectionnement des conducteurs routiers sur les techniques de la conduite économique. Cette étude a permis de cerner la population cible, d'identifier le potentiel d'économie d'énergie engendré par la formation des différentes catégories de conducteurs et de proposer un programme exécutif pour la mise en œuvre de l'action.

Grâce aux actions proposées dans le cadre de cette option, les économies d'énergie supplémentaires envisageables, par rapport au scénario de référence, s'élèvent à 45 ktep en 2010 et sont estimées à 74 ktep à l'horizon 2020.

4) Élaboration et actualisation de plans de déplacement urbains⁸⁹ :

Ayant une fonction plus large qu'un plan de circulation⁹⁰, les plans de déplacements urbains⁹¹ (PDU) sont destinés à optimiser la gestion du trafic urbain de véhicules automobiles afin d'améliorer les conditions de déplacements et réduire les pertes de temps ainsi que les émissions polluantes. Cette action consiste à améliorer la planification de la circulation et des réseaux de transport routiers, notamment dans et entre les grandes villes. Une telle action peut avoir une incidence importante sur la consommation d'énergie.

La présente option consiste principalement à :

- ✓ Intégrer et renforcer la part de l'objectif énergétique (et donc environnemental), dans la préparation et la concrétisation des PDU de la ville de Tunis ;
- ✓ Étendre la même démarche dans les principales villes du pays (notamment Sfax, Sousse);
- ✓ Étudier les possibilités d'amélioration du bilan énergétique des transports inter-villes par une stratégie modale et des incitations adéquates.

⁸⁹ L'article 12 de la loi n°2009-7 du 9 février 2009 prévoit que « *Les plans de déplacement urbain fixent les règles générales d'organisation du transport, de la circulation et du stationnement à l'intérieur des périmètres de transport urbain et ce, dans le but de faciliter les déplacements, de rationaliser la consommation d'énergie et de protéger l'environnement* »

⁹⁰ **Le Plan de circulation** est un outil de planification de transport et de gestion de trafics à l'échelle locale ; Il répond à un besoin d'approfondissement local des conditions de la circulation dans la commune et propose un plan d'action à court et moyen terme avec une estimation et un échéancier de priorité. Il a pour objectif d'organiser la circulation, d'améliorer la sécurité des usagers de la route, en proposant des actions d'aménagement physiques et horaires ; ces actions concernent le plus souvent la voirie y compris le stationnement, et l'offre de transport collectif, et tous les modes de transport. Il propose aussi un plan de signalisation et de jalonnement.

⁹¹ **Les plans de déplacement urbains** ont pour principe de base l'organisation des transports de personnes et de marchandises, de la circulation et du stationnement, et la coordination de tous les modes de déplacements (Transports publics, train, voitures, piétons, taxis, camions,...) en mettant l'accent sur les mesures d'aménagement et d'exploitation et le calendrier des décisions et réalisation. Ils visent à assurer un équilibre durable entre d'une part, les besoins de mobilité et de facilité d'accès, et d'autre part, la protection de l'environnement et de la santé. En effet, ils cherchent :

- La viabilité écologique: les déplacements doivent être gérés selon les impératifs écologiques.
- L'efficacité économique: les nécessités en matière de la mobilité doivent se couvrir de la forme la plus rentable possible, afin que les coûts financiers soient supportables par la collectivité.
- La justice sociale: toutes les couches de la population doivent pouvoir accéder aux infrastructures de transport.

Les économies d'énergie escomptées à travers l'intégration de la dimension énergétique dans l'élaboration et l'actualisation des PDU, par rapport au scénario de référence, s'élève à 70 ktep à l'année 2010 et sont estimées à 148 ktep à l'horizon 2020.

5) Implantation de Centrales de fret :

Aux mesures mentionnées précédemment, et dans une logique de logistique urbaine, s'ajoute une autre action spécifique au transport de marchandises. Elle consiste à soutenir la création de centrales de fret⁹², notamment par la mise en place de mécanismes de financement nécessaires et l'encouragement de leur exploitation par les transporteurs et les chargeurs.

Le lancement du processus d'implantation de centrales de fret vise en particulier :

- ✓ La réduction de taux de retour à vide des véhicules de transport de marchandises, évalué à environ 50 % des trajets de transports de marchandises selon une dernière étude réalisée par le ministère des Transports ;
- ✓ L'amélioration de taux de chargement des véhicules ;
- ✓ La limitation de la circulation des véhicules jugés de gros tonnage dans les zones fortement urbanisées ;
- ✓ L'optimisation des réseaux de distribution et de collecte des marchandises;
- ✓ L'amélioration de la qualité du service rendu à la clientèle.

Grâce aux actions proposées dans le cadre de cette option, les économies d'énergie supplémentaires attendues, par rapport au scénario de référence, s'élèvent à 100 ktep en 2010 et sont estimées à 207 ktep à l'horizon 2020.

b) Les actions indirectes

Un paquet de mesures complémentaires ont été mobilisées dans le but de soutenir les actions directes et consolider les gains d'efficacité énergétique dans le transport routier en Tunisie.

⁹² D'une manière générale, les plateformes logistiques constituent un cadre favorable pour réaliser des économies d'échelle, réduire les coûts et assurer une offre de services compétitive et à forte valeur ajoutée logistique. D'une part, elles constituent des nœuds de concentration des flux, de rupture de charge, de transbordement d'un mode à un autre, et redistribution des flux permettant l'optimisation des flux de marchandises. D'autre part, elles permettent de localiser et de minimiser les nuisances et les consommations énergétiques.

1) **Promotion des transports collectifs et Encouragement du rail pour le transport de marchandises :**

Les deux grandes orientations de la stratégie de report modal sont la mise en œuvre de moyens permettant de basculer de l'utilisation de la voiture individuelle en zone urbaine vers l'utilisation de transports collectifs et le développement du transport interurbain de voyageurs par le train d'un côté, et le transfert vers le transport ferroviaire pour le transport de marchandises d'autre côté.

En effet, la promotion du transport public collectif urbain dans les grandes villes a consisté aux actions suivantes:

- Assurer une offre suffisante conjuguée avec une qualité de service acceptable, renouveler et faire évoluer le parc des bus des sociétés de transport public ;
- Favoriser la réalisation d'investissements structurants de l'espace urbain tels que les réseaux de sites propres pour les autobus ou les tramways, le réseau du métro léger jusqu'à El Mourouj en 2008, la Manouba en 2009 et l'électrification de la ligne ferroviaire Tunis-Borj Cédria en 2009;
- Améliorer l'image et la qualité des services de transports publics urbains à travers des projets visant la gestion de l'accès des automobiles aux centres villes urbains en limitant les stationnements en centres villes.

En outre, pour la consolidation du transport public collectif interurbain, l'effort a été fait en vue de l'adaptation de l'offre de transport public collectif interurbain à la demande et l'amélioration de la qualité de service. Les principaux traits du programme sont:

- Le renforcement de transport ferroviaire sur les grandes lignes, vu les avantages que présente ce mode par rapport à la route en termes de consommation et de coût ;
- La consolidation de la participation des privés au secteur du transport public, vu que jusqu'en 2004, le transport interurbain par autocar était uniquement assuré par des entreprises publiques, essentiellement la SNTRI (Société nationale de transport interurbain) et les sociétés régionales ;
- L'encouragement des professionnels du secteur des louages à se regrouper pour exploiter des minicars dont la capacité peut aller jusqu'à trente places;
- La poursuite de la réalisation du plan directeur de transport par pipe-line des produits pétroliers et du gaz naturel.

Quant à l'encouragement du rail pour le transport de marchandises, le programme adopté vise essentiellement les actions suivantes :

- La mise en place d'une stratégie de développement du marché de transport de marchandises par la Société Nationale des Chemins de Fer Tunisienne ;
- Le lancement d'une politique commerciale et d'une campagne de communication pour promouvoir le rail-marchandises;
- L'adoption d'une politique d'incitation pour le report modal en transférant une partie de l'activité de transport routier au transport ferroviaire et en liant le réseau ferroviaire aux différentes unités de production et aux ports (transbordement mer-rail) afin de consolider l'exportation.

2) Promotion de l'utilisation des carburants propres :

Le programme prévoit :

- ✓ La généralisation de l'utilisation de l'essence sans plomb en égalisant son prix avec le prix de l'essence super ;
- ✓ L'encouragement à l'utilisation du gaz naturel⁹³ comme carburant pour les véhicules vu l'avantage d'être moins polluant que les carburants classiques et d'être largement disponible en Tunisie à travers un programme pilote relatif à l'utilisation du gaz naturel comme carburant dans une centaine (100) de bus;
- ✓ La promotion de l'utilisation du carburant propre à savoir la plantation de la Jatropha pour essai comme agro-carburant.

3) Installation d'un réseau national de surveillance de la qualité de l'air :

Consciente de la responsabilité accrue des véhicules routiers dans l'augmentation de la pollution en milieu urbain, l'ANPE a focalisé son effort sur l'installation des stations fixes de mesure de la pollution atmosphérique dans les endroits à forte densité de circulation. La figure ci-dessous montre l'emplacement géographique des différentes stations de mesure des gaz polluants :

⁹³ Le gaz naturel pour véhicules est en effet un carburant particulièrement intéressant pour la Tunisie, qui dispose de réserves de gaz relativement abondantes. Un frein à son utilisation est l'absence de stations de ravitaillement et le coût élevé de construction de ces stations. Aussi, l'absence de base réglementaire fixant la structure tarifaire du gaz utilisé comme carburant.



Figure II.10. Répartition géographique des stations fixes de surveillance de la qualité d'air

Source : ANPE (2008).

4) Promotion de la Gestion du parc :

Le programme consiste en l'incitation des entreprises à s'équiper par les nouvelles technologies d'information et de communication et plus spécifiquement par des systèmes d'information⁹⁴ dont la vocation est la gestion et le suivi de leurs flottes dans le temps et dans l'espace. La garantie d'une telle traçabilité⁹⁵ permet d'analyser l'activité, les performances des véhicules et le comportement des conducteurs en temps réel afin de détecter les sources de surconsommations et d'apporter des remèdes à travers la définition des actions correctives ramenant la consommation à son niveau normal.

Dans ce sens, jusqu'à l'année 2010, l'ANME a signé 20 contrats-programmes pour équiper 2493 moyens de transport dont 1865 dans le secteur public et 628 dans le secteur privé d'un système de suivi et de gestion. Les investissements ont été de l'ordre de 1,5 MDT

⁹⁴ « Un système d'information est un ensemble organisé de ressources (matériel, logiciel, personnel, données, procédures), permettant d'acquérir, de traiter, de stocker, de communiquer des informations dans des organisations » (Reix, 2004).

⁹⁵ Au sens étymologique, la « traçabilité » est liée à la « trace » qui, au sens figuratif est une « marque laissée par un événement ». Tracer peut aussi signifier « indiquer la voie à suivre » ou encore « marquer les contours ».

avec des subventions de l'ordre de 300000 DT. Le potentiel d'économie d'énergie escomptée de l'ordre de 2 ktep.

5) Sensibilisation et communication :

Dans le cadre de programme quadriennal 2008-2011, la principale action a été orientée vers la mobilisation de plusieurs campagnes de sensibilisation sous le slogan : « Y'a-t-il une solution?, l'économie d'énergie est la solution » dont l'objectif est de sensibiliser le public aux problèmes de la pollution atmosphérique engendrée par les moyens de transport ainsi que d'essayer de modifier le comportement de l'automobiliste. Le potentiel le plus important de réduction de la consommation d'énergie pour les véhicules existants est la limitation de vitesse, ...

Cette action a été concrétisée à travers :

- ✓ L'organisation de programme télévisé en la matière ;
- ✓ L'organisation des campagnes publicitaires urbaines ;
- ✓ Le soutien des efforts des associations et des organisations nationales régionales et locales ;
- ✓ Le renforcement des campagnes de sensibilisation sur la maîtrise de l'énergie à travers l'organisation de conférences nationales pour la maîtrise de l'énergie;
- ✓ La volonté de généraliser la présence des services régionaux de l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie dans les différents gouvernorats de la Tunisie.

6) Politique d'ajustement du prix de carburant :

La politique d'ajustement du prix de carburant en Tunisie s'explique par deux éléments essentiels :

- Une maîtrise du déficit budgétaire et des dépenses sociales dans la compensation: En effet, au-delà du montant fixé pour la compensation (1.500 MDT par an) et d'un déficit budgétaire de l'ordre de 2,7%, il n'est pas exclu que le gouvernement procède à de légers ajustements des prix. Autrement dit, au-delà des seuils fixés, les contribuables devront contribuer à cet effort de solidarité qu'exige la compensation ;
- L'ajustement du prix du carburant s'inscrit dans le cadre du système de régulation mis en place depuis janvier 2009. En effet, chaque fois que l'écart entre le prix du pétrole à l'international et le prix d'équilibre de référence atteint 10 dollars par baril au moins sur une période de trois mois successifs, il est préconisé d'ajuster les prix intérieurs des produits pétroliers d'une manière modérée soit à la hausse ou à la baisse. A titre

d'exemple, en janvier 2009, ce système de régulation a prévu un ajustement à la baisse des prix des produits pétroliers sur le marché local. Par contre, en février 2010. Celui-ci a prévu un ajustement à la hausse des prix du carburant. Une telle augmentation a été justifiée par l'augmentation des prix du pétrole sur le marché international depuis janvier 2009, dépassant ainsi le seuil de 10 dollars au cours du dernier trimestre 2009.

II. Freins à la maîtrise de l'énergie dans le transport routier

Le retour expérientiel en matière de la maîtrise de l'énergie dans le transport routier en Tunisie montre bien évidemment qu'il s'agit d'une vraie volonté nationale de maîtriser la consommation d'énergie dans un tel mode énergivore. A cet égard, la Tunisie a pris conscience très tôt de l'importance de ce défi, en promulguant les textes législatifs adéquats, en créant les mécanismes et les structures et en mobilisant une panoplie d'actions.

Ce pendant, il n'en demeure pas moins que le constat de la situation actuelle permet de dégager un certain nombre de freins et barrières empêchant le développement naturel de la maîtrise de l'énergie dans un tel mode.

Sur le plan institutionnel, quatre critiques peuvent être soulignées :

- 1) Un éparpillement de la prise en charge institutionnelle de la maîtrise de l'énergie au détriment de la capitalisation des acquis, vu l'intervention d'une manière parcellaire d'une multiplicité d'institutions ;
- 2) Une inadéquation du cadre institutionnel actuel à la maîtrise de l'énergie qui est un concept horizontal impliquant une diversité d'acteurs dont on doit gérer la concertation et le partenariat, en présence éventuelle des objectifs parfois conflictuels ;
- 3) Un défaut de capacités d'intervention au niveau décentralisé. En outre, les moyens de ces institutions sont forcément limités pour se rapprocher suffisamment de ses cibles et de régner l'ensemble du territoire. L'absence de « relais territoriaux » en terme municipal (ou collectivité locale) fait handicaper la mise en œuvre des programmes régionaux ou locaux adaptés aux conditions locales et;
- 4) L'absence des experts sectoriels risque de toucher la pertinence des actions à mener.

Sur le plan réglementaire, une remarque assez surprenante est l'absence d'un cadre réglementaire spécifique par secteur pour la maîtrise de l'énergie en Tunisie. La priorisation sectorielle en faveur des interventions dans les secteurs les plus énergivores tels que du

transport en Tunisie, n'est pas explicitement mentionnée dans les textes de loi. Plus précisément, le cadre réglementaire existant tel que prononcé par la loi du 9 février 2009, tend vers la définition des actions de maîtrise de l'énergie en se basant sur une classification « technologique » comme la cogénération, l'isolation thermique du bâtiment, la certification énergétique des appareils électroménagers, l'efficacité énergétique dans l'éclairage, etc. plutôt que selon des thématiques sectorielles.

Les potentialités et les perspectives d'amélioration de l'audit énergétique, principal instrument déclencheur de processus de maîtrise de l'énergie dans le transport routier, ne sont pas encore sûres :

- Les résultats des audits énergétiques et des CP mis en œuvre sont estimés sur la base de calculs hypothétiques et ne sont encore ni vérifiés ni prouvés par des protocoles de mesurage. Le défi est alors de concevoir des méthodes de mesure des économies d'énergie et des émissions évitées ;
- Logiquement, les audits énergétiques donnent lieu à la conclusion des CP fixant un ensemble d'actions dont l'objectif principal est la réduction de la consommation d'énergie. La matérialisation de ces actions passe par l'octroi de primes par le Fond National de Maîtrise de l'Énergie (FNME). Néanmoins, la faisabilité de ces CP est, dans certains cas, gênée par le caractère non obligatoire des CP d'une part, et le coût d'exécution élevé d'autre part, ce qui crée un grand besoin de recourir à des financements supplémentaires ;
- L'absence des audits énergétiques de cités ou des villes entières touche profondément l'approche systémique dont s'inscrit le transport routier;
- L'insuffisance d'experts auditeurs expérimentés dans les bureaux d'études, l'absence de personnes qualifiées dans le domaine au sein des entreprises assujetties et la baisse de qualité des instruments de mesures utilisés altèrent la qualité des audits et la nature des actions qui en découlent.

Il semble clair que les programmes d'économie d'énergie dans le transport routier ont nié cinq points fondamentaux :

- 1) La composante optimisation du transport en marginalisant la recherche de la réduction des distances à parcourir par habitant ou par quantité de marchandise ;
- 2) La rigueur d'application des politiques environnementales et le renforcement de la planification et de l'action environnementale sur le plan régional ;

- 3) Le grand potentiel d'informalité du secteur du transport. En effet, l'importance des l'économie non enregistrée joue un rôle essentiel à la fois dans la composition énergétique et dans l'évolution de l'émission. Par la suite, il est certain que si nous ne prenons pas les précautions nécessaires pour ajuster le transport informel (l'objet de 3^{ème} chapitre de la thèse), la croissance économique du secteur sera, à long terme, dangereuse pour l'environnement ;
- 4) Une opinion publique peu sensible aux pollutions automobiles. Il n'en demeure pas moins que la vraie solution viendra d'un changement profond des mentalités;
- 5) L'insuffisance des outils de financement de la maîtrise de l'énergie en absence notable du rôle du système bancaire local dans ce domaine.

Dans ce sens de réflexion, une autre réalité s'impose fortement : la Tunisie n'est pas dans une logique de vérité des prix de carburant. Elle ne peut qu'ajuster, voire rééquilibrer, mais elle est loin de pouvoir activer un système d'indexation du prix à la pompe au cours mondial. En effet, depuis 2004, le prix des carburants a augmenté, au moins à dix reprises. Ces ajustements n'ont pas pu couvrir les coûts financiers supplémentaires générés par la flambée du prix du brut à l'échelle internationale. Dans ce sens, le retour de ce feuilleton cauchemardesque des ajustements du prix du carburant pose deux interrogations principales :

- *Comment les prix à la consommation des carburants sont formés en Tunisie ?*
- *L'augmentation de ce prix entraîne-t-elle forcément une baisse de la consommation d'énergie dans le transport routier ? Et si oui, quel est la nature de cet effet ?*

Section 3 : Quelques éléments d'analyse comparative internationale

Cette analyse comparative internationale a pour intérêt de **connaître le positionnement international de la Tunisie en matière d'efficacité énergétique et d'efficacité environnementale de consommation d'énergie dans le transport routier**. Elle vise à fournir une cartographie, dans le contexte transport-énergie-croissance-environnement, tout en représentant clairement la consommation routière d'énergie et les émissions de CO₂ qui en découlent dans 90 pays⁹⁶, leur évolution au cours du temps ainsi qu'un classement de ces pays en termes de performance énergétique globale dans le transport routier.

⁹⁶ Notre étude porte sur 90 pays, choisi aléatoirement en tenant compte de la disponibilité de données.

I. Objectifs

La réflexion menée est inspirée de deux travaux principaux : Le premier est la thèse de Karanfil (2008) qui a pour objectif préliminaire de mener une comparaison internationale pour situer la Turquie par rapport à 131 autres pays en matière de l'efficacité énergétique (mesurée par l'intensité énergétique) et l'efficacité environnementale (mesurée par l'intensité CO₂ de l'énergie) de la consommation d'énergie durant la période 1990-2005. Le second est l'article de Fiorito (2013) dont l'objectif est de classer 133 pays selon l'intensité énergétique durant la période 1960-2010.

L'originalité de cette investigation empirique consiste à adopter la même démarche mais avec désagrégation en termes sectoriels. En effet, une attention particulière est accordée au secteur du transport et plus spécifiquement au mode routier vu sa spécificité sur le plan énergétique et environnemental. En outre, notre analyse aura deux objectifs:

- 1) **L'élaboration d'un index global de performance énergétique** : appliqué dans le transport routier, cet index est le résultat de la définition d'un triangle énergétique⁹⁷ dont les trois sommets sont la consommation du carburant dans le transport routier, les émissions de CO₂ du transport routier et la croissance économique :

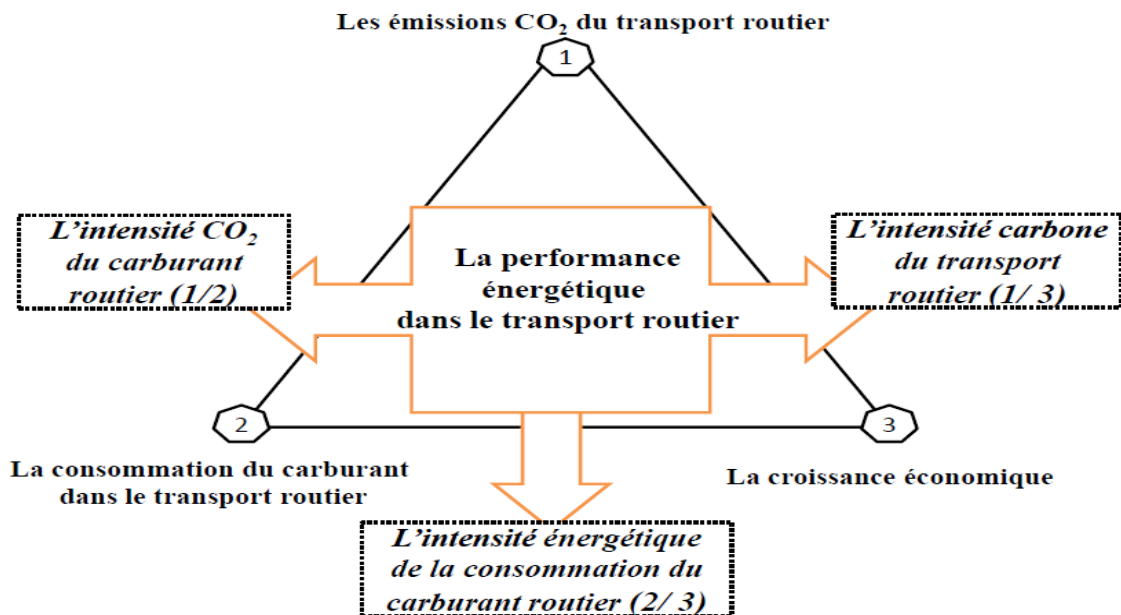


Figure II.11. Le triangle énergétique dans le transport routier

Source : Élaboration de l'auteur.

⁹⁷ La notion du triangle énergétique en termes agrégées est discutée récemment par le World Economic Forum dans leur rapport intitulé « The Global Energy Architecture Performance Index Report 2014 », publié en décembre 2013.

Ce triangle énergétique renvoi essentiellement à deux renseignements :

- La capacité de la consommation du carburant routier à promouvoir la croissance économique en stimulant les activités et les déplacements ;
- La contribution de la consommation du carburant routier à la dégradation environnementale.

2) **L'évaluation des pays de notre échantillon en termes de l'index global de performance énergétique dans le transport routier** en effectuant de classement constitue un outil d'aide à la décision. En effet, l'identification des pays à mauvaise performance énergétique aide à identifier les difficultés posées à leur transition énergétique dans le transport routier et à définir en conséquence un système énergétique efficace garantissant conjointement la durabilité environnementale, la croissance économique et la consommation énergétique.

II. Construction Méthodologie

Notre méthodologie s'organise en cinq étapes :

Étape 1 : Analyser et comprendre la distribution de 90 pays (dont fait partie la Tunisie) conjointement selon la consommation d'énergie dans le transport routier par unité de PIB⁹⁸ (*mesure de l'efficacité énergétique*) et l'émission de CO₂ de transport routier par unité d'énergie consommée (*mesure de l'efficacité environnementale*) suivant deux scénarios référentiels portant sur les deux années extrêmes de notre période d'étude (l'année 1980 et l'année 2010).

Analytiquement, l'efficacité énergétique est mesurée par l'intensité énergétique de la consommation du carburant routier⁹⁹ comme suit :

⁹⁸ Il faut souligner ici deux points :

- Pour des raisons d'indisponibilité des données, on était obligé de se référer au PIB plutôt qu'à la valeur ajoutée du secteur de transport ;
- Le potentiel de développement de l'économie informelle dans le transport est très grande et donc le PIB officiel (et même la valeur ajoutée officielle du secteur de transport) ne donne pas la taille véritable de la production.

⁹⁹ En anglais, elle est qualifiée « *Intensity effect* » (Paul et Bhattacharya, 2004 ; Fiorito, 2013). Concernant l'intensité énergétique dans le secteur de transport, il est conseillé de revoir l'article de Zhang et al (2011). Elle est exprimée en tonnes d'équivalent pétrole/ milliers de dollars (2000 cours fixes).

$$(Int_{energTroutier})_m = \frac{Ccarb_m}{PIB_m} \quad (II.1)$$

Avec,

$Ccarb_m$: La consommation du carburant dans le transport routier du pays n à l'année t ;

PIB_m : Le produit intérieur brut du pays n à l'année t ;

't' : L'année de référence (1980, 2010) ;

'n' : Le pays en question (1, 2, ..., 90).

L'efficacité environnementale est mesurée par l'intensité CO₂ du carburant routier¹⁰⁰ comme suit :

$$(Int_{Co_2Troutier})_m = \frac{(CO_{2Troutier})_m}{Ccarb_m} \quad (II.2)$$

Avec,

$(Int_{Co_2Troutier})_m$: L'intensité CO₂ du transport routier du pays n à l'année t ;

$(Co_{2Troutier})_m$: La quantité des émissions CO₂ du transport routier du pays n à l'année t.

Étape 2 : Évaluer l'efficacité énergétique et environnementale du transport routier en cherchant à ranger les pays en question en adoptant *une technique d'indexation* dont l'objectif est la définition d'un index de l'efficacité énergétique et d'un index de l'efficacité environnementale spécifique au transport routier.

Analytiquement, l'index E_{xtn} de la variable X du pays n à l'année t est formulé comme suit :

$$E_{xtn} = \frac{X_m - X_{\min,t}}{X_{\max,t} - X_{\min,t}} \quad (II.3)$$

Avec :

$X_{\max,t}$ et $X_{\min,t}$ sont respectivement la valeur maximale et la valeur minimale que la variable X prend parmi tous les pays à l'année t ;

X_{tn} renvoi soit à l'intensité énergétique de la consommation routière, soit à l'intensité CO₂ du carburant routier du pays n à l'année t.

¹⁰⁰ L'intensité CO₂ du carburant est qualifiée aussi « *Pollution coefficient effect* » (Paul et Bhattacharya, 2004 ; Timilsina et Shrestha, 2009). Elle est différente de l'intensité carbone, qualifiée aussi « *Activity effect* », qui rapporte l'émission de CO₂ à la croissance économique (PIB).

Plus formellement, l'index $E_{\text{xtn}} \in [0,1]$; Il tend vers 0 pour les pays ayant la meilleure performance, et vers 1 pour les pays les moins performants sur le plan énergétique ou environnemental.

Étape 3 : Réduire à une seule variable les informations données séparément par l'index de l'efficacité énergétique et l'index de l'efficacité environnementale afin d'aboutir à *un index général de la consommation routière d'énergie- croissance économique- protection environnementale*. Comme étant une composition de deux premiers index définis précédemment, la construction de l'index général pose un problème de pondération lors de l'addition des valeurs prises de chaque pays à propos de deux autres index. Dans ce cadre, notre positionnement personnel s'oriente vers une pondération égalitaire¹⁰¹ (50% pour l'efficacité énergétique et 50% pour l'efficacité environnementale) fondée sur l'hypothèse d'indifférence de préférence¹⁰².

Étape 4 : Recourir à la règle de sturges¹⁰³ pour *classer les pays* et orienter en conséquence l'aide à la décision.

Analytiquement, selon la formule de Sturges (Sturges, 1926), le nombre k de classes pour une série de N observations est donné approximativement par :

$$k = 1 + 3,3 \log N \quad (\text{II.4.1})$$

Il s'agit ensuite de choisir l'amplitude 'a' des classes comme suit :

$$a = (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) / k \quad (\text{II.4.2})$$

Avec : $X_{\text{max}} - X_{\text{min}}$ est l'étendue de la série.

¹⁰¹ D'autres configurations sont possibles et ceci dépend principalement de la priorité accordée par le chercheur soit à la question énergétique ou, soit à la question environnementale. En effet, pour un chercheur dont la priorité est accordée plus à l'aspect environnemental de la consommation d'énergie, l'index général sera formé en attribuant un poids de 70% à l'efficacité environnementale et 30% à l'efficacité énergétique.

¹⁰² Selon cette hypothèse, on reste à la même distance à la fois de l'enjeu énergétique et de l'enjeu environnemental.

¹⁰³ La règle de Sturges constitue une règle de constitution des classes qui est généralement fonction du nombre d'observations et de leur dispersion. Elle permet d'établir les classes et regroupement à opérer. La philosophie de la construction de la règle de Sturges postule que le nombre de classes doit être suffisamment grand lorsque les données sont peu nombreuses afin de mieux représenter la réalité en repérant une concentration éventuelle de données dans une classe. Au contraire, un très grand nombre de données ne nécessite pas d'augmenter trop le nombre de classes. Il est possible aussi d'utiliser la règle de Yule définissant le nombre k de classes comme suit : $k = 2,5 \sqrt[4]{n}$.

Étape 5 : Tracer *la distribution géographique de la performance énergétique* dans le transport routier et repérer spatialement les priorités d'action sur la consommation de l'énergie dans le transport routier.

Les données utilisées pour les trois variables de base, à savoir la consommation du carburant routier, l'émission de CO₂ de transport routier et le PIB pour les 90 pays et pour les deux années de références (1980 et 2010) sont obtenues de la Banque Mondiale (WDI, 2012). La consommation du carburant routier est exprimée en tonnes d'équivalent pétrole (Tep). L'émission de CO₂ de transport routier est évaluée en tonne métrique alors que le PIB est exprimé en Milliers de dollar Américain (2000 cours fixes).

III. Résultats de l'analyse comparative et implications politiques

Les deux figures II.12 et II.13 présentent la distribution de 90 pays selon l'intensité énergétique de la consommation routière et l'intensité CO₂ du carburant routier respectivement pour les deux années de référence 1980 et 2010.

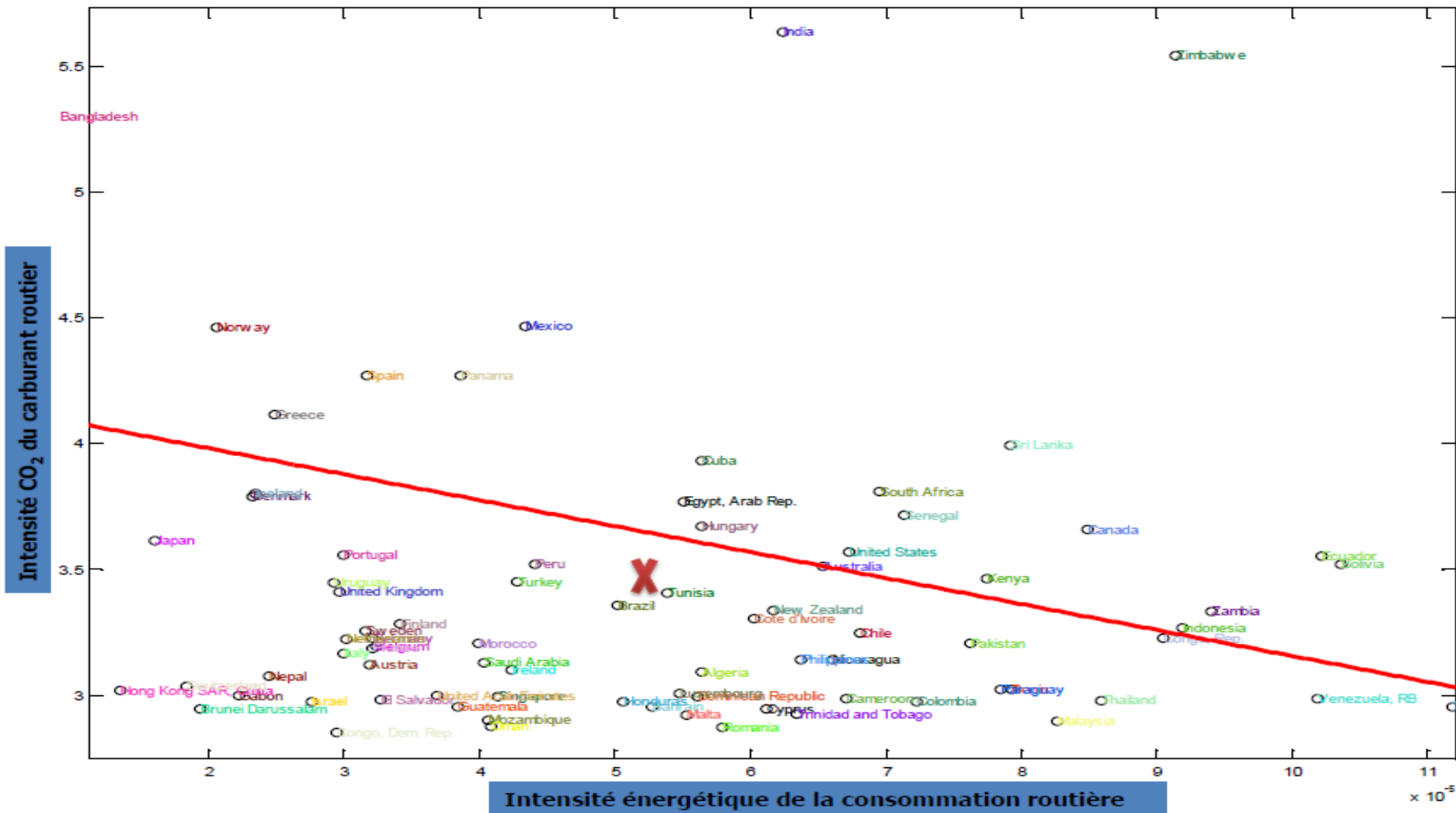


Figure II.12. La distribution des pays selon l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale dans le transport routier en 1980
 Source : Élaboration de l'auteur en utilisant le logiciel MATLAB 2010 et la base de données de la Banque Mondiale (WDI, 2012).

L'analyse des résultats implique six enseignements essentiels:

1. Une divergence entre l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale dans le mode de transport routier

Il est à noter que dans les figures II.12 (année 1980) et II.13 (année 2010), la ligne en rouge représente la ligne de régression¹⁰⁴. En considérant sa pente négative, **un premier enseignement** consiste dans le fait que *l'inefficacité énergétique est inversement liée à l'inefficacité environnementale* (l'inverse est aussi vrai)¹⁰⁵. Ce résultat surprenant pour les deux années de références, donne déjà un premier signe de divergence possible entre l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale dans le mode du transport routier.

Dans le même sens de réflexion, une question de taille s'impose profondément en cherchant à connaître *si la relation énergie-croissance-environnement appliquée dans le transport routier présente-t-elle un cadre de convergence ou de divergence entre les pays ?* Autrement dit, *est-ce que l'adoption des technologies propres ou la diminution de la consommation d'énergie fossile sont susceptibles de faire converger ou diverger les pays ayant une émission forte de CO₂ vers les pays à moindre émission de CO₂?*

Nous pouvons aisément vérifier l'hypothèse de convergence entre l'inefficacité énergétique et l'inefficacité environnementale en observant l'évolution de la moyenne de deux variables analysées.

¹⁰⁴ Pour l'année 1980, la droite de régression a pour équation : $Y = 4,18 - 10319 X$. Pour l'année 2010, la droite de régression a pour équation : $Y = 3,19 - 931 X$.

¹⁰⁵ Dans la littérature, la question de convergence et divergence entre l'inefficacité énergétique et l'inefficacité environnementale posent un problème (Sala-i-Martin, 1996 ; Karanfil, 2008). La droite de régression peut être croissante, décroissante ou quasi-parallèle.

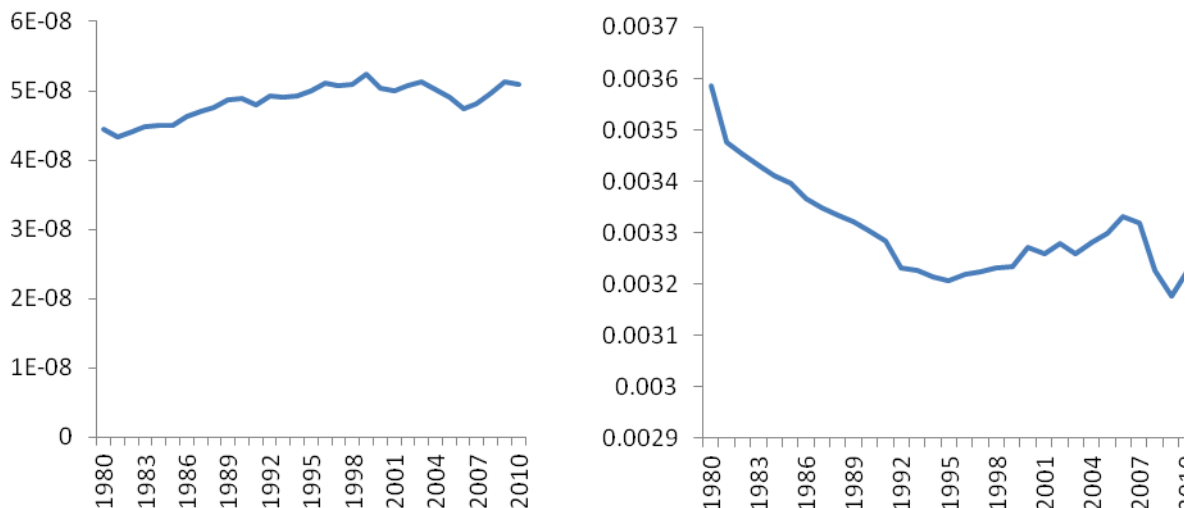


Figure II.14. L'évolution respectivement de l'efficacité énergétique et de l'efficacité environnementale

Source : Élaboration de l'auteur.

D'après la figure II.14 et la lecture transversale de tableaux 1 et 2 (annexe du chapitre 2), nous remarquons la difficulté d'assurer un compromis entre l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale dans le transport routier. Autrement dit, la balance entre les deux est toujours mal équilibrée en faveur de l'un ou de l'autre (au détriment de l'un ou de l'autre). Les deux exemple-type en 2010 sont le Hong Kong qui occupe le premier rang en termes d'efficacité énergétique et le 44^{ème} rang en termes d'efficacité environnementale, alors que le Brésil occupe le premier rang en termes d'efficacité environnementale et le 56^{ème} rang en termes d'efficacité énergétique.

Dans la littérature, **l'hypothèse de divergence entre l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale est qualifiée sous le paradoxe de l'efficacité énergétique** (Jaffe et Stavins, 1994 ; Jaffe et al., 2004). Jia et Liu (2012) ont montré, pour 30 régions chinoises durant la période 2004-2010, que l'efficacité énergétique est expliquée par d'autres facteurs autres l'efficacité environnementale. En 2013, Yang et Wang (2013) ont signalé l'absence d'harmonie entre la politique d'économie d'énergie et la politique environnementale de réduction des émissions dans les régions chinoises entre 2000-2007. Aussi, et pour le même cadre d'application mais sur la période 2006-2010, Wang et al (2013) ont discuté la problématique de l'intégration entre l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale et ont expliqué l'absence d'une telle intégration par deux facteurs essentielles à savoir la disponibilité de ressources (naturelle et / ou managériale) et l'innovation technologique (utilisation efficace de l'énergie et /ou utilisation propre).

Récemment, Cui et al (2014) ont confirmé, à travers une régression sur données panel pour 9 pays durant la période 2008-2011, la divergence entre l'efficacité environnementale et l'efficacité énergétique, et ont expliqué ce résultat par des facteurs exogènes d'ordre technologique, économique et sociale. Bi et al (2014) ont montré, à travers l'étude des régions chinoises durant la période 2007-2009 en les groupant en 5 catégories selon l'emplacement géographique, que la relation entre l'efficacité environnementale et l'efficacité énergétique peut être décroissante et que l'intégration entre ces deux revient principalement à la recherche d'un compromis entre la politique d'économie d'énergie et la politique de réduction des émissions.

Ce postulat se justifie dans le transport routier par plusieurs facteurs¹⁰⁶ non technique à savoir la congestion et le surchargement de véhicules routiers (*défaillance du système de transport routier*) et le comportement de conduire (*défaillance de comportement*).

2. Une disparité spatiale et temporelle de la distribution de l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale dans le transport routier avec un changement relatif dans le positionnement de pays

La lecture de ces deux figures se fait de la façon suivante :

- Le déplacement vers la gauche sur l'axe des abscisses d'intensité énergétique de la consommation du transport routier implique l'augmentation de l'efficacité énergétique du transport routier dans la production, en d'autres termes, et d'une manière indirecte, le maintien d'un découplage entre la consommation du carburant dans le transport routier et la croissance économique;
- Le déplacement vers le bas sur l'axe des ordonnées d'intensité CO₂ du carburant routier implique l'accroissement de l'efficacité environnementale du transport routier vu que la consommation d'énergie émet moins de CO₂, en d'autres termes, l'accentuation de recours aux ressources énergétiques plus propres et renouvelables.

Les pays se trouvant en bas et à gauche de deux représentations figuratrices sont jugés d'être les plus performants en matières d'efficacité énergétique et environnementale dans le transport routier. Les différences de distribution de ces deux variables dépendent de

¹⁰⁶ Ces deux types de défaillance seront détaillés dans le 4^{ème} et 5^{ème} chapitre de la thèse.

caractéristiques géographiques des pays¹⁰⁷. **Le second enseignement** consiste dans le fait que **la distribution de l'efficacité entre les pays est inégalitaire**. En effet, certains pays disposent d'une efficacité supérieure à d'autres¹⁰⁸.

Une inégalité¹⁰⁹ possible peut être détectée par une analyse approfondie en calculant le **coefficient de Theil**¹¹⁰ pour les 90 pays au cours de la période 1980-2010.

L'index de Theil s'écrit comme suit :

$$T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{\bar{X}} \ln \left(\frac{X_i}{\bar{X}} \right) \quad (\text{II.5})$$

Avec :

X prend la valeur de l'intensité énergétique de la consommation du carburant routier ou de l'intensité CO₂ du transport routier du pays;

\bar{X} est la valeur moyenne de la variable X

'N' est le nombre de pays.

Analytiquement l'index de Theil $T \in [0, \ln(N)]$: si sa valeur s'approche de 0, l'hypothèse d'égalité est confirmée. Alors que si sa valeur s'approche de $\ln(N)$, on dirait qu'il s'agit d'une inégalité.

En se basant sur l'équation II.5, la figure ci-dessous présente respectivement l'index de Theil pour l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale dans le mode de transport routier.

¹⁰⁷ Bi et al (2014) ont mis l'accent sur l'influence de caractéristiques géographiques sur la distribution de l'efficacité énergétique et environnementale.

¹⁰⁸ Les différences en termes de distribution géographique de l'efficacité énergétique et environnementale dans les transports ont fait l'objet de plusieurs études (Stead, 2007 ; Chung et al., 2013 ; Lipsy et Schipper, 2013 ; Zhou et al., 2014).

¹⁰⁹ Il est préconisé de faire recours à une analyse plus approfondie en calculant le coefficient de Gini et de Theil (Martin, 1996). Les applications dans ce sens dans les thématiques de la consommation d'énergie et des émissions polluantes sont très rares. A titre d'exemple, on peut citer deux articles très célèbres : le premier porte sur l'étude de l'inégalité de la répartition de la consommation d'électricité (Jacobson et al., 2005), alors que le second s'intéresse à l'inégalité des émissions de CO₂ (Heil et Wodon, 2000).

¹¹⁰ L'adoption de l'index de Theil est largement constatée dans la littérature pour étudier la disparité des revenus.

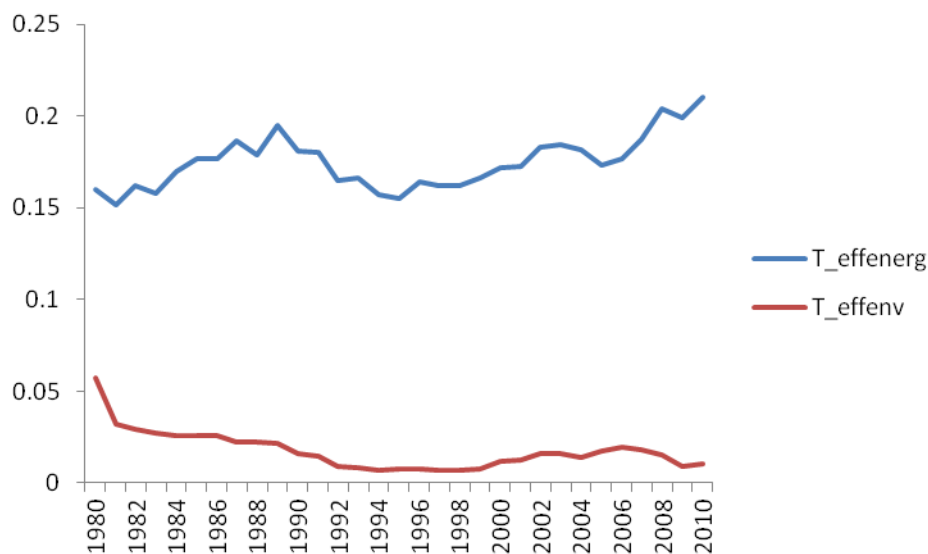


Figure II.15. Index de Theil pour l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale dans le mode routier

En se référant à la figure II.15, on remarque :

- Une tendance à la baisse de l'index de Theil pour l'efficacité environnementale et une tendance à la croissance de l'index de Theil pour l'efficacité énergétique (l'hypothèse d'égalité est confirmée seulement pour la distribution de l'efficacité environnementale).
- Une plus de fluctuations conjoncturelles concernant l'index de l'efficacité énergétique ;
- Une prépondérance de l'index de Theil pour l'efficacité énergétique que pour l'efficacité environnementale. Le trend à l'augmentation dans l'efficacité énergétique est plus évident que celui à la baisse pour l'efficacité environnementale. La prise en compte de la quantité d'énergie nécessaire pour produire une unité de PIB implique davantage la distinction entre les pays, voire la catégorisation approfondie en pays développés et pays en voies de développement en s'attachant plus à la différence des niveaux technologiques.

Compte tenu de ce que nous avons conclu jusqu'ici, il est possible de distinguer deux orientations dont chacune se dévoile en deux stratégies dialectiques :

- 1) La tendance vers l'utilisation intensive¹¹¹ d'énergie dans le transport routier pour les pays dont la consommation antérieure d'énergie est excessive, et cela grâce à une prise en conscience de l'importance de maîtriser l'énergie. Contrairement, il y a un

¹¹¹ Il s'agit d'une utilisation d'énergie avec un haut rendement.

passage à l'utilisation extensive¹¹² d'énergie dans les pays qui consommaient peu d'énergie au début ;

- 2) La tendance des pays, surtout industrialisés, qui émettent davantage de CO₂ vers une prise de conscience de la nécessité de diminuer leurs émissions de gaz à effet de serre. A l'encontre, pour les pays en voie de développement, les émissions de CO₂ sont en croissance continue vu que le mode de développement dans ces pays implique une forte liaison entre la croissance économique et l'utilisation extensive des énergies sans même chercher à internaliser les externalités négatives qui en découlent.

D'une manière générale, une lecture synoptique de deux figures ci-dessus (II.12, II.13) montre qu'il y a *un changement relatif dans le positionnement des pays* au cours de la période d'étude s'étalant sur 40 ans. En effet, pour le cas de Bangladesh, le transport routier représente la plus mauvaise performance¹¹³ environnementale parmi les 90 pays étudiés, malgré une efficacité énergétique satisfaisante aussi bien pour l'année 1980 que l'année 2010. Par contre, le Paraguay a un transport routier ayant la plus mauvaise performance énergétique avec une efficacité environnementale très satisfaisante en 2010 (le même cas pour Venezuela en 1980). En 2010, l'Autriche, l'Allemagne et Israël ont, pour les deux critères de comparaison, les meilleures performances (le cas de Brunei Darussalam et Gabon en 1980), à l'encontre l'Equateur est le pays le moins efficace à la fois en matière d'énergie et d'environnement dans le transport routier (le cas de Zimbabwe en 1980).

3. Une situation relativement satisfaisante pour la Tunisie

Pour le cas de la Tunisie, entre l'année 1980 et l'année 2010, le transport routier a gagné d'une manière relative d'efficacité énergétique avec un déplacement plus au moins important vers la gauche sur l'axe des abscisses d'intensité énergétique de la consommation de transport routier, alors que le gain en termes d'efficacité environnementale est presque négligeable, en présentant un déplacement très léger vers le bas sur l'axe des ordonnées d'intensité CO₂ du carburant routier. Cette constatation donne l'impression que l'utilisation des moyens de transport non propres et le recours aux ressources non-renouvelables polluantes sont encore largement utilisés en Tunisie.

¹¹² Il s'agit d'une plus grande utilisation d'énergie.

¹¹³ La performance est conçue dans ce contexte seulement en termes d'efficacité. Il est à noter qu'il s'agit d'un concept composite se basant sur trois notions de base dont l'une est l'efficacité et les deux autres sont l'efficience et la pertinence.

Pour aller plus loin dans notre analyse comparative, l'étude synoptique des résultats de l'index de l'efficacité énergétique dans le transport routier, rapportés au tableau 1 (annexe du chapitre 2), montre que **le rang de la Tunisie est relativement stable** : elle se positionne au 48^{ème} rang parmi les 90 pays en 2010, avec une détérioration notable en perdant 4 rang par rapport à l'année 1980.

En termes d'efficacité énergétique dans le transport routier, la Tunisie a une meilleure performance par rapport à plusieurs pays tels que le Togo, le Benin, le Ghana et l'Équateur. Par rapport aux pays arabes, elle est mieux placée que certains pays se trouvant en bas de l'index tels que l'Algérie, la Syrie, la Jordanie, l'Égypte, l'Oman et le Bahreïn. Par contre, il n'est pas surprenant de remarquer que la Tunisie est au dessous des pays tels que Hong Kong, le Japon et le Singapour. Ces derniers ont une meilleure performance énergétique puisqu'ils ont gagné la course de gigantisme vers les avancées technologiques dans le secteur du transport.

En se référant au tableau 2 (annexe du chapitre 2), rapportant les résultats de calcul de l'index de l'efficacité environnementale dans le transport routier, nous constatons bien que le rang de la Tunisie en termes de performance environnementale est instable avec une tendance satisfaisante. Elle se situe au 38^{ème} rang en 2010 en gagnant 21 rangs par rapport à l'année 1980. Plusieurs pays comme le Brésil, la Thaïlande, la France et beaucoup de pays en voie de développement tels qu'Oman, la Jordanie et le Bahreïn ont une performance environnementale meilleure que la Tunisie. En revanche, le Portugal, l'Italie et d'autres pays arabes tels que la Syrie, le Maroc et l'Égypte se trouvent en dessous de la Tunisie, présentant ainsi une performance environnementale plus mauvaise.

4. Une amélioration relative de la performance générale de la Tunisie

Afin d'aboutir à un seul classement des pays en croisant l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale dans le transport routier, le passage à index général de la consommation routière d'énergie- croissance économique- protection environnementale a été fait en se basant sur l'hypothèse de l'indifférence de préférence (une pondération égalitaire pour l'index de l'efficacité énergétique et l'index de l'efficacité environnementale). En se basant sur les résultats de calcul de l'index général, rapportés au tableau 3 (annexe du chapitre 2), nous remarquons que **la Tunisie a subit une amélioration relative de la performance générale**¹¹⁴ dans le transport routier, avec un gain de 15 rangs dans le classement de

¹¹⁴ La notion de la performance globale est conçue dans ce contexte comme étant le croisement entre l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale.

l'échantillon des pays. Plus exactement, elle a passé du 49^{ème} rang en 1980 au 34^{ème} rang en 2010. Son classement par rapport aux pays arabes pris dans notre échantillon est très satisfaisant. En effet, seulement deux pays arabes à savoir l'Oman et l'Union des Émirats Arabes qui sont mieux situés que la Tunisie dans un tel classement, pour la simple raison qu'ils sont dotés de ressources énergétiques importantes.

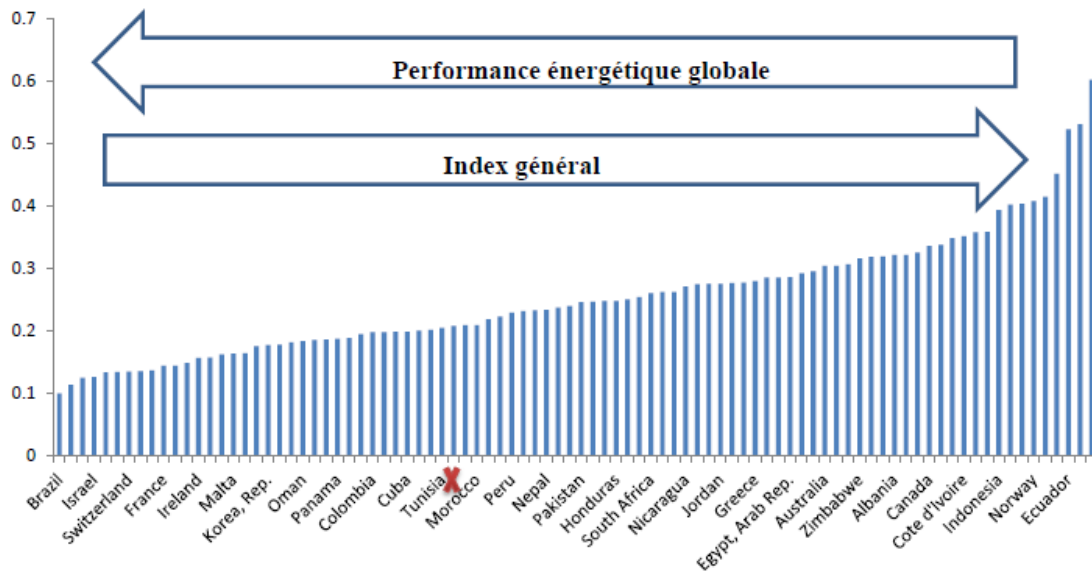


Figure II.16. Classification des pays selon l'index général en 2010

Source : Élaboration de l'auteur.

5. Une performance énergétique jugée moyenne-élevée pour la Tunisie

Afin de définir les priorités d'actions en termes spatiales selon le critère d'index général de performance énergétique dans le transport routier, l'application de la règle de Sturges¹¹⁵ a abouti à la définition de 7 classes réparties avec une étendue de classes de 0,07¹¹⁶. Pour un vue d'ensemble en termes spatiaux, les classes de pays définis sont transposées sur la carte du monde afin d'aboutir à une cartographie de la distribution géographique de la performance énergétique dans le transport routier présentant l'hierarchisation de notre échantillon sur le plan de la performance énergétique dans le mode de transport routier. Dans ce sens, cette cartographie a pour intérêt de mettre l'accent sur les priorités d'actions les plus prometteurs dans la matière sur le plan spatial (voir figure II.17).

¹¹⁵ Selon la règle de Sturges, le nombre de classes est égal à $K = 1 + 3,3 \log 90 = 7,49$.

¹¹⁶ L'étendue de classes est égal à $(0,603 - 0,1) / 7$.

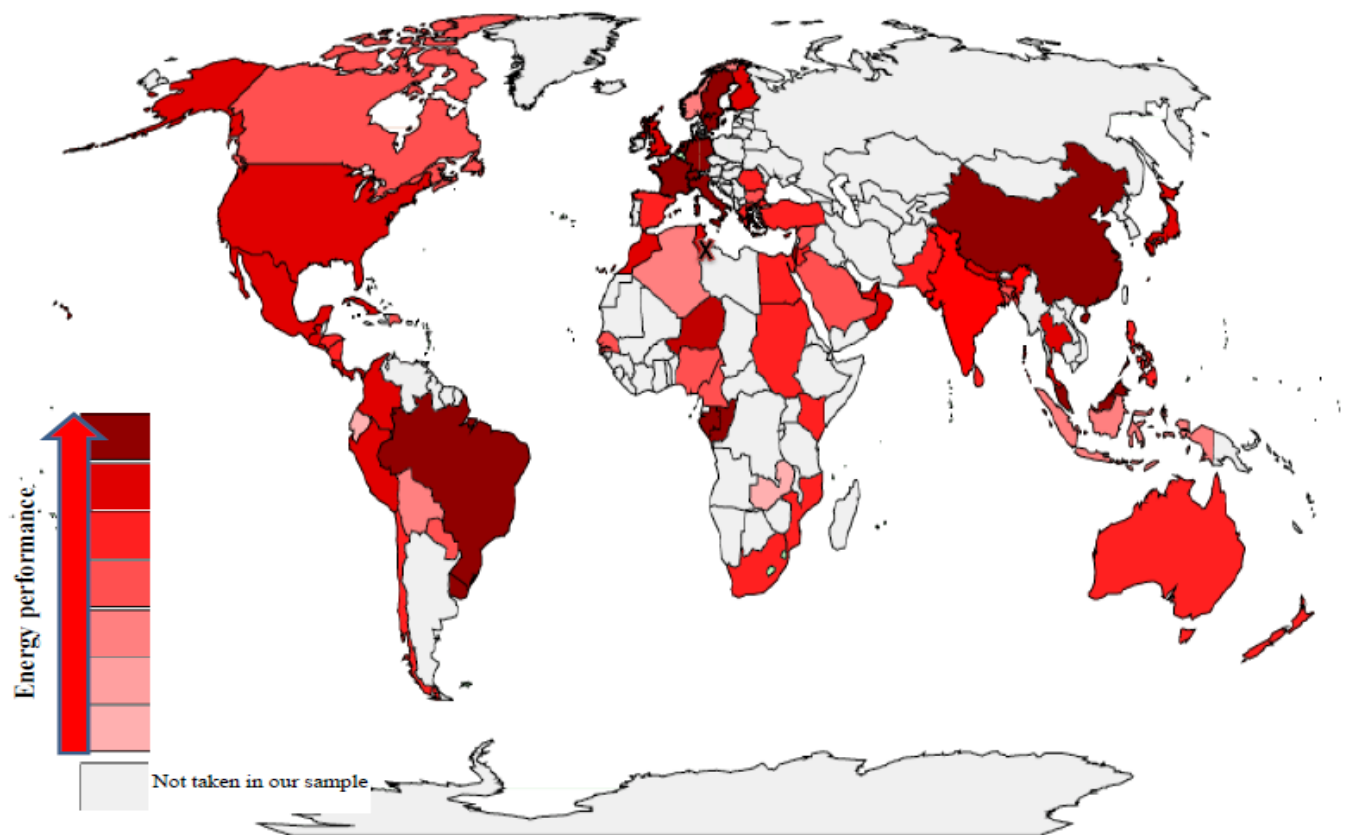


Figure II.17. Cartographie de la performance énergétique dans le transport routier

Source : Élaboration de l'auteur en utilisant le logiciel MapInfo 11.

A l'issue de ces résultats, *la Tunisie* est située dans la deuxième classe. Nous pouvons la juger comme *un pays à performance moyenne-élevée*. Cependant, par rapport à d'autres pays à performance élevée, la Tunisie doit être soumise à un traitement spécifique et rigoureux afin d'améliorer sa performance énergétique en cherchant en permanence la synergie entre l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale dans le transport routier.

Pour synthétiser, l'évaluation de 90 pays selon un index général en matière de la performance énergétique dans le secteur du transport routier, en se basant sur des critères économique, environnemental et énergétique, classe *la Tunisie au 34^{ème} rang en 2010 avec un score de 0,20* (le meilleur score est de 0,1). Par rapport aux pays arabes pris dans notre étude, la Tunisie est devancée par Oman et l'Union des Émirats Arabes. Par critère, *la Tunisie est classée en matière d'efficacité énergétique au 48ème rang avec un score de 0,17 et en 38ème rang pour l'efficacité environnementale avec un score de 0,24*.

6. Un effort à consolider afin de concevoir une feuille de route pour améliorer la performance énergétique globale en Tunisie

Ces dernières années, la performance énergétique globale de la Tunisie s'est améliorée grâce à l'adaptation des mécanismes de marché et l'adoption de différentes politiques de maîtrise d'énergie cherchant ainsi une convergence des niveaux d'efficacité. Cette amélioration est accusée d'être avec un rythme relativement lent et la réduction de l'intensité énergétique de la consommation routière et de l'intensité CO₂ du carburant routier est de moins en moins élevée dans le temps.

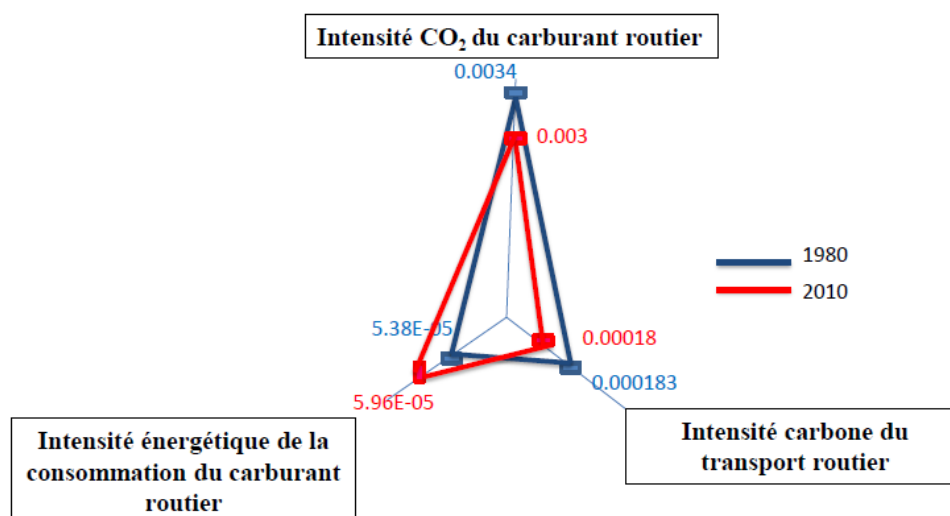


Figure II.18. Vers un transport routier énergétiquement durable en Tunisie

Source : Élaboration de l'auteur

Par ailleurs, *la Tunisie a encore du travail pour concevoir un transport routier énergétiquement durable* surtout à cause d'un manque notable de ressources énergétiques pour couvrir les besoins de déplacements routiers en énergie d'un côté, et le manque de conscience sociale de la nécessité de diversification de ressources énergétiques et surtout le recours aux énergies renouvelables de l'autre côté.

Conclusion

En guise de conclusion, le présent chapitre traite les résultats de deux analyses complémentaires. La première consiste en **une analyse diagnostique** de la situation énergétique du secteur de transport et plus précisément du mode routier dans le but de pouvoir dresser l'état existant d'un tel mode en matière d'appropriation et d'application du concept de transport énergétiquement durable. Loin de tous aspects conceptuels, nous avons essayé de reproduire la réalité énergétique en Tunisie, partout préoccupante, du transport routier, ses tendances majeures, ses orientations stratégiques et ses pratiques.

Dans ce sens, l'identification et la valorisation des initiatives tunisiennes en matière de la maîtrise de l'énergie dans le transport routier ont fait l'objet d'une étude assez poussée. La question fondamentale était de déterminer la capacité de la Tunisie à générer des économies d'énergie dans le transport routier. En effet, cette préoccupation n'est pas nouvelle, vu qu'il y a longtemps que, la Tunisie s'est engagée à travers une diversité de leviers d'intervention en la matière, par la promulgation des textes juridiques et l'amélioration de ses parcs, ses flottes, ses réseaux, ses équipements et toute sa logistique. Cependant, l'analyse d'impact de ces politiques montre évidemment qu'il n'est pas toujours aisé d'atteindre les objectifs recherchés car les contraintes sont multiples, à savoir les contraintes financières, contraintes techniques, contraintes institutionnelles et surtout contraintes sociales.

La seconde analyse porte sur **une comparaison internationale** entre 90 pays selon l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale dans le transport routier sur la période 1980-2010. L'intérêt fondamental était d'aboutir à une cartographie permettant de positionner la Tunisie par rapport aux autres. Il est certain que la réduction de l'intensité énergétique et l'intensité de CO₂ sont parmi les priorités du transport routier dans la majorité de pays. Mais, les évaluations effectuées montrent une grande disparité en termes spatiaux. La situation tunisienne est jugée moyennant satisfaisante si on se réfère à un index général englobant l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale.

Notre investigation empirique, si elle est utile pour concrétiser **la relation théorique de la dualité consommation d'énergie-développement durable**, a été a été menée dans le sens de définir un index général signifiant la performance énergétique globale tout en prenant en compte conjointement l'aspect économique et environnemental de la consommation d'énergie dans le transport routier dans l'objectif de procéder à une évaluation internationale et de positionner la Tunisie dans une telle grille du pays. Cependant, les résultats issus d'une telle comparaison internationale doivent être pris avec prudence. Ils dépendent largement du choix des années de références et des indicateurs retenus. En outre, il est primordial d'attribuer assez d'importance à la définition des indicateurs et leurs mesures.

Chapitre 3


Les indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie: de la construction aux mesures

Introduction

La conception, la mise en œuvre et le suivi des politiques énergétiques durables dans le secteur de transport routier requièrent **la mise en place d'un tableau de bord d'indicateurs pertinents pour la prise de décision**. L'approche des indicateurs devient à l'heure actuelle une approche indispensable à la définition et au suivi de toute politique de transport routier énergétiquement durable surtout vu la complexité de ce secteur, la multiplicité de parties prenantes impliquées et l'absence d'une culture du suivi et d'évaluation de performances des politiques énergétiques dans ce secteur.

Ainsi, après la description de concept du transport routier énergétiquement durable (*Niveau 1 d'analyse*), sa caractérisation en termes de dimensions clés (*Niveau 2 d'analyse*), sa contextualisation à travers l'étude de particularités du territoire Tunisien (*Niveau 3 d'analyse*), le quatrième niveau d'analyse vise la décomposition des dimensions prédéfinies en des indicateurs pilotes (*Niveau 4 d'analyse*). Ces différents niveaux d'analyse sont présentés dans le tableau III.1.

Tableau III.1. Présentation de la méthodologie d'élaboration d'indicateurs

| | Description | Commentaires |
|---|---|--|
|  Hiérarchisation de niveaux d'analyse | Niveau de description de concept « transport routier énergétiquement durable » | Le niveau 1 définit le cadre conceptuel général. |
| | Niveau de caractérisation du concept en question en dimensions clés | Au niveau 2, le concept du « transport routier énergétiquement durable » est configuré à partir de trois dimensions: le transport propre, le transport compétitif et le transport équitable. |
| | Niveau de territorialisation | Le niveau 3 consiste à étudier le contexte tunisien et identifier ses particularités et ses tendances en matière de durabilité énergétique dans le transport routier. |
| | Niveau de décomposition | Ce niveau vise à décomposer les dimensions prédéfinies et contextualisées en des indicateurs phares. Le choix traduit l'objectif recherché et la disponibilité des données |

Source : Élaboration de l'auteur.

L'intérêt fondamental est de définir un arbre du transport routier énergétiquement durable présentant l'arborescence des dimensions et des indicateurs (Boulanger, 2004). Cependant, cette investigation en matière de sélection des indicateurs se heurte souvent à des contraintes d'observation et de mesure.

Ce chapitre a un double objectif. Le premier est de mettre en exergue **l'importance de la définition des indicateurs** de transport routier énergétiquement durable comme étant un support d'aide à la décision et outil d'information et d'évaluation au profit de l'action publique. À partir d'une analyse détaillée de la littérature, une grille des indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie sera proposée afin de caractériser les dimensions de modèle conceptuel retenu de la durabilité énergétique du secteur de transport routier. En outre, au-delà de questions théoriques d'élaboration des indicateurs, le second objectif consiste à mener une réflexion particulière sur les techniques et **méthodes de mesure des indicateurs** tout en garantissant un certain niveau de précision et d'exactitude.

Section 1 : La construction des indicateurs du transport routier énergétiquement durable : lignes directrices et méthodologies

Une lecture transversale de la littérature consacrée à la mesure de la durabilité montre l'utilité fondamentale de l'outil indicateur afin d'opérationnaliser le concept du développement durable (Hardi et al., 1997). Dès la publication de l'Agenda 21 (4D¹¹⁷, 2001), les indicateurs de développement durable ont été perçus indispensables pour faire un état des lieux de la situation d'un territoire et guider les choix stratégiques des décideurs dans une perspective de développement durable.

Concernant ce sujet de la construction d'indicateurs de transport énergétiquement durable, les faits suivants peuvent être remarqués :

- La forte dynamique de publications sur les indicateurs du développement énergétique durable, bien qu'il existe encore peu d'investigation en termes sectorielles.
- La grande hétérogénéité des conceptions et des architectures d'indicateurs proposés, imputable principalement à la diversité des contextes locaux, la multiplicité de perceptions du développement durable et l'absence d'un modèle de référence pour construire les indicateurs;
- La difficulté de passer à la mesure des indicateurs, donnant lieu souvent à de nombreux débats conceptuels et techniques conduisant à des propositions divergentes.

I. État de l'art : synoptique des indicateurs et argumentaire

La littérature actuelle sur la notion de l'outil indicateur s'intéresse particulièrement à la nécessité d'adopter une démarche rigoureuse quant à l'élaboration des indicateurs. En effet, dans la foulée des travaux du Sommet de la Terre à Rio en 1992 et de Johannesburg en 2002, le développement d'indicateurs a été identifié comme un outil, à la fois technique et sensible, privilégié pour mesurer l'état et l'évolution des principaux paramètres du développement durable d'une part, et pour aider les autorités et les communautés dans la prise de décision, d'autre part. Il s'agit d'un outil technique dans la mesure où il doit être construit dans le cadre d'un processus rigoureux soumis à des règles et des critères précis. En outre, il est jugé de sensible parce qu'il résulte des démarches de construction, souvent personnalisées.

¹¹⁷ Association 4D : Dossiers et Débats pour le développement durable (www.association4d.org) créée en 1993 après le Sommet de Rio, l'association a pour mission de constituer un réseau citoyen pour la promotion du développement durable et le suivi des engagements pris par la France, comme par les autres États membres de l'O.N.U.

1. Définition de l'outil indicateur

La notion d'indicateur requiert une grande importance dans la littérature, surtout avec l'absence d'une définition universellement acceptée et l'évolution multidisciplinaire de cette notion. Toutefois, la première utilisation de l'expression « indicateur » date l'année 1958, avec le texte de Lazarsfeld dans un contexte purement scientifique en sociologie. Abondant dans ce sens, et s'appuyant sur les écrits de Lazarsfeld (1958), un indicateur désigne la traduction de concepts théoriques (abstraites) en variables observables. Une telle traduction s'avère indispensable pour opérationnaliser les hypothèses scientifiques à la vérification empirique. Il est donc évident qu'un indicateur¹¹⁸ n'est qu'une variable observable utilisée pour rendre compte d'une réalité non observable.

Récemment, les développements de la notion d'indicateur ont connu une forte mutation en s'attachant plus à la mesure du bien-être et du développement humain et à la notion de développement durable avec toutes ses dérivées (Perret, 2002 ; Gadrey et Jany-Catrice, 2003 ; Sharpe, 2004).

Le tableau III.2 fait un survol rétrospectif de la littérature en synthétisant d'une manière non exhaustive la plupart de définitions de la notion de l'indicateur :

Tableau III.2. Synthèse de définitions de la notion d'indicateur

| Année | auteur | Définition |
|-------|--------------|--|
| 1995 | Hamond et al | Un indicateur est perçu comme « quelque chose qui simplifie l'information en provenance de phénomènes complexes et qui la quantifie de manière à la rendre significative à l'échelle désirée. |
| 1999 | Bossel | Les indicateurs sont « notre lien au monde en condensant la complexité de ce dernier à une somme gérable d'informations pertinentes. |
| 1999 | Levarlet | Les indicateurs représentent « un continuum allant des descripteurs ¹¹⁹ proches de statistiques ou de données élémentaires à des modèles, multidimensionnels complexes issus de spéculation théoriques. |
| 2004 | Boulangier | Un indicateur est « une variable observable utilisée pour rendre compte d'une réalité non observable » |

Source : Élaboration de l'auteur

¹¹⁸ Selon le niveau d'agrégation d'information retenue, plusieurs appellations sont attribuées au concept d'indicateur, à savoir « variable », « instrument de mesure », « mesure statistique », « paramètre », « proxy » et « indice ». Un indice désigne un indicateur synthétique construit en agrégeant d'autres indicateurs dits de base. La plupart des indicateurs utilisés dans le cadre des politiques publiques sont en réalité des indices : c'est le cas du PIB, de l'indice des prix à la consommation,...

¹¹⁹ Il convient de faire la distinction entre indicateur et descripteur. Un descripteur est basé sur une mesure directe, alors qu'un indicateur est une grandeur renseignant sur une situation trop complexe pour être mesurable.

A ce titre, bien que la terminologie soit parfois confuse et l'usage du terme soit peu stabilisé, nous pouvons définir un indicateur comme simplificateur de l'information en provenance de phénomènes complexes. Il permet par excellence de caractériser une situation, une action ou un phénomène et de les évaluer. A ce propos, nous partageons le postulat suggérant qu'un indicateur présente un signal utilisé pour représenter d'une manière synthétique ou simplificatrice des réalités complexes.

Pour conclure, notre synthèse fait état de la non-existence d'un consensus conceptuel sur la définition de l'indicateur. Cependant, il en ressort quelques points essentiels :

- ✓ **Un indicateur doit être finalisé¹²⁰ et territorialisé.** Il suppose l'existence d'une question, qu'il contribue à éclairer pour un cadre d'étude précis. Son utilisation dépend largement de l'objectif souhaité et des particularités du terrain d'investigation.
- ✓ **Un indicateur doit être clairement défini.** Il n'a de sens qu'accompagné de ses éléments d'interprétation et de contexte de sa mise en œuvre. La qualité principale d'un indicateur est sa capacité à rendre compte le plus précisément possible d'un phénomène en général complexe.
- ✓ **Le choix d'un indicateur doit être guidé.** Il doit donc d'être adapté, pertinent¹²¹, spécifique, valide, fiable, précis¹²², mesurable¹²³, comparable (dans le temps et dans l'espace) et facile à utiliser (Nicolas et Verry, 2005).
- ✓ **Un indicateur doit être ciblé.** Selon le niveau d'agrégation, il peut être destiné pour le public, les décideurs ou les scientifiques. Dans ce sens, l'illustration de la pyramide de l'information adaptée de Braat (1991) montre qu'il y a une forte articulation entre la nature de l'information et le public à qui elle est destinée.

¹²⁰ Un indicateur n'est pas un simple rassemblement de données chiffrées. Il est plus qu'une « statistique ». Il doit avoir des qualités expressives, c'est-à-dire posséder un pouvoir de représentation et d'évocation de la réalité.

¹²¹ Chaque indicateur doit être pertinent aux politiques actuelles ou possibles. Il en mesure un aspect significatif et de valeur évidente pour les observateurs et les décideurs.

¹²² Un indicateur est une information de synthèse qui permet d'expliquer une situation évolutive, une action ou les conséquences d'une action, de façon à les évaluer et à les comparer à leur état à différentes dates.

¹²³ La collecte et le calcul des indicateurs doivent être réalisables sans coût excessif.

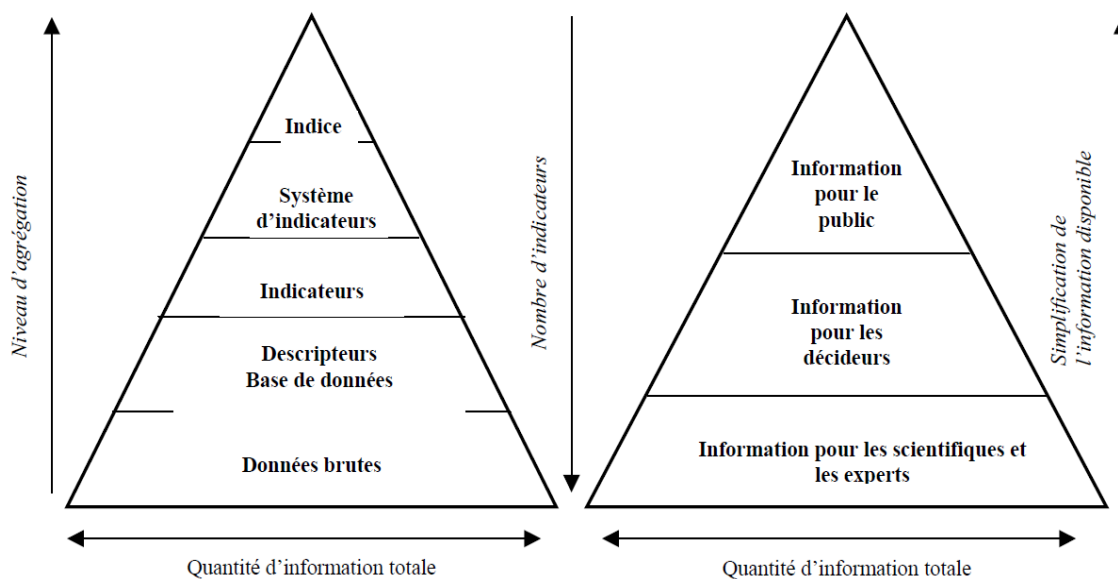


Figure III.1. La pyramide de l'indicateur-information

Source : Levarlet (1999) d'après Braat (1991).

D'après cette pyramide, plus la quantité d'information est agrégée et plus elle est rendue accessible au plus grand nombre : les données brutes sont destinées aux scientifiques alors que les systèmes d'indicateurs voire d'indices composites sont destinés au grand public.

La problématique de l'évaluation de la durabilité s'inscrit dans cette mouvance de recours à l'outil indicateur. Selon cette visée, tout en étant un concept relativement ouvert, l'appropriation de développement durable par un tel outil a fait l'objet des réflexions multiples dès le rapport Brundtland sur l'écodéveloppement en 1987 et la Charte du Sommet de la Terre en 1992 qui ont mis en évidence le besoin de disposer d'indicateurs permettant de traduire une vision claire du développement durable.

2. Les indicateurs et leurs fonctions : le rôle des indicateurs énergétiques durables

D'une manière générale, un indicateur est perçu comme étant une représentation simplifiée de la réalité ayant trois grandes fonctions :

- Scientifique, en évaluant l'état et les performances d'un phénomène;
- Politique, en aidant à identifier les priorités et définir les décisions afin d'orienter l'action publique;
- Sociétale, en facilitant la communication, la sensibilisation et l'action.

Bien entendu, les indicateurs n'ont pas un rôle exclusif et leur utilisation vise de nombreux objectifs. Néanmoins, il apparaît pertinent de hiérarchiser ces objectifs. Dans ce

sens, le travail de Klooz et Schneider (2000) est en soi fort intéressant car il énumère de manière assez approfondie les différents rôles joués par les indicateurs de développement durable (voir figure III.2). A cette lecture, nous pouvons souligner que les indicateurs de développement durable constituent :

- Un *outil explicatif* qui sert à informer les citoyens ce que signifie concrètement le développement durable (fonction pédagogique) ;
- Un *outil d'aide à la décision* en aidant les autorités à la prise de décision, la révision des politiques ou des stratégies de développement durable et la mesure de performance (fonction d'évaluation). Dans une telle logique, les indicateurs sont perçus comme une variable dans le processus décisionnel, ce qui pose la question de la gouvernance, dans la mesure où il est indéniable de savoir quel type d'interaction doit régner entre le processus d'élaboration des indicateurs d'une part, et le processus décisionnel de l'autre part.
- Un *outil de communication* qui cherche à consolider l'implication de multiples acteurs (fonction mobilisatrice). Il importe donc de penser à assurer l'adéquation entre les modèles de présentation et de diffusion des indicateurs de coté, et les objectifs donnés aux indicateurs de l'autre coté.

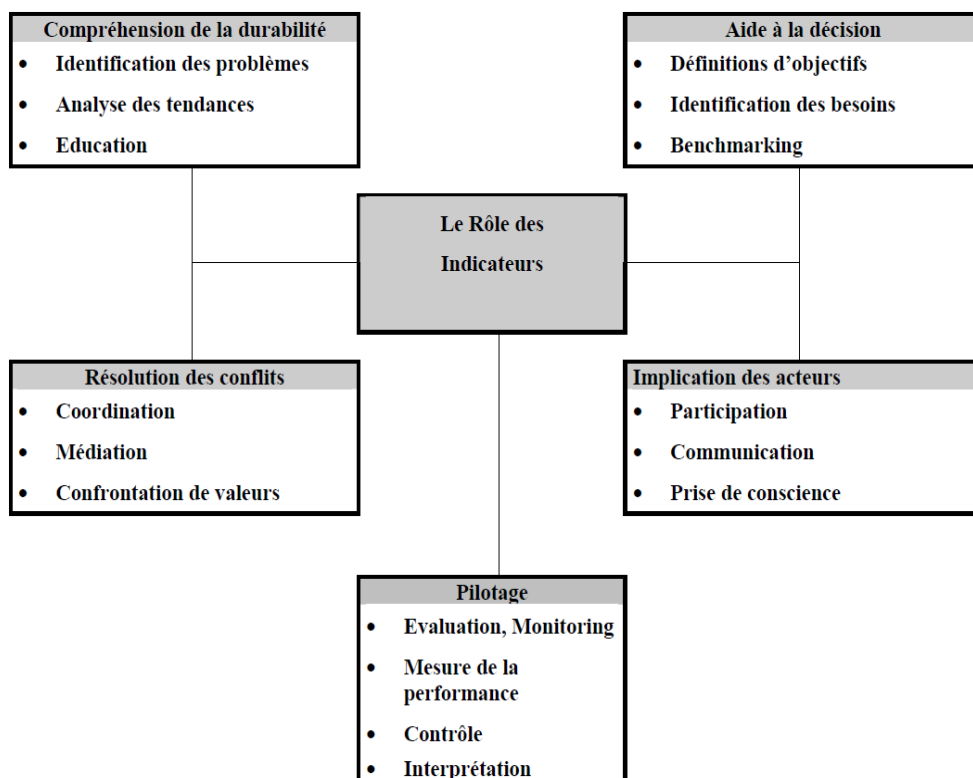


Figure III.2. Les rôles des indicateurs de développement durable

Source : Klooz et Schneider (2000).

En conséquence de quoi, il nous semble envisageable de répartir les fonctions des indicateurs de développement durable selon deux types d'usage : une utilisation limitée à l'information et une utilisation conçue pour la prise de décision. Les utilisateurs sont divers, allant des experts au grand public en passant par les décideurs politiques et économiques, ce qui nous mène à poser la question de savoir comment concevoir des indicateurs qui répondent spécifiquement aux besoins de chacun d'entre eux.

La notion de l'indicateur s'est longuement placée dans une optique de durabilité en sens large, à l'exception de quelques recherches qu'ont contribué à la pratique d'indicateurs en termes désagrégés ou sectoriels. Les indicateurs de développement énergétique durable ont été initiés dès l'année 1999 par l'agence internationale de l'énergie atomique AIEA, suivies par quelques recherches scientifiques (Vera et al., 2005; Medina-Ross et al., 2005; Zen et al., 2012; Al-Hinti et al., 2013; Romero et Linares, 2014). Les indicateurs proposés opèrent soit au niveau micro-énergétique pour évaluer les techniques et installations énergétiques, soit au niveau macro-énergétique pour l'aide à la décision dans l'évaluation et la conception des politiques énergétiques.

Mais, en cette matière l'évolution ne s'arrête pas. En effet, l'incidence des approches intégrées se fait sentir de manière de plus en plus prégnante. Selon cette visée, les écrits portant sur la problématique d'élaboration des indicateurs intersectoriels plus précis sont encore rares. Ainsi, il en découle l'émergence des indicateurs de transport routier énergétiquement durable dont le but est une conjugaison de deux aspects de la durabilité : la durabilité énergétique et la durabilité de transport (Ben abdallah et al., 2013).

II. Méthodologies d'élaboration des indicateurs de développement énergétique durable : ressemblances et dissemblances

Une vue d'ensemble sur la littérature portant sur les indicateurs énergétiques durables montre qu'il existe une grande hétérogénéité dans l'architecture des indicateurs (Clivaz et alii, 2002 ; Limatainen et Pollanen, 2013). Notre revue de la littérature met également en évidence que le classement de ces indicateurs peut se faire selon trois approches plus ou moins structurées.

1. Approche par les dimensions

Une première distinction porte sur le **classement classique des indicateurs énergétiques durables par piliers ou dimensions**. Le cadre classique privilégié dans la littérature consiste à classer les indicateurs suivant les trois dimensions usuelles du développement durable (économique, environnementale et social) auxquelles s'ajoutent souvent d'autres aspects (territorial et politique). Elle est jugée exhaustive et facile à mettre en œuvre (Rey-Valette et al., 2006). De nombreuses études ont adopté ce modèle (Wright, 1991; Wibulswas, 2004; Vera et al, 2005; IAEA, 2007; Streimikiene et al., 2007; Sheinbaum-Pardo, 2007; Pereira et al., 2008; Zen et al., 2012) tout en distinguant entre les indicateurs énergétiques de viabilité économique, sociale et environnementale. Le tableau III.3 présente un panorama non exhaustif des indicateurs énergétiques durables répartis par dimensions :

Tableau III.3. Récapitulatif des indicateurs phares de la durabilité énergétique.

| Dimensions | Thèmes | Indicateurs |
|------------------|--------------------------------------|--|
| Économique | Modes d'utilisation et de production | Population : totale, urbaine PIB par habitant Consommation d'énergie par habitant ou par unité du PIB Efficacité de la transformation et de la distribution d'énergie Rapport réserves/production Rapport ressources/production Dépenses dans le secteur de l'énergie Intensité énergétique Production totale de l'énergie Part des combustibles dans l'énergie et l'électricité Part des énergies renouvelables dans l'énergie et l'électricité Prix de l'énergie finale |
| | Sécurité | Efficacité de l'approvisionnement énergétique Dépendance nette à l'égard des importations d'énergie Stocks de combustibles |
| Sociale | Équité | Part des ménages sans électricité ou énergie commerciale Part du revenu des ménages consacrée à l'énergie Utilisation d'énergie des ménages par groupe de revenu |
| | Santé | Accidents mortels dus à des défaillances au niveau du cycle du combustible |
| Environnementale | Atmosphère | Émissions de gaz à effet de serre dues à la production et à l'utilisation de l'énergie Émissions de polluants atmosphériques |
| | Eau | Rejets de contaminants dans les effluents liquides |
| | Sol | Superficie affectée Utilisation de la biomasse Quantité de déchets |

Source : Élaboration de l'auteur.

Ce panorama d'indicateurs dévoile clairement une prépondérance d'indicateurs économiques et une faible attention à la définition d'indicateurs environnementaux et sociaux. La signification de ces indicateurs dépendra de l'état de développement de chaque pays, de la nature de son économie, de sa géographie et des ressources énergétiques dont il dispose. Toutefois, cette approche par dimensions est accusée par le fait que les liens de causalité entre les différents indicateurs énergétiques durables ne sont pas toujours appréhendés (Lazzeri et Planque, 2006).

2. Approche par le modèle DPSIR

Une deuxième distinction porte sur **la classification des indicateurs par nature selon un modèle d'analyse connu sous l'acronyme PER** (Pressions, État, Réponses) ou son amélioration DPSIR¹²⁴ (Force motrice – Pression – État – Impact - Réponse) dont la philosophie est que : "les activités humaines exercent des **pressions** sur l'environnement et modifient la qualité et la quantité des ressources naturelles (**état**). La société répond à ces changements en adoptant des mesures de politique d'environnement, économique et sectorielle (**réponses** de la société). Ces dernières agissent rétroactivement sur les **pressions** par le biais des activités humaines." (OCDE, 1993) selon le modèle ci-dessous :

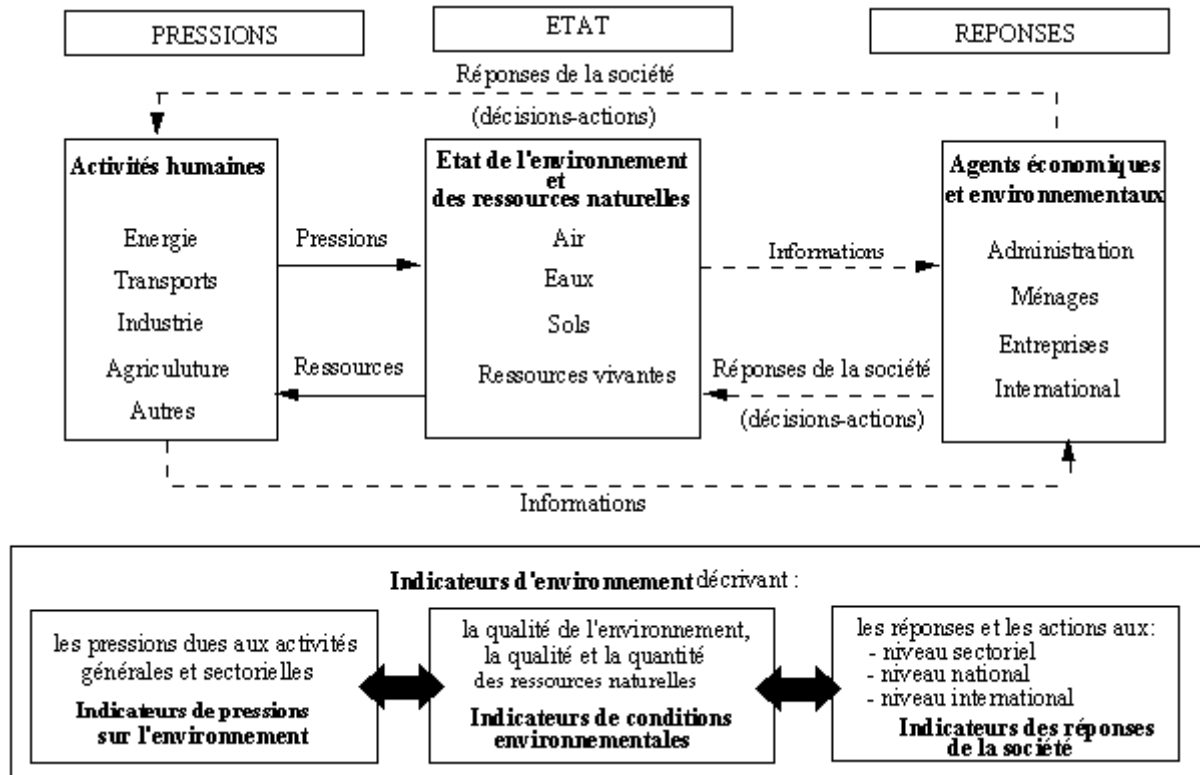


Figure III.3. Modèle PER

Source : OCDE (1993).

¹²⁴ DPSIR (Driving forces, Pressure, State, Impact, Response).

Sur la base de ce modèle, il est possible de distinguer trois catégories d'indicateurs organisées selon un système de trois voire cinq fonctions :

- ***D pour Driving forces*** : cette première fonction désigne les forces directrices ou motrices qui constituent les activités et les processus humains qui ont une influence sur le capital environnemental (ex: consommation d'énergie).
- ***P pour Pressure*** : la seconde fonction correspond aux pressions qui sont les effets des activités et des processus humains sur les ressources environnementales (ex: émissions de CO₂). Il est courant de faire la distinction entre indicateurs de pression directe (pressions exercées directement sur l'environnement, en termes d'émissions de substances polluantes ou de consommation de ressources naturelles) et indicateurs de pression indirecte (indicateurs de base reflétant les activités humaines entraînant des pressions environnementales directes).
- ***S pour State*** : la troisième fonction traduit la situation et l'état des ressources naturelles sur lesquelles les pressions exercent leurs effets (ex: taux de concentration de l'ozone). Les indicateurs des conditions environnementales donnent un aperçu d'ensemble de la situation (état) de l'environnement et de son évolution, et non des pressions qui sont exercées sur lui. Cependant, la distinction entre l'état de l'environnement et les pressions s'exerçant sur lui est parfois ambiguë, et les démarches de mesure de l'état de l'environnement s'avèrent difficiles et très coûteuses. Sur le plan pratique, il est plus facile de se référer aux indicateurs de pressions qu'aux indicateurs d'état.
- ***I pour Impact*** : la quatrième fonction décrit les conséquences et les effets directs des changements d'état en termes de quantité et qualité de l'environnement (ex: nombre de décès dû à l'augmentation de la concentration en ozone).
- ***R pour Response*** : la cinquième fonction correspond aux choix politiques et sociétaux, les interventions des pouvoirs publics pour (ré) orienter le développement et répondre à des problèmes environnementaux. Les indicateurs des réponses de la société indiquent dans quelle mesure la société répond aux préoccupations de l'environnement. On entend par réponses de la société, des actions individuelles et collectives destinées à atténuer, adapter ou éviter des répercussions négatives induites par les activités humaines sur l'environnement et à mettre fin ou inverser les dégradations déjà infligées à l'environnement. Pour élaborer ces réponses, le capital institutionnel joue un rôle essentiel pour définir les conditions de la prise de décisions politiques. A titre d'illustration, les indicateurs de réponse informent sur la qualité, la

quantité et la répartition de ces réponses (ex: dépenses des pouvoirs publics pour la protection de l'environnement). Certes, cette typologie d'indicateurs est encore peu développé pour deux raisons essentielles : leur construction est difficile vu qu'ils sont le plus souvent qualitatifs (signature d'un accord, respect d'une norme). De plus, ils sont souvent confondus aux indicateurs de pression, dans la mesure où l'on évalue souvent l'efficacité d'une action (réponse) par la variation des indicateurs de pression ou d'état consécutive à cette action. A titre d'exemple, la mise en œuvre d'un programme de dépollution des sols se traduit par une amélioration de l'indicateur d'état "pollution des sols".

Les indicateurs énergétiques durables rapportés au tableau III.3 peuvent être classés selon le modèle DPSIR (Medina-Ross et al., 2005 ; Pao et Tsai, 2010) comme suit :

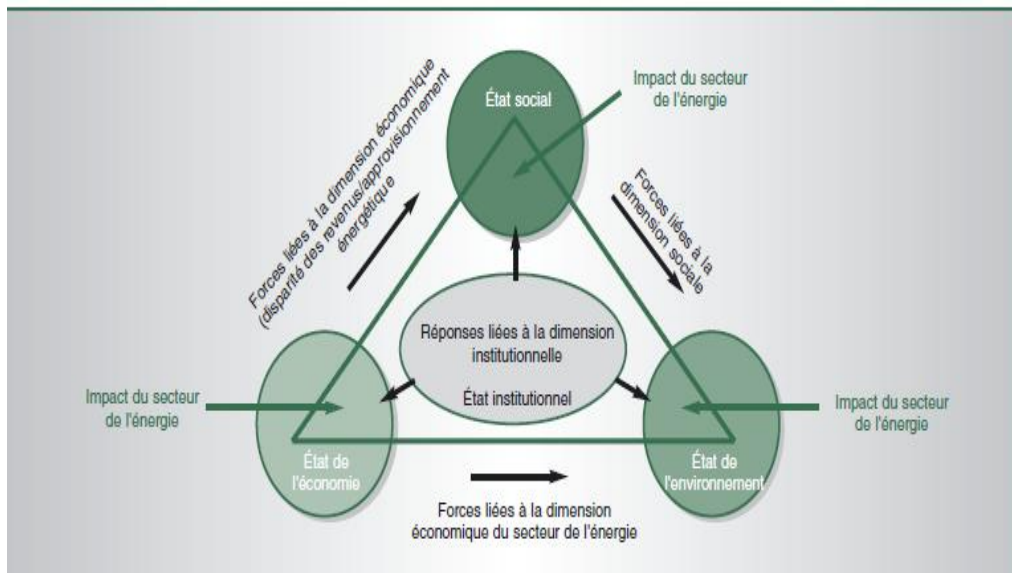


Figure III.4. Les indicateurs énergétiques durables selon le modèle DPSIR

Source : AIEA (1999).

Selon cette perception, la fonction "Impact" n'est pas distinguée de la fonction "État". Chaque indicateur énergétique durable est donc considéré soit comme une force motrice, une pression, un état ou une réponse. Comme il est indiqué dans la figure III.4, cette approche par le modèle DPSIR suppose l'existence d'une chaîne de relations de cause à effet depuis les forces directrices, vers les pressions puis vers les États et Impacts lesquels induisent en retour une réponse sociale orientée vers ces différents maillons. Elle montre par excellence les liens de causalité entre les causes d'origine énergétique, les problèmes environnementaux,

leurs impacts et les réponses sociétales qu'ils suscitent. Cependant, il est à signaler que ce modèle n'est pas linéaire et peut intégrer des effets rétroactifs des effets sur les causes.

3. Approche par les enjeux

Il ressort de la littérature une troisième typologie de **classification des indicateurs énergétiques durables en se basant sur l'approche par enjeux (ou objectifs)**. Cette dernière a l'avantage d'introduire davantage de la transversalité entre les différentes dimensions du développement durable et rendre ainsi possible l'analyse de leurs interactions (Le Kama et al., 2004 ; Ben Abdallah et al., 2013 ; Hiremath et al., 2013). La contribution de l'Agence Européenne de l'Environnement (EEA, 1999) consiste à établir quatre types d'indicateurs en fonction des questions auxquelles ceux-ci peuvent répondre :

- **Les indicateurs descriptifs** répondant à la question “ What is happening to the environment and to humans ?” décrivent la situation actuelle en diagnostiquant profondément les relations entre les origines et les conséquences des problèmes environnementaux (ex: émissions de CO₂ par habitant). La plupart des indicateurs descriptifs sont basés sur le modèle « Pression – État – Réponse »
- **Les indicateurs de performance** donnent réponse à la question suivante : “Does it matter ? ”. Ils comparent les conditions actuelles à un ensemble de conditions de référence et évaluent les écarts entre la situation actuelle et celle souhaitée (ex: émissions de CO₂ par habitant par rapport au niveau maximal acceptable pour stabiliser la concentration atmosphérique en CO₂).
- **Les indicateurs d'efficacité** répondant à la question “ Are we improving ? ” cherchent à mettre en relief les relations entre des éléments de la chaîne causale (ex: émissions de CO₂ par unité de PIB).
- **Les indicateurs de bien-être total** s'intéressent à la question fondamentale et assez globale “Are we on the whole better off ?”, cherchent à agréger les dimensions économiques, sociales et environnementales dans un indicateur synthétique pour évaluer l'évolution globale du bien-être.

Toutefois, les évolutions récentes ont concentré leur attention sur la question de choix entre l'élaboration d'un système d'indicateurs ou plutôt d'indices. Le plus courant est de mesurer le développement énergétique durable en s'appuyant essentiellement sur des systèmes d'indicateurs. La contribution de Pulselli et al. (2006) va à l'encontre en favorisant le recours à l'outil indice qui résume en une seule valeur la multi-dimensionnalité du

développement durable (Boulanger, 2004). Conscient par le fait que la démultiplication du nombre d'indicateurs peut rendre l'information plus difficilement utilisable et accessible à tous les acteurs, certains auteurs (Le Kama et al., 2004 ; Spangenberg, 2002 ; Clerici et al., 2004) proposent une vision à la fois précise et synthétique à travers une alternance intéressante entre indicateurs et indicateurs agrégés en indices.

Section 2 : La mesure des indicateurs du transport routier énergétiquement durable en Tunisie

L'objectif visé est de présenter un ensemble d'indicateurs énergétiques durables spécifiques pour le transport routier pour examen et utilisation, en particulier au niveau national comme support d'aide à la décision pour l'action publique.

I. Le transport routier énergétiquement durable : le cercle d'indicateurs

Certes, le travail d'élaboration d'indicateurs énergétiques durables dans le transport routier en Tunisie doit satisfaire, tel qu'il est mentionné par Boulanger (2004), aux deux exigences fondamentales : la rigueur scientifique (qualité de la méthodologie) et l'efficacité politique (utilité pour la prise de décision) tout en évitant tout recours aux solutions prêtes à l'usage (Brodhag et al., 2004). A ce titre, devant la grande hétérogénéité des méthodologies utilisées, il est à remarquer qu'il existe un lien fondamental entre les spécificités du territoire étudié et le système d'indicateurs choisi pour en mesurer la durabilité énergétique dans les transports. La généralisation ou la transposition des expériences antérieures à d'autres territoires est à faire avec prudence tout en avançant et vérifiant les hypothèses de base.

Dans cette lignée, nous adoptons dans ce qui suit une démarche spécifique dans l'objectif d'extraire une liste d'indicateurs énergétiques durables dans le contexte du transport routier en Tunisie. Cette spécificité méthodologique réside au sens d'un rapprochement entre différentes approches citées précédemment dans le processus de définition et de sélection des indicateurs.

1. Développement des indicateurs : La méthode proposée

En posant la question spécifique de la durabilité énergétique des systèmes de transports, la démarche d'évaluation est ici sectorielle. Par conséquent, le champ d'étude, même si l'importance des transports est reconnue quant à leurs effets économiques et environnementaux, ne va pas recouvrir l'ensemble des thématiques contenues dans le concept du développement énergétique durable. Il s'agit au terme de ce travail, en se basant sur le bilan des indicateurs de développement énergétique durable existants et de leurs transcriptions en termes de transport routier, à opérationnaliser la notion de transport routier énergétiquement durable en débouchant sur une présentation argumentée des indicateurs.

Pour élaborer un tableau de bord énergétique durable applicable au transport routier, deux pré-requis sont à considérer :

- La considération d'un nombre minimal d'indicateurs afin de pouvoir connaître suivre et identifier les tendances.
- Le développement des indicateurs selon une démarche intégrant les trois approches discutées ci-dessus.

L'évaluation d'un transport routier énergétiquement durable via des indicateurs clés se fera de la manière suivante : les différentes dimensions identifiées dans le premier chapitre sont décomposées, suivant une appréciation des contraintes d'observation et de mesure, en variables dont certaines seront retenues au titre d'indicateur, soit parce qu'elles paraissent particulièrement pertinentes soit parce qu'elles se prêtent plus aisément à la mesure. Ces indicateurs sont ventilés en quatre catégories :

a) Indicateurs d'activités de transport routier

Cette liste d'indicateurs, qualifiées d'indicateurs de force directrice, vise à donner un aperçu des activités de transport qui sont directement à la base des pressions exercées sur l'environnement. De très nombreux indicateurs d'activité peuvent être envisagés, de manière détaillée ou synthétique. Elle s'intéresse aux tendances observées en matière de déplacements et véhicules.

b) Indicateurs de ressources

Les indicateurs de structure représentent les ressources énergétiques nécessaires à l'activité du transport routier (indicateurs de pression).

c) Indicateurs d'impacts

La notion d'impacts est plus globale que la notion de résultats¹²⁵. Les indicateurs d'impact répondent aux questions relatives aux conséquences des activités de transport ou de la gestion pratiquée en matière de transport routier sur l'environnement et l'économie.

d) Indicateurs de gestion ou de réponse

Ces indicateurs ont pour objectif de mettre en évidence les réactions sociétales relatives aux préoccupations en matière de transports (politique des prix, offre en services de transport, réglementation et contrôle des vitesses, etc.) ou des paramètres de contrôle sur lesquels les autorités publiques pourraient agir pour s'orienter vers des transports plus durables (offre en services de base de proximité, etc.).

D'une part, ils reflètent des déterminants des déplacements qui constituent les principaux leviers sur lesquels il est possible d'intervenir pour infléchir les tendances en matière de transport (volume du trafic et répartition modale) tout en s'attachant à des indicateurs relatifs à l'aménagement du territoire, l'offre en infrastructures et les services de transport, la politique des prix, etc.). D'autre part, ils concernent d'autres mesures prises pour réduire les impacts négatifs des transports (contrôles, gestion des voies de communication, etc.).

Ces indicateurs peuvent également être classifiés comme indicateurs de force directrice ou de réponse selon la perspective dans laquelle on se place.

Le tableau III.4 présente une synthèse des expériences sur l'élaboration des indicateurs énergétiques durables dans le transport routier. Il sert à mettre en relief les indicateurs les plus utilisés en la matière.

¹²⁵ L'impact regroupe l'ensemble des changements directs et indirects, voulus ou non voulus.

Tableau III.4. Synthèse des expériences sur l'élaboration des indicateurs énergétiques durables dans le transport routier

| Nom et auteur du projet | Les indicateurs d'activité | Les indicateurs de ressources | Les indicateurs d'impacts | Les indicateurs de réponse |
|---|--|---|---|--|
| T. E. R. M (Transport and Environnement Reporting Mechanism) <i>Auteur</i> : A. E. E (Agence Européenne de l'Environnement, 2000) | Nombre total de passagers par route Kilométrage total de passagers par route Passager-km par personne Passager-km par PNB Total tonnes par route Tonne-km total par route Tonne-km par personne Tonne-km par PNB Taux d'occupation des véhicules par les passagers Facteurs de chargement pour le transport de marchandises sur route | Consommation finale et primaire d'énergie par le transport routier (fossile, nucléaire, renouvelable) Consommation d'espace par les infrastructures de transport routier Progression des carburants propres (essence sans plomb, électricité, essences alternatives) et nombre de véhicules à alimentation alternative. | Émissions des transports routiers. Non-respect des objectifs de qualité de l'air Émission par passager et émissions par tonne-km. Accès aux services de transports | Capacité des réseaux d'infrastructures de transport Investissements en infrastructures routières Taille du parc véhicules et âge moyen Nombre de véhicules à moteur par foyer Proportion du parc automobile respectant certaines normes d'émissions d'air (par mode) Changement réel dans le prix du transport passager routier Prix et taxes sur le carburant Taxes et impôts sur les transports Subventions % de personnes d'un site ayant accès à un mode de transport en commun |
| Indicateurs pour l'intégration des préoccupations environnementales dans les politiques de transports <i>Auteur</i> : OCDE ¹²⁶ (2000). | Transport de passagers par route Transport de marchandises par route Volume et intensité du trafic routier | Consommation finale d'énergie par mode Consommation de carburants des transports terrestres par type de carburant | Émissions directement liées aux transports Émissions des transports routiers Tendances d'émissions de CO2. | Longueur et densité d'infrastructures Parc automobile Composition de la flotte automobile routière Impôts et carburants |

¹²⁶ Organisation de Coopération et Développement Économiques

| | | | | |
|--|--|---|--|---|
| <p>STPI (Sustainable Transportation Performance Indicators)</p> <p><i>Auteurs :</i> Projet mené par le Centre pour un Transport Durable, 2002.</p> | <p>Intensité du trafic passager par route Intensité du trafic de marchandises par route Part des déplacements motorisés en véhicules personnels Nombre de véhicules kilomètres</p> | <p>Utilisation de l'énergie pour les transports routiers</p> | <p>Émission de gaz à effet de serre pour le transport routier Indice d'émission de polluants atmosphériques émis par les transports routiers Indice d'intensité énergétique Indice d'intensité des émissions</p> | <p>Longueur des routes goudronnées</p> |
| <p>Indicateurs de mobilité durable : Application à l'agglomération lyonnaise</p> <p><i>Auteur:</i> Laboratoire d'Économie des Transports (LET), 2001.</p> | <p>Nombre de déplacements quotidiens, distances parcourues, vitesses et durées quotidiennes de déplacement Coût global moyen d'un voyageur-kilomètre Coût annuel de la mobilité d'une personne</p> | <p>Hydrocarbures et particules de mode routier</p> | <p>Émissions unitaires en CO₂, CO, NO_x. Revenu par unité de consommation et le pourcentage du revenu consacré aux dépenses pour les transports Urbains.</p> | <p>Les indicateurs de motorisation (taux de motorisation)</p> |
| <p>PROPOLIS (Planning and Research of Policies for Land Use and Transport for Increasing Urban Sustainability)</p> <p><i>Auteurs :</i> Coordinateur du projet: Kari LAUTSO, 2004.</p> | <p>Coûts généralisés des transports</p> | <p>Consommation des ressources naturelles Consommations de matières fossiles dues aux transports routiers</p> | <p>Émissions de gaz à effet de serre dues aux transports routiers Exposition aux particules émises par les transports routiers (% de la population) Coûts externes liés à l'émission de gaz à effet de serre</p> | <p>Coûts des investissements en transport routier</p> |

Source : Élaboration de l'auteur

2. Sélection des indicateurs

Parmi la panoplie d'indicateurs ci-dessus, nous proposons un tableau de bord hiérarchique en sélectionnant 6 indicateurs principaux (quatre reflétant le transport compétitif, un pour le transport propre et deux pour le transport équitable) selon le modèle PIR répartis en trois catégories (indicateurs de ressources ou de pression, indicateurs d'impacts et indicateurs de réponse).

Tableau III.5. Les indicateurs phares d'un transport routier énergétiquement durable

| Type d'indicateurs | Indicateurs | Dimensions |
|---------------------------|---|---|
| Indicateurs de ressources | Consommation des carburants routiers | Transport compétitif |
| Indicateurs d'impacts | Valeur ajoutée réelle du secteur de transport | Transport compétitif |
| | Émissions de CO2 dues au transport routier | Transport propre |
| Indicateurs de réponse | Taux de motorisation | Transport équitable Transport compétitif |
| | infrastructure routière et autoroutière | Transport équitable Transport compétitif |
| | prix moyen du carburant routier | Transport compétitif |

Source : Élaboration de l'auteur

Les critères de choix adoptés sont principalement :

- ✓ La pertinence stratégique (l'utilité pour la prise de décisions);
- ✓ La simplicité (livre un message facilement intelligible);
- ✓ La disponibilité des données (ou parfois la possibilité de combler la lacune d'indisponibilité des données en utilisant des techniques économétriques) ;
- ✓ La validité (les variations observées sont en lien avec les dimensions étudiées);
- ✓ Les interférences entre les indicateurs proposés.

Le recours à la modélisation PIR est justifié par le fait que dans, le schéma DPSIR :

- Les forces directrices sont en forte corrélation avec les réponses ;
- Les deux composants impacts et état peuvent être groupés pour des raisons méthodologiques puisqu'un même élément ou item peut apparaître souvent dans l'un de composants, selon la cible sur laquelle l'on se focalise (Greeuw et coll, 2001).

Outre les indicateurs descriptifs de base, la figure III.5 présente de manière systématique les différentes articulations entre eux, pour en faire ressortir d'autres types d'indicateurs composites qualifiés par certains auteurs comme d'indicateurs d'efficacité ou de performance énergétique.

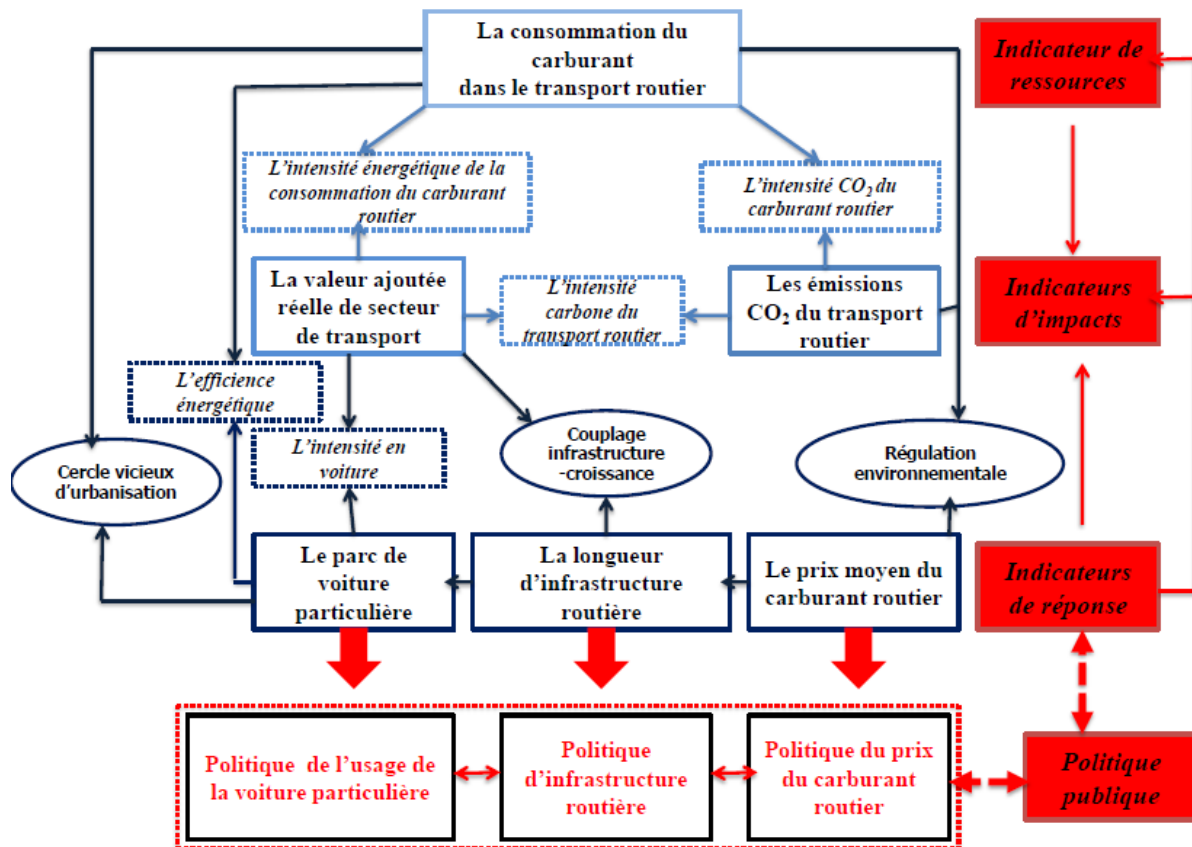


Figure III.5. Cartographie des indicateurs de transport énergétiquement durable en Tunisie : Modélisation PIR

Source : Élaboration de l'auteur.

II. Mesure des indicateurs de transport énergétiquement durable en Tunisie

1. Cadre spatial et temporel

Le jeu d'indicateurs présenté prend en compte le mode de transport routier tant pour le transport de personnes que pour de marchandises. Les indicateurs développés abordent essentiellement les problèmes de durabilité énergétique générés. Compte tenu des objectifs de la recherche, les indicateurs sont élaborés à l'échelle de la Tunisie et visent, en fonction de la disponibilité des données, à dévoiler les tendances temporelles observées au cours de la période 1980-2010. Il s'agit donc d'*indicateurs rétrospectifs*.

2. Présentation méthodologique et mesure des indicateurs proposés

Pour un souci de clarté quant à l'utilité d'indicateurs et à leur interprétation, cette description méthodologique des indicateurs vise à présenter une fiche par indicateur, comprenant les rubriques suivantes :

- ✓ Intitulés, unités et brèves définitions des indicateurs ;
- ✓ Objectif général ;
- ✓ Typologie ;
- ✓ Liens avec d'autres indicateurs ;
- ✓ Description méthodologique et sources de données ;
- ✓ Limitations de l'indicateur choisi.

a) Consommation des carburants routiers : indicateur de ressource

- *Intitulés, unités et brèves définitions des indicateurs*
 - **Consommation annuelle de carburants routiers exprimée en tonnes équivalent pétrole (tep) et % de variation** : cet indicateur décrit l'évolution, sur une base annuelle et à l'échelle de la Tunisie, de la consommation finale d'énergie par les transports routiers.
 - **Intensité de consommation de carburants par habitant exprimée en tep/habitant** : elle décrit l'évolution annuelle de la consommation de carburant rapportée au nombre d'habitants.
 - **Intensité de consommation de carburants relativement au PIB exprimée en tep/unité monétaire** : elle compare la consommation finale d'énergie par les transports routiers relativement au produit intérieur brut.
 - **Intensité de consommation de carburants par volume de trafic exprimée en tep/million de véhicule-km** : elle décrit l'évolution annuelle de la consommation de carburant rapportée aux kilomètres parcourus.
 - **Part du secteur des transports routiers dans la consommation énergétique finale totale d'énergie de secteur de transport tous modes confondus exprimée en %** : cet indicateur compare la part des différents modes (routier, maritime, ferroviaire et aérien) dans la consommation énergétique finale totale d'énergie et rend compte de l'évolution temporelle de cette répartition.
 - **Part des différents vecteurs énergétiques dans la consommation finale d'énergie par les transports routiers exprimée en %** : cet indicateur présente la structure de consommation de carburants routiers en mesurant la contribution respective des

différents vecteurs énergétiques, principalement l'essence, diesel et électricité dans la consommation finale d'énergie par le secteur des transports routiers.

- *Objectif général*

Ces indicateurs décrivent l'évolution de la consommation de carburants (quantité d'énergie consommée et type de carburant utilisé) par le secteur de transport routier. Ils permettent d'une part de mesurer et suivre les tendances de la contribution du mode de transport routier à la consommation des ressources énergétiques non renouvelables et la dépendance énergétique qui en résulte. D'autre part, ils permettent d'évaluer les émissions de polluants atmosphériques et, en particulier de gaz à effet de serre d'autre part. Cependant, la consommation de carburant routier par habitant constitue un bon indicateur de la dépendance à l'automobile.

- *Typologie*

Ces indicateurs de ressource ou de pression mesurent les interactions consommation d'énergie dans le transport routier/durabilité économique pour en tirer des conclusions sur la compétitivité de transport routier.

- *Liens avec d'autres indicateurs*

Ces indicateurs sont corrélatifs aux tendances du trafic routier motorisé (passagers et marchandises) et donc à la croissance de secteur de transport en termes de la valeur ajoutée, et sont principalement liés à ceux de parc de véhicules routiers (en termes de nombre et type), des prix des carburants et des émissions de polluants atmosphériques. L'utilisation de carburant est également fonction de l'organisation spatiale des différentes activités humaines et essentiellement de l'infrastructure routière en termes de longueur et capacité.

- *Description méthodologique et sources de données*

Le calcul de l'indicateur ***consommation annuelle de carburant routier par habitant*** se base sur les statistiques de la banque mondiale [WDI, 2011]. Il est exprimé en kg équivalent pétrole/habitant.¹²⁷

- *Limitations des indicateurs et indicateurs alternatifs ou complémentaires*

Deux réserves doivent être signalées :

- Il conviendrait de distinguer la consommation de carburant routier destinée au transport de personnes et celle destinée au transport de marchandises.
- Il conviendrait de tenir compte du marché informel de carburant routier développé essentiellement à la frontière de la Libye.

¹²⁷ Toutes les données sont exprimées dans une unité commune à savoir, la tonne équivalente pétrole (tep) qui est une unité conventionnelle standardisée définie sur la base d'une tonne de pétrole ayant un pouvoir calorifique inférieur de 41.868 kilojoules/kg.

- *Application de l'indicateur consommation annuelle de carburant routier par habitant (kg équivalent pétrole par habitant) :*

On constate une hausse de la consommation de carburants routiers par habitant entre 1980 et 2010, expliquée par l'augmentation du trafic automobile et du transport de marchandises par route.

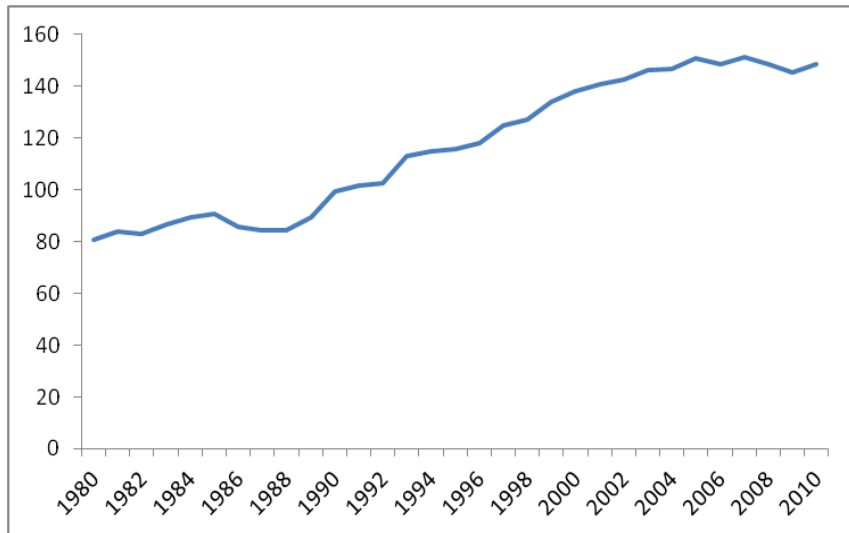


Figure III.6. Évolution de l'intensité de consommation de carburant routier par habitant en Tunisie (1980-2010)

Source : Élaboration de l'auteur.

b) Valeur ajoutée du secteur de transport: indicateur d'impact

- *Intitulés, unités et brèves définitions des indicateurs*
 - **Produit intérieur brut exprimé en unité monétaire** : cet indicateur agrégé¹²⁸ mesure la croissance de l'ensemble des activités économiques du pays.
 - **Valeur ajoutée du secteur de transport exprimée en unité monétaire**: plusieurs études ont montré l'importance de la désagrégation de l'indicateur de PIB pour plus de fiabilité pour les investigations d'ordre sectoriel.
 - **Intensité de la valeur ajoutée du secteur de transport par habitant** : cet indicateur est exprimé en unité monétaire/hab.

¹²⁸ Il est la somme de la valeur ajoutée brute de tous les producteurs résidents d'une économie plus toutes taxes sur les produits et moins les subventions non incluses dans la valeur des produits. Il est calculé sans effectuer de déductions pour la dépréciation des biens fabriqués ou la perte de valeur ou la dégradation des ressources naturelles.

- *Objectif général*

Ces indicateurs permettent de suivre l'évolution globale du secteur de transport. Ils fournissent une image générale sur l'évolution du trafic, la longueur du réseau, les caractéristiques du parc et l'ampleur des externalités négatives.

- *Typologie*

Ces indicateurs d'impacts mesurent les interactions consommation d'énergie dans le transport routier / durabilité économique.

- *Liens avec d'autres indicateurs*

Ces indicateurs sont liés à la majorité des indicateurs d'activité de transport tels que le volume de trafic de transport de personnes et de marchandises, la longueur et les choix modaux des déplacements, le stock de véhicules routiers, la consommation de carburants routiers, le taux d'occupation moyen des véhicules, la part des dépenses des ménages affectées aux transports, l'offre et la qualité des infrastructures et les services de transport, le prix des carburants. Ces indicateurs sont notamment en connexion avec les indicateurs relatifs aux impacts des activités de transports, en particulier ceux relatifs aux émissions, bruit, accidents, énergie, utilisation du sol, déchets, congestion.

- *Description méthodologique et sources de données*

Les données relatives à la valeur ajoutée de secteur de transport par habitant émanent du Ministère des Transports (elles font l'objet de plusieurs publications annuelles) et elles sont exprimées en dinars Tunisien aux prix constants de 2000. Néanmoins, on a fait recours à quelques techniques statistiques pour confronter le problème de données manquantes (voir figure III.8).

- *Limitations des indicateurs*

Compte tenu de l'importance du marché de transport informel, souvent alimenté par le marché informel du carburant routier en Tunisie, il serait intéressant de pouvoir estimer la valeur ajoutée réelle de secteur de transport en tenant compte des économies informelles générées¹²⁹.

- *Application de l'indicateur valeur ajoutée de secteur de transport par habitant (dinars Tunisien par habitant) :*

Un examen attentif de la courbe d'évolution de la valeur ajoutée de secteur de transport montre une croissance à un rythme soutenu. L'effet de la crise est apparent à partir de l'année 2008.

¹²⁹ Les résultats des estimations seront présentés dans la troisième section de ce chapitre.

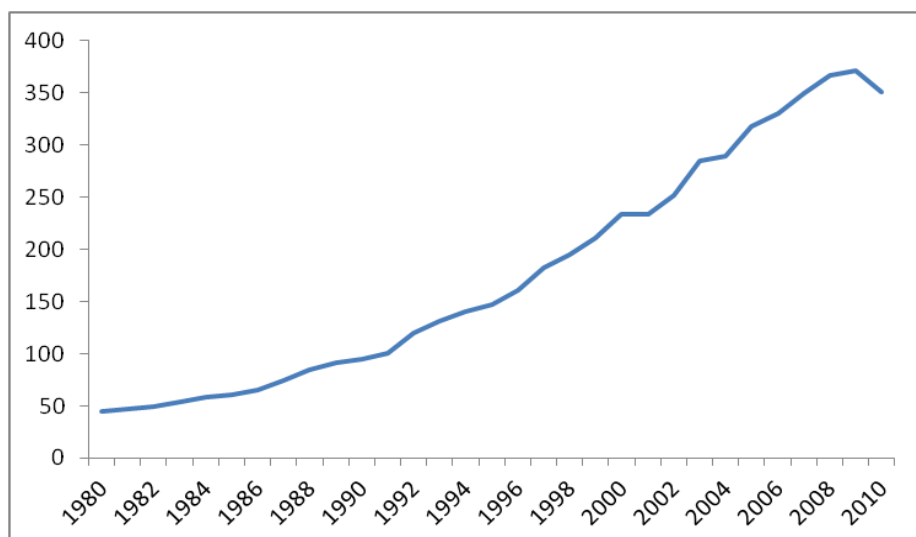


Figure III.7. Évolution de l'Intensité de la valeur ajoutée du secteur de transport par habitant en Tunisie (1980-2010)

Source : Élaboration de l'auteur.

La valeur ajoutée du secteur tourne autour des 10% du PIB en 2010, avec une forte contribution de sous-secteur routier (48% de la valeur ajoutée du secteur). Ce faible pourcentage de la contribution de secteur de transport à la formation du PIB est expliqué par deux facteurs :

- Le non prise en compte de potentiel non négligeable des économies informelles.
- Le non prise en compte des services logistiques liés au transport dans la comptabilisation du PIB.

c) Émissions de CO₂ dues au transport routier: indicateurs d'impact

- *Intitulés, unités et brève définition des indicateurs*

- *Émissions totales de CO₂ par le secteur de transport routier exprimé en tonnes et % de variation.*

- *Intensité d'émissions de CO₂ dues au trafic routier par unité de volume de trafic exprimé en tonnes de CO₂ par millions de véhicules : elle décrit l'évolution des émissions de CO₂ occasionnées par le transport routier relativement à l'évolution du trafic correspondant.*

- *Intensité d'émissions de CO₂ dues au trafic routier par habitant exprimée en tonnes de CO₂ par habitant.*

- *Intensité d'émissions de CO₂ dues au trafic routier par unité de PIB exprimée en tonnes de CO₂ par unité monétaire.*

- Contribution relative des émissions totales de CO₂ par le transport routier aux émissions totales de secteur de transport (tout modes confondus) exprimées en %.

- *Objectif général*

Ces indicateurs permettent de quantifier et de suivre les tendances d'émissions de CO₂ par le transport routier ainsi que sa contribution aux émissions totales (tout secteurs confondus).

- *Typologie*

Ces indicateurs mesurent les interactions consommation d'énergie dans le transport routier et la durabilité environnementale pour donner un aperçu sur la dimension de transport propre.

- *Liens avec d'autres indicateurs*

Ces indicateurs doivent être lus en connexion avec :

- Les indicateurs d'activité relatifs aux tendances du trafic aussi bien passagers que de marchandises ;
- L'indicateur d'impact relatif à la valeur ajoutée de secteur de transport ;
- Les indicateurs de réponse relatifs aux caractéristiques structurelles du parc de véhicules routiers, caractéristiques techniques et d'exploitation de l'infrastructure routière et caractéristiques fiscales de la tarification du service transport et du carburant .

- *Description méthodologique et sources de données*

Les données relatives aux émissions de CO₂ par le secteur des transports proviennent des statistiques publiées par la banque mondiale [WDI, 2011] et de l'agence nationale de maîtrise de l'énergie [ANME, 2012]. Les émissions de CO₂ par le secteur des transports sont exprimées en millions métriques de tonnes.

- *Limitation des indicateurs*

Les données concernant les émissions de CO₂ constituent des estimations basées sur des méthodologies variables et sont donc fortement accusées d'un certain degré d'imprécision. En effet, malgré les efforts en voie d'amélioration et de standardisation, des différences méthodologiques existent entre les années ce qui rend les comparaisons temporelles actuellement délicates. Les estimations des émissions de CO₂ par le transport routier effectuées par la banque mondiale sont basées sur les livraisons totales sur le marché intérieur d'essence et de diesel et peuvent de ce fait différer quelque peu de la consommation de carburant routier. En effet, des quantités significatives de diesel peuvent être utilisées par des moteurs diesel dans d'autres secteurs que celui des transports. Aussi, une certaine quantité

de carburants peut être exportée ou importée des pays voisins. Cependant, les estimations des émissions de CO₂ émanant de l'ANME tiennent compte de paramètres relatifs à l'utilisation totale de carburants, parc de véhicules, facteurs d'émission, kilométrage annuel moyen des véhicules, températures minimales et maximales, vitesses moyennes pour différents types de routes, etc.

- *Application de l'indicateur intensité d'émissions de CO₂ dues au trafic routier par habitant (tonne métrique par habitant) :*

Les émissions de dioxyde de carbone par le transport routier sont étroitement liées à la consommation de carburant et leur évolution manifeste une tendance assez similaire. Durant la période 1980-2010, ces émissions ont augmenté dans des proportions très variables.

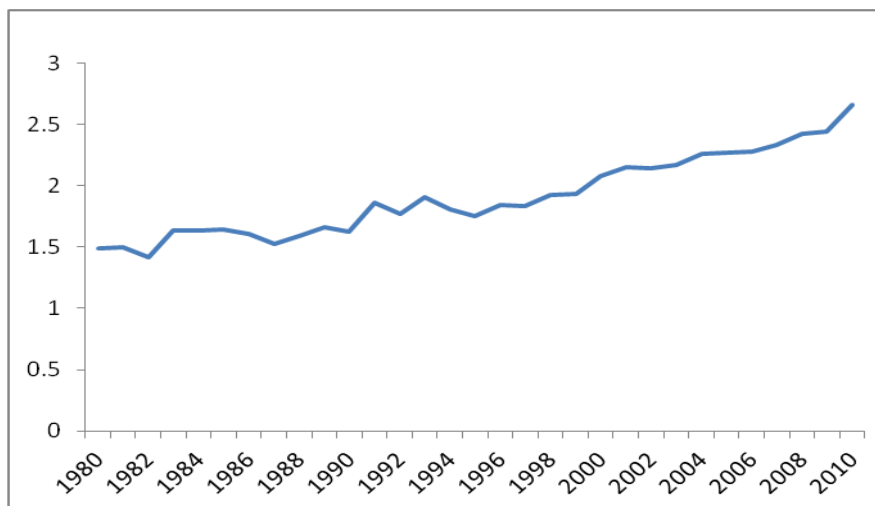


Figure III.8. Évolution de l'intensité d'émissions de CO₂ dues au trafic routier par habitant en Tunisie (1980-2010)

Source : Élaboration de l'auteur.

d) Parc de véhicules routiers: indicateur de réponse

- *Intitulés, unités et brève définition des indicateurs*
 - *Parc de véhicules routiers exprimé en nombre d'unités et % de variation* : cet indicateur décrit l'évolution annuelle en termes quantitatifs du parc de véhicules routiers (voitures, autobus/autocars, camions/camionnettes, tracteurs /véhicules spéciaux, moto).
 - *Taux de motorisation exprimé en nombre de voitures par 1000 habitants.*
 - *Structure du parc de véhicules routiers par type de carburants exprimée en nombres absolus, en % du parc et en % de variation* : cet indicateur décrit l'évolution

du parc de voitures privées, de camions et de camionnettes ainsi que d'autobus et d'autocars par type de carburant (essence, diesel, LPG et électricité).

- *Immatriculation de voitures neuves par type de carburant exprimé en %.*

- *Nombre de véhicules de marchandises par unité de PIB.*

- *Objectif général*

Ces indicateurs permettent de suivre les tendances concernant l'évolution du parc de véhicules routiers d'un point de vue quantitatif et donne une image claire de volume de la circulation automobile et d'une manière indirecte de transports en commun. Ils déterminent l'ampleur et la nature des pressions exercées par le transport routier sur l'environnement en permettant de suivre l'évolution de caractéristiques structurelles du parc et de dessiner les tendances à court terme à partir des données relatives aux nouvelles immatriculations de voitures.

- *Typologie*

Ces indicateurs de réponse ou aussi de force agissante (driving force indicator) mesurent la durabilité socio-économique de secteur de transport et servent à caractériser les dimensions relatives au transport compétitif et transport équitable. Ils présentent les leviers d'action portant sur les caractéristiques du parc de véhicules, efficacité d'utilisation et incitation à des choix modaux, voire de moyens de transport plus durables.

- *Liens avec d'autres indicateurs*

Ces indicateurs doivent être lus en connexion avec les indicateurs relatifs aux PIB, dépenses des ménages affectées aux transports, prix des carburants routiers. Ils présentent des interactions potentielles avec les indicateurs concernant le volume de trafic automobile, les externalités négatives du transport routier (émissions, bruit, accidents, utilisation du sol, déchets, congestion), les tendances modales en matière de déplacements, l'offre et la qualité des infrastructures et le prix des transports.

- *Description méthodologique et sources de données*

Les statistiques concernant le parc de véhicules routiers sont issues des rapports annuels réalisés par l'ANME. Elles sont calculées sur la base du fichier des véhicules immatriculés en distinguant entre voitures privées, autobus et autocars, véhicules spéciaux, camions, camionnettes, remorques et semi-remorques. Ces données sont également reprises dans les rapports annuels de Ministère du Transport.

- *Limitation des indicateurs*

L'indicateur parc de voitures est en réalité plus difficile à estimer. Le fait de se baser sur le nombre d'immatriculations nouvelles et anciennes est fortement critiqué sur le plan

académique. Il convient de souligner que les données enregistrées peuvent comprendre d'anciens véhicules enregistrés ayant déjà été abandonnés (hors d'usage)¹³⁰, ce qui peut amplifier le ratio de motorisation. Cependant, les récentes recherches font recours à la loi de survie¹³¹ pour une estimation plus fine du parc de voitures (Lacour et Joumard, 2002).

- *Application de l'indicateur taux de motorisation :*

Comme le montre le graphique III.9, le taux de motorisation a connu une croissance soutenue de 19 à 76 voitures pour 1000 habitants entre 1980 et 2010, susceptible de se traduire par un accroissement de besoins en énergie et des externalités du secteur de transport routier. Néanmoins, il est à signaler que l'ampleur de certains de ces externalités peut être modulée par des facteurs clés liés aux caractéristiques techniques des véhicules, qualité de carburants et style de conduite.

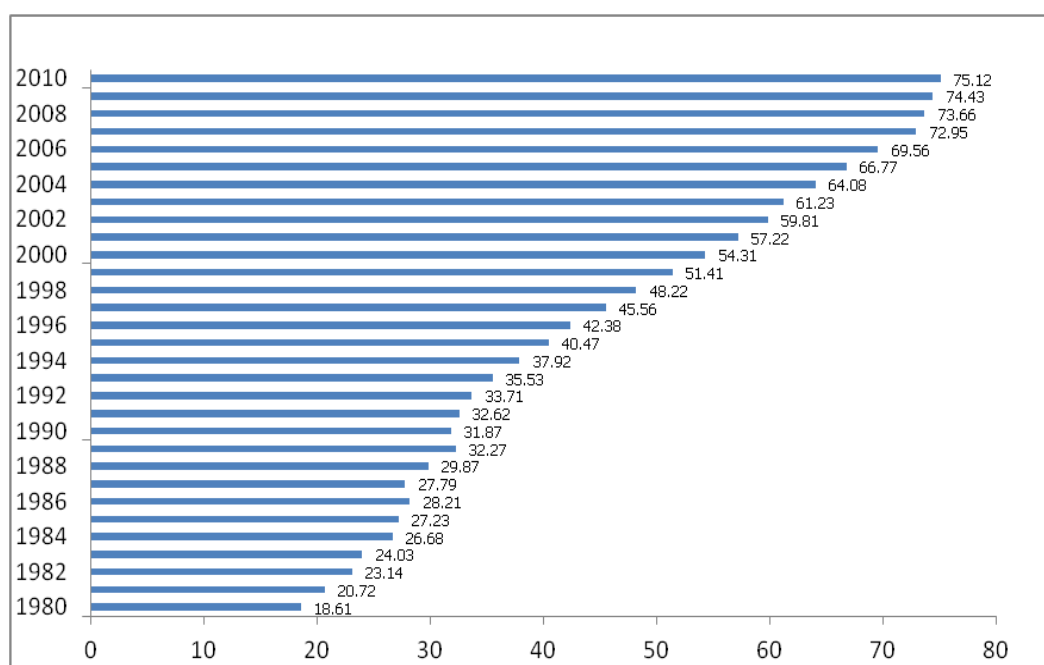


Figure III.9. Évolution de taux de motorisation en Tunisie (1980-2010)

Source : Élaboration de l'auteur.

e) Infrastructure routière: indicateur de réponse

- *Intitulés, unités et brève définition des indicateurs*

¹³⁰ En Tunisie, les véhicules abandonnés sont en pratique estimés à 30 % du parc automobile (Ministère de transport, 2010).

¹³¹ L'utilisation d'un **modèle de survie** ne permet pas de s'affranchir de données statistiques portant sur les immatriculations, l'utilisation des véhicules et d'informations sur le rythme de vieillissement des véhicules. Le **modèle de survie** consiste à estimer les flux d'entrée dans le parc par l'intermédiaire des immatriculations et les flux de sortie par l'intermédiaire de leur rythme de vieillissement.

- *Évolution de l'offre du réseau du réseau routier exprimée en nombre de kilomètres de réseau exploités*: cet indicateur décrit l'évolution temporelle de l'accessibilité du réseau routier, en prenant comme paramètres l'évolution de la longueur du réseau.

- *Intensité de l'infrastructure routière par habitant*: elle reflète l'évolution de l'accessibilité du réseau, en rapportant le nombre de kilomètres d'infrastructure par habitant.

- *Objectif général*

De manière générale, ces indicateurs doivent rendre compte de la mesure dans laquelle l'offre d'infrastructure routière répond aux attentes d'un transport énergétiquement durable. Des données relatives à longueur du réseau jouent un rôle fondamental dans la concrétisation de la durabilité énergétique du transport routier. Toute carence ou offre non maîtrisée de l'infrastructure routière risque de ramener le développement de secteur routier vers des solutions moins soutenables.

- *Typologie*

Ces indicateurs de réponse mesurent les leviers d'action relatifs aux caractéristiques du réseau routier en termes de longueur d'infrastructure et servent à caractériser la durabilité socio-économique de transport routier.

- *Liens avec d'autres indicateurs*

Ces indicateurs donnent un aperçu intéressant sur l'offre du réseau routier. Ils sont corrélatifs aux indicateurs concernant le volume de déplacement individuel, les tendances en matière de la motorisation et de la consommation du carburant routier.

- *Description méthodologique et sources de données*

Les données utilisées pour la longueur de l'infrastructure routière proviennent de rapports annuels, annuaires statistiques et banques de données internes de Ministère du Transport.

- *Limitation des indicateurs*

Les données concernant la qualité de l'infrastructure routière pose un grand problème. En effet, il s'est révélé bien souvent délicat d'avoir des idées relatives aux caractéristiques techniques des infrastructures routières, outre la longueur, surtout en termes de capacité d'une part, et de nombre et de places de parking offertes de l'autre part.

- *Application de l'indicateur Intensité de l'infrastructure routière par habitant (mètres)*

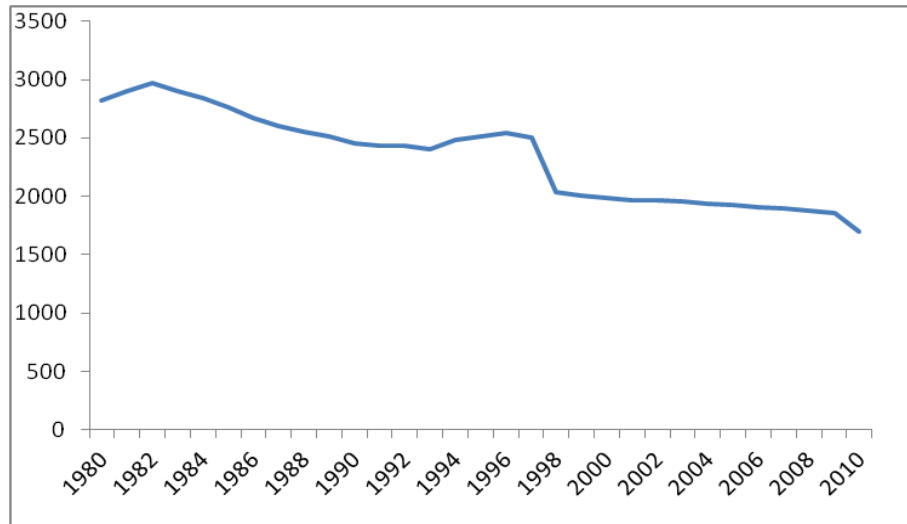


Figure III.10. Évolution de l'intensité de l'infrastructure routière par habitant en Tunisie (1980-2010)

Source : Élaboration de l'auteur.

D'une manière générale, on peut constater trois phases dans l'évolution kilométrique du réseau routier par habitant:

- La première, entre 1980 et 1982, fait montrer une légère augmentation de l'offre de l'intensité de l'infrastructure routière par habitant, en passant d'environ de 2821 à 2975 m de voies.
- Par contre, la période 1983-1993 marque singulièrement une évolution à la baisse de l'intensité de l'infrastructure routière par habitant en Tunisie. La diminution réelle de la longueur de réseau est due au non opérationnalité de quelques routes avec une augmentation continue de la population. L'accessibilité au réseau routier s'est donc vue sévèrement touchée durant cette période.
- Toutefois, la dernière phase fait montrer une légère augmentation suivie d'une stabilisation de l'intensité de l'infrastructure routière par habitant autour de 2000 m pour subir une chute brutale en 2010 en atteignant 1700 m/habitant, suite à l'augmentation de nombre de population et la constance de la longueur infrastructurelle.

f) Prix du carburant routier: indicateur de réponse

- *Intitulés, unités et brève définition des indicateurs*

- *Prix des carburants exprimés en unité monétaire/ litres* : cet indicateur s'intéresse à l'évolution de prix de différents types de carburant, essentiellement de diesel et de l'essence.

- **Prix moyen de carburant routier** : il est calculé en pondérant les prix des différents carburants par leurs consommations respectives. Puis il est déflaté par l'indice de prix du produit intérieur brut.

- *Objectif général*

Les prix relatifs des carburants routiers constituent un instrument d'information des consommateurs et un instrument économique pour l'action publique afin d'influencer le choix de ces derniers tant du point de vue de la quantité que du type de carburant acheté. Ces indicateurs permettent, d'une part, d'évaluer les prix de carburant compte tenu du pouvoir d'achat de la population et de prix internationaux (distorsions par rapport aux prix internationaux), et, d'autre part, de mettre l'accent sur les différences de prix et taxes entre les différents carburants (distorsions inter-produits).

- *Typologie*

Ces indicateurs de réponse servent à caractériser la dimension de durabilité économique relative au transport routier compétitif et mesurent les leviers d'action portant sur la tarification du carburant routier.

- *Liens avec d'autres indicateurs*

Ces indicateurs peuvent être lus en connexion directe avec les indicateurs relatifs à la consommation de carburants routiers et le volume de circulation routière, et indirecte avec les indicateurs décrivant les impacts des transports surtout en termes des émissions de polluants. En effet, le prix des carburants constitue un instrument économique (politique fiscale) pour internaliser, partiellement ou totalement, les coûts externes liés au transport routier.

- *Description méthodologique et sources de données*

Les données relatives aux prix du diesel et de l'essence sont compilées par diverses institutions, notamment l'ANME et le Ministère du transport. Ces prix sont exprimés en dinar Tunisien.

- *Limitation des indicateurs*

Ces indicateurs n'offrent pas un éclaircissement sur la composition du prix moyen des carburants (le coût d'acquisition, du raffinage, de distribution, les impôts et taxes).

- *Application de l'indicateur prix moyen de carburant routier (dinar Tunisien) :*

La figure III.11 montre que le prix moyen de carburant routier¹³² a évolué de façon exponentielle au cours des trente dernières années. Néanmoins, la question qui se pose est dans quelles mesures les signaux offerts par le prix des carburants ont incité les citoyens et entreprises à adopter des comportements plus durables en matière de transport routier.

¹³² Ce prix est non déflaté.

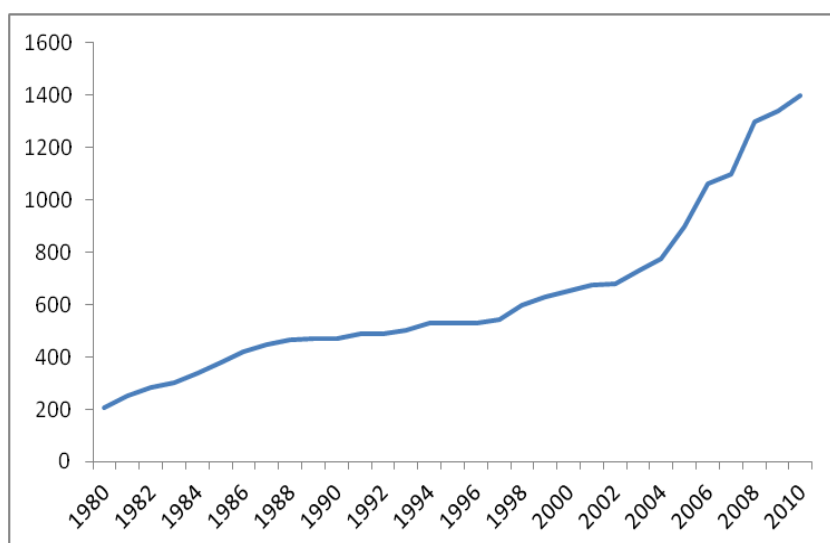


Figure III.11. Évolution de prix moyen de carburant routier en Tunisie (1980-2010)

Source : Élaboration de l'auteur.

Section 3 : L'estimation de la valeur ajoutée réelle du secteur de transport en Tunisie : Approche par le filtre de Kalman

La connaissance de l'ampleur de transport informel est d'une grande importance pour mettre en œuvre des politiques adaptées en matière de transport énergétiquement durable. Il s'agit d'un facteur majeur qui est susceptible d'influencer les résultats des études et les implications politiques qui en découlent. Dans ce contexte, notre recherche représente une contribution tout à fait originale à la compréhension et **la mesure des économies informelles dans le secteur de transport en Tunisie durant la période 1980-2010, en utilisant une approche environnementale** (Kranfil et Ozkaya, 2007), axée sur la méthodologie de **filtre de Kalman**. Dans cette perspective, la valeur ajoutée totale¹³³ de secteur de transport est estimée à travers quatre indicateurs principaux : les émissions de CO₂ dues au secteur de transport, la valeur ajoutée enregistrée, le parc de véhicules et la longueur de l'infrastructure routière et autoroutière.

I. Du secteur informel aux transports informels

Pour saisir les termes de transport « informel », il faut d'abord commencer par définir le concept de secteur informel.

¹³³ La valeur ajoutée totale est la somme de la VAT enregistrée et VAT non enregistrée.

1. Aperçu général sur le secteur informel

Loin de différentes terminologies employées dans la littérature à savoir l'économie informelle (Smith, 1973), irrégulière (Ferman, 1973), souterraine (Gutmann, 1977), clandestine (Simon et Whitte, 1982), le marché noir (Dilnot et Morris, 1981), l'économie duale (Frey et al., 1982), ou encore l'économie invisible, parallèle, cachée, illégale, non structurée, immergée, non officielle voire criminelle pour certains, ces concepts ont toujours été l'objet d'une incompréhension qui se manifeste par une multitude de définitions et d'approches. Tous cherchent à relativiser le qualificatif d'un phénomène complexe et multiforme regroupé, sous le phénomène de l'informalité¹³⁴ dans sa globalité. Toutefois, l'économie informelle désigne l'ensemble conceptuel de l'informalité, tant dans les relations de production que dans les relations d'emploi.

La réflexion sur l'économie informelle a beaucoup progressé depuis l'invention du concept par les experts du Bureau International de Travail (BIT) dans les années 1970. La contribution de BIT est la plus distinctive en initiant le concept de secteur informel en tant que l'ensemble des activités marginales et périphériques de l'économie nationale, autrement dit les activités économiques qui émergent en dehors du cadre législatif¹³⁵ des pays concernés. La contribution de la 15^{ème} Conférence Internationale des Statisticiens du Travail (CIST) en 1993 a permis d'éclairer la notion de secteur informel en termes comptables afin de parvenir à l'estimation de sa contribution dans le PIB. Toutefois, l'informalité a été perçue sous l'angle des caractéristiques des unités de production (Approche axée sur l'entreprise) et non pas à travers les caractéristiques de l'emploi occupé (Approche axée sur la situation dans l'emploi) (Charmes, 2003). Cette vision unilatérale a été fortement critiquée lors de la cinquième réunion du Groupe International d'experts sur les statistiques du secteur informel en 2001, dans la mesure où elle ne permet pas d'appréhender les différentes dimensions de l'emploi informel (Husmanns, 2001).

Récemment, une autre terminologie a gagné de terrain pour caractériser le concept de l'économie informelle en parlant plutôt de l'économie non observée (ENO). Elle fait référence aux activités économiques qui devraient être intégrées dans le PIB mais qui, pour

¹³⁴ La notion d'« informalité » s'est répandue dans les analyses des économistes, puis des sociologues et des anthropologues. Elle a acquis une place importante dans les politiques publiques.

¹³⁵ Il est courant de définir le secteur informel comme l'ensemble des activités économiques qui se réalisent en marge de la législation pénale, sociale et fiscale ou qui échappent à la Comptabilité Nationale.

une raison ou pour une autre, ne sont pas couvertes par les enquêtes statistiques ou fichiers administratifs à partir desquels sont établis les comptes nationaux. Derek et David (2003)¹³⁶ soulignent que les activités non observées peuvent avoir le caractère clandestin afin de se soustraire au paiement d'impôts ou de charges sociales, ou d'éviter des coûts résultant de lois. Elles englobent aussi les activités illégales et aussi les activités parfaitement légales mais dont le vendeur et l'acheteur sont la même personne. D'autres activités peuvent aussi ne pas être observées en raison de lacunes du dispositif de collectes des données de base.

a) Un phénomène diversifié et aux multiples facettes

L'économie informelle fait référence à des situations différentes, ayant des causes différentes, posant des problèmes différents et requérant aussi des solutions différentes. Son caractère hétérogène¹³⁷ se manifeste par des secteurs d'activités diversifiés (commerce, agriculture, industrie, etc.), des lieux d'activités du rural à l'urbain, des travailleurs ayant des caractéristiques différentes en termes de revenu (niveau, régularité, caractère saisonnier) et de situation dans la profession (employés, employeurs, travailleurs indépendants, travailleurs occasionnels, travailleurs domestiques, etc.) et même deux approches de conception (approche production et approche emploi). Au delà de ces généralisations, le secteur informel se manifeste différemment selon les caractéristiques spatiales et politiques du pays. Il englobe une gamme variée d'activités¹³⁸ rendant difficile de bien en définir les contours.

Delors, une multitude d'études ont tenté de cerner les caractéristiques de ce secteur, délimiter son contour et qualifier certains de ses aspects. En effet, plusieurs auteurs ont mis l'accent sur les *caractéristiques structurelles* (Tokman, 1989) de secteur informel en signalant qu'il regroupe la petite échelle des activités, le faible niveau de technologie et d'organisation (souvent saisi par l'absence de comptabilité) et surtout le non enregistrement (Hart, 1973; Weeks, 1975; Mazumdar, 1976; Steel, 1980). La contribution de Charmes (1990)

¹³⁶ Derek et David, (2003), « *Mesurer l'économie non observée* », Paris, OCDE, coll. "Cahiers statistiques", p.4.

¹³⁷ Vu cette grande hétérogénéité des activités informelles, il paraît plus pertinent d'investiguer dans les spécificités de chacune d'entre elles. Ainsi, la question de la mesure de la taille de l'économie informelle en termes sectorielles ou par activités est évidemment à relever.

¹³⁸ Les activités vont de la simple préparation de produits alimentaires (l'informel de production), à d'autres menues d'activités requérant peu ou pas de capitaux et de qualifications et une productivité plus élevée, à savoir l'informel d'art (bijouterie, sculpture, tissage, couture, broderie, maroquinerie, cordonnerie, peinture, etc.), l'informel de services (restauration populaire, transports urbains, coiffure, couture, réparation mécanique ou électrique, etc.) et l'informel d'échanges (distribution, commerce, change, etc.).

a été dans le sens de faire la distinction entre secteur formel/informel en s'appuyant sur le critère de taille en signalant que l'informel est défini comme l'ensemble des activités non agricoles de petite taille qui ne sont pas saisies de façon permanente et régulière par les enquêtes statistiques.

D'autres auteurs ont concentré leurs études sur la recherche de *caractéristiques fonctionnelles* de secteur informel en s'intéressant plus à leurs relations avec le secteur formel et les mécanismes de développement. Ces analyses substituent la dualité structuré/non structuré à la partition moderne/traditionnel en supposant que l'informel est un secteur de reproduction au moindre coût de la main d'œuvre pour le secteur formel (Lootvoet, 1988 ; Roubaud, 1994).

Cependant, deux caractéristiques de secteur informel font l'objet d'un consensus international (Roubaud et Seruzier, 1991) :

- Le secteur informel englobe diverses activités de production de biens et services desquelles les individus tirent emploi et revenus. Elles sont informelles en ce sens qu'elles ne sont pas enregistrées dans les statistiques officielles, et qu'elles s'opèrent sur une très petite échelle et avec un faible niveau d'organisation. Il correspond aux actes ou ensembles d'actes économiques marchands qui échappent aux normes légales, en matière fiscale, sociale, juridique ou d'enregistrement statistique (De Miras, 1990).
- L'économie informelle correspond aux unités élémentaires de production sans correspondance stricte avec l'unité économique (Nowak, 1988 ; Judet, 1989).

b) Un phénomène à différentes perceptions

Malgré les débats passés, et sans nul doute futurs, une question fondamentale porte sur le rôle de l'économie informelle dans l'économie nationale. Les questions soulevées gravitent autour d'une contradiction insurmontable : *faut-il soutenir l'économie informelle et limiter son champ d'application en provoquant des changements en son sein ? Ou faut-il promouvoir et encourager la formalisation du secteur informel afin d'améliorer la productivité et les revenus (et le fiscaliser), malgré les risques dont pose cette formalisation à la fois sur le plan macro et microéconomiques ? Ou plutôt la faire disparaître ?*

S'agissant d'un phénomène pluridimensionnel, les réponses sont plurielles. Depuis presque un demi-siècle, plusieurs réponses ont été avancées et ont influencé les politiques nationales et internationales d'aide au développement. Dans la littérature économique, ces

réponses peuvent être regroupées selon trois approches dominantes étudiant les origines et les causes de l'informalité (Roubaud, 1994 ; Bacchetta et al., 2009).

L'école dualiste s'inscrivant dans le prolongement des travaux de Lewis (1954) et de Harris et Todaro (1970) adopte une approche basée sur un modèle de marché du travail dual, où le secteur informel est considéré comme une composante résiduelle de ce marché n'entretenant pas de lien avec l'économie formelle. Il s'agit d'une économie de subsistance dont l'existence est justifiée par l'incapacité de l'économie formelle d'offrir des emplois en nombre suffisant. En effet, les modes traditionnels de transactions sont complétés par les transactions « en dehors du système » génératrices de bénéfices économiques et sociaux.

A la différence de la précédente, l'approche structuraliste d'inspiration marxiste souligne que le secteur informel est une partie indissociable d'une économie capitaliste selon une relation de subordination en fournissant du travail et des produits à bon marché aux entreprises formelles et donc une interdépendance entre les secteurs informel et formel (Moser, 1978 ; Portes et al., 1989). Cette approche prévoit la nécessité de l'amélioration de respect des réglementations.

Enfin, l'école légaliste considère que le secteur informel est constitué des agents agissant de manière informelle pour échapper aux régulations économiques et éviter donc les coûts, le temps et l'effort pour l'enregistrer leur activité (Fortin, 2002) de telle sorte que l'on peut identifier comme un marché noir ou clandestin par excellence (Maloney, 2004). Cette approche libérale tranche avec les deux précédentes, dans la mesure où le choix de l'informalité est volontaire étant donné les coûts excessifs de l'enregistrement associés au statut formel. Ainsi, l'approche légaliste pousse au contraire à réduire les réglementations tout en réduisant le coût de l'enregistrement.

2. Retour sur le concept de transport informel

Concernant les transports informels qualifiés de populaire, d'artisanal, de transitionnel et d'illégal ou clandestin, de nombreux auteurs ont essayé de le définir sans parvenir à un consensus. Cependant, ils sont d'accord sur le fait que le transport informel aura lieu lorsque les systèmes conventionnels de transport collectif ne permettent pas d'absorber la totalité de la demande. Dans les pays en voies de développement, une part importante de l'offre de transport urbain est assurée par les transports informels, à cause de la forte croissance urbaine

et des besoins de déplacement d'une part, et l'absence des politiques des transports dédiées aux usagers les moins favorisés.

a) Phénomène encore plus flou

Dans le secteur des transports, le phénomène de l'informalité apparaît encore flou et difficile à le traiter. La littérature présente une variété des définitions parfois divergentes. La première définition a été avancée par Coing (1981), en considérant les transports informels comme tous transports non conventionnels ne figurant pas dans la nomenclature des solutions « normales » de transport. Cet auteur souligne l'opposition des transports non conventionnels au système de transport public plus respectueux des réglementations d'une part, et la forte corrélation entre le développement de transports informels et la satisfaction de besoins de classes populaires, d'autre part. Une telle perception a été critiquée par la suite par la majorité de chercheurs dans la mesure où les opérateurs de transport dits « informels » peuvent détenir dans certains pays une licence d'exploitation et un agrément délivrés par les autorités publiques et payent des taxes, même s'ils échappent à certaines règles. De même, dans certains pays en voie de développement, les usagers de transports informels appartiennent aussi aux classes moyennes.

La contribution de Bessone (1989) va dans le sens de considérer les transports informels comme une nécessité économique dans la mesure où ils permettent de répondre aux besoins vitaux de déplacement non satisfaits par les transports conventionnels d'un côté, et de créer des emplois de l'autre côté. Pour Rochefort (2000) « *le transport informel est l'utilisation de véhicules de transports en dehors de toute règle et structure issues des pouvoirs publics* ». Selon Cervero (2000), « *ce sont de multiples formes de transport non organisées par la puissance publique, relevant d'une initiative individuelle non contrôlée et surtout non sanctionnée, obéissant alors aux lois du marché et fonctionnant de manière illicite avec des degrés divers* ».

Godard (2008) souligne que, dans les pays en développement, la problématique du transport informel est traitée depuis de nombreuses années de « *façon ambiguë, en réponse à une domaine d'activité multiforme aux contours également ambigus* » (Godard, 2008). En s'intéressant seulement au transport routier informel des personnes, Cet auteur préfère utiliser le terme transport artisanal, en le définissant comme étant « *l'exploitation à une échelle individuelle de véhicules de transport public dont la propriété est atomisée, c'est-à-dire*

réparties entre nombreux propriétaires » (Godard, 2008). Dans le même alignée, Mraih (2008) ajoute que « l'offre artisanale du transport collectif relève de l'esprit artisanal dans le sens où le savoir-faire, la gestion immédiate et la prise de décision instantanée sont les principaux outils de travail des chauffeurs ».

Récemment, certains auteurs ont focalisé leurs études sur les avantages du transport informel, surtout dans la concrétisation des échanges commerciaux et l'amélioration de l'accessibilité (Goldblum, 2001 ; Aworemi et al., 2008). D'autres ont mis l'accent sur l'impact de transport informel sur la qualité de l'environnement et les différentes mesures à prendre en compte pour une telle régulation environnementale (Chaudhuri et Mukhopadhyay, 2006 ; Baksi et Bose, 2010).

b) Causes et caractéristiques du transport informel

Les causes de développement du transport routier informel sont multiples et renvoient surtout à :

- L'absence ou la mauvaise gestion de l'infrastructure routière ce qui affecte négativement l'offre de transport routier institutionnel et touche ainsi l'accessibilité des citoyens aux services de transport ;
- La double dynamique du système productif et de l'urbanisation participent énormément à l'extension de transport routier informel ;
- La disparité sociale et l'absence des perspectives en matière d'équité régionale en termes d'infrastructure de transport ;
- La facilité d'accéder au métier de transporteur informel en absence d'une réglementation explicite et applicable.

Robert Cervero et Golub (2007) caractérisent le transport routier informel selon trois facteurs :

- ✓ **Les véhicules de transports informels** : ce sont des anciens véhicules de transport d'occasion de différents gabarits, ayant une performance économique et environnementale très basse à cause de l'absence de maintenance. Le transport routier informel constitue un phénomène spatialisé dans la mesure où il dépend des spécificités socio-économiques du pays. Il peut prendre plusieurs formes, allant d'un transport clandestin par voitures, charrettes tirées, camionnette pour les produits agricoles, industrielles, chimiques, alimentaire ou de construction, à un transport clandestin par camions, soit à l'intérieur de la ville pour transporter les matériaux

lourds ou volumineux, soit à l'extérieur de la ville pour livrer les marchés de gros. En milieu urbain, la forme la plus développée est formée des taxis clandestins. Ce sont des véhicules de marques très diverses sans signe distinctif, ni couleurs distinctes, ni compteur. Ils exploitent des services de transport sans autorisations administratives requises ni licence ou agrément, ce qui rend difficile l'estimation de ce parc, généralement enregistré dans les fichiers des services de transport comme étant des voitures particulières. A titre d'exemple, environ 185 000 personnes travaillent dans l'industrie du taxi Kombi en Afrique du Sud en 2003¹³⁹.

- ✓ **Les opérateurs du transport informel** sont des acteurs privés professionnels ou occasionnels qui fonctionnent selon une logique de rentabilité économique sans prise en compte des intérêts des usagers et contournant souvent les règles établies par les pouvoirs publics (Cervero, 2000).

Ces opérateurs ont d'autres activités et appartiennent à des différentes classes socioprofessionnelles.

- ✓ **Les modes de fonctionnement du transport routier informel** sont adaptés aux besoins de leur clientèle en jouant sur les moyens de transport, l'itinéraire, les horaires, les arrêts et les tarifs. Il s'agit d'un service dont l'organisation est très souple en absence de toute forme de bureaucratie et de centralisation. Les opérateurs de ce secteur n'ont pas de revenus fixes et travaillent sans aucun outil de comptabilité. Les faibles tarifs, résultant d'une négociation avec le client, ne suffisent pas à maintenir le secteur dans de bonnes conditions de rentabilité et à couvrir les coûts d'exploitation des véhicules en matières de carburants, pièces de rechange, main d'œuvre, taxes diverses, racket policier, etc. La pratique du transport routier informel est conditionnée par d'autres marchés informels relatifs aux pièces de rechange et aux carburants.

II. Revue de la littérature empirique

De nombreuses méthodes utilisées dans l'estimation de la taille de l'économie non enregistrée existent dans la littérature. Schneider (2005) propose une classification de ses méthodes en distinguant deux approches : l'approche directe et l'approche indirecte. Le tableau III.6 présente ces différentes méthodes d'estimation de la taille de l'économie informelle, ses avantages et ses inconvénients :

¹³⁹ *La Syndicalisation dans l'industrie du taxi: L'expérience Sud-africaine - CASE/OIT/SATAWU Document de travail de SEED n° 39* (PDF Acrobat) Janvier 2003 – Jane Barrett; - Séries sur la construction de la Représentation et de l'Organisation - Document de travail.

Tableau III. 6. Synthèse des méthodes de mesure et d'estimation des économies informelle

| Approches | Méthodes | Avantages et inconvénients |
|---|--|---|
| <p>Directes : Approches microéconomiques basées sur des enquêtes et des observations des comportements de participation dans l'économie informelle</p> | <p><i>Enquêtes spécifiques</i> auprès des unités économiques (ménages, entreprises, commerces) <i>L'audit fiscal</i> (confrontation entre les déclarations des revenus et l'évaluation des revenus par les programmes du contrôle fiscal).</p> | <p>Les approches directes donnent une estimation ponctuelle de l'économie informelle (Mirus et al, 1994) et elles sont incapable d'estimer ses tendances à long terme (Fagan, 1994 ; Schneider et Enste, 2000 ; Adair, 2009). La qualité des résultats dépend de la qualité des questionnaires et de la volonté des agents à répondre fidèlement aux questions</p> |
| <p>Indirectes : Approches macroéconomiques ou approches statistiques des comptes nationaux.</p> | <p><i>Méthodes de comparaisons statistiques: l'optique de la production, l'optique des dépenses et l'optique du revenu :</i> cette approche est basée sur la confrontation des données macro et à l'analyse input-output (I/O). L'analyse de la différence entre le niveau des dépenses nationales et le niveau du revenu statistiquement mesuré peut être expliquée par l'existence du secteur non enregistré.</p> <hr/> <p><i>Méthodes monétaires :</i> elles postulent que la production non mesurée peut être modélisée en termes de stocks ou de flux monétaires.</p> <p>Feige (1979) développe l'approche par les transactions en se basant sur l'hypothèse de la relation constante entre le PIB total et la quantité de monnaie. Il suppose que les transactions sont strictement proportionnelles au revenu total des facteurs. La différence entre la transaction totale et le produit national brut nominal donne la taille d'économie non enregistrée.</p> | <p>Un bon indicateur du secteur non enregistré, à condition de la possibilité de mesurer le niveau des dépenses nationales qui peut être source d'erreur surtout dans les PED.</p> <p>Cette méthode suppose que la statistique officielle de la main-d'œuvre est fiable et néglige donc la variation du taux de participation. Cependant, Contini (1981) soutient que le taux de participation réelle est entre 10 et 20 points plus haut que l'officiel, et que cette différence s'explique principalement par l'ampleur des emplois irréguliers.</p> <hr/> <p>L'approche de Feige est limitée dans la mesure où elle se base sur l'hypothèse selon laquelle la vitesse de circulation de la monnaie dans le secteur formel et l'économie souterraine est identique, autrement dit l'existence d'une relation fixe entre la valeur totale des transactions monétaires et l'activité économique. Cette hypothèse est restrictive surtout dans les pays en développement où le taux de bancarisation est faible et l'essentiel des transactions se règle en espèces.</p> |

Cagan (1958) développe l'approche de demande de monnaie en considérant la pression fiscale comme un indicateur de la taille de l'économie non enregistré. La différence entre les transactions avant et après la hausse fiscale donnera la taille d'économie non enregistrée.

Le problème de l'approche de demande de monnaie est de savoir comment déterminer la partie de la demande de monnaie due au développement de l'économie non enregistré. Aussi l'hypothèse de constance de vitesse de circulation de la monnaie est toujours posée (Pacolet et al., 2008).

Les méthodes d'estimation par un indicateur global, dans lesquelles la production non mesurée est modélisée en fonction d'une variable unique (généralement un indicateur physique) avec lequel cette production est fortement corrélée. La variable la plus courante est la consommation d'électricité (Kaufmann et Kaliberda, 1996).

Les activités non enregistrées peuvent faire appel à d'autres sources d'énergies, que l'énergie électrique. Aussi, le secteur informel contient d'opérateurs, autres le secteur « ménager ». Ainsi, il y a risque que la variable utilisée soit non explicative du phénomène de l'informalité.

Les méthodes des causes multiples et des indicateurs multiples (approche MIMIC) ou sa version améliorée DYMMIMIC (Dynamic Multiple Indicators, Multiple Causes): le modèle est composé de deux types d'équations (structurelles et de mesure) afin d'exploiter les variables observables pour déterminer la taille de la variable latente. Deux types de variables sont considérés les variables causales, qui expliquent la dynamique de la variable inobservable, et les variables d'indicateurs, résultats de la variable inobservable.

La limite majeure de cette technique est le choix arbitraire des variables causales et des variables indicateurs (Breusch, 2005 ; Onnis et Tirelli, 2010). Schneider (2005) et Adair (2009) affirment l'instabilité des coefficients estimés dans la mesure où ils sont sensibles à la taille de l'échantillon et aux spécifications du modèle. Pacolet et al (2008) postulent que l'hypothèse de la corrélation positive entre la taille de l'économie informelle et les différentes variables causes peut être non vérifiée.

La méthode de Filtre de Kalman est une approche statistique d'assimilation de données, dont la philosophie est de fusionner des informations dans le but de corriger la trajectoire du modèle de façon à minimiser l'erreur entre l'état vrai et l'état filtré.

L'avantage principal du filtre de Kalman est que, à l'encontre de des autres approches, plusieurs mesures peuvent être filtrées à chaque instant. Il fera l'objet d'une analyse ultérieure.

Source : Élaboration de l'auteur

Ces différentes méthodes ont fait l'objet d'application dans plusieurs études afin d'estimer la taille de l'économie informelle. En effet, Starzec (1983) a adopté une méthode d'évaluation directe par enquête pour l'analyse de l'économie informelle dans le cas de la Pologne. En 2001, le même auteur a utilisé la même technique en se basant sur l'enquête sur l'emploi (1995, 1998, 2004). Les résultats de questionnaire étaient très satisfaisants avec un bon taux de réponses (80%). Lyssiotou et al (2004) ont adopté l'approche directe en se basant sur les données individuelles du ménage de l'Enquête de Dépense de Famille (1993) pour estimer l'économie non enregistrée dans le Royaume-Uni.

Concernant l'approche indirecte, Guttman (1984) a adopté la méthode monétaire pour estimer la taille de l'économie informelle aux USA en 1979. En posant l'hypothèse que toute transaction dans l'économie non enregistrée se fait en liquide, l'auteur a conclu que 28,7 milliards de dollars en espèces (soit 9,4% de la masse monétaire) sont utilisés dans l'économie non enregistrée. Cette méthode a été appliquée aussi par Mirus et al (1994) pour estimer l'économie informelle canadienne en 1990 et par Schneider et al (1998) pour les pays de l'OCDE. Une telle approche a été fortement critiquée dans la mesure où elle ne tient pas compte des différences sectorielles et régionales (Smith, 2006). La contribution de Tedds (2004) consiste à utiliser la méthode MIMIC pour estimer la taille de l'économie non observée au Canada entre 1979 et 2001. La conclusion tirée de travail de Schneider (2005) en utilisant l'approche DYMIMIC afin d'estimer la taille de l'économie non enregistrée pour un groupe de pays développés et en développement, est que la taille de l'économie non observée dépend de niveau de développement. Ce constat a été confirmé par Dell'Anno et al (2007) en soulignant que le niveau du PIB est inversement proportionnel à la taille de l'économie non observée en France, en Espagne et en Grèce. Récemment, Schneider (2010) a appliqué la méthode MIMIC pour estimer la proportion du PIB non observé pour l'ensemble des pays du monde durant la période (1999–2005). Les variables causales prises en compte sont la part des prélèvements directs et indirects, la part des contributions à la sécurité sociale, le poids des régulations, la qualité des institutions publiques, la moralité fiscale, le taux de chômage et le PIB par habitant. Les résultats obtenus montrent une augmentation des activités souterraines dans l'ensemble des pays avec un classement relativement stable et une généralisation de phénomène de l'informalité. Ainsi, le secteur informel n'est pas une spécificité des économies africaines. Il représente un tiers du PIB dans les pays d'Asie. Cette proportion atteint plus que 40% en Amérique latine et en Afrique, ce qui leur confère un caractère singulier. Friedman et al (2000) ont recours à l'approche indirecte, mais en utilisant

la consommation d'électricité comme un indicateur de secteur informel. Pour un échantillon hétérogène de 69 pays, ces auteurs ont montré que la corruption est le déterminant le plus important du développement de l'activité non observée. La même méthode a été utilisée par la suite par Feige et Urban (2003) pour estimer la taille de l'économie informelle pour 25 pays de transition durant la période 1989- 2001.

L'utilisation de filtre de Kalman comme méthode d'estimation de la taille d'économie informelle, a débuté dans les années 1990 (Guay et al., 1990)¹⁴⁰ afin d'estimer le PIB mensuel réel Canadien sur la période 1962-1985. Récemment, la contribution de Karanfil et Özkaya (2007) était originale dans la mesure où ils ont appliqué la méthode de filtre de Kalman¹⁴¹, afin d'estimer l'économie non enregistrée en Turquie pendant la période 1973-2003. Les variables utilisées sont relatives au PIB observé, les émissions de CO₂, la surface des forêts et la population.

Pour mesurer l'impact de transport informel sur la croissance économique, rares sont les études qui ont pris cette problématique avec rigueur. Seuls Cervero et Golub (2007) ont adopté la méthode directe basée sur plusieurs enquêtes pour évaluer le transport informel dans un ensemble diversifié des pays.

III. L'estimation de la valeur ajoutée réelle du secteur du transport en Tunisie

Le passage à l'estimation de la valeur ajoutée réelle du secteur de transport en Tunisie en tenant compte de transport informel, nécessite d'explicitier la méthodologie d'investigation statistique et les étapes devant être suivies. Pour des raisons de pertinence méthodologique et de disponibilité des données, nous utilisons la méthode de filtre de Kalman selon l'approche environnementale présentée par Karanfil et Ozkaya (2007) pour estimer la valeur ajoutée réelle du secteur de transport en Tunisie durant la période 1980-2010. Comme mentionné

¹⁴⁰ Pour plus de détail, consulter « Estimation du PIB mensuel canadien : 1962 à 1985 », Richard Guay, Ross D. Milbourne, Glenn Otto et Gregor W. Smith. L'Actualité économique, vol. 66, n° 1, 1990, p. 14-30.

¹⁴¹ Le filtre de Kalman est un des outils de traitement du signal dans des domaines très variés, tels que les communications numériques, la géophysique, les disciplines biomédicales et le traitement de la parole. Il s'agit d'une méthode à la fois de prévision et de filtrage, créée par Kalman (1960) afin d'estimer l'état d'un système bruité. Cette approche a été utilisée récemment en économie (Karanfil et Ozkaya, 2007 ; Berger and Kempa, 2011; Lotz, 2011; Rodríguez and Esther, 2012) et en économie de transport, surtout pour estimer l'effet rebond (Azouz and Nadaud, 2005).

précédemment, les variables utilisées¹⁴² sont la valeur ajoutée enregistrée de secteur de transport (VAT), les émissions de CO₂ dues au secteur de transport (CO2T), le parc de véhicules (PV) et la longueur de l'infrastructure routière et autoroutière (INFRA). Le choix de ces variables est orienté par quatre hypothèses de base :

- **Hypothèse 1** : l'hypothèse de dualisme secteur structuré-secteur non structuré en supposant que le transport informel est créateur de valeur ajoutée.
- **Hypothèse 2** : l'hypothèse de couplage entre infrastructure de transport et croissance économique, dans la mesure où l'infrastructure routière est perçue comme facteur de production de revenus (Poumanyvong et al., 2012)
- **Hypothèse 3** : l'hypothèse de l'économie axée sur la technologie, en supposant que la promotion de véhicules de transport en termes quantitatifs et qualitatifs participe à la création de la valeur.
- **Hypothèse 4** : l'hypothèse de la courbe de Kuznets¹⁴³ impliquant la relation entre les émissions de polluants et la croissance économique.

1. Démarche méthodologique

Le filtre de Kalman, connu sous modèle espace-état, vise à estimer de façon optimale l'état d'un système linéaire. En effet, il permet de corriger les erreurs de manière itérative et donc d'estimer les variables cachées à tout instant t conditionnellement aux variables observées jusqu'à t . Lemoine et Pelgrin (2003) caractérisent les modèles de filtre de Kalman comme un système à deux équations (équation d'état ou de transition et équation de mesure) en distinguant entre deux catégories de variables : les variables observées (le signal) et les variables cachées ou non observées (l'état interne).

West et Harrison (1997) définissent ce modèle comme suit :

$$Y_t = X_t + \omega_t \quad (\text{III.1})$$

Y_t est la variable observée et X_t la variable non observée, nommée « signal ». Godolphin et Johnson (2003) ont montré que la variable X_t peut être décomposée en plusieurs séries indépendantes de type ARMA ou ARIMA.

¹⁴² Pour des raisons d'échelle, nous utilisons le logarithme naturel de ces variables.

¹⁴³ Cette hypothèse fait l'objet d'une investigation particulière dans le 4^{ème} chapitre.

Analytiquement, un système linéaire de type modèle espace-état prend la forme suivante:

$$Y_t = AX_t + HZ_t + \omega_t \quad (\text{Équation de mesure}) \quad (\text{III.2})$$

$$X_t = BX_{t-1} + \nu_t \quad (\text{Équation d'état}) \quad (\text{III.3})$$

Avec :

Y_t : la variable de mesure à la date t ;

X_t : la variable d'état à la date t ;

Z_t : un vecteur connu ;

w_t : le vecteur des erreurs de mesure à la date t ;

ν_t : le vecteur d'innovations à la date t ;

B : la matrice de transition ;

A et H : les matrices des paramètres déterministes.

La première équation dite équation de mesure ou équation observée donne l'expression du vecteur Y_t des observations, des mesures ou des outputs à la date t . Elle décrit la manière dont les variables observées sont générées par les variables cachées et les résidus.

La deuxième équation, celle de X_t est dite équation de transition décrit la manière dont les variables cachées sont générées à partir de leur retard et d'innovations.

Le modèle de filtre de Kalman¹⁴⁴ se base sur deux hypothèses de base :

Hypothèse 1: la paire (A, B) est détectable, c'est à dire qu'il n'y a pas de mode instable et inobservable dans le système.

Hypothèse 2 : les signaux w_t et ν_t sont des bruits blancs, supposés non corrélés avec une moyenne nulle.

Notre méthodologie s'ordonne en trois étapes consécutives :

a) Étape 1 : tester la stationnarité¹⁴⁵ des variables utilisées

En termes statistique, le traitement d'une série chronologique nécessite une étude préliminaire de ses caractéristiques stochastiques.

¹⁴⁴ Pour des explications plus détaillées, voir Hamilton (1994) et Brown et Hwang (1997).

¹⁴⁵ L'intérêt de cette étude préliminaire réside dans l'importance des critères de stationnarité et la mise en œuvre des modèles de régression. En effet, lorsque cette stationnarité n'est pas vérifiée, on aura un problème des régressions "erronées" entre des variables sans aucun lien économique.

Définition III.1 : Notions de la stationnarité

Une série est considérée comme non stationnaire (ou stochastique) si ses caractéristiques, son espérance et sa variance, se trouvent modifiées dans le temps. Autrement dit, une série temporelle est dite stationnaire lorsque sa moyenne, variance et covariance sont indépendantes du temps.

Formellement, un processus x_t est stationnaire si les conditions suivantes sont vérifiées :

- $E(x_t)$ est indépendante de t
- $Var(x_t)$ est une constante finie indépendante de t
- $Cov(x_t, x_{t-1})$ est une fonction finie ne dépendant pas de t .

La littérature montre que beaucoup de séries temporelles sont non stationnaires et nécessitent de transformations, à savoir la différenciation ou l'élimination de la tendance pour les rendre stationnaires. Les tests de racine unitaire de Dickey-Fuller Augmenté (ADF) (Dickey et Fuller, 1979) et de Phillips-Perron (Phillips et Perron, 1988) sont utilisés pour tester la stationnarité en se basant sur l'étude de l'intégration des séries temporelles en question.

Définition III.2 : notion de l'intégration¹⁴⁶

D'après Engle et Granger (1987), on appelle variable intégrée d'ordre d , une variable x , telle que sa différence dième soit stationnaire et possède une représentation ARMA inversible. Ainsi, une série est intégrée d'ordre d , s'il convient de la différencier d fois pour la rendre stationnaire.

Les résultats de tests de racine unitaire sont présentés dans le tableau III.7.

Tableau III.7. Tests de racine unitaire

| Variables | ADF | | PP | |
|------------------------|-----------|------------------------|-----------|------------------------|
| | En niveau | En différence première | En niveau | En différence première |
| VAT | -2.235 | -4.355 | -2.454 | -4.359 |
| CO2T | -1.339 | -5.196 | -1.339 | -5.1966 |
| PV | -1.135 | -4.853 | -1.135 | -4.806 |
| INFRA | -2.435 | -4.765 | -2.546 | -4.747 |
| Valeurs critiques à 5% | -2.963 | -2.967 | -2.963 | -2.967 |

Note: Noter que seulement la constante est incluse dans les tests.

¹⁴⁶ Le test de l'ordre d'intégration est une condition nécessaire de cointégration. Les séries doivent être intégrées de même ordre.

Selon les résultats des tests rapportés dans le tableau III.7, une fois que l'on applique le même test pour les séries en différence première, les séries deviennent stationnaires au seuil de 5%. Par conséquent, toutes les variables utilisées dans l'estimation sont intégrées d'ordre un (I(1)). Nous supposons que la valeur ajoutée totale est intégrée d'ordre un (Karanfil et Özkaya, 2007).

b) Étape 2 : Spécification de l'équation de mesure en utilisant l'approche de cointégration de Johansen et Juselius (1990) et Johansen (1991)

Avant de passer à la justification de l'existence d'une relation de cointégration entre les variables, il est primordial de déterminer le nombre de retard optimal minimisant les critères d'information d'Akaike (AIC) et de Schwartz (SC).

Tableau III.8. Sélection du nombre de retard optimal

| | VAR(1) | VAR(2) | VAR(3) |
|----------------|---------|--------|--------|
| Critères d'AIC | -16.55* | -16.36 | -16.48 |
| Critères de SC | -15.59* | -14.64 | -14.05 |

*La plus petite valeur de deux critères.

Nous constatons que les deux critères conduisent à un retard optimal $p^* = 1$. Ainsi, l'étape suivante est la recherche de la relation de cointégration entre les différentes variables.

Définition III.3 : Notion de la cointégration

La notion de cointégration a été introduite par Granger en 1981. Ce concept revient à considérer que plusieurs séries tendanciennes suivent des mouvements stochastiques conjoints, de sorte qu'elles vérifient une relation à long terme ou d'équilibre, en d'autres termes elles ne s'éloignent jamais beaucoup l'une de l'autre. D'une manière générale, si x_t et y_t sont deux séries $I(d)$, il est possible que la combinaison linéaire $\varepsilon_t = y_t - ax_t - b$ ne soit pas $I(d)$ mais $I(d-b)$ où b est un entier positif (avec $0 < b \leq d$). Le vecteur $(1-a-b)$ est appelé vecteur de cointégration, et les séries sont alors cointégrées.

Formellement, deux séries sont dites cointégrées si les deux conditions suivantes sont réunies :

- *Elles sont toutes les deux affectées d'une tendance stochastique (donc non stationnaire dans ce cas) de même ordre d'intégration d ;*

- La combinaison linéaire de ces deux séries permet de les ramener à une série stationnaire d'ordre d'intégration inférieur.

Le tableau III.9 montre les résultats des tests de cointégration:

Tableau III.9. Tests de cointégration de Johansen

| Valeurs propres | $H_0: r^a$ | Trace | λ -max | Valeurs critiques à 5% | |
|-----------------|------------|--------|----------------|------------------------|----------------|
| | | | | Trace | λ -max |
| 0.638 | 0 | 57.602 | 29.510 | 47.856 | 27.584 |
| 0.345 | 1 | 28.091 | 12.275 | 29.797 | 21.131 |

^ar indique le nombre de relations de cointégration. Les valeurs critiques pour la valeur propre maximale et les statistiques de test de trace sont proposés par Johansen et Juselius (1990). Nous supposons que les données n'ont pas des tendances déterministes et que les relations de cointégration ont des constantes. La statistique de Trace indique une équation de cointégration au seuil de 5%. La statistique de la valeur propre indique une équation de cointégration au seuil de 5%.

Les résultats montrent que les statistiques de Trace et de la valeur propre sont supérieures aux valeurs critiques pour un nombre d'équations de cointégration inférieur ou égal à zéro. Ainsi, on rejette l'hypothèse nulle au seuil de 5%. Tandis que, pour un nombre d'équations de cointégration inférieur ou égal à un, les statistiques de Trace et de la valeur propre sont inférieures aux valeurs critiques au seuil de 5%. Ainsi, les deux tests de cointégration de Johansen montrent la présence d'une seule relation de cointégration entre les différentes variables de modèle et donc une relation d'équilibre de long terme entre eux au niveau de 5%.

Le modèle peut s'écrire ainsi comme suit:

$$CO2T_t = \alpha_1 VAT_t + \alpha_2 PV_t + \alpha_3 INFRA_t + \omega_t \quad (III.4)$$

La relation du long terme entre les émissions de CO₂ dues au transport et les autres variables explicatives est donnée par le vecteur cointégrant suivant:

$$CO2T_t = 0.424VAT_t - 1.325PV_t - 0.291INFRA_t + \omega_t \quad (III.5)$$

L'étude de signe des coefficients montre que les résultats sont satisfaisants de point de vue économique. La croissance économique de secteur de transport est liée positivement à la dégradation environnementale en termes de dégagement de CO₂. Contrairement, le parc de véhicules affecte négativement les émissions, ce qui peut s'expliquer par les caractéristiques

qualitatives du parc. Aussi, l'augmentation de la longueur de l'infrastructure fait résoudre le problème de congestion et donc minimiser les émissions.

Il est important de tester si ω_t est un bruit blanc en estimant par la méthode des moindres carrés ordinaire (MCO) le modèle suivant:

$$\omega_t = \alpha + \eta t + \phi \omega_{t-1} + u_t \quad (\text{III.6})$$

L'estimation de cette équation¹⁴⁷, nous donne les résultats suivants:

$$\omega_t = 2.544 + 0.021t + 0.664\omega_{t-1} + \mu_t \quad (\text{III.7})$$

(0.000) (0.021) (0.019)

Comme le montre l'équation (III.7), tous les coefficients sont significatifs au seuil de 5%. Ainsi, ω_t suit un processus AR(1). Il n'est pas un bruit blanc. Pour simuler la variable non observée, le filtre de Kalman suggère que le terme d'erreur est un bruit blanc. Pour remédier à ce problème, nous allons remplacer l'équation (III.7) dans l'équation (III.5).

c) Étape 3 : Spécification de l'équation d'état

Il s'agit d'estimer le modèle de régression linéaire donné par l'équation (III.8) expliquant la VAT enregistrée en fonction de la tendance t et son décalage VAT_{t-1} , et tester si la tendance et la constante sont statistiquement significatives.

$$VAT_t^{obs} = \gamma + \delta t + \beta VAT_{t-1}^{obs} + v_t \quad (\text{III.8})$$

Où γ est le terme constant et β est égal à 1 selon les résultats des tests de racine unitaire¹⁴⁸. Le terme d'erreur est supposé un bruit blanc.

L'équation (III.8) peut être écrite comme suit:

$$VAT_t^{obs} - VAT_{t-1}^{obs} = \gamma + \delta t + v_t \quad (\text{III.9})$$

Les résultats de l'estimation de cette équation, en utilisant les moindres carrés ordinaires, sont présentés dans les tableaux III.10 et III.11.

¹⁴⁷ Les chiffres entre parenthèses représentent les p-values.

¹⁴⁸ Dans ce modèle, l'hypothèse nulle $H_0 : \beta = 1$ est équivalente à la stationnarité.

Tableau III.10. Résultats de l'estimation de l'équation III.9 (avec constante et tendance).

| Variabes indépendantes | Coefficient | Erreur standard | t-statistique | Probabilité |
|------------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|
| γ | 20,970 | 12,808 | 1,637 | 0,112 |
| δ | -2,7486 | 1,6856 | -1,630 | 0,113 |

Suivant les indications du tableau III.9, la tendance n'est pas statistiquement significative. Par conséquent, on considère une régression avec constante et sans tendance. Les résultats de cette régression, qui sont donnés dans le tableau III.11, montrent que la constante est significative au seuil de 1%.

Tableau III.11. Résultats de l'estimation de l'équation III.9 (avec constante seulement)

| Variabes indépendantes | Coefficient | Erreur standard | t-statistique | Probabilité |
|------------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|
| γ | 0,085 | 0,007 | 11,035 | 0,0000 |

Donc l'équation III.9 peut être écrite comme suit:

$$VAT_t^{obs} = 0,0856 + VAT_{t-1}^{obs} + v_t \quad (III.10)$$

Le système d'équations résultant est résolu en appliquant l'algorithme¹⁴⁹ de filtre de Kalman pour estimer le nouvel état de vecteur X_t (VAT non observée).

2. Interprétation des résultats

La résolution de système d'équations précédemment discutées en utilisant le filtre de Kalman aboutit à l'estimation de la VAT non enregistrée.

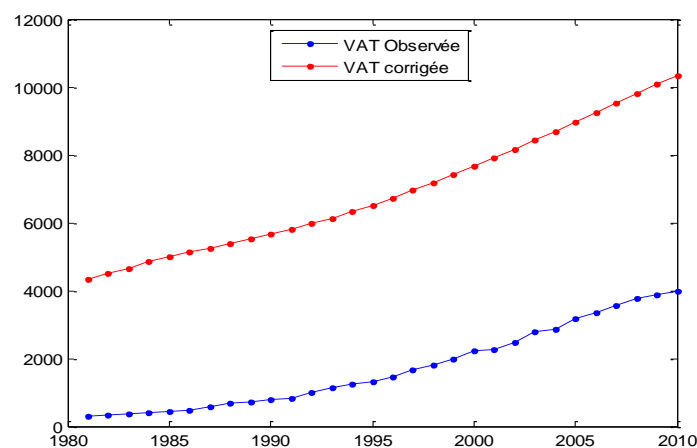


Figure III.12. Évolution de la VAT observée et de la VAT totale

¹⁴⁹ L'algorithme de modèle de filtre de Kalman est programmé sous MATLAB R2010a.

La courbe rouge correspond à la VAT totale¹⁵⁰ prenant en compte de la VAT non observée.

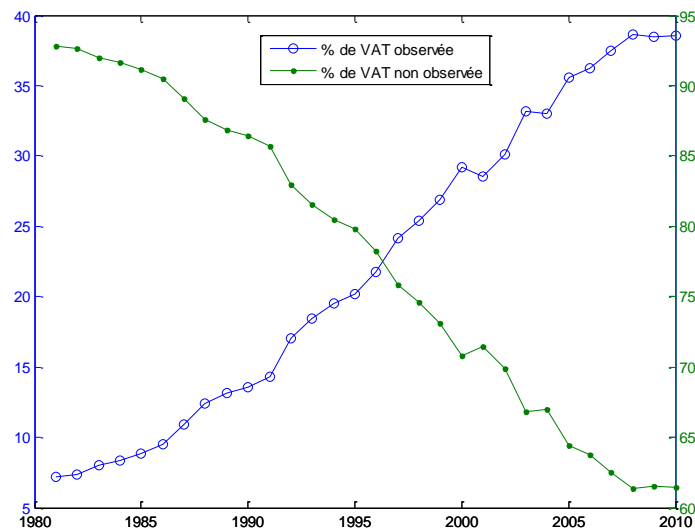


Figure III.13. Évolution de la VAT non observée en termes de pourcentage de la VAT totale

Dans la figure ci-dessus, la courbe verte est réservée à la taille de la VAT informelle en pourcentage de la VAT totale (axe droite). La courbe bleue présente la VAT formelle en pourcentage de la VAT totale (axe gauche).

La lecture de ces deux figures montre :

- **Une tendance à l'augmentation aussi bien de la VAT observée que de la VAT non observée.** Une première conclusion consiste dans cette relation positive entre la formalité et l'informalité de la VAT. Ce résultat¹⁵¹ confirme les travaux de Giles et al (1999) et Chatterjee et al (2003) qui suggèrent d'après des solides preuves empiriques que dans de nombreuses économies en développement et en transition, le secteur informel important peut coexister et subsister en parallèle avec l'économie formelle.
- **Une tendance à l'augmentation de la part de la VAT observée dans la VAT totale** en passant de 7% en 1980 à 39% à la fin de la période. En même temps, la part de la VAT non observée a diminué de 93% à 61%. Ces chiffres ne doivent pas être pris en surprise, surtout en sachant qu'en 2010, le secteur informel (tout secteurs économiques

¹⁵⁰ Elle est exprimée en dinar Tunisien constant de l'année 2000.

¹⁵¹ D'autres auteurs tel que Eilat et Zinnes (2000), Dell'Anno et Schneider (2004) suggèrent que la relation entre le PIB non observé et le PIB observé est inversement liée.

confondus) en Tunisie présente 38% du PIB total selon les estimations de la Banque Mondiale. Dans le même contexte, Abid et Ben Salha (2013) estiment que le PIB informel varie entre 14% et 29% du total de PIB en Tunisie durant la période 1980-2009. Cependant, il est important de signaler que l'informalité agrégée cache beaucoup de disparités en termes sectorielles. En effet, l'activité de transport s'intervient dans le processus de production des toutes les activités des autres secteurs. Ce rôle d'intermédiation lui confère un potentiel plus élevé en termes d'informalité.

La prépondérance de la VAT non observée en Tunisie peut s'expliquer par plusieurs facteurs généraux d'ordre politique et socio-économique. En effet, d'une manière générale, l'informalité en Tunisie a bien profité du *modèle de croissance* adopté, caractérisé par des politiques macroéconomiques et sociales mal avisées ou mal mises en œuvre, l'absence de *cadres légaux et institutionnels* incitatifs à la formalisation, l'absence d'une bonne *gouvernance* et à un manque de confiance dans les institutions et les procédures administratives. En outre, les politiques macroéconomiques, y compris les politiques d'ajustement structurel, de la libéralisation de l'économie tunisienne, de restructuration économique et de privatisation ont détruit des emplois ou n'ont pas créé suffisamment de nouveaux emplois dans l'économie formelle, au regard de l'augmentation toujours plus importante de nouveaux entrants sur le marché du travail (notamment diplômés). La plupart des *créations d'emplois* formels se font dans des secteurs généralement associés au secteur public. Les demandeurs d'emplois préfèrent travailler dans le secteur informel en attendant d'obtenir un emploi dans le secteur public plutôt que de travailler dans le secteur privé et de perdre ainsi son éligibilité à un emploi dans le public, surtout avec la facilité de s'inscrire dans le secteur informel qui n'exige ni de lourds investissements financiers ou matériels ni une grande formation professionnelle. De point de vue administratif, les procédures institutionnelles combinées à un certain clientélisme constituent des obstacles à la formalisation des entreprises. La *complexité bureaucratique*, les *charges socio-fiscales* et la *rigidité de la législation du travail* entravent la création des entreprises formelles et ouvrent la porte au recours au système parallèle, surtout avec l'émergence d'un *comportement entrepreneurial* orienté vers la volonté individuelle de créer un emploi quelles que soient les contraintes d'ordre juridique, institutionnel ou économique. L'informalité en Tunisie est essentiellement une question de gouvernance. Son ampleur peut souvent être imputée à l'inexistence de *réglementation* propre au secteur informel jusqu'en 1981. Néanmoins,

l'application effective de cette réglementation générale montre que les autorités sont moins exigeantes, plus souples à l'égard des petites entreprises informelles.

Il nous est difficile de fournir, de manière complète, une description de tous les facteurs influençant la non formalisation des économies de transport en Tunisie en raison principalement du non disponibilité des données et de l'inexistence des études antérieures. En effet, la problématique de transport informel n'est pas abordée jusqu'à maintenant en Tunisie avec une absence de toute source de données. Nous en donnerons néanmoins un éclairage sur les facteurs directs susceptibles d'influencer l'ampleur de la VAT non observée (figure III.14).

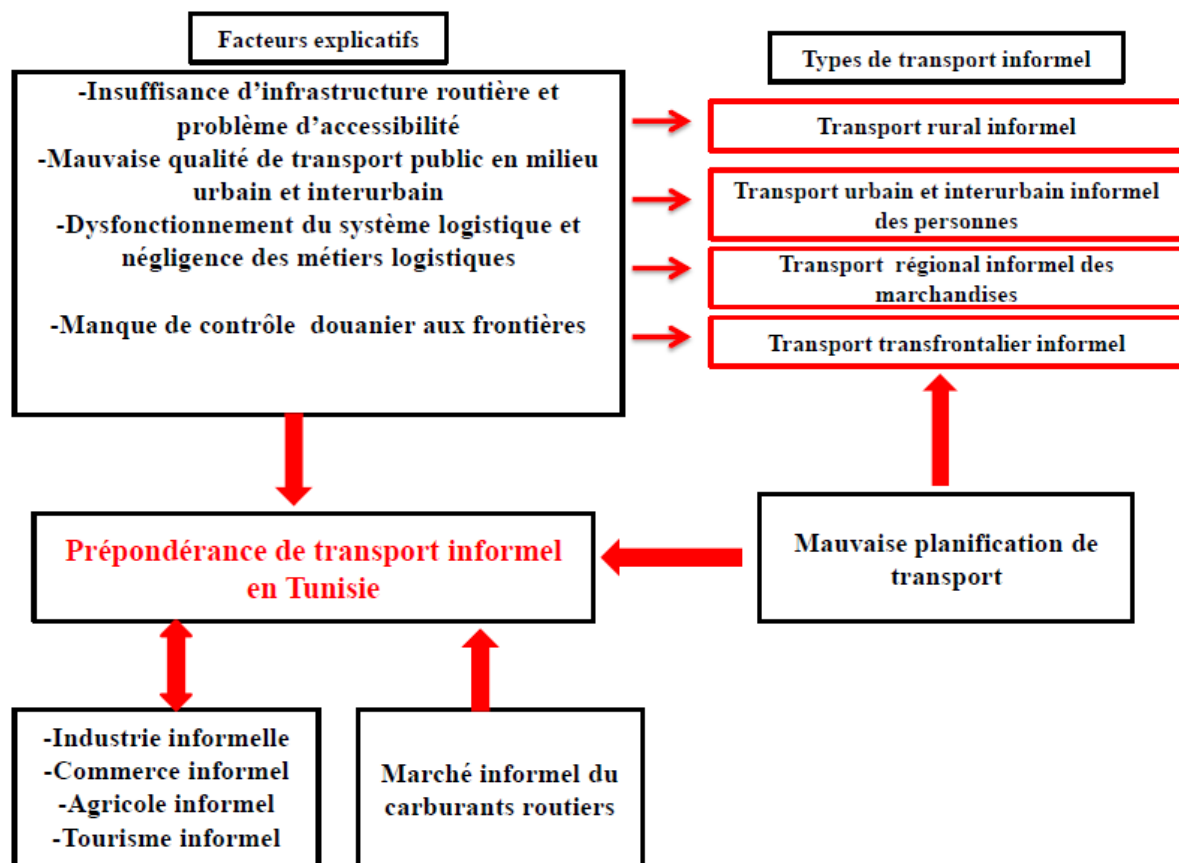


Figure III.14. Schéma d'ensemble de facteurs explicatifs de transport informel en Tunisie

Source : Élaboration de l'auteur

Le premier facteur touche *la mauvaise planification de transport* et l'incapacité de maîtriser statistiquement tous les besoins de mobilité de la population. Il en résulte un déséquilibre notable entre l'offre de transport (en termes quantitatifs ou qualitatifs) et la demande réelle. Cette distorsion due principalement à la mauvaise planification de transport

conduit à un double cercle vicieux. En effet, comme il est mentionné par la figure III.15, les marges entre l'offre et la demande sont souvent occupées ou satisfaites de manières différentes, soit par le recours excessif à la voiture particulière en faveur de l'intensification de cercle vicieux de l'automobile pour les usagers à revenus élevés (*cercle vicieux de l'automobile*), soit par l'orientation des usagers, souvent à moyens et faibles revenus, vers le marché de transport informel pour satisfaire leurs besoins de mobilité (*cercle vicieux de transport informel*).

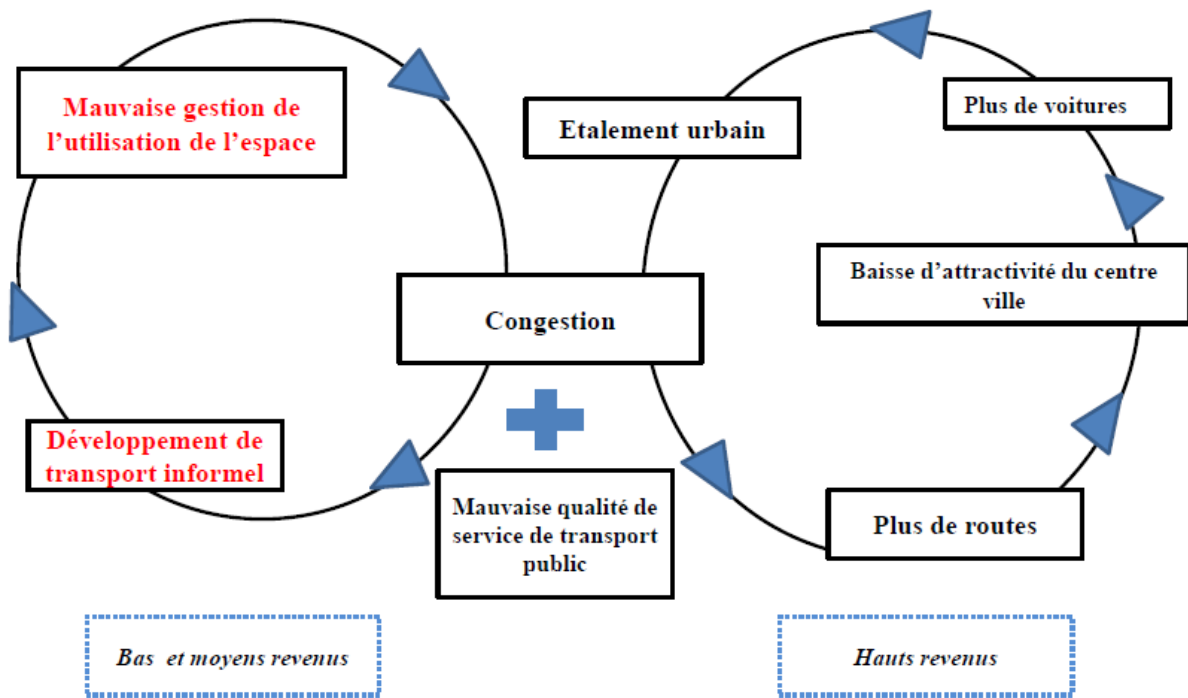


Figure III.15. Le cercle vicieux de transport informel

Source : Élaboration de l'auteur

La réflexion sur la réalité de transport informel en Tunisie, nous amène à conclure qu'il s'agit d'un phénomène à multiples facettes ayant des formes différentes et des causes différentes. Ce caractère hétérogène se manifeste par l'extension de *transport rural informel*, expliqué principalement par *l'inégalité spatiale en termes de l'offre de transport* et le problème d'accessibilité au service de transport dans les milieux ruraux. Pour pallier ces problèmes, les usagers se trouvent obligés d'utiliser soit, le transport clandestin de mauvaise qualité avec absence de toutes mesures de sécurité, soit les véhicules à deux roues non immatriculés.

Même dans les milieux urbains et interurbains, surtout dans les zones souffrant des *inégalités régionales*, les taxis individuels sans compteur, les taxis individuels à vocation

collective, les louages sans tarifs fixes et les voitures clandestins sont souvent de formes très développées de *transport urbain et interurbain informel*. Dans ce sens, Mraïhi (2008) souligne que le développement du transport informel est du principalement à la crise des entreprises tunisiennes de transport collectif qui souffrent de trois types de problèmes d'ordre quantitatifs, qualitatifs et de gestion. Les problèmes quantitatifs concernent essentiellement les dessertes scolaires favorisées par rapport aux clients à plein tarif et le manque du matériel roulant. Aux défaillances de gestion, s'ajoutent les problèmes qualitatifs en termes d'état du parc, de perte de temps et de comportement de conducteur. Selon Mraïhi (2008), le transport artisanal est un choix stratégique des autorités tunisiennes pour combler les lacunes de l'offre collectif soumis sous la pression de phénomène de la voiture particulière. En terme statistique, en 2006, cette offre du transport artisanal comporte 681 taxis collectifs, 8151 louages et 9020 véhicules du transport rural (UTICA, 2010).

La non formalisation touche de même le transport de marchandises, que ce soit au niveau régional ou transfrontalier. D'une part, malgré les réformes engagées dans le secteur transport, dont on peut citer la restructuration du transport terrestre, la révision du code des ports, la mise à niveau des sociétés de transport et la simplification des procédures administratives et portuaires, le *système logistique* tunisien n'a malheureusement pas évolué d'une manière satisfaisante. En conséquence, la prédominance du *commerce traditionnel* de proximité et le faible développement de la distribution commerciale moderne poussent vers le transport pour compte propre (plus de 40% de tonnes de marchandises transportés en 2010), autrement dit, ce sont les grossistes qui contrôlent l'importation de biens de consommation et leur logistique, cause fondamentale d'informalité. De l'autre part, le manque de contrôle douanier aux frontières a alimenté les trafics de tout genre fleurissant tout au long des frontières Tuniso-algériennes et Tuniso-libyennes et donc le développement des *échanges transfrontaliers informels*¹⁵² en Tunisie. Ces pratiques favorisées par la libre circulation frontalière des marchandises peuvent englober la sous-facturation, la classification erronée et

¹⁵² Lesser et Moisé-Leeman (2009) définissent les échanges transfrontières informels comme des échanges de biens et services produits légitimement, qui sont en marge du cadre réglementaire officiel et sont ainsi soustraits à certaines taxes et des contraintes réglementaires et d'échapper ainsi entièrement ou partiellement au paiement des droits de douane et des taxes. Ces échanges comprennent les activités qui consistent à emprunter des itinéraires détournés et éviter les contrôles douaniers, ainsi que celles qui consistent à prendre les itinéraires « officiels » et à se présenter aux points de passage frontaliers et aux bureaux de douane, mais comportent néanmoins des pratiques illégales.

la fausse déclaration. Ces réseaux de commerce parallèle ou de contrebande¹⁵³, se sont appuyés sur des appartenances familiales et sociales et sur l'utilisation des véhicules routiers d'occasion souvent de grande capacité. Ils concernent une large gamme de produits tels que les tissus, cosmétiques, cigarettes, pièces de rechange, et surtout des carburants. Partout en Tunisie, on voit la multiplication des entrepôts, communément appelés « garages », qui regorgent de marchandises et l'émergence des souks clandestins.

Le développement exorbitant de transport informel en Tunisie est également lié aux phénomènes d'activités *agricoles informelles*, d'*industrie informelle* et même de *tourisme informel* à travers l'organisation de tournées et des croisières par certaines agences de voyages informelles. Ce développement est corrélatif à l'extension du *marché informel de carburants*, moteur incontournable pour ce type non conventionnel de transport routier en Tunisie.

Il en résulte que la transition de la Tunisie vers l'économie formelle est une préoccupation grandissante qui passe principalement par la maîtrise de transport informel. Cette question est d'autant plus urgente à régler dans le contexte actuel de la crise économique mondiale, qui a relancé l'intérêt des décideurs, des partenaires sociaux, des acteurs et des théoriciens du développement pour l'élaboration de politiques efficaces. Les mesures prises dans ce sens sont encore trop souvent mal coordonnées, ponctuelles ou limitées à certains régions. L'absence d'une approche globale a entravé une réduction substantielle du transport informel et la croissance de source d'inégalités, de pauvreté et de vulnérabilité. Dans cette alignée, il y a une impérieuse nécessité de traiter le transport informel comme une priorité nationale et de faire un état des lieux précis, et surtout de s'inspirer des expériences internationales en la matière.

Conclusion

Rappelons que l'objectif fondamental de ce chapitre est d'**élaborer un set d'indicateurs pour le transport routier énergétiquement durable en Tunisie**. L'approche suivie a reposé, d'une part, sur la détermination des objectifs et des principes associés au concept de transport routier énergétiquement durable et, d'autre part, sur une compréhension

¹⁵³ Little (2007) les définit comme « une réaction commerciale normale à des réglementations relatives à l'exportation contraignantes et nécessitant de longs délais et aux distorsions des prix à l'échelle régionale ».

des facteurs agissants et des leviers d'action permettant de s'orienter vers des systèmes plus durables.

Notre démarche a été pivotée en trois étapes : la structuration du set d'indicateurs, le choix de certains indicateurs pilotes et la mesure des indicateurs choisis. En ce qui concerne la structuration du set d'indicateurs de transport routier énergétiquement durable, nous avons utilisé **la modélisation PIR**, inspirée de modèles DPSIR, tout en pensant plus particulièrement à la subdivision du set d'indicateurs en trois grandes rubriques décrivant respectivement les pressions des activités de transport routier, leurs impacts sur le plan économique et environnemental et les « leviers d'action », c'est à- dire les paramètres sur lesquels les autorités peuvent agir pour infléchir les tendances.

Tout en tenant compte de spécificités du territoire Tunisie, la qualité et la disponibilité de données de base, nous nous sommes attachés à choisir un set d'indicateurs sur la base d'une liste préliminaire d'indicateurs proposés par la littérature, reflétant les trois dimensions de transport routier énergétiquement durable déjà définies à savoir *le transport économiquement compétitif, le transport socialement équitable et le transport propre sur le plan environnemental*. C'est dans cette optique que nous nous sommes penchés sur l'élaboration des fiches d'indicateurs apportant un complément d'informations pour les indicateurs sélectionnés. Ces données contextuelles ont porté sur trois « groupes d'indicateurs » ventilés en six indicateurs relatifs à l'intensité de consommation de carburant routier par habitant (indicateurs de pression), l'intensité de la valeur ajoutée du secteur de transport par habitant et l'intensité d'émissions de CO₂ dues au trafic routier par habitant (indicateurs d'impacts), le taux de motorisation, l'intensité de l'infrastructure routière par habitant et prix moyen du carburant routier en Tunisie (indicateurs de réponse).

Ce processus de sélection a confronté un problème majeur relatif à la mesurabilité de certains indicateurs, surtout en ce qui concerne **l'estimation de la valeur ajoutée réelle de secteur de transport en Tunisie sur la période 1980-2010**. L'approche adoptée est l'utilisation d'une méthode indirecte non monétaire d'estimation de la taille des économies informelles, axée sur **l'application de filtre de Kalman**. Cette approche dite environnementale s'est avérée très pertinente afin d'estimer la VAT réelle en Tunisie. Les résultats ont été très attrayants en montrant une part prépondérante de participation de transport informel à la croissance de secteur pour atteindre **61% du total de la valeur**

ajoutée en 2010. Rappelons que l'objectif de ce chapitre n'était évidemment pas d'émettre des recommandations en matière de politiques liées à la problématique des transports informels, mais plutôt d'éclairer le choix des indicateurs pour plus de pertinence méthodologique.

D'une manière synthétique, ce chapitre sert à donner une vue globale reflétant l'approche multidimensionnelle inhérente au concept de transports routiers énergétiquement durables, en élaborant un tableau de bord d'indicateurs qui pourra être utilisé comme un support d'aide à la décision et un outil d'information et de sensibilisation des différents acteurs de la société. Cependant, ces indicateurs ne permettent pas en eux-mêmes d'apporter des solutions orientant vers des systèmes de transports routiers plus soutenables sur le plan énergétique. Pour cerner au plus les implications pratiques du concept de transport routier énergétiquement durable, une analyse préalable des interactions entre ces indicateurs demeure indispensable pour la conception de politiques énergétiques durables dans le transport routier en Tunisie.

Chapitre 4

Modélisation des interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie

Introduction

Depuis longtemps, les modèles de la demande de carburant, concrétisant l'interfaçage économie-énergie-environnement dans le secteur de transport sont devenus un des pôles d'intérêt privilégiés par les économistes et les décideurs publics. Les voies de recherche se sont multipliées tant dans le domaine des analyses théoriques que dans celui des études économiques appliquées, motivées par l'intérêt croissant à mieux cerner le phénomène de la consommation de carburant et appréhender plus efficacement sa réalité. Ces vingt-cinq dernières années, le nombre de modèles économétriques développés a connu une inflation considérable due à la conjonction de plusieurs facteurs, tels le développement de nouvelles méthodes statistiques, l'accroissement de la complexité de phénomène de la consommation du carburant et également la nécessité, qui en découle, de mener une réflexion rigoureuse.

Ce chapitre propose, *en premier lieu*, un tour d'horizon des modèles liés à la demande d'énergie et à sa dynamique. Cette revue de la littérature permet de distinguer les grandes familles de modèles et d'indiquer leurs spécificités à partir d'une réflexion sur les critères de leur classification. Cette synthèse est originale dans le sens où elle s'attache à proposer une taxonomie¹⁵⁴ synthétique des modèles existants, répertorier les applications de ces modèles au cas particulier de la demande de carburant dans le secteur de transport routier et d'entrevoir les voies d'amélioration afin d'orienter, *en second lieu*, l'investigation empirique pour le cas d'application de la Tunisie.

¹⁵⁴ Une taxonomie cherche à définir des familles de modèles en se basant sur les différences les plus fondamentales entre eux, permettant ainsi une compréhension plus aisée et une interprétation plus facile des résultats.

Le sujet est complexe puisqu'il s'agit de modéliser les liens entre les triples sphères des transports compétitif, propre et équitable à travers l'étude de la nature et du sens des interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable. En particulier, nous nous focalisons, à l'analyse de la dynamique de relations empiriques (*1^{ère} spécification*) entre la consommation du carburant dans le transport routier, les émissions de CO₂ dues au secteur de transport, la valeur ajoutée de secteur de transport, le prix moyen de carburant, la longueur d'infrastructure routière en Tunisie sur la période 1980-2010. Pour apporter de nouveaux éléments de réflexion au débat sur la durabilité énergétique et transport routier, les résultats de cette analyse, présentés dans la publication « *Indicators for sustainable energy development: a multivariate cointegration and causality analysis from Tunisian road transport sector* » (Ben abdallah et al., 2013), sont comparés à une seconde validation empirique (*2^{ème} spécification*) en prenant en compte l'importance de l'économie informelle dans le secteur de transport en termes de valeur ajoutée réelle et la prépondérance de facteur social, tel le taux de motorisation, dans la meilleure connaissance de la réalité des interactions.

L'approche choisie pour aborder ce sujet est **la cointégration multivariée**. Pour ce faire, le fil conducteur de ce chapitre est bâti sur sept étapes consécutives. Tel que résumé par la figure IV.1, le processus de la modélisation débute par un cadre hypothétique et choix de la spécification du modèle (étape 1). Une analyse préliminaire en termes d'étude de stationnarité de variables retenues (étape 2) et détermination de nombre de retard optimal (étape 3) est primordiale avant de passer au test de la cointégration (étape 4). Une fois ce dernier est confirmé, l'application du modèle vectoriel à correction d'erreur (VECM) débouche sur la caractérisation de relations de causalité de court et long termes entre les différentes variables retenues (étape 5). Pour une meilleure appréhension de l'analyse causale, la quantification de différents réseaux d'influence ou d'impact entre ces dernières passe par l'analyse de la décomposition de la variance des erreurs (étape 6). De même, à partir de la relation de cointégration, notre investigation empirique sera finalisée par tester le modèle de la courbe environnementale de Kuznets (CEK), spécifiant la relation entre la croissance économique et la dégradation environnementale en termes des émissions de CO₂ dans le secteur de transport (étape 7).

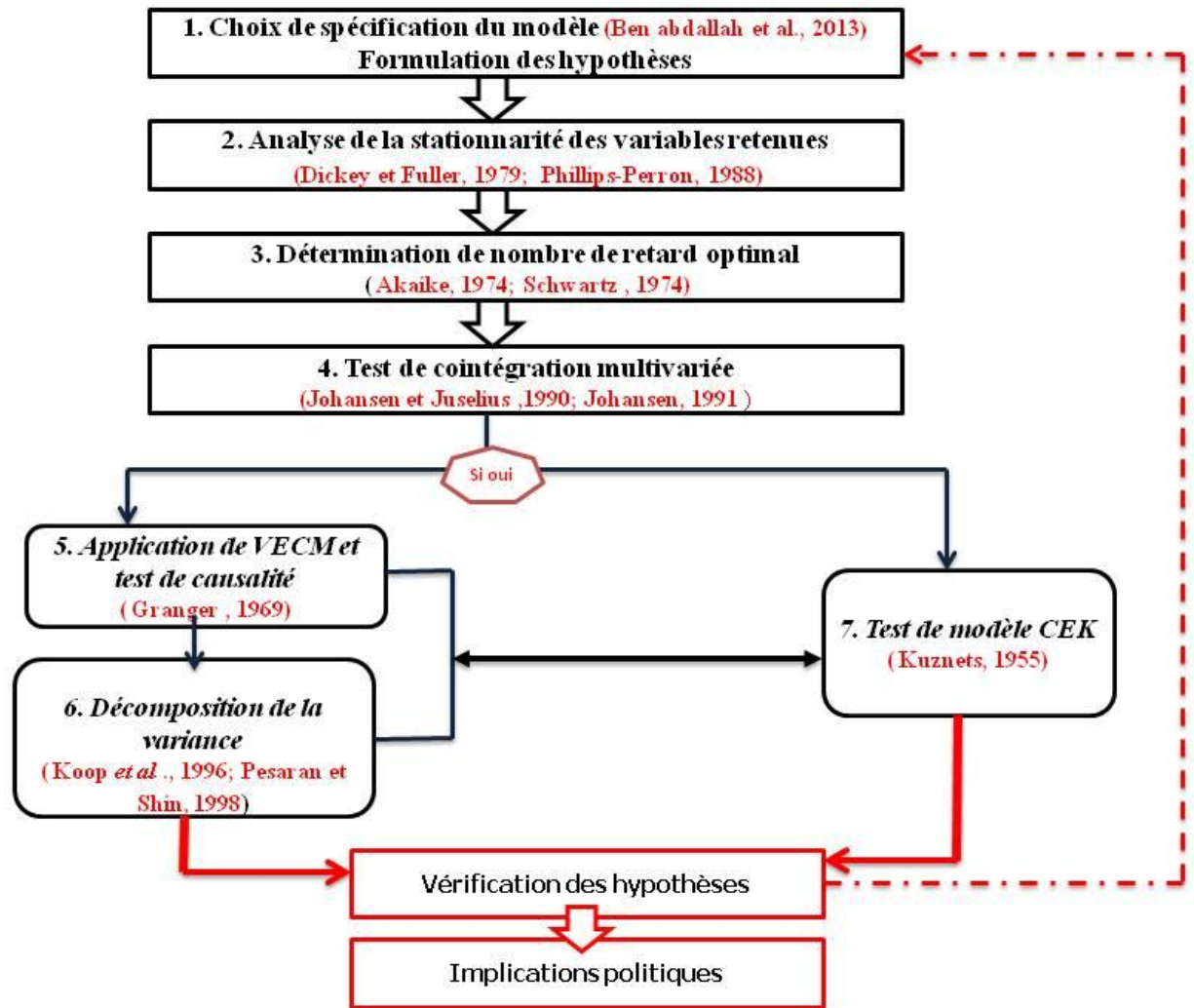


Figure IV.1. Processus de modélisation des interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable

Source : Élaboration de l'auteur

L'analyse comparative en termes de validation des hypothèses préétablies entre les deux spécifications à travers les tests de causalité et de modèle CEK vise à mettre en lumière les articulations entre la politique énergétique, la politique d'offre de transport routier, la politique économique et la politique environnementale.

Section 1 : État de l'art de modèles appliquées à la demande de carburant

Il est très difficile d'établir un état de l'art sur les approches de modélisation de la demande de carburant vu l'importance du nombre de publication sur le sujet. Nous nous intéressons ici davantage à l'aspect formalisation, sans prétendre à l'exhaustivité, compte tenu de la richesse de la littérature. Le fil conducteur de cette section a été bâti sur deux principaux

constats : d'une part, les approches de modélisation de la demande de carburant se sont enrichies ces dernières années, en intégrant la notion de développement durable avec tous ses conflits conceptuels. En conséquence, il est important de passer en revue les évolutions de ces approches et d'en apprécier les apports et les limites. D'autre part, les modélisations macro-économiques de la dualité consommation de carburant- développement durable intègrent insuffisamment l'aspect urbanistique et socio-économique, caractéristique de secteur de transport routier. C'est pourquoi, il est important de modéliser cette dualité en tant qu'un système dynamique et d'aboutir à analyser les couplages possibles en termes de causalité.

I. Des taxonomies spécifiques

Force est de constater que la demande de carburant a fait l'objet d'une floraison d'études, et ce, plus que les autres biens énergétiques (Bohi, 1981 ; Dahl et Sterner, 1991). Maintes raisons expliquent ce privilège de la modélisation de la demande de carburant. Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, les carburants occupent une place prépondérante dans la demande de produits pétroliers d'un point de vue économique, écologique et politique. Ils constituent un élément essentiel de l'équilibre entre pays producteurs et consommateurs et une cause principale de divers problèmes environnementaux. L'objectif était pour toujours de traduire sous forme de relations simples le phénomène de la consommation de carburant en vérifiant l'existence de relations entre les facteurs qui expliquent le processus de consommation de carburant, sans oublier que tout événements non anticipés ou forces non incorporées peuvent faire biaiser les estimations de modèles et donc amoindrir la capacité de reproduire la réalité.

En raison de la multiplicité et de l'hétérogénéité des modèles décrivant la consommation de carburant, ceux-ci ont fait l'objet de plusieurs tentatives de classification ou taxonomies, hiérarchisant les caractéristiques différenciant les modèles entre eux. Généralement, le modélisateur est confronté à plusieurs alternatives lors de la conception de son modèle. Il s'agit de définir les objectifs poursuivis, déterminer le degré d'agrégation convenable, sélectionner les variables, choisir le type de données et l'approche de modélisation la mieux appropriée.

1. Les objectifs

La construction de modèles est conditionnée par les objectifs à atteindre. Les modèles explicatifs ont pour objectif d'analyser la politique énergétique et l'explication du passé. A l'encontre, les modèles de prévision ont une vocation futuriste tout en cherchant à déterminer la plus précise possible les évolutions futures de la demande de carburant. Les modèles de simulation ont l'objectif de mesurer l'impact de telle ou telle décision sur la solution de référence du modèle.

2. Les niveaux d'analyse

Ce critère fait référence au niveau de désagrégation adopté. La consommation totale de carburants est profondément liée au tissu économique et social. Vue la difficulté de collecter toutes les informations relatives à la manière dont ces produits sont consommés, cette consommation finale est souvent appréhendée au niveau du secteur des transports. Ainsi, le passage des consommations individuelles à des équations de demande nationale soulève le problème de l'agrégation¹⁵⁵.

Maillard (1983), Devezeaux de Lavergne (1986) et Hourcade (1990) soulignent que le degré d'agrégation des données est souvent un facteur de divergence entre les résultats d'estimations. Les modèles ayant des degrés plus fins semblent plus performants dans la mesure où un découpage plus détaillé permettra mieux d'appréhender les déterminants et les mécanismes d'évolution.

Le problème de l'agrégation pose deux questions : d'un côté, la désagrégation permet de tenir compte de l'hétérogénéité et la divergence dans les comportements (Schemalensee et Stoker, 1995), sans être certain que cette analyse permette de juger la pertinence des mesures de politique énergétique prises et donc de reproduire le phénomène de la consommation de carburant au niveau macroéconomique. De l'autre côté, il est trop réducteur de prétendre que la désagrégation la plus fine est un vecteur favorable pour la modélisation de la demande de carburant. En effet, nombreux indicateurs macroéconomiques ne sont pas disponibles à un

¹⁵⁵ Malinvaud (1981) définit l'agrégation comme étant, soit l'opération qui consiste à définir une grandeur globale représentant un ensemble de grandeurs élémentaires, soit l'opération qui consiste à représenter un ensemble de relations entre de multiples grandeurs élémentaires par une ou quelques relations entre grandeurs globales. D'une manière plus schématique, Denizot et Garboua (1972) et Solari (1977) stipulent que l'agrégation est l'ensemble des problèmes posés par la correspondance entre deux modèles M0 et M dans la représentation d'une réalité donnée. Le modèle M0 visera une représentation détaillée (modèle désagrégé ou détaillé), alors que M donnera une représentation plus simple (modèle agrégé ou simplifié). Ainsi, l'agrégation est perçue comme une application permettant d'associer à un modèle de type M0, un modèle de type M.

niveau très désagrégé, tels la distribution de revenu, les caractéristiques de l'infrastructure routière, etc. Aussi, avec la désagrégation le modèle devient plus complexe exigeant une gestion plus lourde de données.

Dans ce sens, les contributions de Phillips (1974), et Barker et Pesaran (1990) impliquent que, même avec l'existence effective des comportements individuels singuliers, les changements peuvent ne pas être suffisamment significatifs sur la période d'étude, au vu des variables démographiques dites lourdes. Ainsi, le choix de niveau de désagrégation s'avère comme un compromis entre la recherche de détail et le souci de fiabilité de résultats. Isoler les secteurs les plus importants en termes de poids dans la consommation, tel que le cas de transport routier, et les étudier séparément constitue une approche très développée ces dernières années.

Le problème d'agrégation se pose, soit en distinguant les différentes formes de carburant, soit en le prenant en compte comme un bien homogène. Cependant, il convient de souligner que l'homogénéité de l'essence et de diesel confère plus de crédit lors de comparaisons internationales.

3. Le caractère statique ou dynamique du modèle

Les modèles de demande de carburant peuvent être soit statiques en supposant l'hypothèse de l'invariance temporelle, soit dynamiques en admettant que les structures, les mécanismes de fonctionnement évoluent dans le temps en fonction des habitudes, des délais de réaction, des transformations de comportement,...

4. Le choix de variables exogènes

La liste des variables explicatives potentielles est passablement longue. Certaines sont générales et d'autres spécifiques. Ces variables peuvent être de nature économique, sociale, environnementale, technique et urbanistique. Mais, les plus importantes sont le prix de carburant et le type de véhicule.

En effet, la demande de carburant repose sur le concept de demande dérivée plutôt que celui de demande totale. Indépendamment de toute discussion sur les principes ou sur les fondements théoriques, le carburant n'est pas consommé en tant que bien autonome, mais il

est utilisé par l'intermédiation d'un équipement¹⁵⁶ durable par nature (le véhicule) pour la production de service de transport. Il paraît clairement que la consommation et la technologie en place sont interdépendantes. Cette évidence postulant que le carburant a besoin d'un véhicule pour être consommé, comporte deux implications contrastées. A un premier niveau d'analyse, le carburant consommé et le véhicule sont essentiellement des biens complémentaires. Au sens commun de terme, on ne peut pas faire fonctionner une voiture sans carburant. Et c'est en ce sens qu'il est nécessaire d'intégrer le facteur technique dans les modèles appliqués à la demande de carburant. Cependant, cette relation carburant-véhicule peut être objet d'une substituabilité entre ces deux biens¹⁵⁷. Les économies d'énergies réalisées dans les transports ne sont pas possibles que par le recours à un véhicule plus économe en énergie. L'évolution vers une utilisation moindre de carburant a naturellement conduit à diminuer le recours au carburant, en parallèle avec un investissement en équipements, ce qui se traduit par une substitution.

On peut également s'interroger sur l'effet de prix sur la demande de carburant. La majeure difficulté dans ce sens, réside dans la distinction entre l'effet prix de court terme et l'effet prix de long terme. De surcroît, l'évolution de prix joue un rôle prépondérant sur l'innovation technologique qui exerce en retour une influence essentielle sur la demande. Il est fréquent de caractériser le rôle du progrès technique par une variable de tendance temporelle dans les modèles agrégés traditionnels.

Autres variables déterminantes de la consommation de carburant à savoir les caractéristiques de véhicule, sa puissance,...sont elles mêmes corrélées avec le revenu, de sorte qu'il n'est pas toujours évident de quantifier leurs effets propres. Il existe des variables

¹⁵⁶ Le carburant routier n'est pas consommé, donc demandé, comme une fin en soi mais pour rendre un service : le déplacement. Il nécessite un équipement utilisateur qui est le véhicule. Ce dernier est perçu, entre autres, comme un facteur d'inertie entre demande de carburant et consommation du carburant. Dans le domaine énergétique, l'assimilation de ces deux notions constitue une hypothèse plus discutable. En effet, la demande de carburant, par rapport à la consommation de carburant, introduit une variabilité supplémentaire : on ne peut parler de consommation que lorsque la demande a été satisfaite par une offre. Dans ces conditions, on peut considérer la demande comme une consommation anticipée, autrement dit qu'il y a équivalence entre la demande exprimée de consommateur et sa consommation souhaitée. En outre, une hausse des prix des carburants va certes occasionner des modifications des performances des véhicules à quantité consommée égale. Néanmoins, ces diminutions de consommations unitaires ont nécessité des délais de mise au point. On retrouve une très grande stabilité dans les consommations de carburants même si les courbes de demande en fonction des prix ont changé.

¹⁵⁷ Généralement, les débats concernant la problématique de la substituabilité entre énergie et capital sont encore loin d'être clos.

non quantifiables dont l'influence est connue mais difficiles à intégrer dans le modèle, tels le comportement de conducteur (par exemple, l'éco conduite), les réactions psychologiques,...

La prise en compte de l'offre du carburant dans les modèles de demande de carburant est problématique sauf si elle est parfaitement élastique et inépuisable. Selon Bohi (1981), l'hypothèse d'offre parfaitement élastique est celle le plus fréquemment employée pour affranchir l'analyse des complications relatives aux considérations sur l'offre. En pratique, l'hypothèse de base est que l'offre de pétrole est rigide par rapport au prix vu la marginalité de coûts variables de production et la gestion unilatérale des décisions de production de la part de pays producteurs. C'est pourquoi, la plupart des modèles font l'hypothèse implicite que l'offre est exogène.

5. Le choix des séries temporelles, coupe instantanée ou croisées :

Généralement, les observations sont regroupées selon quatre formes différentes : les séries temporelles¹⁵⁸, les séries en coupe instantanée¹⁵⁹ et les données croisées¹⁶⁰. Les études empiriques montrent que les séries chronologiques doivent être suffisamment longues pour garantir la fiabilité statistique et englober suffisamment les modifications structurelles.

II. Tour d'horizon sur les approches de modélisation de la demande de carburant dans le secteur de transport

Puisque la littérature portant sur les modèles de la demande de carburant et de sa dynamique est particulièrement vaste, il a été choisi de la présenter au travers de trois taxonomies recouvrant un large ensemble de modèles : **l'approche d'ajustement partiel, l'approche de décomposition et l'approche de cointégration**. Ce balayage de la littérature nous aidera au choix de modèles que nous retiendrons lors de la validation empirique.

¹⁵⁸ L'approche en séries temporelles est critiquée dans la mesure où elle suppose que les prix et les revenus sont invariants, sauf pour les variations dues au marché international du pétrole, à savoir les chocs (Baltagi et Griffin, 1983).

¹⁵⁹ Girod (1977) stipule que l'analyse en coupe, analyse horizontale pour un ensemble de pays, permet de mettre en évidence l'effet structurel qui détermine la consommation de carburant de tous les pays dans les différentes étapes de leur développement économique. Elle présente l'avantage d'intégrer les comportements divergents entre les pays et les différentes politiques énergétiques (Zlatoper, 1991). On peut également combiner l'approche en coupe et l'approche en série pour faire recours aux données croisées (Haughon et Sarkar, 1996), où les données sont définies simultanément par deux dimensions : le pays i et l'année t .

¹⁶⁰ Baltagi et Griffin (1983) et Sterner et Franzen (1994) ont fait recours aux données croisées spatio-temporelles (observations de plusieurs pays, d'un même groupe dans le temps).

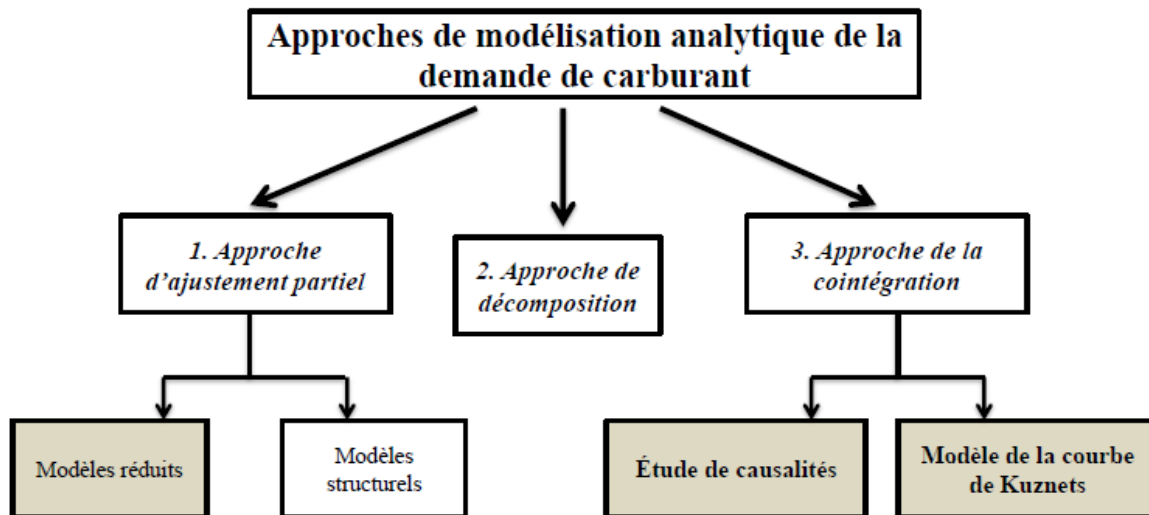


Figure IV.2. Les approches de modélisation de la demande de carburant

Source : Élaboration de l'auteur

1. L'approche par l'ajustement partiel

Cette approche se base sur une démarche logico-empirique, qui valorise l'intuition comme moyen de sélection de variables explicatives de la demande de carburant, conditionné par les performances statistiques du modèle.

On distingue, d'une part, les modèles structurels considérant la demande de carburant comme une demande dérivée par la demande d'équipements (le véhicule), elle-même générée par une demande de service. La démarche consiste à déterminer dans une première étape le stock d'équipement et dans une seconde étape le taux d'utilisation de ce stock. Pour plus de détail, il est intéressant de consulter Small et Van Dender (2007). D'autre part, les modèles réduits appréhendent la demande de carburant en se basant sur la théorie du consommateur. Sous certaines hypothèses relatives à la nature de la fonction de la demande, la consommation de carburant (CCARB) est généralement fonction de prix du carburant (PCARB) et du revenu (REV):

$$CCARB = f(PCARB, REV) \quad (IV.1)$$

Les analyses de Ramsey et al. (1975), Greene (1983), Dargay (1988) adoptent un modèle statique¹⁶¹ ayant une forme logarithmique :

$$\ln CCARB = c + \alpha \ln PCARB + \beta \ln REV + \varepsilon \quad (IV.2)$$

Avec \ln est le logarithme népérien ; α et β sont respectivement les élasticités prix et revenu ; ε est le terme d'erreur. Cette spécification a été fortement critiquée dans le sens où elle est exprimée pour une population globale, ce qui pose un problème majeur d'agrégation. Certains auteurs ont signalé la nécessité d'endogénéiser la consommation de carburant par tête. Ainsi, le modèle peut s'écrire comme suit :

$$\ln CCARBH = c + \alpha \ln PCARB + \beta \ln REVH + \varepsilon \quad (IV.3)$$

Où $CCARBH$ et $REVH$ représentent respectivement la consommation de carburant par tête et le revenu par tête. $PCARB$ est le prix du carburant.

La contribution de certains auteurs consiste dans l'introduction d'autres variables explicatives au modèle ci-dessus tels l'effet de parc (Greene, 1979 ; Rodekohr, 1980 ; Baltagi et Griffin, 1983 ; Lin et al., 1985) et même les caractéristiques intrinsèques des véhicules tels la consommation unitaire, la taille, le poids et la puissance (Springer et Resek, 1981 ; Drollas, 1984), mais en supposant toujours qu'une fluctuation de variable exogène affecte instantanément la consommation de carburant. Cette hypothèse a été au centre de critiques de modèle statique dans la mesure où ce dernier ne permet pas d'appréhender l'ajustement total et immédiat de la demande à une variation de prix et de revenu. Ainsi, *les modèles dynamiques*¹⁶² ont été conçus pour tenir compte de délais d'ajustement en considérant un délai d'ajustement entre la cause et l'effet. Cette approche souligne que la consommation courante dépend des facteurs des périodes courantes et antérieures, autrement dit, la variation de l'une de variables exogènes au cours d'une année est susceptible de faire modifier la consommation de carburant l'année suivante. On distingue plusieurs spécifications de modèles dynamiques

¹⁶¹ Les approches statiques supposent que la consommation de carburant est déterminée par les variations au cours de l'année étudiée de prix, revenu,...

¹⁶² Ces modèles sont qualifiés dynamiques dans le sens où le comportement temporel est déterminé par des équations fonctionnelles dont les variables se réfèrent essentiellement aux différents moments du temps. Ils considèrent des variables affectées de retards par le biais d'ajustements dynamiques sur des séries chronologiques.

dont la plus classique est le modèle d'ajustement partiel qui suppose l'introduction de variable endogène retardée. A cet égard, le modèle dynamique de Koyck est le plus répandu (Bacon et al., 1990 ; Eltoni et Al-Mutairi, 1995 ; Haughton et Sarkar, 1996) tout en supposant que les individus n'adaptent que partiellement leur consommation aux variations de prix et de revenu.

La forme générale de ce modèle exprimant la consommation désirée (CCARB*) à l'instant t en fonction de prix du carburant et de revenu s'écrit alors :

$$\ln CCARB_t^* = c + \alpha \ln PCARB_t + \beta \ln REV_t + \varepsilon_{t1} \quad (IV.4)$$

Compte tenu des habitudes de consommation, la consommation courante s'adapte à la consommation désirée avec un certain retard, dans la mesure où les consommateurs réagissent après un certain délai aux variations de prix et de revenu, impliquant ainsi que l'ajustement vers un nouvel équilibre se déroule au cours de temps de la manière suivante :

$$\ln CCARB_t - \ln CCARB_{t-1} = \lambda (\ln CCARB_t^* - \ln CCARB_{t-1}) + \varepsilon_{t2} \quad (IV.5)$$

Où $CCARB_t$ est la consommation réelle à l'instant t et λ est la vitesse d'ajustement entre niveau effectif et souhaité.

En isolant la consommation courante à droite, l'équation ci-dessous peut s'écrire comme suit :

$$\ln CCARB_t = \lambda \ln CCARB_t^* + (1 - \lambda) \ln CCARB_{t-1} + \varepsilon_{t2} \quad (IV.6)$$

Le logarithme de la consommation courante de carburant est donc une moyenne pondérée du logarithme de demande désirée et du logarithme de la consommation de la période antérieure. L'expression résultante est :

$$\ln CCARB_t = \lambda \ln CCARB_t^* + \lambda(1 - \lambda) \ln CCARB_{t-1}^* + \lambda(1 - \lambda)^2 \ln CCARB_{t-2}^* + \dots \quad (IV.7)$$

En définitive, en remplaçant $\ln CCARB_t^*$ par son expression (VI.4), on obtient :

$$\begin{aligned} \ln CCARB_t = & \lambda c + \lambda \alpha \left[\ln PCARB_t + (1 - \lambda) \ln PCARB_{t-1} + (1 - \lambda)^2 \ln PCARB_{t-2} + \dots \right] \\ & + \lambda \beta \left[\ln REV_t + (1 - \lambda) \ln REV_{t-1} + (1 - \lambda)^2 \ln REV_{t-2} + \dots \right] + \eta_t \end{aligned} \quad (IV.8)$$

Avec $\eta_t = (\varepsilon_{t1} + \varepsilon_{t2}) + (1 - \lambda)(\varepsilon_{t1} + \varepsilon_{t2})_{-1} + (1 - \lambda)^2(\varepsilon_{t1} + \varepsilon_{t2})_{-2} + \dots$

Plusieurs améliorations ont été apportées aux modèles dynamiques, soit avec une simple introduction d'autres variables explicatives à savoir le parc automobile (Baltagi et Griffin, 1983)¹⁶³, soit avec de structures de retards moins restrictives (Drollas, 1984 ; Uri et Hassanein, 1985)¹⁶⁴, soit en introduisant un ajustement faible dans les premières périodes, puis croissant (perception retardée) et enfin décroissant selon un processus géométrique¹⁶⁵ (Dahl et Sterner, 1991).

2. L'approche par la décomposition

Les modèles comptables, connus sous les modèles de décomposition, s'appuient sur la méthode technico-économique pour modéliser la demande de carburant. Cette approche est issue de l'analyse des systèmes (Lapillonne, 1988), dont les carburants sont assimilés à des biens complémentaires dans la mesure où ils ne peuvent être consommés indépendamment d'un véhicule à moteur. En effet, la consommation de carburant n'est pas une finalité en soi, mais plutôt pour satisfaire d'autres besoins tels la mobilité. Cette méthodologie est qualifiée de la décomposition puisqu'elle vise à décomposer la consommation de carburant souvent en trois éléments majeurs : un effet d'activité quantifiant l'impact de la croissance économique, un effet de structure mesurant l'influence du changement de la structure du parc et un effet de consommation unitaire sur la demande de carburant intégrant les efforts d'économies d'énergie, le progrès technique et les modifications de comportements.

Plusieurs auteurs ont adopté la décomposition tels que Carlevaro et Spierer (1983), Gately (1990), Kiang et Schipper (1996), Johansson et Schipper (1997), Fosgerau et Kveiborg (2004) Steenhof et al. (2006), Herzog et al. (2006), et Mraïhi et al., (2013). Le point de départ

¹⁶³ Les modèles dynamiques avec effet de parc préconisés par d'autres auteurs tels Dahl (1982) sont fortement critiqués et loin de la réalité économique dans la mesure où ils impliquent que toutes les variables exogènes subissent la même distribution des retards, alors que la réalité montre que le parc automobile aurait également une influence décroissante dans le temps sur la consommation de carburant.

¹⁶⁴ L'inconvénient majeur de cette spécification est qu'elle nécessite de longues séries d'observations et introduit une forte multicollinéarité entre les variables exogènes.

¹⁶⁵ Ce type de modèles dynamiques est dit « inverted-V lag ».

est toujours une définition comptable décomposant la consommation de carburant à partir d'une égalité selon une approche bottom-up¹⁶⁶.

La plus ancienne spécification de Carlevaro et Spierer (1983) décompose la consommation de carburant comme suit :

$$CCARB = (CCARB/KM) \times (KM/PARC) \times PARC \quad (IV.9)$$

Avec :

- CARB/KM est la quantité du carburant consommée par kilomètre.
- KM/PARC est la distance moyenne annuelle parcourue par un véhicule.

La contribution de Mraïhi et al. (2013) consiste à décomposer la consommation de carburant du transport routier (CARBR) en Tunisie sur la période 1990-2006, en quatre principaux éléments : l'efficacité énergétique de véhicules routiers (EEVR), l'intensité en véhicules routiers (IVR), le produit intérieur brut par habitant (PIB/H) et l'intensité de concentration de la population sur l'infrastructure routière (IINFRA) de la manière suivante :

$$CCARBR = (CCARBR/PARC) \times (PARC/PIB) \times (PIB/POP) \times (POP/INFRAR) \times INFRAR \quad (IV.10)$$

Avec POP est le nombre de population et INFRAR est la longueur d'infrastructure routière.

Il est à noter que les modèles technico-économiques ont prouvé une plus grande stabilité statistique des paramètres estimés. Cependant, l'utilisation de la décomposition heurte à deux principales limites. En effet, il est nécessaire de disposer d'informations très détaillées. Aussi, la multiplicité de variables exogènes introduites peut conduire à des cheminements incohérents sur le plan économique.

¹⁶⁶ Selon Beaumais et Bréchet (1995), l'approche dite bottom-up repose sur un traitement micro-économique ou sur un découpage sectoriel fin, par opposition à l'approche top-down relative à l'étude macro-économique ou macro-sectorielle.

Remarquons que les deux précédentes taxonomies ne recouvrent chacune qu'une partie de la représentation de la consommation de carburant et de sa dynamique. L'approche par la cointégration présente cependant, une taxonomie synthétique ayant un double objectifs :

- Une réflexion économique et économétrique détaillée et cohérente de déterminants de la demande du carburant routier.
- Une vision synoptique des interactions de la dualité consommation du carburant-développement durable dans le secteur de transport routier.

III. L'approche par la cointégration : Pour une vision synoptique des interactions entre consommation du carburant-développement durable

Plus fondamentalement, deux principales applications économétriques dans le domaine de la durabilité énergétique découlent de l'approche de cointégration : l'étude de causalités et le modèle de la courbe environnementale de Kuznets (voir figure IV.2).

1. L'analyse causale

La notion de causalité est une notion assez ancienne et complexe, dénommée parfois analyse causale (Diebolt et Litago, 1997). L'origine de ce mot vient du latin *causa* (cause) qui avait initialement une signification surtout juridique, désignant la responsabilité d'une action et la raison d'être d'un événement. Il s'agit d'une technique permettant d'identifier la nature et la direction des relations de causalités contributives à la réalisation d'un problème afin de formuler des réponses appropriées. Et pourtant, comme le remarque Granger (1978), « *le mot cause et les raisonnements de type causal n'ont point cessé d'apparaître dans les essais les plus divers de sciences de l'homme* ». D'une part, il s'agit d'un concept multidisciplinaire dans la mesure où il croise plusieurs disciplines allant de la philosophie à l'économétrie. D'autre part, c'est un concept controversé prêtant à de fortes critiques.

L'introduction de la causalité dans la science économique a suivi le développement des méthodes quantitatives et de l'économétrie qui ont permis de lever le discrédit du langage causal en sciences sociales. Durkheim¹⁶⁷ est le fondateur de courant d'analyse causale en termes de corrélations statistiques. Après les années cinquante, le recours à cette analyse a été justifié par la recherche d'étudier les phénomènes dans une optique explicative et/ou prédictive tout se basant sur le pourquoi des événements passés.

¹⁶⁷ Durkheim Emile, sociologue français (1858-1917).

. Dans la présente recherche, nous intéressons plutôt à cette optique explicative. Cependant, il est indispensable de préciser que selon la manière dont nous traitons le problème, le concept de la causalité revêt deux formes : statique ou dynamique.

a) Conceptions économétriques de la causalité

La caractérisation économétrique de concept de la causalité demeure fondamentale. Depuis la conception de Feigl (1953), l'analyse économétrique de la causalité a beaucoup évolué avec surtout les contributions de Granger (1969) et Sims (1980).

Définitions IV.1 :

Feigl (1953) définit la causalité en termes de ***prédictibilité*** selon une loi ou un ensemble de lois. Il stipule que « *l'existence d'un lien de causalité doit être reconnue sur la base d'une propriété d'amélioration de la prévision, confirmée expérimentalement, en accord avec une loi ou un ensemble de lois énoncées a priori* ».

Définitions IV.2 :

Granger (1969) définit la causalité en termes de ***prévision***. « *Une série cause une autre série si la connaissance du passé de la première améliore la prévision de la deuxième* ». Cette définition sous-entend une modélisation dans le cadre d'une analyse causale dynamique. Expliqué d'une manière synthétique, il s'agit simplement de déterminer si une variable *X* « cause selon Granger » une variable *Y* en observant tout d'abord dans quelle mesure les valeurs passées de *Y* arrivent à expliquer la valeur actuelle de *Y* et de voir par la suite l'amélioration de l'estimation grâce à la prise en compte de valeurs retardées de la variable *X*. *Y* peut être considérée comme « causée selon Granger » si la variable *X* est déterminante dans l'estimation de *Y* ou encore, d'une manière équivalente, si les coefficients des valeurs retardées de la variable *X* sont significativement différents de zéro. Il est important de signaler qu'une double causalité n'est jamais à exclure lors de ce test. Il faut tout de même préciser que la théorie de Granger a subi un certain nombre de critiques de la part du monde académique¹⁶⁸.

¹⁶⁸ La principale critique de la notion de causalité de Granger vient de ce que celle-ci est entièrement définie en terme statistique et ne fait aucune référence explicite aux lois économiques (Zellner, 1979 ; Jacobs et al., 1979). Cependant, la notion de causalité de Granger présente l'avantage d'être facilement testable en pratique.

Définitions IV.3 :

La causalité au sens de Sims (1980) peut être vérifiée à partir d'une analyse dite impulsionnelle. « Une série cause une autre série si un choc sur la première, défini comme son innovation, influence la deuxième et modifie notamment l'écart-type [ou l'amplitude] de l'erreur de prévision de ses valeurs futures ».

La direction de causalité dépend de la méthodologie adoptée et de la période d'étude choisie. Dans des études récentes, pour tester les relations d'équilibre à long terme, Johansen (1991) et Johansen et Juselius (1990) utilisent la procédure de maximisation de vraisemblance pour détecter le sens de causalité de Granger. Selon eux, si deux ou plusieurs variables sont cointégrées et ont des tendances communes, il y a au moins une relation de causalité entre ces variables. La direction de causalité de Granger peut être déterminée à partir du modèle vectoriel à correction d'erreur.

b) L'approche théorique de Granger

Analytiquement, la causalité au sens de Granger peut être formalisée de la manière suivante : comme suit:

Soit le modèle VAR (p) pour lequel les variables X_t et Y_t sont stationnaires :

$$\begin{aligned} Y_t &= \delta_1 + \sum_{i=1}^p a_i Y_{t-i} + \sum_{i=1}^p b_i X_{t-i} + \mu_{1t} \\ X_t &= \delta_2 + \sum_{i=1}^p c_i X_{t-i} + \sum_{i=1}^p d_i Y_{t-i} + \mu_{2t} \end{aligned} \quad (\text{IV.11})$$

Où δ_1 et δ_2 sont des constantes, μ_{1t} et μ_{2t} sont des séries de bruit blanc et p représente le nombre de retard.

Le test consiste à poser deux hypothèses :

- X_t ne cause pas Y_t si l'hypothèse H_0 suivante est acceptée :

$$\begin{aligned} H_0 &: b_i = 0 \quad \forall i = 1, \dots, p \\ H_1 &: \exists b_i \neq 0 \quad \forall i = 1, \dots, p \end{aligned}$$

On teste cette hypothèse à l'aide du test Fischer afin de voir si tous les coefficients b_i sont nuls.

- Y_t ne cause pas X_t , si l'hypothèse suivante H_0 est acceptée c'est à dire si les coefficients d_i sont nuls.

Si nous sommes amenés à accepter les deux hypothèses que Y_t cause X_t et que X_t cause Y_t , si la somme de b_i et d_i différente de zéro, on parle de boucle rétroactive.

Le test de la causalité instantanée est basé sur l'existence de corrélation entre les erreurs. Le modèle le plus général avec la causalité instantanée est :

$$\begin{aligned} Y_t &= \delta_1 + \sum_{i=1}^p a_i Y_{t-i} + \sum_{i=1}^p b_i X_{t-i} + b_0 X_t + \mu_{1t} \\ X_t &= \delta_2 + \sum_{i=1}^p c_i X_{t-i} + \sum_{i=1}^p d_i Y_{t-i} + d_0 Y_t + \mu_{2t} \end{aligned} \quad (\text{IV.12})$$

Si $b_0 \neq 0$ et $d_0 \neq 0$, alors la causalité instantanée est obtenue, c'est à dire une information de X_t peut être utilisée pour améliorer l'estimation de la première équation pour Y_t et vice versa.

c) Revue de la littérature empirique dans le secteur de transport

Le recours à la cointégration bivariable pour caractériser les relations de causalité dans le secteur de transport a fait l'objet de quelques investigations empiriques (Bentzen, 1994 ; Eltony et Mutairi, 1995 ; Samimi, 1995 ; Dahl et Kurturbi, 1997 ; Ramanathan, 1999 ; Ghosh, 2006 ; Polemis, 2006 ; Ben abdallah et al., 2013). L'objectif principal est de savoir si la consommation de carburant contribue à la croissance du niveau d'activité économique de secteur de transport. Si c'est le cas, toute politique d'économie d'énergie peut affecter la croissance économique de secteur en question.

Récemment, pour le cas de l'Afrique du Sud, Akinboade et al. (2008) ont fait recours à l'utilisation de la technique de cointégration multivariée pour analyser les relations causales à long terme entre la consommation de carburant, le revenu et le prix de carburant durant la période 1978-2005. Yaobin (2009) a testé la relation de cointégration entre la consommation de carburant, la population, la croissance économique et l'urbanisation sur la période 1978-2008 pour le cas de la Chine. Les résultats montrent une causalité unidirectionnelle au sens de Granger allant de l'urbanisation vers la consommation de carburant aussi bien à court et long termes. Pongthanaisawan et al. (2010) ont analysé les causalités entre le parc de véhicules

routiers et le niveau de croissance économique et leurs impacts sur la consommation énergétique et les émissions de polluants dans le secteur de transport routier en Thaïlande.

Rudra (2010) a discuté les causalités entre la longueur de l'infrastructure routière et ferroviaire, la consommation d'énergie et la croissance économique durant la période 1970-2007 en Inde. Les résultats empiriques montrent une relation de causalité unidirectionnelle allant de l'infrastructure de transport vers la consommation d'énergie, impliquant ainsi que les politiques de transport et la politique énergétique doivent être intégrées. Marshall et al. (2011) ont cherché à mettre en relief l'impact de la localisation résidentielle sur le nombre de kilomètres parcourus, la consommation de carburant et les émissions de CO₂ à Chicago durant la période 2007-2008.

La contribution de Ben abdallah et al. (2013)¹⁶⁹ consiste à étendre la réflexion sur les interactions de la consommation du carburants routiers et les différentes dimensions d'ordre économique, environnementale, sociale, territoriale et technique de développement durable en cherchant à identifier à travers une analyse causale les différentes liens de causalités entre la consommation de carburants routiers, la valeur ajoutée de secteur de transport, les émissions de CO₂ dues au secteur de transport, la longueur d'infrastructure routière et le prix de carburant en Tunisie durant la période 1980-2010.

2. Le modèle de la courbe environnementale de Kuznets¹⁷⁰ (CEK)

« *Il y a une évidence claire que, bien que la croissance économique provoque normalement des dégradations environnementales aux premiers stades [de développement], à la fin, le meilleur – et probablement le seul - sentier pour retrouver un environnement décent dans la plupart des pays est de devenir riche* » (Beckerman, 1992). Cette citation décrit globalement la philosophie de modèle de la courbe de Kuznets¹⁷¹, connu aussi sous le modèle de la courbe environnementale.

¹⁶⁹ Les résultats empiriques de cette publication seront présentés et discutés dans la section suivante.

¹⁷⁰ Cette hypothèse tire son nom de Simon Kuznets, qui a reçu en 1971 le Prix Nobel d'économie pour ses travaux sur les relations entre le niveau et l'inégalité des revenus, qui tendent à prendre la forme d'une courbe en U inversé. En d'autres termes, l'inégalité des revenus tend à s'aggraver lorsqu'un pays est en phase de décollage économique, à se stabiliser à un niveau du revenu moyen, puis à diminuer progressivement.

¹⁷¹ Il convient de noter que la Courbe Environnementale Kuznets (CEK) s'inspire de la courbe de Kuznets (1955), qui a établi une relation entre l'inégalité dans la répartition du revenu et la croissance économique du revenu sous la forme d'une courbe en U inversé. Depuis le début des années 90, cette courbe a fait l'objet d'un intérêt renouvelé dans le domaine de l'économie de l'environnement (Grossman et Krueger, 1991 ; Shafik et Bandyopadhyay, 1992 ; Panayotou, 1993 ; Dinda, 2004).

a) Les fondements théoriques de la CEK

L'hypothèse de la CEK résume essentiellement un processus dynamique de changements. En fait, si le revenu d'une économie croît au cours de temps le niveau d'émission de pollution s'accroît jusqu'il atteint le sommet ou le point de retournement et commence à décliner après ce seuil du revenu.

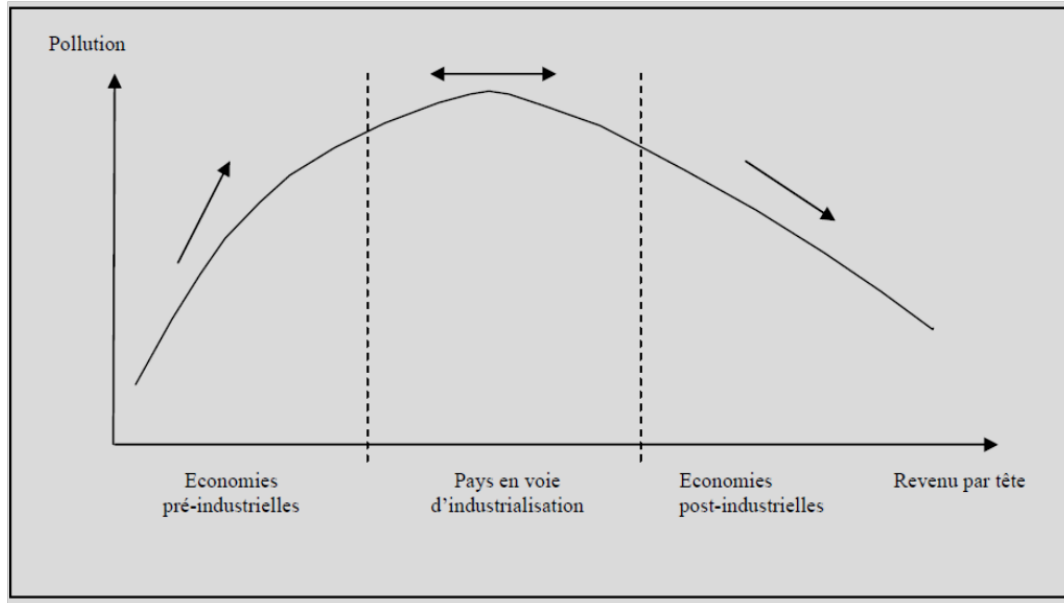


Figure IV.3. Construction théorique de la courbe environnementale de Kuznets

Cette forme en U inversé peut être expliquée par :

- **L'impact des conditions de production** : Un accroissement de l'activité économique conduit à une pression sur l'environnement (Grossman et Krueger, 1994). Plus de production nécessite plus d'inputs et crée plus de déchets et d'émissions polluantes (**l'effet d'échelle**). À mesure que les richesses s'accumulent, la structure du système productif évolue. Au delà d'un seuil de développement, la part des activités plus « propres » va augmenter (**l'effet de composition**) tout en consacrant une partie importante de la richesse aux activités de R&D et en particulier vers une meilleure efficacité écologique des procédés de fabrication. Les innovations consécutives permettent de substituer des machines toujours plus performantes à des équipements obsolètes et « sales » (**l'effet technologique**). En résumé, la CEK suggère que l'impact négatif sur l'environnement de l'effet d'échelle qui tend à prédominer dans les stades initiaux de croissance, sera compensé par l'impact positif de l'effet de composition et l'effet technologique qui tendent à baisser le niveau d'émission.

- **L'évolution de la demande** : avec le progrès des conditions de vie, les intentions des individus passent de la recherche d'une accessibilité accrue aux biens de première nécessité à la prise en conscience des conséquences environnementales (Rothman, 1998).
- **L'influence des régulations**¹⁷² : pour mieux combattre les « faillites » environnementales de marché, l'État crée des institutions, exige des taxes de type pollueur-payeur, distribue des subventions pour encourager des modes de production soutenables, oriente les innovations par des normes réglementaires etc. (Martinez-Allier, 2002).

b) Formulation analytique du modèle CEK

Les fondements empiriques de la CEK s'appuient sur la spécification économétrique suivante:

$$\ln Y_t = \delta + \beta_1 \ln X_t + \beta_2 (\ln X_t)^2 + \beta_3 (\ln X_t)^3 + \varepsilon_t \quad (\text{IV.13})$$

Où \ln indique le logarithme naturel, Y est un indicateur de dégradation environnementale, X dénote le revenu, ε_t et δ sont respectivement le terme d'erreur stochastique et la constante. La forme fonctionnelle de la CEK est déterminée par β_1 , β_2 et β_3 qui ne dépendent pas ni d'effets fixes ni d'effets temporelles :

Tableau IV.1. Les différentes formes de la CEK

| | Signe des coefficients | Forme de la CEK |
|---|--|---|
| 1 | $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ | un modèle plat ou aucun rapport entre x et y, |
| 2 | $\beta_1 > 0$ et $\beta_2 = \beta_3 = 0$ | une relation monotone croissante, |
| 3 | $\beta_1 < 0$ et $\beta_2 = \beta_3 = 0$ | une relation monotone décroissante, |
| 4 | $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$ et $\beta_3 = 0$ | une relation en U inversé entre x et y, |
| 5 | $\beta_1 < 0$, $\beta_2 > 0$ et $\beta_3 = 0$ | une relation en U, |
| 6 | $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$ et $\beta_3 > 0$ | une polynomiale cubique ou relation en N, |
| 7 | $\beta_1 > 0$, $\beta_2 > 0$ et $\beta_3 < 0$ | une relation en N inversé. |

Source : Ben abdallah et al (2013).

¹⁷² Les régulations sont l'ensemble des mesures, des politiques et des règlements qui ont pour objectif de lutter contre la pollution.

Pour le 4^{ème} cas, le point de retournement caractérisant la fin de la première phase de la CEK et le début de la seconde doit vérifier la condition suivante :

$$\delta y / \delta x = 0$$

Cette valeur est donnée par :

$$x^* = \exp\left(-\frac{\beta_1}{2\beta_2}\right)$$

Pour le 6^{ème} cas, les deux points de retournement sont atteints pour :

$$\delta^2 y / \delta^2 x = 0$$

Ils correspondent aux valeurs des revenus, nécessairement positives, suivantes :

$$x_1^* = \exp\left(\frac{-2\beta_2 - \sqrt{4\beta_2^2 - 12\beta_1\beta_3}}{6\beta_3}\right)$$

et

$$x_2^* = \exp\left(\frac{-2\beta_2 + \sqrt{4\beta_2^2 - 12\beta_1\beta_3}}{6\beta_3}\right).$$

La structure de l'équation générale du modèle CEK pose deux problèmes économétriques, à savoir le degré de l'équation et la sélection des variables explicatives supplémentaires. Concernant le choix du degré de l'équation, certains auteurs prennent en considération uniquement une équation cubique du revenu (Grossman et Krueger, 1991 ; Harbaugh et al., 2002 ; Mozumder et al., 2006), alors que d'autres utilisent une équation quadratique (Selden et Song, 1994 ; Holtz-Heakin et Selden, 1995 ; Koop et Tole, 1999 ; Stern et Common, 2001).

Le recours à la première spécification a l'avantage de tester la significativité du cube du revenu et donc l'hypothèse d'une relation en N. S'il est significatif, l'estimation d'une équation cubique est acceptée. Sinon, la relation quadratique sera estimée. L'ajout d'autres variables explicatives contribue à l'amélioration de la modélisation et à tester leurs impacts sur la relation croissance-environnement, à condition qu'elles soient vérifiées sur le plan économique.

c) Étude rétrospective sur l'application de CEK dans le secteur de transport

Dans la littérature, plusieurs études ont testé la relation croissance-environnement en utilisant le modèle CEK (Panayotou, 1997; De Bruyn et al., 1998; Roca et al., 2001; Hung et Shaw, 2002; Coondoo et Dinda, 2002 ; Friedl et Getzer, 2003 ; Perman et Stern, 2003 ; Wagner, 2008 ; Ghosh, 2010; Shahbaz et al., 2012; Shahbaz et al., 2013).

Pour le cas de la Tunisie, la contribution de Fodha et Zaghdoud (2010) est singulière. Ils étudient la relation entre la croissance économique et les émissions polluantes durant la période 1961-2004 en se basant sur l'hypothèse CEK, à travers l'utilisation de la technique économétrique de série temporelle et l'analyse de cointégration. Le dioxyde de carbone (CO₂) et le dioxyde de soufre (SO₂) sont utilisés comme des indicateurs d'environnement et le PIB comme un indicateur économique. Cette étude empirique infirme l'hypothèse de la CEK en distinguant une relation en N inversé entre l'émission SO₂ et le PIB et une relation en N entre CO₂ et le PIB, avec deux points de retournement de l'ordre 1200 \$ et 3700 \$ (prix constants de 2000). Cependant, les études portant explicitement sur l'hypothèse de CEK dans le domaine de transport sont extrêmement rares, en raison de la faible disponibilité de données sur les émissions de polluants en milieu urbain.

Cole et al (1997) confirment l'hypothèse de CEK entre le revenu par tête et la pollution atmosphérique due au secteur de transport pour les pays européens Durant la période 1970-1992.

La contribution de Kahn (1998) consiste à tester la CEK urbaine pour les émissions d'hydrocarbures par les automobiles à partir de données individuelles à Californie. Il confirme l'hypothèse d'une relation en U inversé expliquée principalement par deux effets contradictoires : si d'un côté les ménages riches possèdent des véhicules plus récents, mieux entretenus, et donc moins polluants, de l'autre leurs véhicules sont généralement plus puissants et davantage consommateurs d'énergie. Kahn suppose, pour expliquer la CEK, qu'à partir d'un certain niveau de revenu, le premier effet l'emporte sur le second. Cet apport reste toutefois limité, car la diversité des comportements (choix du mode de transport, distances parcourues, nombre de déplacements, etc.) est complètement obérée alors qu'elle constitue un déterminant essentiel des émissions de polluants. Pour aller plus en détail, Kahn (2006) a refait le travail en analysant les émissions d'hydrocarbures des ménages par tranche de revenu aux États-Unis.

Hilton et Levinson (1998) ont démontré la validité de modèle CEK pour les deux variables de croissance économique et les émissions de plomb dus au secteur de transport pour 48 pays et pour 20 années.

De même, durant la période 1980-1995, Tanishita et Miyoshi (2007) impliquent que la relation entre l'intensité énergétique aussi bien de transport privé que public et le PIB par habitant vérifie l'hypothèse fondamentale de CEK, suggérant l'existence d'une relation de U inverse.

Concernant le secteur de transport routier, on distingue récemment deux études portant sur la vérification de l'hypothèse de CEK. La première d'Ubaidillah (2011) porte sur l'estimation de la courbe CEK entre les émissions de CO₂ dues au transport routier par habitant et le PIB par habitant pour le cas de la grande Bretagne durant la période 1970-2008. Les résultats confirment les fondements de la CEK. A l'encore, la seconde étude de Ben abdallah et al. (2013) infirme l'hypothèse de CEK avec la même spécification précédente, mais pour le cas de la Tunisie durant la période 1980-2010.

Section 2 : Validation empirique en Tunisie : approche par l'analyse causale et le modèle CEK

Dans cette section, notre objectif est double. Le premier objectif consiste à étudier les interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie, déjà définis dans le chapitre précédent, en utilisant l'approche de causalité et de la courbe CEK. Le second objectif vise à alimenter les réflexions autour des retombées de la prise en compte de l'informalité de transport et de l'introduction d'autres variables de contrôle sur les résultats des estimations. Afin d'atteindre ces objectifs, ce travail empirique distingue deux spécifications :

- *Le première spécification* concerne les variables suivantes : la valeur ajoutée par habitant du secteur du transport (VATH), la consommation de carburant routier par habitant (CCARH), l'émission de CO₂ par habitant du secteur du transport (CO₂T), et deux variables de contrôle à savoir l'infrastructure routière par habitant (INFRAH) et le prix moyen de carburant (PCAR).

- *La seconde spécification* consiste à enrichir la précédente spécification selon deux axes d’approfondissement. Le premier consiste en une actualisation et une vérification de l’exactitude des résultats acquis tout en substituant la valeur ajoutée réelle de secteur de transport (VATRH) à la VATH. Le second axe de cet approfondissement consiste dans la prise en compte du phénomène social de motorisation tout en introduisant une troisième variable de contrôle, tel que le taux de motorisation (MOT).

I. Description des données et exposition des hypothèses

L’exercice de modélisation des interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie nécessite au préalable une analyse préliminaire qui tend à étudier les caractéristiques et propriétés statistiques des données d’une part, et à définir les hypothèses à vérifier de l’autre part.

1. Caractéristiques et propriétés statistiques des données

Notre étude empirique est effectuée en utilisant des données temporelles sur la période 1980-2010. Les sources, les unités et l’analyse conjoncturelle des données ont été détaillées dans le chapitre précédent. Pour des raisons d’échelle, nous utilisons le logarithme naturel de variables utilisées (Chang et al., 2001). Le tableau IV.2 présente les statistiques descriptives de différentes variables utilisées dans les deux spécifications:

Tableau IV.2. Statistiques descriptives des données de l’étude.

| Variables | Description des variables | Minimum | Maximum | Moyenne | Écart type |
|--------------------|--|---------|---------|---------|------------|
| VATH | Valeur ajoutée du secteur du transport par habitant | 45,09 | 371,56 | 117,03 | 110,58 |
| VATRH | Valeur ajoutée réelle du secteur du transport par habitant | 658,501 | 964,843 | 769,407 | 96,833 |
| CCARH | Consommation de carburant routier par habitant | 80,513 | 151,098 | 116,60 | 26,153 |
| CO ₂ TH | CO ₂ dus au secteur du transport par habitant | 0,274 | 0,469 | 0,363 | 0,068 |
| INFRAH | Infrastructure routière par habitant | 1702,11 | 2975,10 | 2333,23 | 384,20 |
| PCARB | Prix moyen de carburant routier | 0,205 | 1,400 | 0,628 | 0,316 |
| MOT | Taux de motorisation | 18,608 | 75,12 | 44,753 | 18,285 |
| Observations | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

L'analyse de l'existence d'une relation de long terme en utilisant le test de cointégration entre les variables considérées n'est envisageable que lorsque les différentes séries annuelles sont intégrées du même ordre. Ainsi, avant de passer au traitement économétrique des variables, il convient de s'assurer de la propriété de stationnarité. L'inspection graphique de la figure IV.4 montre que ces variables présentent des évolutions de long terme semblables et sont caractérisées par une tendance générale à la hausse, sauf la variable d'infrastructure. Cela semble traduire qu'il peut exister une relation d'équilibre ou de cointégration.

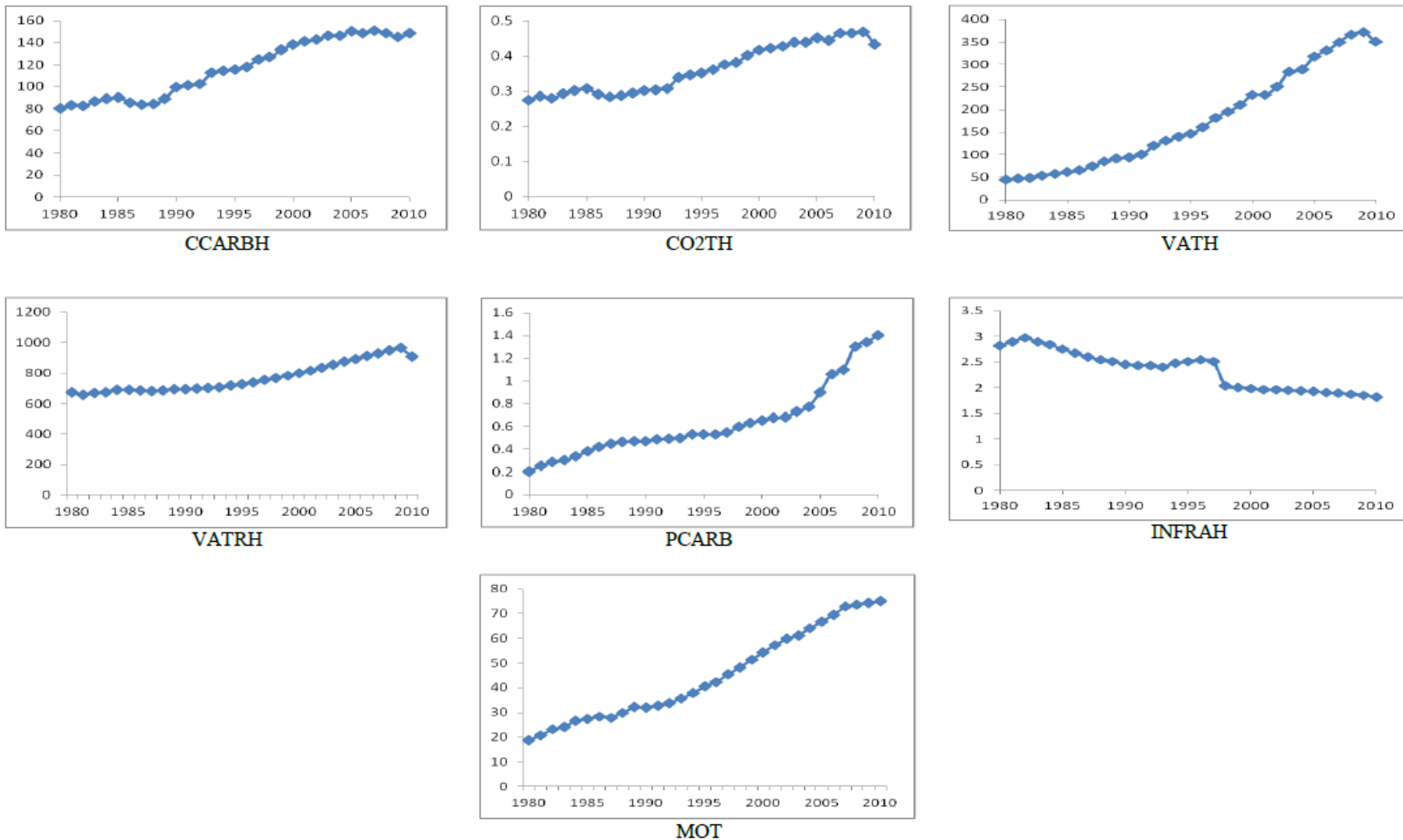


Figure IV.4. Évolution des séries au cours de la période 1980-2010.

Source : Élaboration de l'auteur

Dans le même sens d'analyse, les séries annuelles sont analysées au travers de l'application de tests statistiques de Dickey-Fuller augmenté (1981) (ADF) et de Phillips-Perron (1988) (PP)¹⁷³. Le tableau IV.3 expose les résultats de tests de ces deux tests.

Tableau IV.3. Résultats des tests de racine unitaire

| Variables | ADF | | PP | |
|------------------------|-----------|------------------------|-----------|------------------------|
| | En niveau | En différence première | En niveau | En différence première |
| LNCCARH | -0,999 | -4,356 | -0,999 | -4,371 |
| LNVATH | -1,739 | -3,807 | -1,77 | -3,807 |
| LNVATRH | -1,007 | -3,547 | -1,183 | -3,688 |
| LNCO ₂ TH | -0,942 | -4,106 | -0,942 | -4,154 |
| LNINFRAH | -0,004 | -4,650 | -0,025 | -4,566 |
| LNMT | -2,334 | -4,488 | -2,132 | -4,456 |
| LNPCARB | -1,016 | -4,145 | -0,951 | -4,156 |
| Valeurs critiques à 5% | -2,963 | -2,967 | -2,963 | -2,967 |

Note: Notez que seulement la constante est incluse dans les tests.

L'ensemble des variables sont stationnaires en différence première au seuil de 5%. Nous pouvons alors conclure qu'elles sont intégrées d'ordre un (I(1)), ce qui donne la deuxième appréciation de l'existence d'une relation de cointégration.

2. Cadrage hypothétique

A travers l'estimation des résultats empiriques de deux spécifications, nous cherchons à tester les hypothèses ci-dessous :

H₁ : La relation causale entre croissance économique et consommation de carburant cherche à montrer le rôle stimulant ou limitatif du carburant dans la croissance économique du secteur du transport. Quatre relations sont possibles, et chacune implique une politique spécifique quant à la gestion de la consommation de carburant:

- **H_{1.1}**. *L'hypothèse de neutralité* implique l'absence d'une causalité entre les deux indicateurs en question. La consommation de carburant n'est qu'une infime partie des composantes de la production et que son effet sur la valeur ajoutée de secteur de transport est faible ou nul. Les implications politiques de l'hypothèse de neutralité est que les politiques de conservation de carburant, tels que l'amélioration de l'efficacité énergétique et les politiques de gestion de la demande conçues pour réduire la consommation du carburant ne devraient

¹⁷³ Le test ADF prend en compte uniquement la présence d'autocorrélation dans les séries, alors que le test PP considère en plus l'hypothèse de présence d'une dimension hétéroscédastique.

pas avoir un impact négatif sur la valeur ajoutée du secteur de transport et peuvent servir à atténuer les externalités négatives imposées sur l'environnement par des émissions à effet de serre.

- **H_{1.2}.** *L'hypothèse de croissance* implique une relation de causalité unidirectionnelle allant de la consommation du carburant par habitant à la valeur ajoutée par habitant, suggérant ainsi que le carburant est un facteur de production comme le capital et le travail. Cette hypothèse affirme la dépendance entre croissance économique et consommation énergétique dans le secteur de transport, et que les restrictions sur l'utilisation de carburant peuvent de manière significative entraver la croissance économique. Dans ce cas, l'énergie peut être un facteur limitatif à la croissance économique (Belloumi, 2009).
- **H_{1.3}.** *L'hypothèse de conservation* implique une relation de causalité unidirectionnelle allant de la valeur ajoutée par habitant à la consommation du carburant par habitant. Cette hypothèse de conservation implique qu'une politique de conservation de la consommation du carburant n'a pas d'effets négatifs sur la valeur ajoutée.
- **H_{1.4}.** *L'hypothèse de rétroactivité* implique une relation de causalité bidirectionnelle entre la consommation du carburant et la valeur ajoutée.

H₂ : L'hypothèse de la relation causale entre la consommation de carburant et le poids des émissions de CO₂ :

- **H_{2.1}.** La consommation du carburant cause matériellement (lien matériel) les émissions de CO₂ dans le secteur de transport.
- **H_{2.2}.** La relation bidirectionnelle entre la consommation de carburant et les émissions de CO₂ dans le secteur de transport s'explique aussi par un lien matériel (le premier sens de causalité) et un lien intentionnel (le second sens de causalité) résidant dans la non conscience environnementale des agents et l'absence de politiques de régulation environnementale.

H₃ : L'hypothèse de la CEK stipulant l'existence d'une relation en cloche entre la valeur ajoutée par habitant et les émissions de CO₂ dans le secteur de transport.

H₄ : L'hypothèse récemment discutée de couplage entre l'infrastructure de transport et la consommation énergétique :

- **H_{4.1}.** L'infrastructure routière stimule la consommation énergétique.

- **H_{4.2}**. L'augmentation de la consommation du carburant pousse vers l'investissement dans des projets l'infrastructure routière comme un instrument d'internalisation des externalités négatives.
- **H_{4.3}**. L'infrastructure routière est la cause et le résultat de phénomène de la consommation énergétique. Elle définit le cadre favorable pour l'augmentation de la consommation du carburant dans le secteur du transport routier et cherche de s'adapter à son retour en cas d'une consommation excessive.

H₅ : L'hypothèse de couplage entre demande de transport privé et consommation de carburant :

- **H_{5.1}**. Le parc de la voiture particulière constitue l'équipement de base et cause matériellement la consommation du carburant dans le secteur du transport routier. Cependant, l'augmentation de la motorisation ne se traduit pas systématiquement par une croissance corrélative de la consommation du carburant, vu que la mobilité peut être influencée par l'intermédiaire des distances parcourues et du taux d'utilisation des véhicules.
- **H_{5.2}**. Le non conscience des externalités négatives de la consommation de carburant routier en présence d'une politique de prix favorable cause une volonté de s'équiper en plus d'une voiture et ainsi une motorisation accrue.

H₆: L'hypothèse économique classique (la loi de demande) de l'effet de prix sur la demande de carburant:

- **H_{6.1}**. Un prix du carburant non adapté est en faveur d'une consommation du carburant dans le secteur du transport routier plus élevée.
- **H_{6.2}**. Une consommation excessive nécessite un ajustement du prix du carburant comme un moyen d'atténuation.
- **H_{6.3}**. Le PCARB est la cause et le résultat de processus de la consommation.

H₇ : L'hypothèse de cercle vicieux de l'automobile suggérant l'existence d'une boucle causale entre la motorisation, la longueur d'infrastructure routière et les émissions de CO₂ dans le secteur de transport.

H₈ : L'hypothèse de phénomène de couplage entre l'infrastructure de transport et la croissance économique :

- **H_{8.1}**. L'infrastructure est un facteur de développement en induisant la croissance économique du secteur du transport en termes de création de la valeur ajoutée.

- **H_{8.2}**. La valeur ajoutée contribue à la consolidation et l'extension de l'infrastructure routière.
- **H_{8.3}**. L'infrastructure est la cause et le résultat de croissance économique de secteur de transport.

H₉ : L'hypothèse de phénomène de couplage entre motorisation et la croissance économique :

- **H_{9.1}**. La motorisation stimule la création de la valeur ajoutée dans le secteur du transport routier. La mobilité privée conditionne les gains de productivité et constitue un facteur important de la croissance économique.
- **H_{9.2}**. Une part importante de la valeur ajoutée dans le secteur du transport routier est imputable à la consolidation et l'extension du parc de véhicules routiers.
- **H_{9.3}**. La motorisation (phénomène socio-économique) est la cause et le résultat de la croissance économique de secteur de transport (phénomène économique).

H₁₀: L'hypothèse de rôle de prix de carburant comme un instrument de régulation environnementale en termes de réduction de polluants :

- **H_{10.1}**. Les distorsions de prix du carburant impliquent la dégradation environnementale.
- **H_{10.2}**. L'internalisation de l'externalité de pollution atmosphérique en termes des émissions de CO₂ passe par l'ajustement à la hausse de prix du carburant.
- **H_{10.3}**. Une boucle rétroactive entre le prix du carburant et les émissions de CO₂ dans le secteur de transport digne de l'interdépendance entre la politique fiscale et la politique environnementale.

H₁₁ : Le prix du carburant constitue un facteur explicatif de phénomène de la motorisation :

- **H_{11.1}**. Un prix du carburant non adapté stimule la demande de transport privé en termes de kilométrage parcourus et d'équipement en voiture particulière.
- **H_{11.2}**. Un taux élevé de motorisation fait revoir la formation de prix du carburant dans un objectif limitatif de parc de la voiture particulière.
- **H_{11.3}**. Une adaptation en permanence entre la politique de transport privé et la politique fiscale.

II. Les résultats d'estimation de la 1^{ère} spécification

Souvent le choix de nombre de retard optimal du modèle VAR est arbitraire tout en prenant en considération à ce que le retard soit suffisamment long pour que les erreurs soient stochastiques et des bruits blancs. Cependant, si le retard est trop long, il y a risque de perte de degré de liberté et donc de la précision des estimations. La pratique usuelle est de choisir un retard minimisant les critères d'information d'Akaike (AIC) (Akaike, 1974) et de Bayésien de Schwarz (SC) (Schwarz, 1978). Les résultats de tableau IV.4 montrent une contradiction entre ces deux critères d'information. Le critère d'AIC conduit à un retard optimal $p^* = 3$, tandis que le critère SC conduit à un retard optimal $p^* = 1$. Selon le principe de parcimonie, le choix de modèle incluant le minimum de retards est conseillé. Nous choisirons donc $p^* = 1$.

Tableau IV.4. Sélection du nombre de retard du modèle VAR (première spécification)

| | VAR(1) | VAR(2) | VAR(3) |
|---------------------------------------|----------|---------|----------|
| Critère d'information d'Akaike (AIC) | -19,322 | -19,387 | -20,130* |
| Critère d'information de Schwarz (SC) | -17,895* | -16,770 | -16,323 |

*La plus petite valeur de deux critères.

L'étape suivante est la détermination de nombre de relations de cointégration entre les différentes variables en utilisant l'approche de Johansen (1991)¹⁷⁴, en référence aux tests de la valeur propre maximale (λ -max) et de la trace. Les résultats du test de cointégration rapportés dans le tableau VI.5 montrent qu'il existe **une seule relation de cointégration** entre les différentes variables considérées.

Tableau IV.5. Résultats des tests de cointégration de Johansen (première spécification)

| Valeurs propres | $H_0 : r$ | Trace | λ -max | Valeurs critiques à 5% | |
|-----------------|-----------|--------|----------------|------------------------|----------------|
| | | | | Trace | λ -max |
| 0,697 | 0 | 77,704 | 34,709 | 69,818 | 33,876 |
| 0,515 | 1 | 42,995 | 20,994 | 47,856 | 27,584 |

Note : Nous supposons que les données n'ont pas des tendances déterministes et que les relations de cointégration ont des constantes. Les valeurs critiques pour les statistiques de la valeur propre maximale et de trace sont proposées par Johansen et Juselius (1990). La valeur de r indique le nombre de relation de cointégration. Les deux tests indiquent la présence d'une seule relation de cointégration au seuil de 5%.

¹⁷⁴ Selon Johansen (1991), la détermination de la dimension de l'espace de cointégration se fait par l'estimation d'un modèle autorégressif par la méthode du maximum de vraisemblance. Ceci a double avantages : pouvoir effectuer des tests de restrictions linéaires sur les paramètres du vecteur de cointégration et prendre en compte plusieurs spécifications pour la relation de long terme en testant la présence ou non d'une tendance/constante dans l'espace de cointégration.

En effet, l'hypothèse nulle ($r = 0$) pour les deux tests est rejetée au seuil de 5%, puisque les valeurs de ces deux statistiques (77,704) pour la statistique de la trace et (34,709) pour la statistique de la valeur propre maximale sont supérieures aux valeurs critiques qui leur sont associées (69,818 et 33,876 respectivement). Par contre, l'hypothèse nulle $r \leq 1$ (pour le test de la trace) ou $r = 1$ (pour le test de la valeur propre maximale) ne peut être rejetée au seuil de 5% car les deux statistiques de trace et de la valeur propre maximale sont inférieures aux valeurs critiques associées. Donc, les deux tests de cointégration de Johansen confirment la présence d'une seule relation de cointégration. Cependant, cette dernière signale l'existence de relations causales, mais sans indiquer leurs sens de causalité. Pour cette finalité, puisque les séries sont cointégrées avec le même ordre d'intégration, nous utilisons le modèle vectoriel à correction d'erreurs ¹⁷⁵ afin de déterminer la direction de causalité au sens du Granger à court et à long terme entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie.

Analytiquement, le VECM peut s'écrire comme suit :

$$\begin{aligned}
\Delta Y_t &= \beta_{10} + \sum_1^{K11} \beta_{11i} \Delta Y_{t-i} + \sum_1^{K12} \beta_{12j} \Delta X_{t-j} + \sum_1^{K13} \beta_{13r} \Delta Z_{t-r} + \sum_1^{K14} \beta_{14n} \Delta U_{t-n} + \sum_1^{K15} \beta_{15m} \Delta V_{t-m} + \beta_{16} ECT_{t-1} + \mu_{1t} \\
\Delta X_t &= \beta_{20} + \sum_1^{K21} \beta_{21i} \Delta X_{t-i} + \sum_1^{K22} \beta_{22j} \Delta Y_{t-j} + \sum_1^{K23} \beta_{23r} \Delta Z_{t-r} + \sum_1^{K24} \beta_{24n} \Delta U_{t-n} + \sum_1^{K25} \beta_{25m} \Delta V_{t-m} + \beta_{26} ECT_{t-1} + \mu_{2t} \\
\Delta Z_t &= \beta_{30} + \sum_1^{K31} \beta_{31i} \Delta X_{t-i} + \sum_1^{K32} \beta_{32j} \Delta Y_{t-j} + \sum_1^{K33} \beta_{33r} \Delta Z_{t-r} + \sum_1^{K34} \beta_{34n} \Delta U_{t-n} + \sum_1^{K35} \beta_{35m} \Delta V_{t-m} + \beta_{36} ECT_{t-1} + \mu_{3t} \\
\Delta U_t &= \beta_{40} + \sum_1^{K41} \beta_{41i} \Delta X_{t-i} + \sum_1^{K42} \beta_{42j} \Delta Y_{t-j} + \sum_1^{K43} \beta_{43r} \Delta Z_{t-r} + \sum_1^{K44} \beta_{44m} \Delta V_{t-m} + \sum_1^{K45} \beta_{45n} \Delta U_{t-n} + \beta_{46} ECT_{t-1} + \mu_{4t} \\
\Delta V_t &= \beta_{50} + \sum_1^{K51} \beta_{51i} \Delta X_{t-i} + \sum_1^{K52} \beta_{52j} \Delta Y_{t-j} + \sum_1^{K53} \beta_{53r} \Delta Z_{t-r} + \sum_1^{K54} \beta_{54m} \Delta V_{t-m} + \sum_1^{K55} \beta_{55n} \Delta U_{t-n} + \beta_{56} ECT_{t-1} + \mu_{5t}
\end{aligned}
\tag{IV.14}$$

Où Y_t , X_t , Z_t , U_t , V_t and μ_t représentent respectivement le logarithme naturel de VATH, CCARBH, CO₂TH, INFRAH, PCARB et le terme d'erreur suivant un bruit blanc

¹⁷⁵ Lorsque les séries ne sont pas cointégrées, la possibilité d'utiliser un VECM est rejetée et on fait recours au modèle VAR (Vector Auto Regressive) qui peut suggérer une relation à court terme entre les variables. En outre, le VECM est un modèle dynamique dans lequel le mouvement des variables en toute période est lié à l'écart de la période précédente vis-à-vis de l'équilibre à long terme. Le théorème de représentation d'Engle-Granger implique que si les séries sont cointégrées, elles seront représentées de la façon la plus efficiente par une spécification de correction d'erreurs. Le VECM peut donc distinguer la relation à long et à court terme entre les variables et peut identifier les sources de la causalité qui ne peuvent pas être détectés par le test habituel de causalité de Granger.

gaussien. En outre, Δ et ECT_{t-1} sont respectivement l'opérateur de différence et le terme de correction d'erreur retardé. La significativité des coefficients des variables explicatives (β_i) est mentionnée comme la présence d'une causalité à court terme.

Cependant, avant d'appliquer les tests de causalité de Granger, il faut s'assurer de la robustesse du VECM, à travers le recours à une batterie de tests économétriques de la normalité des résidus de Jarque-Bera, d'auto-corrélation de Portmanteau et de Breusch-Godfrey (test de LM) et le test d'homoscédasticité de White. Les résultats sont résumés dans le tableau IV.6.

Tableau IV.6. Résultats des tests sur les résidus (première spécification)

| Normalité des résidus | | | | | | |
|---------------------------------|---------------------|--------------|--------------|-------------------------|--------------|-------|
| | Équation (1) | Équation (2) | Équation (3) | Équation (4) | Équation (5) | Joint |
| Jarque-Bera | 3,30 | 3,98 | 10,12 | 2,99 | 2,49 | 8,27 |
| Probabilité | 0,95 | 0,23 | 0,30 | 0,84 | 0,58 | 0,14 |
| Autocorrélation d'ordre 12 | | | | | | |
| | LM statistique | | | Portmanteau statistique | | |
| Statistique | 20,74 | | | 229,52 | | |
| Probabilité | 0,70 | | | 0,99 | | |
| Homoscédasticité: Test de White | | | | | | |
| | Sans termes croisés | | | Avec termes croisés | | |
| Statistique | 196,40 | | | 420,42 | | |
| Probabilité | 0,19 | | | 0,28 | | |

Les résultats montrent que les résidus du modèle sont non autocorrélés, homoscédastiques, et suivent une loi normale. Autrement dit, **les résidus sont un bruit blanc gaussien**. En effet, les statistiques de test de normalité des résidus de Jarque-Bera et de test joint indiquent que nous acceptons l'hypothèse nulle de la normalité des résidus. En outre, les tests d'autocorrélation (Portmanteau et LM) et celui d'hétéroscédasticité (Test de White) montrent que nous acceptons les hypothèses nulles de la non corrélation des séries jusqu'au nombre de retard de 12, et que nous acceptons l'hypothèse nulle du non hétéroscédasticité à un niveau de confiance de 5%.

Le tableau ci-dessous (IV.7) présente les résultats¹⁷⁶ des tests de causalité de Granger tout en se basant sur l'estimation du VECM. On s'intéresse aux doubles tests de causalité à

¹⁷⁶ Tous les résultats sont trouvés en utilisant le logiciel Eviews 7.

court et long termes. Pour la causalité de court terme, il suffit de tester la nullité des paramètres liés aux variables explicatives dans chaque équation du VECM en utilisant le test Wald, alors que la causalité de long terme est déterminée par la significativité des coefficients des termes à correction d'erreurs dans chacune des équations de VECM en utilisant le test de Student.

Tableau IV.7. Résultats des tests de causalité

| Variable dépendante | Causalité de court terme | | | | | Causalité de long terme |
|---------------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------|
| | Δy_t | Δx_t | Δz_t | Δu_t | Δv_t | ECT |
| Δy_t | - | 0,129(0,718) | 0,319(0,572) | 0,133 (0,715) | 0,163(0,685) | -0,493[-2,074] |
| Δx_t | 0,014(0,902) | - | 0,487(0,485) | 0,066 (0,796) | 2,568(0,109) | -0,363[-2,325] |
| Δz_t | 0,505(0,477) | 0,265 (0,606) | - | 0,014(0,905) | 0,0001(0,991) | -0,327[-1,927] |
| Δu_t | 6,641(0,010) | 4,319(0,037) | 5,383(0,020) | - | 2,681(0,101) | -0,694[-3,288] |
| Δv_t | 1,012(0,314) | 0,741(0,389) | 0,0001(0,990) | 0,334(0,563) | - | 0,532[2,139] |

Note: Les chiffres entre crochets sont les statistiques du test de Student, tandis que ceux entre parenthèses sont des p -values.

Les résultats de l'estimation du VECM montrent que les coefficients des termes à correction d'erreurs ont des signes négatifs et sont statistiquement significatifs à 5% dans les quatre premières équations. Les coefficients de l'ECT sont interprétés comme étant la vitesse d'ajustement qui mesure la vitesse par laquelle une variable revient au niveau d'équilibre de long terme. Ceci implique qu'il y a une causalité bidirectionnelle (effet feedback) à long terme entre les indicateurs relatifs à la valeur ajoutée du secteur de transport par habitant, les émissions des CO₂ du secteur de transport par habitant, la longueur d'infrastructure routière par habitant et la consommation du carburant dans le secteur de transport routier par habitant. Au seuil de confiance de 5%, les résultats de test de causalité de Granger de court terme montrent **une double causalité unidirectionnelle allant de prix moyen du carburant vers la consommation du carburant dans le secteur de transport routier par habitant et la longueur d'infrastructure routière par habitant, une causalité unidirectionnelle d'émissions des CO₂ du secteur de transport par habitant vers la longueur d'infrastructure routière par habitant, de la valeur ajoutée du secteur de transport par habitant vers la longueur d'infrastructure routière par habitant et de la consommation du carburant dans le secteur de transport routier par habitant vers la longueur**

d'infrastructure routière par habitant, avec une absence notable de causalité de court terme entre la consommation du carburant dans le secteur de transport routier par habitant et la valeur ajoutée du secteur de transport par habitant.

A titre d'illustration, la figure IV.5 schématise les différentes relations causales issues de la première spécification, entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie durant la période 1980-2010 :

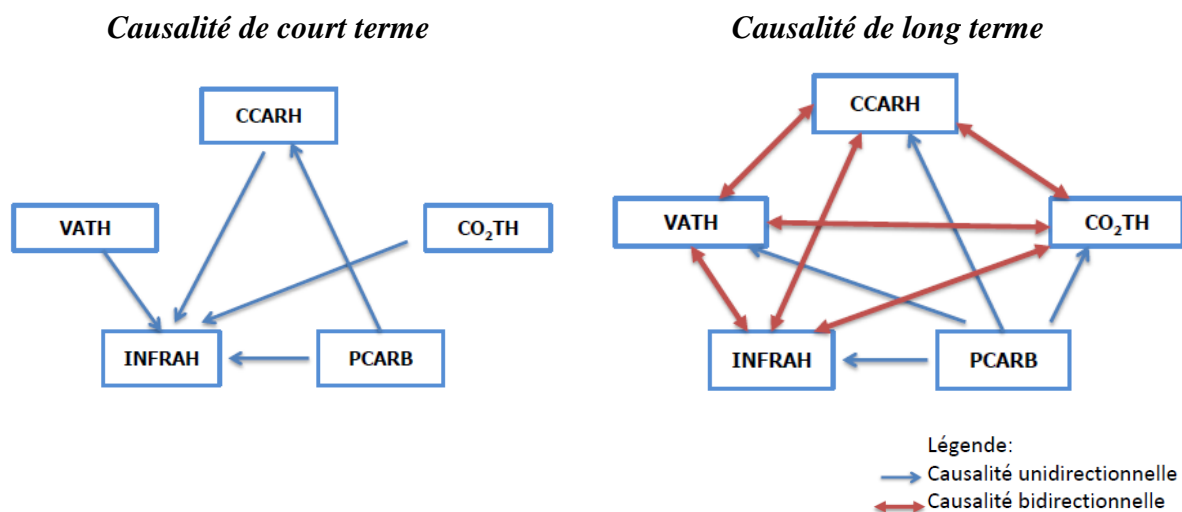


Figure IV.5. Dynamique des interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie selon la 1^{ère} spécification (1980-2010)

Source : Élaboration de l'auteur

Afin de compléter l'interprétation des résultats de l'estimation du modèle VECM, Nous nous intéresserons essentiellement à la relation entre CO₂TH et VATH, en cherchant à tester l'hypothèse de modèle CEK. Les deux variables sont intégrées et cointégrées.

Analytiquement, le modèle CEK peut s'écrire comme suit :

$$\ln CO2TH_t = \beta_0 + \beta_1 \ln VATH_t + \beta_2 (\ln VATH_t)^2 + \beta_3 (\ln VATH_t)^3 + \varepsilon_t \quad (IV.15)$$

Les résultats d'estimation du modèle (IV.15) sont présentés dans le tableau IV.8¹⁷⁷.

¹⁷⁷ Les estimations économétriques de modèle CEK sont réalisées en utilisant le logiciel STATA.

Tableau IV.8. Résultats d'estimation de CEK

| Coefficients | Spécification cubique |
|--------------|-----------------------|
| β_0 | 24,872(0,000) |
| β_1 | -7,770 (0,001) |
| β_2 | 1,584(0,001) |
| β_3 | -0,102 (0,000) |

Note: les valeurs entre parenthèses représentent les p-values.

En estimant la relation de cointégration à long terme, nous remarquons que la relation entre la valeur ajoutée de secteur de transport et les émissions de CO₂ dus au transport a la forme de N-inversée, puisque $\beta_1 < 0$, $\beta_2 > 0$ et $\beta_3 < 0$.

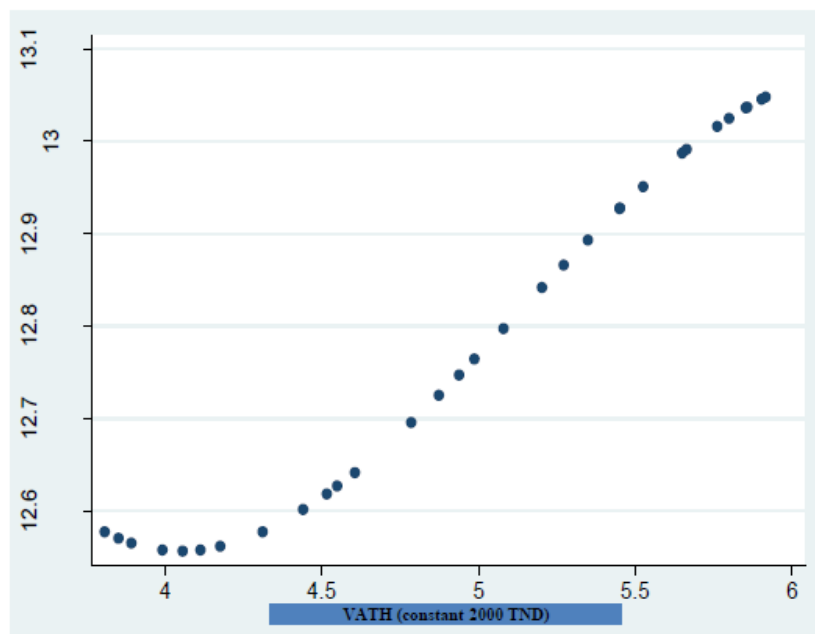


Figure IV.6. CEK dans le secteur de transport selon la 1^{ère} spécification en Tunisie (1980-2010)

Source : Élaboration de l'auteur.

Les deux points de retournement sont égaux respectivement à 74.88 and 578.82 (constant 2000 TND). La relation entre ces deux indicateurs peut être perçue comme croissante monotone puisque le premier point de retournement est très faible alors que le second est situé en dehors de notre période d'étude.

III. Les résultants d'estimation de la 2^{ème} spécification

En remplaçant la VATH par la VATRH (notée y' dans le VECM) et en ajoutant une troisième variable de contrôle MOT (notée w dans le VECM) en appliquant le logarithme

naturel aux différentes variables, les résultats de la détermination de nombre de retard optimal minimisant les critères AIC et SC et l'examen de la présence éventuelle de relations de cointégration entre les différentes variables sont présentés respectivement dans le tableau IV.9 et IV.10.

Tableau IV.9. Sélection du nombre de retard optimal (deuxième spécification)

| | VAR(1) | VAR(2) | VAR(3) |
|----------------|---------|--------|---------|
| Critères d'AIC | -25,79 | -26,26 | -29,12* |
| Critères de SC | -23,79* | -22,55 | -23,69 |

*La plus petite valeur de deux critères.

Nous concluons que les six variables sont intégrées d'ordre 1 (I(1)) et que le nombre de retards à retenir est $p^* = 1$.

Tableau IV.10. Résultats des tests de cointégration de Johansen (deuxième spécification)

| Valeurs propres | $H_0 : r$ | Trace | λ -max | Valeurs critiques à 5% | |
|-----------------|-----------|--------|----------------|------------------------|----------------|
| | | | | Trace | λ -max |
| 0,803 | 0 | 120,53 | 47,160 | 95,753 | 40,077 |
| 0,630 | 1 | 73,369 | 28,885 | 69,818 | 33,876 |
| 0,484 | 2 | 44,483 | 19,191 | 47,856 | 27,584 |

Note : Nous supposons que les données n'ont pas des tendances déterministes et que les relations de cointégration ont des constantes. La statistique de la trace indique deux équations de cointégration au seuil de 5%. La statistique de la valeur propre indique 1 équation de cointégration au seuil de 5%.

Pour voir s'il y a une relation de long terme entre les différentes variables, nous appliquons les tests de cointégration de Johansen (les tests de trace de valeurs propres maximales) avec des valeurs critiques plus récentes de Mackinnon-Haug-Michelis (1999). Le tableau IV.10 montre que le test de trace indique deux équations de cointégration au seuil de 5%, alors que le test de valeurs propres maximales indique la présence d'une seule équation de cointégration au seuil de 5%. Ainsi, les deux tests supportent l'existence d'au moins une relation de cointégration et donc d'une relation de long terme entre les indicateurs considérés.

Comme il est présenté dans le tableau IV.11, les processus des résidus de la 2^{ème} spécification sont un bruit blanc gaussien en se basant sur le test de normalité des résidus (Jarque-Bera), le test d'absence d'autocorrélation (Portmanteau et Breusch-Godfrey) et celui d'hétéroscédasticité (Test de White).

Tableau IV.11. Résultats des tests sur les résidus (deuxième spécification)

| Normalité des résidus | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------|--------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|-------|
| | Équation (1) | Équation (2) | Équation (3) | Équation (4) | Équation (5) | Équation (6) | Joint |
| Jarque-Bera | 2,83 | 2,92 | 3,31 | 13,10 | 3,04 | 5,66 | 5,87 |
| Probabilité | 0,75 | 0,44 | 0,99 | 0,058 | 0,31 | 0,59 | 0,43 |
| Autocorrelation d'ordre 12 | | | | | | | |
| | LM Test | | | Portmanteau Test | | | |
| Statistique | 43,00 | | | 239,88 | | | |
| Probabilité | 0,19 | | | 0,99 | | | |
| Hétéroscédasticité: Test White | | | | | | | |
| | Sans termes croisés | | | Avec termes croisés | | | |
| Statistique | 296,48 | | | 421,26 | | | |
| Probabilité | 0,44 | | | 0,278 | | | |

Les relations de causalité, examinées à l'aide du test de causalité de Granger basé sur le modèle vectoriel à correction d'erreur sont récapitulées dans le tableau IV.12.

Tableau IV.12. Résultats des tests Granger de causalité

| Variable dépendante | Causalité à court terme | | | | | | Causalité à long terme |
|---------------------|-------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|------------------------|
| | Δy_t | Δx_t | Δz_t | Δu_t | Δv_t | Δw_t | ECT |
| Δy_t | - | 0,103(0,748) | 0,508(0,475) | 0,076 (0,781) | 5,172(0,022) | 0,122(0,725) | -0,026[-0,668] |
| Δx_t | 0,114(0,735) | - | 0,620(0,430) | 0,83 (0,362) | 6,757(0,009) | 1,88(0,169) | -0,068[-0,982] |
| Δz_t | 0,173(0,676) | 0,129 (0,719) | - | 0,169(0,68) | 0,272(0,60) | 0,147(0,70) | -0,137[-1,766] |
| Δu_t | 6,881(0,008) | 4,171(0,041) | 5,11(0,023) | - | 4,102(0,042) | 7,333(0,006) | -0,256[-2,590] |
| Δv_t | 3,781(0,051) | 1,375(0,240) | 0,015(0,90) | 0,80(0,369) | - | 3,098(0,078) | 0,312[2,843] |
| Δw_t | 4,529(0,033) | 8,214(0,0042) | 14,05(0,00) | 0,866(0,351) | 10,74(0,001) | - | -0,251[-4,479] |

Note: Les chiffres entre crochets sont les statistiques du test de Student, tandis que ceux entre parenthèses sont des *p*-values.

Les résultats montrent l'absence de relation de causalité entre la consommation du carburant par habitant dans le secteur de transport routier et la valeur ajoutée réelle par habitant de secteur du transport à court et long terme. Nous soulignons aussi l'existence d'une causalité unidirectionnelle allant de la valeur ajoutée réelle par habitant de secteur du transport vers l'intensité des émissions de CO₂ par habitant dans le secteur de transport seulement à long terme. La relation causale entre le prix moyen du carburant routier et la consommation du carburant est vérifiée à court terme.

Les différentes relations causales à court et long terme entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie selon la 2^{ème} spécification (1980-2010) sont résumées dans la figure IV.7:

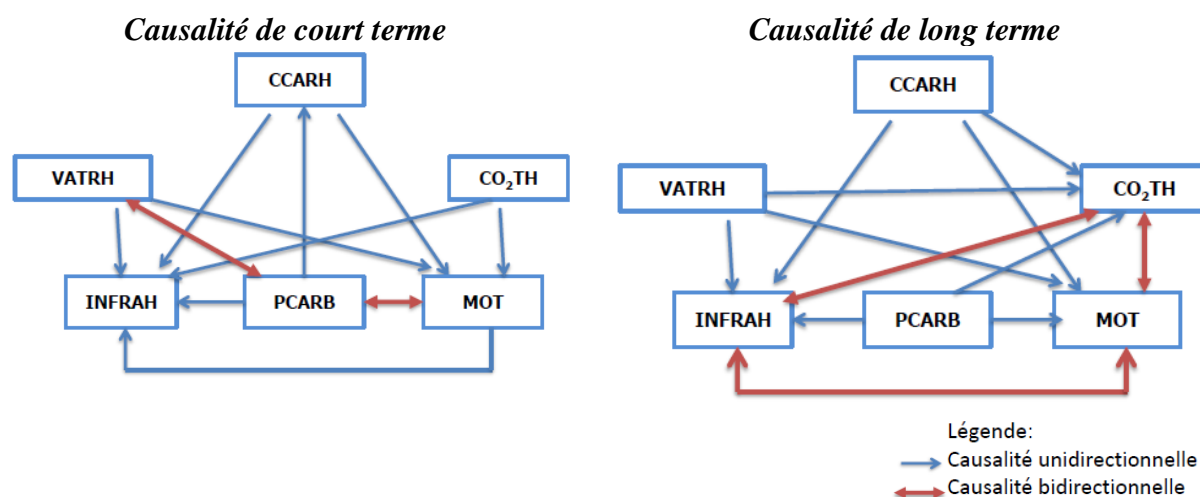


Figure IV.7. Dynamique des interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie selon la 2^{ème} spécification (1980-2010)

Source : Élaboration de l'auteur

Pour une meilleure interprétation des résultats de l'estimation du modèle VECM, nous nous intéresserons essentiellement aux décompositions de la variance des erreurs de prévisions. Cette technique, développée par Koop et al (1996) et Pesaran et Shin (1998), permet de synthétiser le contenu en information de la variance des variables retenues et déterminer les influences mutuelles entre les variables dans le but d'exploiter les propriétés dynamiques du système VECM estimé. Pratiquement, nous formulons la variance de l'erreur de prévision à un horizon h allant de 1 à 10, en fonction de la variance de l'erreur attribuée à chacune des variables. En effectuant le rapport entre chacune de ces variances et la variance totale, nous obtenons son poids relatif en pourcentage.

Les principaux résultats relatifs à l'étude de la décomposition de la variance (tableau 1 de l'annexe du chapitre 4) sont schématisés dans la figure IV.8.

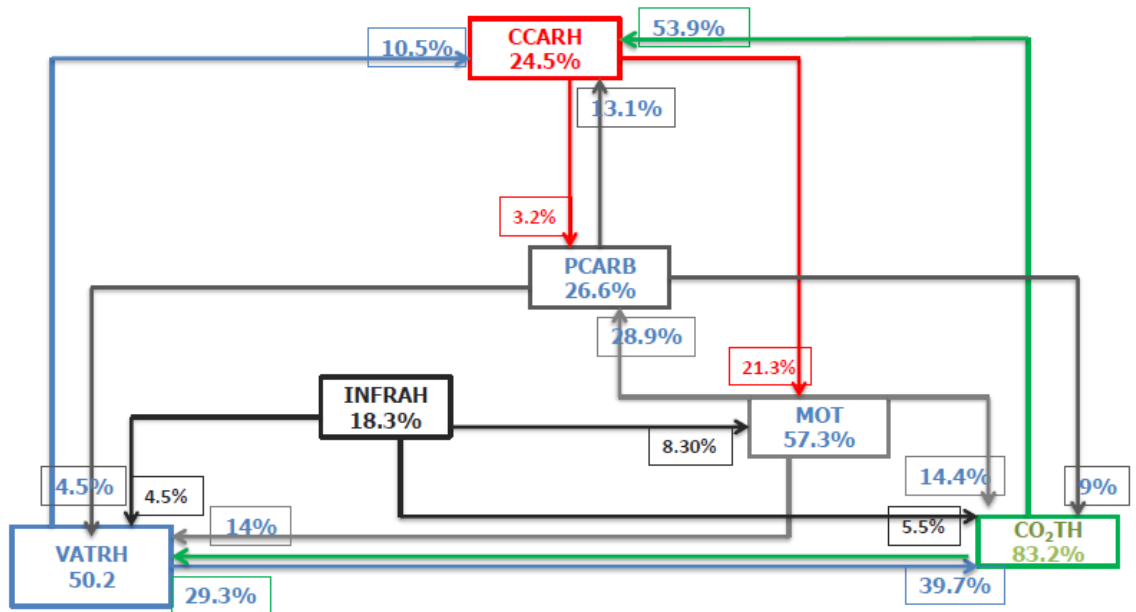


Figure IV.8. Résultats de la décomposition de la variance

Source : Élaboration de l'auteur

À la lecture de ses résultats, nous constatons que la variance de l'erreur de prévision de la consommation du carburant routier est due à 11,9%, à l'horizon dix années, à ses propres innovations, à 53,9 % à celle des émissions de CO₂ dans le transport routier, 13,1% à celle de prix, 10,5% à celle de revenu et 2,8% à celle de l'infrastructure. Ceci implique qu'il est fortement possible d'influencer la consommation de carburant d'une part, et que la croissance économique et l'infrastructure routière ont une influence négligeable sur cette dernière de l'autre part.

La variance de l'erreur de prévision de la valeur ajoutée réelle du transport est due essentiellement à 47%, à l'horizon de dix années, à ses propres innovations, 29,3% à celle des émissions de CO₂ dans le secteur de transport et à 14% à celle de taux de motorisation. En outre, l'analyse de la variance montre que les variations du CO₂TH dépendent à 39,7% des variations de VARTH. Cette double influence entre la VARTH et CO₂TH présume bien l'interdépendance entre la politique économique et la politique environnementale dans le secteur de transport en Tunisie.

Un choc sur le prix de carburant a plus d'impact sur la consommation de carburant (13,1%) et les émissions de CO₂ (9%) que sur la valeur ajoutée de transport (4,5%). A leur tour, la variance de l'erreur de prévision de prix de carburant est due essentiellement à 28,9%,

à l'horizon de dix années, aux innovations de taux de motorisation, ce qui signifie le fait que la politique de la voiture particulière est favorisée par la politique fiscale en Tunisie. Un choc sur la consommation de carburant a un impact majeur sur le taux de motorisation. Ce résultat montre bien évidemment la prépondérance de la consommation de carburant par le transport privé. Cependant, un choc sur la longueur d'infrastructure routière a plus d'impact sur le taux de motorisation (8,3%) que les émissions de CO₂ (5,5%) et la valeur ajoutée réelle de secteur de transport (4,5%). La politique d'urbanisation paraît qu'elle est en faveur de la politique de la voiture particulière.

Pour tester l'hypothèse de CEK, la structure de modèle considérée et la technique économétrique utilisée sont les mêmes que dans la 1^{ère} spécification. La particularité de la 2^{ème} spécification est la prise en compte de la valeur ajoutée informelle de secteur de transport dans l'estimation de la courbe CEK. La relation testée est entre la valeur ajoutée réelle de secteur de transport (VATR_H) et les émissions de CO₂ dans le secteur de transport (CO2_{TH}), transformée en logarithme naturel. Ces deux dernières sont cointégrées selon les tests de la valeur propre maximale (λ -max) et de trace.

Les résultats d'estimation du modèle sont synthétisés dans le tableau IV.13.

Tableau IV.13. Résultats d'estimation de CEK selon la 2^{ème} spécification

| Coefficients | Forme cubique | Forme quadratique |
|--------------|-----------------|-------------------|
| β_0 | -493,88 (0,754) | -179,74 (0,000) |
| β_1 | 197,39 (0,781) | 56,24 (0,000) |
| β_2 | -25,237 (0,842) | -4,102 (0,000) |
| β_3 | 1,054 (0,842) | - |

Note: les valeurs entre parenthèses sont des *p*-values.

La relation entre la VARTH et CO2TH a une forme U inversée, puisque $\beta_1 > 0$ et $\beta_2 < 0$. Elle a donc l'allure illustrée à la figure IV.9.

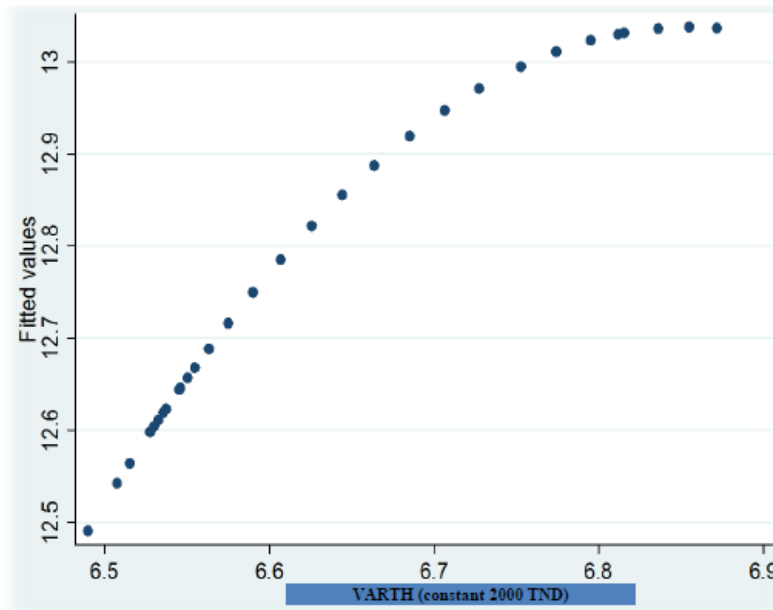


Figure IV.9. CEK dans le secteur de transport selon la 2^{ème} spécification en Tunisie (1980-2010)

Source : Élaboration de l'auteur

Le point de retournement caractérisant la fin de la première phase de la CEK et le début de la seconde, est donné par $\ln VATHR_t = -\beta_1 / 2\beta_2$, d'où $VATHR_t = \exp(-\beta_1 / 2\beta_2)$.

En conséquence, le point de retournement est estimé pour être à $\ln VATHR_t = 6,85$.

Nous pouvons conclure que ce point est atteint depuis l'année 2008. Ce résultat peut être encore vérifié en adoptant la méthodologie employée par Lind et Mehlum (2007) décrivant les propriétés de base d'un CEK. L'idée est que pour confirmer la forme d'un CEK en U-inversé, la courbe exige que sa pente soit positive au début et négative à partir du point de retournement. La satisfaction de cette condition assure que le point extrême est dans la gamme de données.

Analytiquement, cette condition peut être formulée comme suit:

$$\beta_1 + 2\beta_2 \ln VATHR_{\min} \geq 0$$

$$\beta_1 + 2\beta_2 \ln VATHR_{\max} \leq 0$$

Les résultats de ce calcul montrent qu'à $\ln VATHR_{\min}$, la pente de la courbe est 22,789, tandis qu'il est de -0,123 pour $\ln VATHR_{\max}$. En synthèse, les deux conditions sont vérifiées et par conséquent le point de retournement est déjà atteint.

Section 3 : Discussion des résultats et implications politiques

Pour éviter toute confusion et mauvaise interprétation, il faut préciser que notre analyse se base sur la notion de causalité au sens de Granger. Ainsi, si une variable Y cause une variable X, il faut interpréter cette causalité de la manière suivante : Y précède X et donc la première peut être le principal indicateur de la deuxième. Par contre, il se peut que ces deux variables soient déterminées par d'autres variables et donc ne sont pas directement liées. Dans cette section, nous fournissons une discussion des implications possibles de principaux résultats de l'investigation empirique. Le passage de l'interprétation des relations causales capitales à l'analyse des articulations entre la politique énergétique, économique, environnementale et de l'offre de transport routier revêt une importance déterminante pour la définition d'une politique énergétique durable de transport routier en Tunisie.

I. Validation des hypothèses

Le tableau VI.14 récapitule les résultats de deux spécifications, à travers la vérification des hypothèses définies au préalable. Si l'hypothèse est confirmée, on note (+), si non (-). Quoi qu'il en soit, cela aide à mieux visualiser les différentes interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable, et tout particulièrement de mettre en valeur le recours à la 2^{ème} spécification.

Tableau VI.14. Validation des hypothèses de travail

| Hypothèses | 1 ^{ère} spécification | | 2 ^{ème} spécification | |
|------------------|--------------------------------|------------|--------------------------------|------------|
| | Court terme | Long terme | Court terme | Long terme |
| H _{1.1} | + | - | + | + |
| H _{1.2} | - | - | - | - |
| H _{1.3} | - | - | - | - |
| H _{1.4} | - | + | - | - |
| H _{2.1} | - | - | - | + |
| H _{2.2} | - | + | - | - |
| H ₃ | - | | + | |
| H _{4.1} | - | - | - | - |
| H _{4.2} | + | - | + | + |

| | | | | |
|-------------------------|-------------|---|---|---|
| H_{4.3} | - | + | - | - |
| H_{5.1} | Non définie | | - | - |
| H_{5.2} | Non définie | | + | + |
| H_{6.1} | + | + | + | - |
| H_{6.2} | - | - | - | - |
| H_{6.3} | - | - | - | - |
| H₇ | Non définie | | - | + |
| H_{8.1} | - | - | - | - |
| H_{8.2} | + | - | + | + |
| H_{8.3} | - | + | - | - |
| H_{9.1} | Non définie | | - | - |
| H_{9.2} | Non définie | | + | + |
| H_{9.3} | Non définie | | - | - |
| H_{10.1} | - | + | - | + |
| H_{10.2} | - | - | - | - |
| H_{10.3} | - | - | - | - |
| H_{11.1} | Non définie | | - | + |
| H_{11.2} | Non définie | | - | - |
| H_{11.3} | Non définie | | + | - |

Source : Élaboration de l'auteur

Il est important de remarquer la disparité des résultats entre la 1^{ère} et la 2^{ème} spécification, et la stabilité plus grande de résultats de causalité entre le court et le long terme dans la seconde spécification, ce qui vient à l'encontre de la première où nous constatons un changement parfois radical dans le sens de causalité. L'analyse de ce tableau peut se faire du point de vue de la représentation de la relation causale. En effet, on distingue également deux grands types :

- ✓ Les relations causales événementielles¹⁷⁸ ou les « actions causales ».
- ✓ Les relations causales structurelles¹⁷⁹ ou « causalité structurelle ».

¹⁷⁸ Une relation événementielle (action causale) prend souvent la forme approximative suivante : « l'événement x a causé l'événement y » (Searle, 1985)

¹⁷⁹ Son affirmation prend souvent des formes différentes et plus variées. Il dit, par exemple, « tel système produit ou reproduit telle situation », « telle croyance contribue à préserver le statu quo », « telle caractéristique nous permet de comprendre pourquoi les choses se passent de la façon dont elles se passent », etc.

II. Principaux enseignements

A partir de l'analyse comparative des différents résultats de relations causales et de tests de modèle CEK, l'essentiel des acquis relatifs à la modélisation des indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie peut être synthétisé en trois principaux enseignements discutés ci-dessous.

1. Incohérence du triangle énergétique dans le transport routier en Tunisie

Trois principales relations structurelles reliant les trois indicateurs de base, tels la consommation du carburant par habitant, les émissions de CO₂ par habitant et la valeur ajoutée par habitant du secteur de transport (ou la valeur ajoutée réelle) sont au centre de la dynamique des interrelations.

En effet, la relation entre la consommation de carburant routier et la croissance de la valeur ajoutée réelle de secteur est neutre tant sur le court que le long terme (*H1.1 confirmée*), confirmant ainsi l'hypothèse néoclassique de la neutralité qui stipule que l'énergie ne participe pas à la création de la croissance économique (Yu et Jin, 1992). Dans le secteur de transport en Tunisie, la politique « carburant pour la croissance économique de secteur » est loin de toute réalité. Ce résultat contredit les résultats de Ben abdallah et al. (2013) suggérant l'existence d'un feedback entre les deux indicateurs à long terme, mais sans prise en compte de l'aspect informel de secteur de transport.

La relation causale entre la consommation du carburant routier par habitant et les émissions de CO₂ par habitant dans le secteur de transport à long terme montre qu'il y a une relation unidirectionnelle allant de la consommation de carburant routier vers l'émission de CO₂ dans le secteur de transport selon la 2^{ème} spécification. Ce résultat (*H2.1 confirmée*) implique le fait que la consommation excessive de carburant routier affecte la qualité de l'environnement. La consommation de carburant routier en Tunisie dirige les émissions de CO₂ à long terme.

Quant à la relation entre la valeur ajoutée du secteur du transport et les émissions de CO₂, les résultats montrent l'absence de causalité à court terme selon les deux spécifications. Cependant, à long terme, elle est bidirectionnelle selon la 1^{ère} spécification (un tel mouvement de croissance économique ou de croissance de l'émission de CO₂ dans le secteur de transport agira sur l'autre) et unidirectionnelle allant de la valeur ajoutée réelle par habitant du secteur

de transport vers les émissions de CO₂ par habitant dans le secteur de transport selon la seconde spécification (la croissance économique de secteur guide la croissance des émissions de CO₂). L'exploration du lien croissance économique-dégradation environnementale dans le secteur de transport en Tunisie en testant le modèle CEK confirme l'hypothèse de CEK (*H₃ confirmée*) dans la 2^{ème} spécification, stipulant ainsi une relation en cloche entre l'indicateur économique de transport compétitif (VARTH) et l'indicateur environnementale de transport propre (CO2TH). Cependant, les résultats d'estimation montrent que la nature de cette direction a changé depuis l'année 2008, où nous remarquons une relation décroissante entre les deux indicateurs.

Ces différentes relations causales structurelles entre la consommation de carburant, la valeur ajoutée réelle et l'émission de CO₂ dans le transport routier infirment le fondement de la représentation conceptuelle de la notion de triangle énergétique discuté précédemment.

2. Évidence de cercle vicieux de l'automobile en Tunisie

A l'exception de la causalité de long terme pour la 1^{ère} spécification, les résultats s'accordent de l'existence d'une relation unidirectionnelle allant de la consommation du carburant routier par habitant vers l'intensité de l'infrastructure routière par habitant (*H_{4.2} confirmée*). Cela rejoint le postulat urbanistique stipulant que la consommation de carburant dans le transport routier présente la cause de l'évolution de structure urbaine, de la distribution spatiale des ménages et d'activités et de kilomètres d'infrastructure routière urbanisés (Yaobin, 2009 ; Rudra, 2010 ; Niovi et al., 2010 ; Marshall et al., 2011 ; Reinhard et Yasin, 2011). Nos résultats montrent de manière évidente la négligence de l'effet spatial ou de dynamique urbaine comme facteur explicatif de la consommation de carburant dans le transport routier en Tunisie. Les facteurs géographiques n'interviennent pas dans la formation de la demande de carburant.

La valeur ajoutée du secteur du transport concrétise plus d'investissement en infrastructure routière et contribue à l'accroissement de nombre de kilomètres de routes et autoroutes (*H_{8.1} confirmée*). En définitive, la croissance économique de ce secteur encourage une urbanisation plus diffuse en termes d'extension d'infrastructure routière. Dans ce cas, une politique d'aide aux transports routiers serait théoriquement favorable à la croissance d'investissement en infrastructure. Cependant, il est à signaler que seulement les résultats de causalité de long terme de la 1^{ère} spécification valorisent l'investissement en infrastructure

routière comme facteur de croissance. Plus spécifiquement, les causalités de court et long terme de la 2^{ème} spécification impliquent que les investissements en infrastructures de transport routier n'induisent pas un effet sur la production. Ce résultat contredit en partie la notion du multiplicateur d'investissement développé par Keynes stipulant qu'une dépense nouvelle engendre des revenus supplémentaires qui seront à leur tour transformés en dépenses de consommation et d'investissement, contribuant à croître la production en chaîne. Ainsi, le lien entre infrastructure et croissance économique paraît intimement lié aux spécificités territoriales.

De même, la valeur ajoutée du secteur du transport contribue à l'accroissance de taux de motorisation (*H_{9,2} confirmée*) et donc sa préoccupation pour le bien être social. La relation entre croissance économique et technologie (discours sur les techniques) se manifeste surtout à travers les processus productifs et l'organisation de l'activité économique de secteur de transport.

Selon les résultats de causalité de long terme de la 2^{ème} spécification, Il semble exister un lien fort entre extension d'infrastructure routière et taux de motorisation, tout en identifiant une relation de causalité bidirectionnelle entre les deux indicateurs relatifs à l'intensité de l'infrastructure routière par habitant et le taux de motorisation. Les infrastructures routières ont une grande influence sur l'étalement urbain en permettant des liens rapides entre des endroits éloignés. En conséquence, l'extension infrastructurelle constitue une cause et conséquence d'une utilisation exclusive de la voiture particulière en induisant mobilité supplémentaire en termes de taux de motorisation. En effet, la création d'une infrastructure routière participe d'une manière directe au développement territorial : cet effet est connu sous la notion de congruence. L'infrastructure routière crée simplement des possibilités nouvelles d'accéder au territoire et dirige le changement de stratégie d'acteurs vers une intensification de démocratisation de la voiture.

Enfin, cette organisation du territoire pour le « tout voiture » et la génération d'une motorisation supplémentaire, ne s'accordent plus avec les objectifs d'un transport routier propre. En outre, nous distinguons une causalité bidirectionnelle aussi bien entre l'intensité de l'infrastructure routière par habitant et les émissions de CO₂ par habitant dans le secteur de transport qu'entre le taux de motorisation et les émissions de CO₂ par habitant dans le secteur de transport. Ces deux boucles rétroactives mettent en évidence deux constations : une

conscience faible des acteurs de transport routier privé aux questions environnementales et une opinion publique peu sensible aux pollutions automobiles.

En somme, ces différents résultats empiriques mettent en évidence la boucle rétroactive qui peut être visualisé entre l'indicateur urbanistique d'infrastructure routière, l'indicateur socio-économique de motorisation et l'indicateur environnemental d'émission de CO₂ dans le secteur de transport en Tunisie (*H₇ confirmée*).

En se référant à la 2^{ème} spécification, nous concluons qu'à long terme, la causalité est circulaire entre le taux de motorisation, la longueur d'infrastructure routière par habitant et les émissions de CO₂ par habitant dans le secteur de transport. Bien évidemment, l'automobile alimentant l'urbanisme diffus dont le renforcement stimule le trafic routier privé en termes de kilométrage parcourus et de possession de voiture particulière induisant ainsi des déplacements plus longs et/ plus fréquents, nécessitant en résultat le développement de l'infrastructure afin de faciliter et fluidifier ces déplacements (effet d'induction). A son tour, la création d'une nouvelle infrastructure offre aux acteurs de nouvelles possibilités en augmentant leur vitesse de déplacement, de se localiser toujours plus loin à la périphérie des villes, sans augmenter leur temps de trajet. Cette diffusion de la population dans l'aire urbaine renforce davantage l'étalement urbain et fait augmenter le nombre d'automobilistes. En outre, la réalisation des projets d'infrastructure routière est considérée comme un facteur d'agglomération en favorisant la concentration des agents dans des lieux au détriment des autres (Combes et Lafourcade, 2001) et influe considérablement sur leur choix modaux en faveur de la voiture particulière. En conséquence, les émissions de polluants augmentent ce qui fait appel en retour à l'investissement dans l'extension de l'infrastructure routière comme instrument d'internalisation d'externalité négative de transport.

3. Centralité d'impact de prix de carburant sur la dynamique des interactions

L'impact central de prix de carburant sur la dynamique des interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie se manifeste par son lien de causalité avec la totalité des indicateurs retenus. En somme, en se référant à la 2^{ème} spécification, nous distinguons cinq relations causales reliant le prix moyen du carburant à la de la valeur ajoutée réelle par habitant du secteur de transport, les émissions de CO₂ par habitant dans le secteur de transport, l'intensité de l'infrastructure routière par habitant et le taux de motorisation. En effet, le circuit de causalité montre l'existence d'une causalité

unidirectionnelle allant de prix de carburant vers la consommation de carburants routier (*H_{6.1} confirmée*), sans aucun effet feedback à court terme. La politique de prix de carburant en Tunisie est caractérisée par la prépondérance de subventions et l'absence de taxes dans la structure de formation de prix et présente ainsi une source stimulant la mobilité individuelle en termes d'augmentation de parc de voitures privées (*H_{11.1} confirmée*), et un indice d'inconscience environnementale à long terme, en absence de toute forme de régulation environnementale par les prix (*H_{10.1} confirmée*). Un tel résultat rejoint la conclusion d'Asafu-Adjaye (2000). En outre, les conséquences de subventions de carburant sont notables en Tunisie : une consommation excessive de carburant, réduction des retombées de l'investissement en efficacité énergétique dans le transport routier, en transport public et en énergies renouvelables. Tout cela présentera un dilemme pour les générations futures en termes de développement énergétique durable. Les causalités unidirectionnelles allant de prix moyen du carburant vers l'intensité de l'infrastructure routière par habitant et la valeur ajoutée réelle par habitant du secteur de transport mettent en relief l'effet de redistribution de la tarification de carburant sur la consolidation de la politique d'urbanisation d'une part, et la création de la valeur ajoutée d'autre part.

III. Les implications politiques: Vers une approche globale et concertée axée sur la maîtrise de la consommation de carburant et de l'offre de transport routier

L'analyse des relations causales entre les différents indicateurs retenus montre bien évidemment la complexité et la ramification des interactions. La définition d'une politique de transport routier énergétiquement durable s'inscrit dans une logique systémique fondée sur la notion de dépendance entre ses composants constitutifs.

1. Éléments pour une politique de transport routier énergétiquement durable en Tunisie : la mise en œuvre des politiques

A la lumière des réflexions précédentes, nous pouvons dégager les axes stratégiques d'action pour concevoir une politique de transport routier énergétiquement durable, à travers l'analyse d'interférence (cohérence ou antagonisme) entre les objectifs de différentes politiques concernées. La figure IV.10 montre l'importance des articulations entre la politique énergétique, la politique de l'offre de transport routier et la politique environnementale, et la nécessité de s'inscrire dans une perspective globale afin de mettre en cohérence ces politiques et définir ainsi les domaines prioritaires d'action et les acteurs concernés.

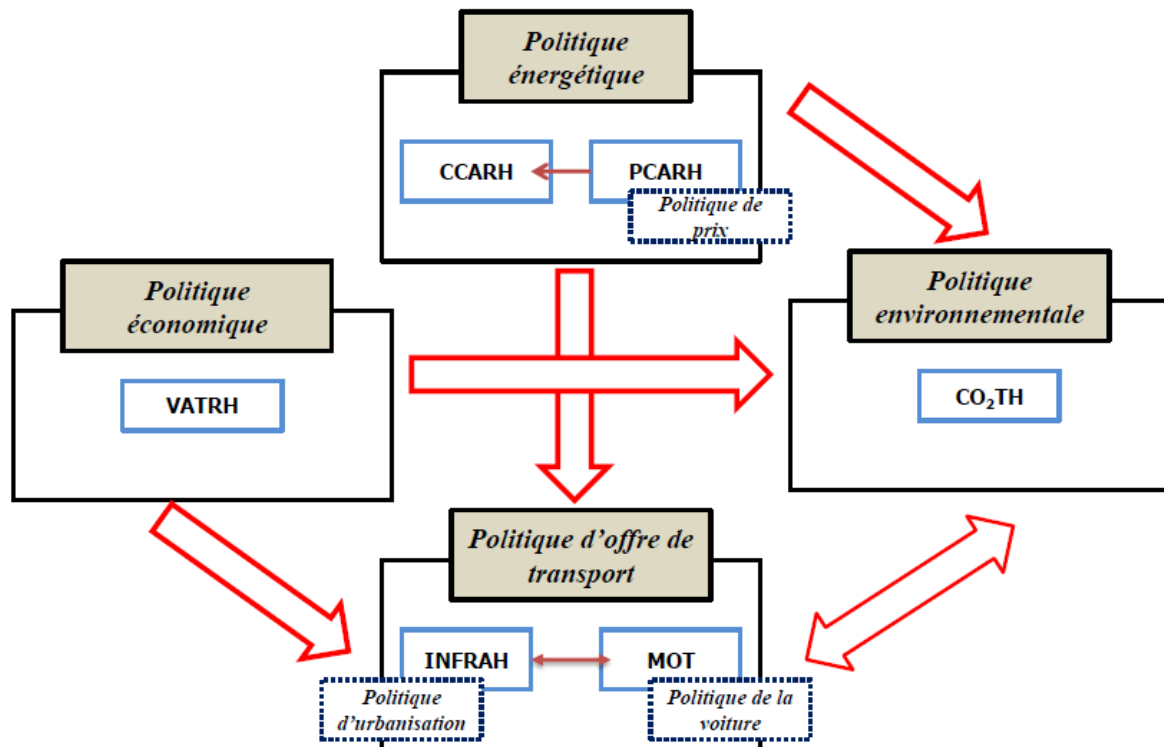


Figure IV.10. Des interactions entre indicateurs aux articulations entre politiques

Source : Élaboration de l'auteur

L'analyse des articulations entre les différentes politiques fait ressortir trois importantes conclusions. La première conclusion est qu'il y a une dépendance double de la politique environnementale à la politique énergétique et la politique économique d'une part, et une interdépendance avec la politique d'offre de transport routier de l'autre part. La seconde conclusion montre que les décisions prises dans le cadre de la politique d'offre de transport en termes d'urbanisation et de motorisation sont dépendantes aux spécificités de la politique économique et énergétique d'un côté, et interdépendantes avec les décisions en matière de la politique environnementale de l'autre côté. Alors que la troisième conclusion renvoie à l'indépendance entre la politique économique et la politique énergétique dans le secteur de transport routier en Tunisie.

En définitive, la recherche de la cohérence entre ces différentes politiques et ainsi la conception d'une politique de transport routier énergétiquement durable en Tunisie consiste à définir un plan d'action en agissant simultanément selon trois stratégies souhaitables:

- La diminution des consommations de carburants des véhicules routiers (stratégie 1) ;
- La maîtrise de l'offre de transport routier (stratégie 2) ;
- La réduction des émissions de CO₂ des véhicules de transport routier (stratégie 3).

Concernant les deux dernières stratégies, personne ne conteste le principe qui vise à mettre en cohérence la politique d'urbanisation, la politique de la voiture particulière et la politique environnementale. Cependant, les difficultés surgissent lorsqu'il s'agit de concrétiser ce principe sur le terrain. Dans ce qui suit, nous passons de la définition des stratégies à la concrétisation des cadres d'actions et d'interventions des pouvoirs publics, pour finir à la présentation des instruments qu'il convient de revoir pour renforcer la cohérence des décisions publiques en matière de transport routier énergétiquement durable.

2. Les axes stratégiques

Dans ce qui suit, nous développons les axes stratégiques d'action relatifs à chacune de trois stratégies mentionnées.

a) Stratégie 1 : La diminution des consommations de carburants des véhicules routiers

Le prix des carburants constitue la majeure partie des coûts variables associés à l'utilisation de la voiture particulière et, de ce fait, représente un élément important intervenant dans le choix modal. Dans ce sens, il s'agit essentiellement de mettre en place une structure de tarification cohérente. En effet, la structure de la tarification doit se baser sur des fondements théoriques solides (nécessité de l'existence d'une élasticité de la consommation de carburant au prix¹⁸⁰), loin de tout tâtonnement et devraient faire passer des messages appropriés encourageant le transport urbain durable. **Une augmentation substantielle de prix de carburant**, sous contraintes de ne pas porter préjudice de façon excessive à l'accessibilité des personnes à bas revenus, reflétant plus justement les coûts externes est susceptible de stimuler à moyen terme les économies d'énergie.

b) Stratégie 2 : La maîtrise de l'offre de transport routier

La simple poursuite des politiques engagées d'offre de transport routier ne permet pas de répondre aux exigences formulées d'une durabilité énergétique. Les principaux leviers portant sur la politique d'infrastructure routière et la politique de la voiture particulière consistent principalement à:

¹⁸⁰ Elle fait l'objet de 5^{ème} chapitre, étudiant en détail la politique de prix de carburant routier en Tunisie.

- Renforcer **l'intégration des préoccupations environnementales dans l'élaboration et la mise en œuvre des politiques et des stratégies dans le secteur de transport routier** tout en cherchant à assurer un compromis entre la satisfaction des contraintes de déplacement et la qualité du service d'un côté, et la contribution à la dégradation de la qualité de l'air de l'autre côté. En Tunisie, l'exercice de planification urbaine est mis en question vu le non prise en compte de la dimension environnementale dans l'élaboration de plans de déplacements urbains (PDU). Sur le plan opérationnel, il est fortement nécessaire de mettre en place une coordination à double facette entre les stratégies nationales concernant la planification urbaine, les déplacements, la santé et l'environnement : une coordination verticale entre tous les niveaux d'administration, entre les acteurs chargés de l'aménagement de l'espace, des transports et de la protection de l'environnement, et une coordination horizontale entre les secteurs de l'aménagement du territoire, des transports, de l'environnement et de la santé. En outre, la coordination horizontale vise l'intégration des objectifs et des stratégies de l'action publique, alors que la coordination verticale garantit une implication de toutes les parties prenantes et une communication efficace entre les autorités régionales et locales quant aux objectifs nationaux en matière de transport routier énergétiquement durable.
- Améliorer l'efficacité énergétique du transport routier et lutter contre la pollution qu'il engendre. Cette action porte sur le parc existant **en incitant les automobilistes à mieux entretenir leur véhicule et à mettre au rebut les plus obsolètes ou les plus usés** d'une part, et sur les véhicules neufs **en incitant les constructeurs à mettre sur le marché de véhicules moins polluants** et en incitant les acheteurs à rationaliser leur choix d'autre part.
- Briser le cercle vicieux de l'automobile tout **en développant un transport en commun performant** et de qualité et **intégrant les modes doux** et les services innovants. Parmi les bonnes pratiques, il s'agit de maîtriser la mobilité à travers la planification des activités (maîtriser les flux à leur source), anticiper et canaliser la mobilité en mettant en place de transport à la demande, limiter la périurbanisation et mieux valoriser les espaces disponibles en centre-ville ce qui réduit les distances parcourues et les vitesses pratiquées et mieux localiser les activités sur le territoire. Dans la même alignée, il s'agit de faire en sorte que les programmes de covoiturage et le télétravail trouvent un soutien de l'action publique.

- Renforcer **l'évaluation socio-économique de projets d'infrastructure routière** en prenant en compte d'autres critères qualitatifs d'évaluation de projets, plus globaux et à forte composante urbaine et sociale.
- Optimiser les flux de distribution de marchandises en ville et **développer la logistique urbaine** en favorisant l'émergence de nouveaux métiers de la logistique contribuant à mutualiser les moyens et développer des synergies afin de réduire surtout les coûts d'exploitation du « dernier kilomètre » d'une part, et le développement de nouvelles organisations logistiques à travers l'adaptation du schéma logistique aux contraintes environnementales. En parallèle, il s'agit de mieux faire connaître le rôle de la logistique urbaine et encourager l'utilisation des outils informatiques dans ce sens.

c) **Stratégie 3 : La réduction des émissions de CO₂ du transport routier**

Parmi les principaux leviers d'action pour réduire les émissions de CO₂ des véhicules routiers, on dénote :

- Le développement de **stratégies d'internalisation des coûts externes de la pollution** atmosphérique de transport routier de sorte à faire payer le total des coûts marginaux à long terme de ses décisions de transport à chaque acteur individuel et à lui en faire prendre conscience. Ces stratégies comprennent toutes les mesures qui, par l'application du principe pollueur-payeur, convergent vers la réduction de coûts externes.
- L'instauration d'**une culture environnementale** à travers la valorisation et la capitalisation des connaissances relatives aux impacts des émissions de polluants de secteur de transport routier sur l'environnement, le renforcement des mécanismes organisationnels et institutionnels de concertation, et l'amélioration de la sensibilisation tout en organisant des campagnes d'information et de formation.
- Le renforcement de la planification et de l'action environnementale sur le plan régional et l'établissement d'**un cadre d'action national favorable** pour la réalisation des objectifs nationaux, régionaux et locaux en matière d'un transport routier propre.

3. **Les typologies d'instruments politiques**

L'arsenal des instruments à la disposition de l'action publique peut être groupé en quatre types selon le schéma présenté par la figure IV.11.

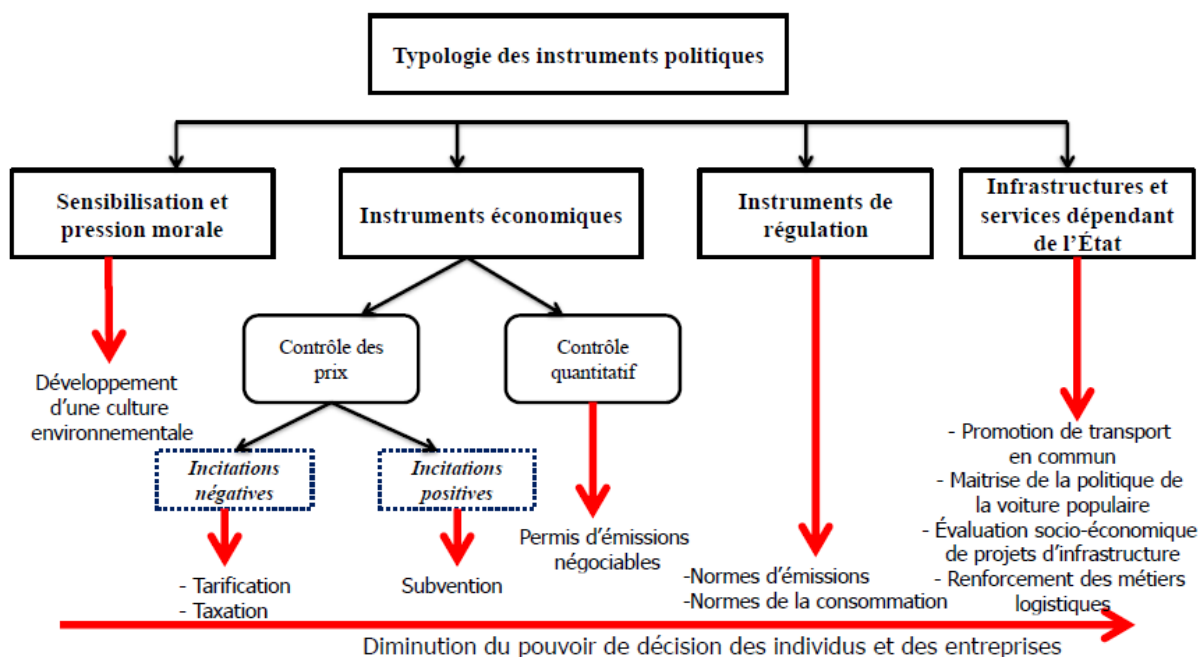


Figure IV.11. Des axes stratégiques à l'opérationnalisation des actions

Source : Élaboration de l'auteur

a) L'instrument de pression morale

Les interventions de l'État par le biais de campagnes publiques de sensibilisation des externalités négatives et de promotion des transports en commun constituent l'instrument le plus faible pour deux raisons fondamentales. En effet, cette mesure pose souvent le problème de « passager clandestin »¹⁸¹. Ainsi, alors que plusieurs personnes sont censées de s'engager dans une telle action collective, chacune attend de l'autre qu'elle prenne l'initiative. En outre, cette intervention ne propose aucune incitation concrète, et l'efficacité de la pression morale s'avère complémentaire aux autres instruments.

b) Les instruments économiques

Elles sont au cœur de la fiscalité écologique, ou éco-fiscalité¹⁸², appelés aussi instruments de marché, en portant sur les prix relatifs des voitures et des carburants notamment. Elles sont ventilées en deux types de réglementation¹⁸³ : la réglementation des prix et la réglementation de la quantité.

¹⁸¹ Hardin (1968) décrit ce phénomène en parlant de « Tragédie des Communes ».

¹⁸² Elle se définit par l'ensemble des mesures fiscales (taxes, redevances, crédits d'impôts, exonérations...) en vigueur sur les produits ou les services ayant un effet sur l'environnement. Elle a été conçue par Pigou (1920).

¹⁸³ Pour plus de détail, il est conseillé de consulter Pigou (1920), Crocker (1966), Dales (1968) et Montgomery (1972).

Concernant la réglementation des prix, elle peut être sous la forme d'**incitations négatives par le biais des taxes** (taxes sur le véhicule soit à l'achat soit d'immatriculation annuelle, taxes sur les carburants, taxes en fonction de kilométrage) ou **positives par le biais de subventions** (subventions de véhicules moins polluants, réductions d'impôts, taux d'intérêt préférentiels). Un bon exemple de ceci est le bonus-malus écologique en France à l'achat de voitures neuves qui a réorienté les achats vers des voitures moins polluantes. Les taxes et les subventions permettent de réaliser la comptabilité respectivement des coûts externes et des bénéfices externes. Cependant, les subventions engendrent une certaine dépendance économique.

Il convient ici d'insister sur le fait que les modalités de cette internalisation doivent être mûrement réfléchies. Une augmentation du prix des carburants ne doit pas porter préjudice de façon excessive à l'accessibilité des personnes à bas revenus et accentuant ainsi les inégalités au sein de la société. En particulier, il convient de veiller à ce que les ménages économiquement les plus défavorisés soient toujours à même de satisfaire leurs besoins essentiels de mobilité et ce, dans des conditions budgétaires raisonnables. Éventuellement, la mise en œuvre d'une taxation différentielle sur les carburants permet de modifier à long terme la structure de consommation des carburants en influençant les décisions prises quant au type de véhicule acheté. Enfin, rappelons que l'augmentation du prix des carburants ne pourra s'avérer efficace que si elle s'inscrit dans une stratégie plus globale, conjuguant l'amélioration de l'offre en transports publics, la promotion du covoiturage etc.).

Parlant de **la réglementation des quantités**, il s'agit essentiellement des droits de propriété négociables. D'une manière plus détaillée, un système d'échanges de permis négociables permet aux agents plus polluants de racheter des droits d'émissions aux agents qui n'ont pas atteint leur quota. Il présente l'intérêt de fixer des objectifs de réduction des émissions de façon à minimiser le coût de cet effort de dépollution. Sur le plan pratique, par zone géographique, l'autorité fixe un quota d'émissions pour une période donnée. Elle attribue aux agents à titre gratuit ou onéreux des permis présentant des quantités des GES. Ces agents ont deux possibilités pour respecter leur permis : soit réduire leurs émissions au niveau toléré, soit échanger entre eux des titres négociables. Un exemple est la politique des droits d'émission de CO₂ dans l'industrie européenne.

c) Les instruments de régulation

La troisième catégorie d'instruments politiques regroupe les instruments de régulation (obligation et contrôle). Il s'agit des normes techniques, généralement sur les limitations de vitesse ou sur les émissions, ou des restrictions, à savoir l'interdiction d'entrer dans certaines zones et politique de stationnement. L'élaboration des normes de consommation de carburant peut faciliter la reconstitution du parc de véhicules neufs.

Les débats sur les instruments politiques visant à réduire les émissions de CO₂ dans le secteur de transport en termes d'incitations économiques (taxes ou permis d'émission négociables) ou de réglementations contraignantes (les normes d'émissions) avancent de solides arguments vers **la combinaison de ces approches dans le secteur de transport**. L'adoption de normes semble politiquement plus acceptable qu'une hausse des taxes. La taxe carbone ou la taxation des carburants ne suffisent pas à aligner les choix des consommateurs sur ce qui est souhaitable pour la collectivité. L'application de normes améliore les choix des niveaux de consommation de véhicules, mais ces choix ne portent que sur les véhicules neufs. Ce qui est la faiblesse de ce système.

d) Les instruments d'infrastructures et services fournis par l'État

Ces mesures politiques sont centrées par exemple sur l'évaluation d'investissement des infrastructures routières et la promotion des programmes de transports en commun, notamment en subsidiant le chemin de fer, moins polluant.

4. Vers une politique de transport routier énergétiquement durable

En synthèse, il ressort de l'analyse des instruments abordée précédemment deux principales remarques.

Premièrement, la formulation d'une politique de transport routier énergétiquement durable consiste en **une combinaison optimale des instruments selon une approche intégrée**. Il suffit se référer à un ensemble simple et cohérent de quelques instruments que de s'engager dans des dizaines d'instruments politiques, rendant ainsi le processus de décision plus complexe. Le choix des instruments est généralement fondé sur six critères : efficacité écologique, efficacité économique, degré d'intervention, l'acceptabilité par l'opinion publique, l'impact sur les finances publiques et les délais de prise de décision. Les mesures les plus efficaces sont souvent les moins acceptables et inversement, alors que le critère

court/long terme n'apparaît pas très discriminant, pour la simple raison est que la majorité des mesures sont à long et moyen terme. Allant plus en détail, l'approche par les incitations économiques paraît centrale en présentant un plus grand avantage à long terme. Les réglementations sont nécessaires dans certains cas où les incitations économiques ne sont pas adaptées et/ou n'apportent pas de réponse en temps réel. La pression morale revêt une importance non discutable dans la mesure où la réussite de toute politique est liée étroitement aux perceptions des parties prenantes. Cependant, les instruments de contrôle directs (norme) offrent une flexibilité moins importante que les instruments des marchés (Hahn et Stavins, 1992). Ces derniers (les taxes et les permis d'émission négociables) sont équivalents en terme de réduction des émissions que les instruments réglementaires, mais à moindre coût (Baumol et Oates, 1975; Milliman et Prince, 1989; Jaffe et Stavins, 1995).

Deuxièmement, dans l'objectif de gérer l'incertitude et faire face à toute défaillance de marché, il est nécessaire de suivre les impacts des différents instruments et de les intégrer dans le processus de décision politique. En outre, plusieurs de ces instruments relèvent de choix de société, pas toujours facile à anticiper. Il est une erreur courante de croire que la mise en cohérence de ces instruments et l'évaluation de leurs effets est simple. La question est avant tout la définition du modèle de société souhaité, et ainsi les instruments à adapter à ce modèle.

Conclusion

Sur le plan théorique, ce chapitre avait pour objectif de **contribuer au cadrage méthodologique de différentes approches de modélisation de la dualité consommation du carburant- durabilité énergétique**. La revue de la littérature avancée montre bien évidemment la complexité de cet exercice, compte tenu de la ramification des variables retenues et la multiplicité des approches adoptées. Cependant, l'approche de la cointégration multivariée paraît la plus pertinente en raison de sa capacité à reproduire la dynamique relationnelle de court et long terme et à offrir le cadre théorique d'application de modèle CEK.

Sur le plan empirique, nous avons étudié **le mécanisme d'interactions entre les différents indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie durant la période 1980-2010**. L'apport fondamental de notre investigation empirique réside dans l'exploration de la question d'impact de l'aspect informel et social de transport routier sur la

nature et le sens de causalité entre les indicateurs retenus. En effet, la prise en compte de l'importance du transport informel dans la formation de la valeur ajoutée du secteur et de l'indicateur social de motorisation a abouti à une disparité de résultats d'estimations vers la stabilisation entre le court et long terme. Les trois principaux résultats empiriques sont **la confirmation de l'hypothèse de neutralité entre la consommation de carburant et la valeur ajoutée réelle du secteur du transport, la validation de l'hypothèse de CEK et la mise en relief de l'existence de cercle vicieux de l'urbanisation.**

Sur le plan managérial, notre contribution est double : (1) **un approfondissement quant à l'analyse des articulations entre la politique énergétique, la politique économique, la politique environnementale, la politique d'infrastructure routière, la politique de la voiture particulière différentes politiques ;** (2) **un effort de formulation d'une politique de transport routier énergétiquement durable en Tunisie.** En outre, à la lumière de différents résultats, nous concluons surtout une relation de dépendance de la politique environnementale à la politique énergétique, la politique économique et la politique d'offre de transport routier, une relation d'interdépendance entre la politique environnementale et la politique d'offre de transport routier et une relation d'indépendance entre la politique énergétique et la politique économique. La réflexion menée sur ces interférences entre les différentes politiques a permis, entre outre, de concevoir une politique de transport routier énergétiquement durable tout en définissant les axes stratégiques et les instruments d'actions. La réussite d'une telle politique réside dans le bon agencement des actions et la combinaison optimale des instruments.

Parmi les instruments discutés figurent la tarification et la taxation de carburants. En effet, le résultat empirique impliquant l'existence d'une relation unidirectionnelle allant du prix de carburant vers la consommation du carburant routier donne une première appréciation de la faisabilité de la politique fiscale. Cependant, l'efficacité d'une telle politique ne peut être vérifiée qu'à travers la quantification de l'effet prix sur la demande. Dans ce sens, deux interrogations se posent : *s'agit-il d'un effet symétrique ou asymétrique ? Et peut-on parler d'un effet rebond dans le transport routier en Tunisie ?*

Chapitre 5

La politique du prix du carburant routier en Tunisie : réflexion sur les mécanismes de transmission de l'effet prix

Introduction

En Tunisie, le prix du carburant a considérablement varié ces dernières années, afin de faire face à l'épuisement des réserves pétrolières et l'aggravation continue du déséquilibre énergétique. Le cœur du débat est relatif à l'efficacité d'une telle politique de tarification, jugée comme l'un des outils les plus importants de maîtrise de l'énergie, pour orienter le comportement des consommateurs vers une plus grande rationalité énergétique. Actuellement, comme la Tunisie devient un importateur net d'énergie et pour des considérations d'urgence environnementale, la question de la tarification de carburant est remise à l'ordre du jour. Certes, les estimations quantitatives de l'impact d'une politique des prix sur la consommation du carburant permettent de répondre aux interrogations suivantes : Est-ce qu'une *action de pouvoirs publics sur les prix est en mesure d'infléchir la consommation de carburants ? Quel sera l'effet d'un tel accroissement du prix du carburant sur la génération de transport? Quels sont les impacts d'une hausse de prix de carburants sur les comportements économiques et sociaux?*

Pour répondre de manière satisfaisante à ces interrogations, **l'analyse économétrique des fonctions de demande de carburant sert à quantifier cet impact par l'estimation des élasticités prix.** La connaissance de signal prix constitue un outil fondamental d'aide à la décision pour fixer la séquence des augmentations de prix correspondant aux économies d'énergie recherchées. La demande de transport routier apparaît généralement sensible à son prix de manière significative. En effet, le prix de carburant représente une part significative des coûts d'usage ou de coût global pour les déplacements en véhicules légers. Généralement, l'augmentation de prix des carburants diminue la demande de transport, selon différentes variantes. Les études antérieures montrent qu'à court terme, la hausse des prix des carburants provoque principalement une réduction de la consommation de carburant en influençant sur le choix du véhicule et de sa taille, ainsi que des changements du mode de conduite, avec un

effet négligeable sur le kilométrage parcouru. Cependant, à long terme, l'effet prix se manifeste par un ralentissement de la croissance du parc automobile, une diminution du kilométrage surtout pour les voyages à longue distance et une orientation des automobilistes vers l'utilisation des véhicules moins gourmands et moins polluants.

Cependant, **la nature de l'effet prix et l'incertitude comportementale face à un gain d'efficacité énergétique tendent à compliquer l'estimation et l'interprétation du signal prix**. La question centrale est alors dirigée plutôt vers l'étude de l'effet de rebond dont la mesure empirique est sujette à controverse. Il s'agit de connaître la part des économies de carburants annihilés en partie par les effets pervers d'un ajustement des comportements individuels. C'est dans ce sens que ce chapitre s'inscrit dans une réflexion plus large sur l'importance de tester, d'une part, l'hypothèse d'asymétrie de l'effet prix sur la demande de carburant, et de l'autre part de prendre en compte l'impact de changements techniques sur les économies de carburant sous contrainte de facteur comportemental. Comme étant au centre de débat sur l'efficacité et sobriété énergétique, **l'évaluation de l'effet de rebond** occupe une place prépondérante dans la conception de politique de transport routier énergétiquement durable en Tunisie.

Tel qui est mentionné sur la figure V.1, ce chapitre vise à atteindre trois objectifs complémentaires. La finalité ultime consiste à étudier les différents mécanismes de transmission de l'effet prix du carburant en Tunisie sur la période 1980-2010.

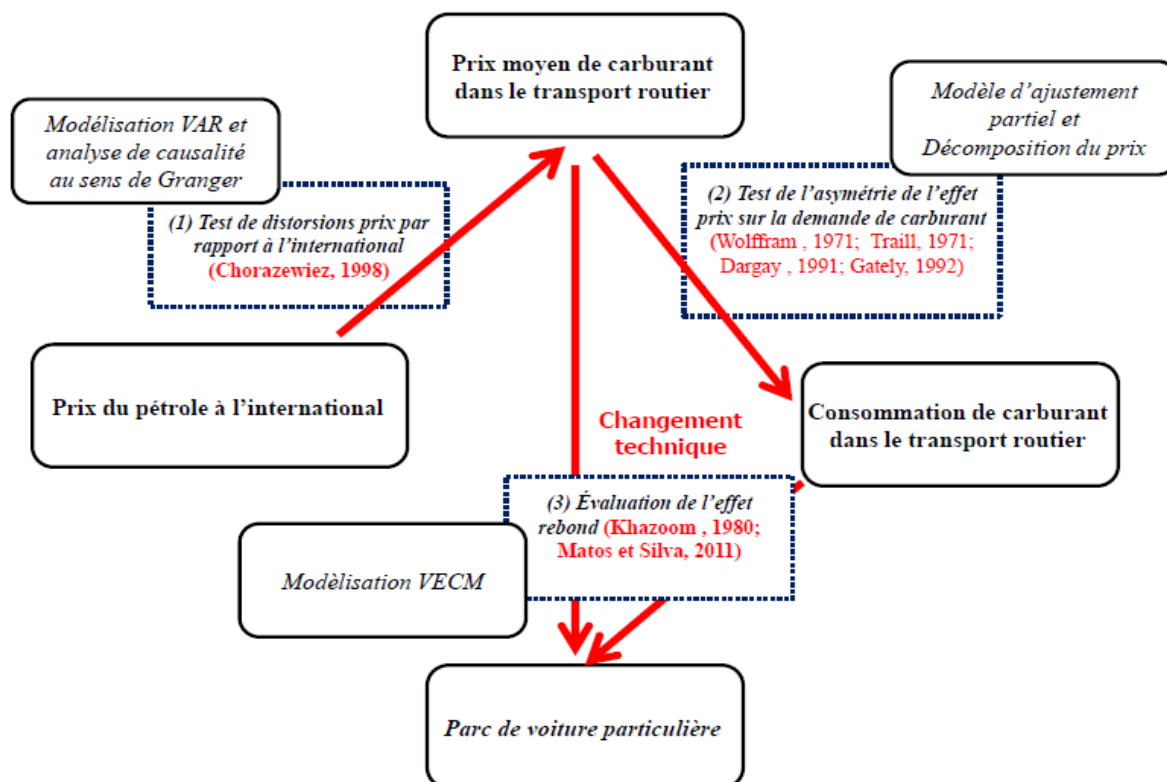


Figure V.1. Modèle conceptuel de mécanismes de transmission de prix du carburant
Source : Élaboration de l'auteur

Le premier objectif consiste à mener une analyse critique du système tarifaire actuel tout en signalant la double distorsion introduite par le système des prix de carburant en Tunisie, par rapport à l'évolution des prix internationaux et entre types de carburants en termes désagrégées. Dans cette lignée, la relation entre le prix du pétrole à l'international et le prix moyen du carburant en Tunisie fait l'objet d'une modélisation VAR afin de mettre en évidence la distorsion prix par rapport au marché international.

En utilisant le modèle d'ajustement partiel, *le second objectif* de ce chapitre consiste à évaluer l'impact de prix moyen de carburant sur la consommation tout en introduisant l'hypothèse d'asymétrie de la réaction de demande suite aux mouvements de prix. L'exercice de modélisation suppose une spécification particulière de la dynamique des prix, à travers le recours à la technique de décomposition de prix en trois séries monotones: la série des maximums historiques, la série des baisses cumulées du prix et la série des redressements du prix cumulés.

Afin d'évaluer l'effet de rebond dans le transport routier en Tunisie, *le troisième objectif* consiste à estimer l'élasticité prix de la consommation unitaire de la voiture

particulière, caractérisant le potentiel d'utilisation de service de transport privé suite à une amélioration technique. A l'instar des élasticités prix estimées, l'analyse du signal-prix permet de quantifier et saisir l'importance de l'effet de rebond, et si possible de mettre en évidence leurs déterminants, ce qui sert à orienter l'action publique vers le choix optimal des instruments de maîtrise de l'énergie dans le transport routier en Tunisie.

Section 1 : Contexte général de la tarification de carburant en Tunisie

Cette section constitue une analyse critique du système tarifaire actuel de carburant routier en Tunisie. Elle vise à caractériser les composants de prix de carburants et à mettre en évidence ses distorsions par rapport au prix de brut à l'international. L'originalité de cette analyse consiste à établir des liens économiquement cohérents entre le prix de l'input pétrole (marché international de pétrole) et le prix des outputs liés aux carburants en Tunisie (marché national des carburants). Il s'agit de *savoir comment le prix directeur de l'énergie (celui du pétrole) se répercute sur l'utilisateur final, compte tenu de préférences nationales ? Faut-il taxer l'énergie, ou plutôt la subventionner?*

I. Description du système tarifaire de carburant routier en Tunisie

Le marché de carburant en Tunisie est caractérisé par une forte intervention de l'État, administré par la Direction Générale de l'Énergie (DGE) sous la tutelle de Ministère de l'Industrie. Cette forte prédominance du secteur public se manifeste par trois principaux opérateurs :

- L'Entreprise Tunisienne des Activités Pétrolières (ETAP), qui est chargée de la commercialisation du pétrole brut et de l'importation des produits pétroliers ;
- La Société Tunisienne des Industries de Raffinage (STIR), qui représente le responsable de l'approvisionnement du marché national en produits pétroliers ;
- La Société Nationale de Distribution des Pétroles (SNDP), qui partage le marché de distribution des produits pétroliers avec une dizaine d'opérateurs privés à capitaux essentiellement étrangers, tels Total, Shell, BP, etc.

En Tunisie, les prix de carburant routier sont fixés à trois niveaux (prix de vente aux opérateurs, marges des opérateurs et prix finaux) par l'État, par arrêté du ministre de l'industrie. La figure V.2 illustre globalement le mode de fixation des prix de produits pétroliers en Tunisie.

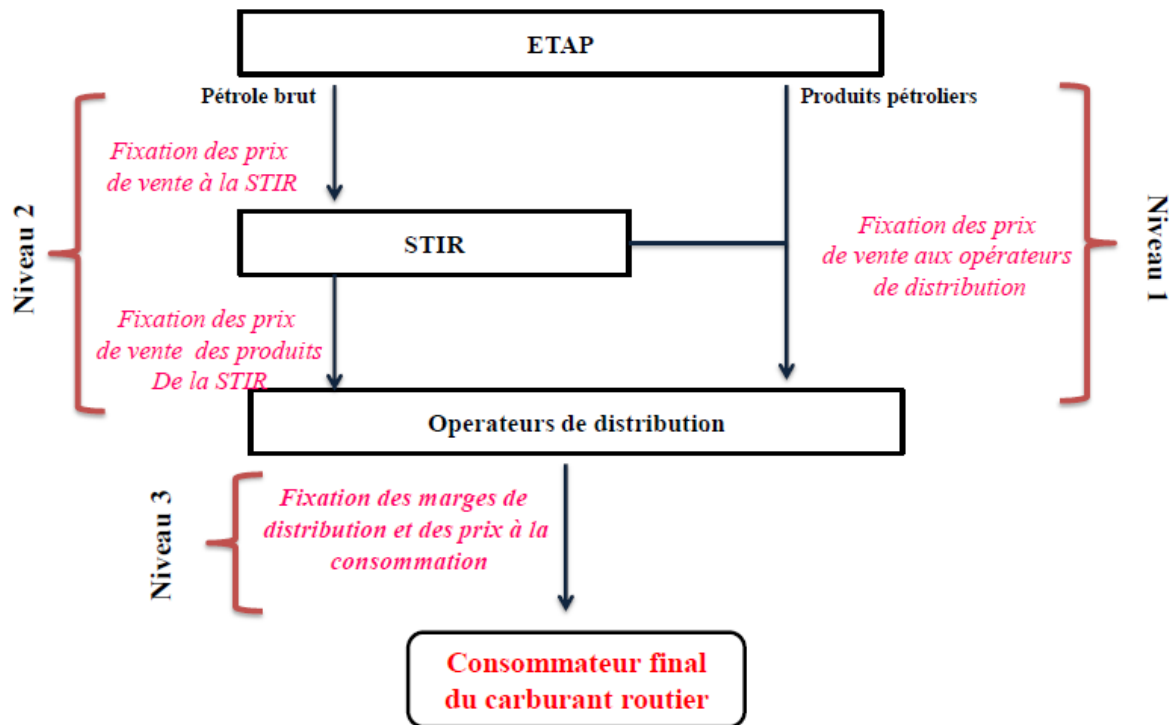


Figure V.2. Mode de fixation des prix de produits pétroliers en Tunisie

Source : Élaboration de l'auteur

En occupant une position de monopole, l'ETAP et la STIR jouent un rôle fondamental dans la mise en œuvre de la politique de l'État en matière de tarification de carburant. Ainsi, à travers l'ETAP et la STIR, l'État impose aux opérateurs de distribution le prix d'achat des produits pétroliers et ce, indépendamment des cours mondiaux du brut (**niveau 1**). L'État impose également à la STIR le prix d'achat du brut auprès de l'ETAP et lui fixe aussi le prix de vente de ses produits, indépendamment des coûts de production (**niveau 2**). Enfin, l'État fixe le prix à la consommation des différents produits pétroliers en fixant la marge des opérateurs (**niveau 3**).

La figure V.3 caractérise la structure tarifaire de carburant routier en 2010 en distinguant entre le diesel, l'essence normale, l'essence super et l'essence sans plomb.

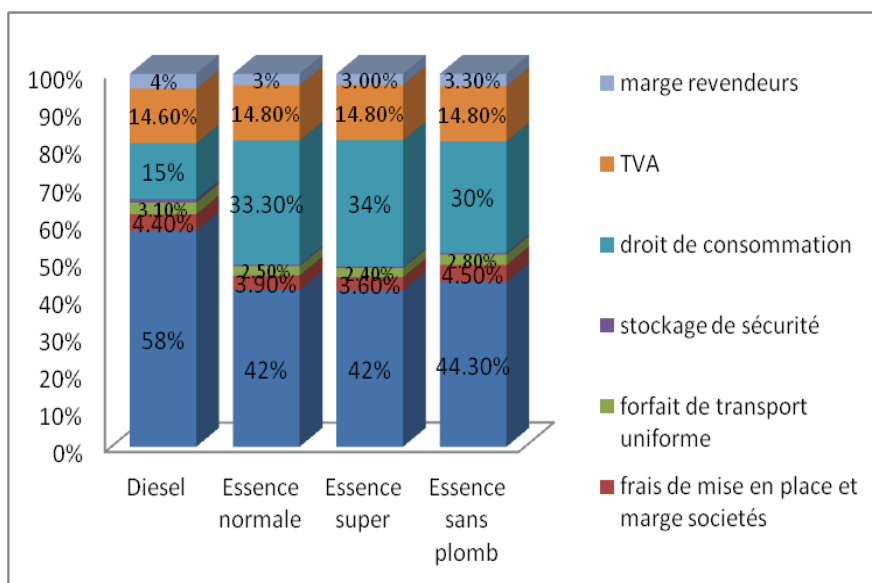


Figure V.3. Les composantes du prix des carburants en 2010.

Source : Élaboration de l'auteur

La structure tarifaire de carburant routier comprend trois grands composants :

- Le prix de reprise par les repreneurs: il s'agit principalement du prix auquel l'ETAP ou la STIR vendent aux opérateurs. A ce poste, s'ajoute ensuite une série de rubriques englobant les différents coûts et frais jusqu'à la vente aux revendeurs, à savoir les frais de mise en place et marge sociétés, le forfait de transport uniforme et le stockage de sécurité. Ces rubriques sont souvent l'objet de contestation de la part des opérateurs qui estiment qu'ils sont sous-évalués.
- Les droits et taxes : ils sont constitués essentiellement d'un droit de consommation et de la TVA. La TVA est de 18% du prix de vente aux revendeurs.
- Les marges de distribution: il s'agit de la marge des sociétés de distribution à laquelle s'ajoute la marge des revendeurs.

II. Les questions soulevées par le mécanisme de fixation des prix de carburant routier en Tunisie

L'analyse en détail de mécanisme de fixation des prix de carburant routier en Tunisie met l'accent sur cinq questions fondamentales.

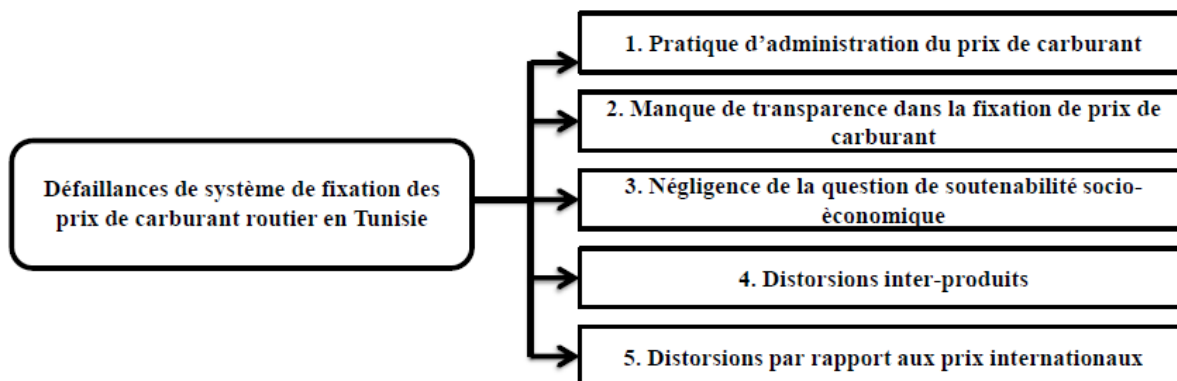


Figure V.4. Défaillances de système de fixation des prix de carburant routier en Tunisie

Source : Élaboration de l'auteur

La première question porte sur *le mode d'élaboration de la structure de prix de carburant* en Tunisie. Ayant un caractère stratégique dans l'économie nationale, les prix de carburants en Tunisie sont des "prix administrés" par l'État afin de poursuivre certains objectifs sociaux, politiques ou économiques d'une part, et atténuer les conséquences de leur variation sur les prix des autres produits qu'ils influencent. L'État réserve un droit de regard et le monopole de publication, de telle sorte que les prix des carburants terrestres sont publiés par Arrêté Ministériel. La structure de prix se base essentiellement sur le paramètre « volume », un paramètre prévisionnel. Par conséquent, dans le système de fixation de prix en vigueur en Tunisie, d'énormes difficultés surgissent lorsque les écarts importants se dégagent entre les prévisions et les réalisations.

La seconde question est relative au *non transparence dans la fixation de prix de carburant* en Tunisie. En effet, le mode de fixation de différentes postes reste relativement contesté par les sociétés privées de distribution, dans la mesure où ces postes sont fixés par référence à l'activité de la SNDP dont la situation n'est pas forcément représentative des sociétés privées de distribution. Ainsi, ce mode de fixation de prix de carburant paraît introduire des distorsions économiques, qu'il convient d'identifier et d'évaluer.

La troisième question est à savoir si *le système actuel de fixation du prix de carburant est soutenable socio-économiquement*. En effet, nous avons souligné ci-dessus que les prix de carburant sont réglementés en Tunisie en situation monopolistique. Ce mode de tarification peut ne pas promouvoir une utilisation efficace des ressources. De même, ce système de fixation des prix a un effet non négligeable sur la distribution des revenus. Les

ménages ne sont pas affectés de la même façon, et le débat consiste à savoir si cette tarification est favorable aux pauvres.

La quatrième question soulève le problème de différence de structure de tarification entre les produits, connu sous les *distorsions inter-produits*.

Définition V.1 : Les distorsions inter-produits reflètent les avantages tarifaires qu'accorde l'État à un produit par rapport à un autre, par le biais des taxes "apparentes" et les subventions (ou taxes) "cachées", résultant du décalage entre le prix CIF¹⁸⁴ et le prix de reprise. Cette différence dans les niveaux de taxation introduit des distorsions économiques qui tendent à favoriser un produit par rapport à un autre et à biaiser en conséquence le choix des consommateurs. Les analyses de distorsions inter-produites n'ont de sens que pour les produits substituables entre eux.

Pour mesurer les distorsions inter-produites, il suffit de comparer le niveau de taxes ou de subventions nettes pour les différents carburants. Une analyse fine des statistiques concernant les usages de chaque type de carburant, montre qu'en 2000, le diesel est nettement favorisé par rapport à l'essence. Cependant, on distingue un différentiel de prix essence/diesel évalué à 1,33 en 2010, ce qui implique encore un fléchissement de la diésélisation des véhicules particuliers (Chartier et al., 1995)¹⁸⁵. Le litre de diesel est subventionné à hauteur de 0,180 dinar tunisien (DT) par l'État afin de le mettre à la portée du pouvoir d'achat des citoyens.

Cependant, la pratique de distorsions inter-produites suppose deux conditions non vérifiées pour le cas de la Tunisie. Premièrement, les différents postes de la structure tarifaire doivent correspondre à la réalité économique, ce qui vient à l'encontre de non transparence de mode de fixation de ces postes, déjà contestée par les opérateurs de la distribution pétrolière en Tunisie. Deuxièmement, cette pratique reste globalement maîtrisable dans une situation d'auto-suffisance énergétique où l'État peut avoir, dans une large mesure, la maîtrise des prix

¹⁸⁴ L'incoterm CIF (Cost insurance and freight) n'est applicable qu'aux transports maritimes. Le vendeur est responsable de la marchandise jusqu'au port d'arrivée. Le cout, l'assurance et le fret sont pris en charge par le fournisseur. L'acheteur s'occupe du déchargement, de l'acheminement de sa marchandise jusqu'à son entrepôt, ainsi que des douanes et taxes à l'importation.

¹⁸⁵ Chartier et al (1995) font référence à un seuil psychologique (rapport entre le prix de l'essence et du diesel de 1,4 en dessous duquel on constate un fléchissement de la diésélisation des véhicules particuliers.

intérieurs, ce qui est de même à l'encontre de la situation Tunisienne caractérisée par une balance énergétique globalement excédentaire, présentant une tendance nette au déséquilibre.

La cinquième question porte sur *la manière dont les prix de carburant en Tunisie réagissent aux variations du prix international du pétrole*. Une revue d'expérience internationale montre que la fixation de prix de carburant dépend de deux composantes principales : le prix international du brut et le taux de change. Généralement, le prix du pétrole sert de référence que prix directeur de carburant. Généralement, il est admis que le prix pour l'utilisateur doit traduire instantanément et mécaniquement le prix de la matière première. Ainsi, le prix du pétrole à l'international est jugé comme une composante principale dans la formation des prix des produits pétroliers. Ces derniers peuvent influencer à leur tour sur le prix du pétrole à travers les contraintes de valorisation. En moyenne, le prix du pétrole constitue à peine 40% du prix du carburant destiné au consommateur final. Les autres éléments du prix final sont en partie fixes (coûts de transport, de distribution, taxes). Par conséquent, la constance de ces paramètres implique une certaine inflexibilité dans la relation entre le prix du pétrole et le prix du carburant.

Le modèle tunisien présente un marché où les prix de carburant dépendent d'autres facteurs économiques, tels le revenu et l'offre des produits concurrents. Vu que les carburants sont généralement vendus à des distributeurs qui approvisionnent à leur tour les consommateurs finaux, leurs prix sont influencés par d'autres facteurs locaux, tels la complexité des réseaux de vente et de distribution. Des taxes directes et indirectes viennent de s'ajouter aux prix de gros, ce qui a un impact substantiel sur la relation entre le prix de pétrole brut et le prix des carburants au consommateur final.

Actuellement, le prix international du pétrole atteint des niveaux élevés et est très volatile. Pour être soutenable, le système de tarification en Tunisie doit éviter toutes *distorsions par rapport aux prix internationaux*, en s'assurant que le prix de carburant suit celui du brut lorsque les deux sont exprimés dans une même monnaie.

Définition V.2 : Les distorsions par rapport aux prix internationaux proviennent du fait que les produits énergétiques ne sont pas en général libres à l'importation. Les opérateurs locaux n'ont pas le droit d'accéder directement au marché international pour s'approvisionner en produits pétroliers compte tenu de la position monopolistique de l'État. Cette situation de

monopole permet à l'état de fixer aux opérateurs le prix de vente, dit " prix de reprise ", de manière complètement déconnectée des cours mondiaux. Cette déconnexion a pour objectif principal de protéger les consommateurs locaux (ménages et secteurs économiques) contre des éventuelles flambées des prix internationaux. L'État prend en charge ce risque en garantissant aux opérateurs un prix de reprise fixe, découplé de l'offre et de la demande sur le marché international.

D'après le rapport intitulé « étude d'impact des prix de l'énergie sur la demande », publié par l'agence nationale des énergies renouvelables (2000), les distorsions par rapport aux prix internationaux peuvent être mesurées par le décalage entre le prix de reprise et le prix CIF auquel l'ETAP (ou la STIR) importe ces produits. Ce différentiel peut être assimilé selon les cas à une taxe (Si le prix de reprise est supérieur au prix CIF), ou à une subvention déguisée dans le cas contraire. Les résultats de cette étude ont montré que l'essence présente une forte distorsion, puisque le prix de reprise a été toujours largement au-dessus du prix international. Durant la période 1980-1997, le différentiel de prix s'est élevé en moyenne à 156 DT par tonne, soit environ 45% du prix de reprise moyen. Pour le diesel, le décalage moyen est estimé à 80 DT/tonne, soit environ 30% de la moyenne du prix de reprise, sur la même période. En synthèse, la comparaison entre les prix moyens CIF et des prix de reprise de l'essence et de diesel durant la période 1980-1997, a abouti que l'essence et le gazole ont toujours présenté une taxe " déguisée ", avec une moyenne égale respectivement à 45 % et 30 % du prix de reprise. Plus précisément, ces résultats établissent que les baisses du prix du pétrole ne se transmettent ni aussi rapidement ni aussi intensément au consommateur final Tunisien.

Dans ce qui suit, nous mettons en relief l'existence d'une telle distorsion par rapport aux prix internationaux en adoptant une autre technique, celle de l'étude de la relation de causalité entre le prix de carburant en Tunisie et le prix du brut à l'international.

III. Analyse de la distorsion tarifaire par rapport au prix du brut à l'international

L'objectif de cette investigation empirique est de mettre en évidence et d'expliquer l'affaiblissement de la relation entre les variations du prix du pétrole et les prix de carburants en Tunisie. Nous débutons cette étude par une analyse statistique préliminaire en s'intéressant à l'analyse de l'évolution temporelle des séries de prix (du pétrole brut et de carburant), ainsi

que leurs stationnarités. Puis, nous testerons l'hypothèse de l'existence de relation de cointégration afin d'analyser la causalité entre eux.

1. Séries temporelles et étude de stationnarité

Notre étude porte sur deux variables :

- Le prix moyen par litre de carburant (PCARB) en monnaie nationale constante de 2000 (déflaté par l'indice de prix du PIB)¹⁸⁶. Les données brutes sont issues de l'ANME (2011).
- Le prix du brut importé (PBRUT) exprimé en monnaie nationale constante de 2000 (déflaté par l'indice de prix du PIB) par baril (via le taux de change). Les données brutes sont issues de l'AIE (2012).

Les deux séries sont transformées en logarithmes. La figure V.5 nous expose les évolutions intervenues au cours de trois décennies, par couple de prix (PCARB et PBRUT).

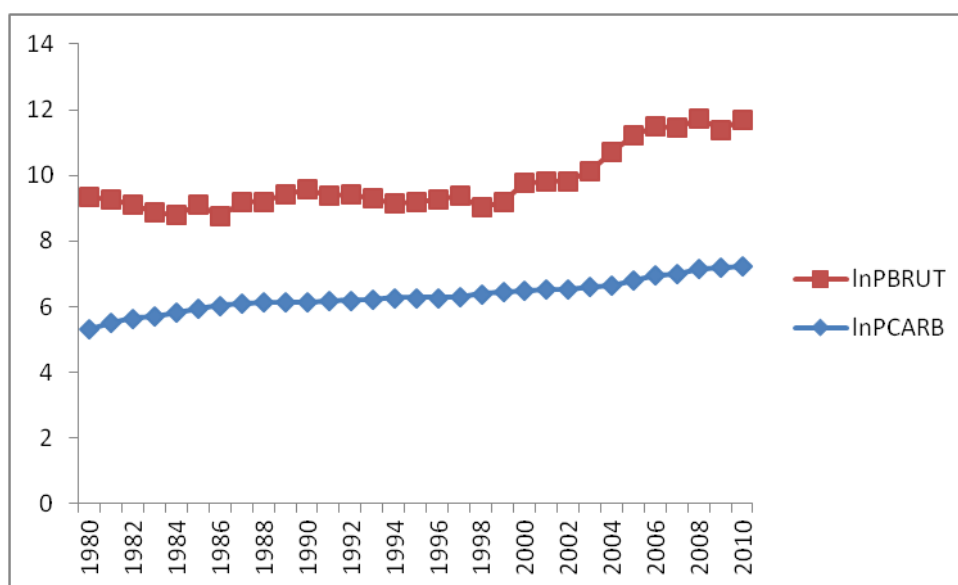


Figure V.5. Prix de pétrole et prix moyen de carburant en Tunisie (échelle logarithmique) durant la période 1980-2010.

Source : Élaboration de l'auteur

¹⁸⁶ Le déflateur du PIB rapporte le prix de PIB nominal au prix de PIB réel. Il permet de corriger une grandeur économique des effets de l'inflation et tenir compte ainsi des prix des biens et services produits sur le territoire national.

La lecture de cette figure fait ressortir deux remarques :

- **Une forte volatilité des prix de pétrole** lors de ces trois décennies liée principalement aux fluctuations de l'offre et de la demande mondiales. Criqui (1994) suggère que le prix de pétrole dépend principalement de trois déterminants, à savoir la croissance économique, la consommation globale pétrolière et les capacités de production des pays.
- **Une légère similitude des oscillations dans les mouvements de hausse ou de baisse entre les deux séries**, avec des trajectoires beaucoup plus atténuées lorsqu'il s'agit de prix moyen de carburant.

Nous allons affiner notre investigation en étudiant la stationnarité de deux séries en utilisant les tests d'ADF et de PP. Selon le tableau V.1, Ces deux tests montrent que les deux séries sont stationnaires, et sont intégrées d'ordre 1, ce qui constitue une condition nécessaire pour passer à la mise en lumière de potentielles relations de cointégration entre les deux séries en différence première.

Tableau V.1. Résultats de tests de racine unitaire

| Variables | ADF | | PP | |
|------------------------|-----------|------------------------|-----------|------------------------|
| | En niveau | En différence première | En niveau | En différence première |
| LNPBRUT | -1.021 | -5.308 | -1.021 | -5.308 |
| Valeurs critiques à 5% | -2.963 | -2.967 | -2.963 | -2.967 |

Note: Notez que seulement la constante est incluse dans les tests.

2. Les résultats des tests de cointégration et de causalité

En minimisant les critères d'Akaike (AIC) et de Schwarz(SC), le tableau V.2 montre que le nombre de retard optimal retenu est $p^*=1$.

Tableau V.2. Sélection du nombre de retard du modèle VAR

| | VAR(1) | VAR(2) | VAR(3) |
|-----------------------------|---------|--------|--------|
| Critère d'AIC | -2.136* | -1.969 | -1.923 |
| Critère d'information de SC | -1.849* | -1.489 | -1.251 |

*La plus petite valeur de deux critères.

D'après le tableau V.3, l'analyse de la cointégration en utilisant le test de Johansen (1990) conduit à rejeter l'existence de relation de cointégration et donc la possibilité d'utiliser un modèle VECM.

Tableau V.3. Résultats des tests de cointégration de Johansen

| Valeurs propres | H ₀ : r | Trace | λ-max | Valeurs critiques à 5% | |
|-----------------|--------------------|-------|-------|------------------------|-------|
| | | | | Trace | λ-max |
| 0.351 | 0 | 12.58 | 12.55 | 15.49 | 14.26 |
| 0.00 | 1 | 0.02 | 0.02 | 3.84 | 3.84 |

Note : le test de Trace indique 0 équation de cointégration au seuil de 5%. Le test la valeur propre maximale indique 0 équation de cointégration au seuil de 5%. Nous supposons que les données n'ont pas des tendances déterministes et que les relations de cointégration ont des constantes.

Pour étudier le sens de la causalité entre les deux séries, l'approche adoptée consiste en **une modélisation VAR**¹⁸⁷. Analytiquement, selon Granger (1969), lnPCARB est la cause de lnPBRUT si l'équation (V.1) présente une meilleure qualité statistique que l'équation inverse (V.2) :

$$\Delta \ln PBRUT_t = \sum a_i \Delta \ln PBRUT_{t-i} + \sum b_i \ln \Delta PCARB_{t-i} + \delta_t \quad (V.1)$$

$$\Delta \ln PCARB_t = \sum a'_i \Delta \ln PCARB_{t-i} + \sum b'_i \Delta \ln PBRUT_{t-i} + \delta'_t \quad (V.2)$$

Le test de causalité revient à tester deux hypothèses (H₀ et H₀') de la manière suivante :

- On teste d'abord l'hypothèse H₀ (contre l'hypothèse alternative H₁) : PCARB ne cause pas PBRUT revient à **tester la nullité des coefficients bi**. Si on rejette cette hypothèse, on confirme l'hypothèse de dépendance de PBRUT au PCARB et donc une présomption de causalité de PCARB vers PBRUT.
- On teste l'hypothèse H₀' (contre l'hypothèse alternative H₁') : PBRUT ne cause pas PCARB revient à **tester la nullité des coefficients bi'**. L'hypothèse nulle est une hypothèse de non-causalité.

Le test s'effectue à travers la comparaison entre les modèles VAR contraints (VARC) par les hypothèses nulles et les modèles VAR non contraints (VARNC), en calculant le ratio de vraisemblance de la manière suivante :

¹⁸⁷ D'une manière générale, si les séries sont stationnaires en niveaux (I(0)) on estime un modèle VAR en utilisant les variables en niveaux puis on applique les tests de causalité de Granger de court terme seulement ; si les séries sont I(1) mais non cointégrées, on estime un modèle VAR en utilisant les différences premières puis on applique les tests de causalité de court terme seulement. Finalement si les variables sont I (1) et sont cointégrées, on estime un VECM puis on applique les tests de causalité de court terme et de long terme.

$$L^* = (n - c) \left(Ln \left| \sum_{VARNC} \right| - Ln \left| \sum_{VARC} \right| \right) \quad (V.3)$$

Avec \sum est la matrice des variances/covariances des résidus du modèle correspondant, n est le nombre d'observations et c est le nombre de paramètres estimés dans le modèle contraint. Si la valeur de L^* est supérieure à la valeur critique tabulée, on admet la présence d'une relation causale. Si on arrive à accepter les deux hypothèses alternatives H_1 et H_1' , on peut parler d'une boucle rétroactive entre le prix du brut à l'international et le prix du carburant en Tunisie.

Les résultats du test de causalité de Granger sont présentés dans le tableau V.4 ci-dessous :

Tableau V.4. Résultats du test de causalité au sens de Granger

| Pairwise Granger Causality Tests | | | |
|--|-----|-------------|---------------|
| Null Hypothesis: | Obs | F-Statistic | Prob. |
| $\Delta \text{LnPCARB}$ does not Granger Cause $\Delta \text{LnPBRUT}$ | 31 | 2.59334 | 0.1189 |
| $\Delta \text{LnPBRUT}$ does not Granger Cause $\Delta \text{LnPCARB}$ | | 1.79352 | 0.1917 |

Il convient de préciser que d'après les résultats de test de causalité, **le prix du pétrole brut ne présente pas un déterminant effectif de prix de carburant en Tunisie**. En conséquence, la distorsion par rapport au prix du pétrole à l'international est confirmée en Tunisie entre 1980-2010.

3. Commentaire des résultats

La déconnexion entre le prix du cours du brut à l'international et les prix nationaux pratiqués de carburant peut être expliquée par trois facteurs :

- En pratiquant une politique d'administration des prix des carburants, la Tunisie joue le rôle de l'intermédiaire en achetant les carburants aux prix internationaux pour les revendre aux demandeurs nationaux aux prix du pays qui sont souvent différents des prix mondiaux. Rappelons que les prix mondiaux sont calculés généralement comme étant la somme du coût marginal de la source plus une rente de rareté, retraçant le coût du non renouvelabilité du pétrole. La convertibilité des prix internationaux aux prix locaux ne signifie pas que le prix avec lequel les demandeurs nationaux vont acheter

est identique. Ainsi, les prix pratiqués ne retracent pas l'effet de la rente de rareté qui sert à maximiser le profit du producteur de pétrole.

- Cette déconnexion est imputable à des éléments intermédiaires qui amortissent les fluctuations, à savoir surtout le taux de change.
- La situation concurrentielle sur le marché de la distribution des carburants en Tunisie est caractérisée par une intensité concurrentielle très faible en présence de multiples imperfections et de certaines zones géographiques où la concurrence semble très imparfaite. Les acteurs de la distribution du carburant demeurent en situation monopolistique avec un acteur dominant. L'ampleur de la marge nette de ces acteurs et l'importance du marché informel de carburant participent réellement à l'accentuation de la déconnexion entre les deux prix. Dans cette alignée, la banque mondiale (2013) signale que 20% de la consommation de carburant routier en Tunisie provient du marché informel en 2010.

Il est à noter que l'absence de similitude entre les deux prix contribue à un gaspillage du budget de l'État sacré à la subvention. En effet, l'augmentation des prix à l'international charge le budget public. La Tunisie consacre une partie très importante de son budget comme des subventions sur la consommation des carburants, évaluées en 2005, à l'environ de 770 million de dinars (MD), soit 2% du PIB. Ces subventions font l'objet d'une distribution non équitable entre les régions, entre les zones rurales et les zones urbaines et notamment entre les différentes catégories socio-économiques, entre les pauvres et les riches. À cet égard, une partie très importante des subventions accordées par l'État sur la consommation des carburants est au profit des plus riches.

Cependant, l'interprétation de ces résultats reste relative, tout en dépendant de choix de l'échantillon et la prise en compte de phénomènes exceptionnels de hausses et de baisses du prix du pétrole brut. Certains auteurs ont plutôt s'interroger sur la question de l'asymétrie dans la répercussion des hausses et des baisses des prix du brut sur les prix des carburants (Audenis et al., 2002).

Section 2: Signal prix de la consommation de carburant en Tunisie

Cette section traite l'estimation empirique de **l'impact du prix du carburant sur la consommation**. Elle passe rapidement en revue les estimations de l'élasticité-prix de la demande de carburant pour se focaliser à leur estimation pour le cas de la Tunisie. Le principal volet de cette investigation économétrique consiste à distinguer entre deux formes de fonctions de consommation du carburant routier ; la première est parfaitement symétrique tandis que la seconde introduit l'asymétrie de réponse aux prix selon plusieurs types de décomposition de prix.

I. Revue de la littérature

La notion d'élasticité¹⁸⁸, et plus particulièrement l'élasticité-prix présente l'un des concepts les plus fréquemment utilisés dans la modélisation de la consommation d'énergie. Elle constitue une valeur de référence pour évaluer les politiques énergétiques. Généralement, l'intérêt fondamental de l'outil d'élasticité réside dans sa capacité de résumer de manière élémentaire et synthétique les variations de la demande induites par les fluctuations de prix et de revenu (Chorazewicz, 1998).

De fait, les élasticités sont facilement estimables empiriquement et compréhensibles par tous les utilisateurs. Certes, il n'est pas inutile de revenir ici sur quelques notions de théorie économique.

1. L'outil d'élasticité-prix

D'un point de vue théorique, les élasticités de la demande mesurent la sensibilité de la quantité demandée à des changements de l'un des déterminants de la demande. L'élasticité prix ou l'élasticité de Cournot d'un produit ou d'une catégorie de produits énergétiques mesure la variation relative des quantités demandées résultant d'une variation relative des prix. L'élasticité prix directe (ou propre) σ_p de la demande d'un bien est définie par le pourcentage de variation de la quantité demandée Q de ce bien résultant d'une variation d'un pourcentage donné du prix P du bien considéré, en supposant que les autres déterminants de la demande ne changent pas.

¹⁸⁸ Cet outil est inventé par Davenant (1699) dans sa célèbre publication intitulée « An essay upon the probable methods of making a people gainers in the balance of trade » (London, 1699).

Analytiquement, elle s'écrit donc en considérant des variations finies pour un bien i donné :

$$\sigma_p = \frac{\frac{\Delta Q_i}{Q_i}}{\frac{\Delta P_i}{P_i}} = \frac{\Delta Q_i}{\Delta P_i} \times \frac{P_i}{Q_i} \quad (\text{V.4})$$

Naturellement, dans la représentation traditionnelle de la courbe de demande, où les prix sont portés en ordonnées et les quantités en abscisses, l'élasticité prix propre est égale à l'inverse de la dérivée de la courbe de demande au point considéré multiplié par le rapport du prix à la quantité (Guyot, 1985). Ainsi, avec une simple manipulation mathématique, on peut vérifier que :

$$\begin{aligned} d \log Q_i / d \log P_i &= d \log Q_i / d Q_i \times d Q_i / d P_i \times d P_i / d \log P_i = 1 / Q_i \times d Q_i / d P_i \times P_i \\ d \log Q_i / d \log P_i &= d Q_i / d P_i \times P_i / Q_i = \sigma_p \end{aligned} \quad (\text{V.5})$$

La définition théorique de ce concept permet d'établir une classification des biens suivant la valeur de leurs élasticité prix. Tel présenté par le tableau V.5, l'élasticité prix est normalement négative, sauf à considérer des cas atypiques comme l'effet Giffen¹⁸⁹ ou l'effet Veblen¹⁹⁰.

Tableau V.5. Cadrage théorique de l'élasticité prix

| Valeur de l'élasticité | Définition |
|---------------------------|--------------------------|
| $-\infty$ | Infiniment élastique |
| $-\infty < \sigma_p < -1$ | Fortement élastique |
| $\sigma_p = -1$ | Élasticité unitaire |
| $-1 < \sigma_p < 0$ | Faiblement élastique |
| 0 | Parfaitement inélastique |

Cependant, si la définition mathématique de l'élasticité est adoptée universellement, il n'en va pas de même de sa mesure. Le passage de sa définition théorique à sa détermination

¹⁸⁹ L'effet Giffen correspond à des produits de première nécessité qui possèdent des élasticité prix positives par le jeu de l'effet revenu.

¹⁹⁰ L'effet Veblen correspond au contraire à des produits de luxe pour lesquels le phénomène d'ostentation entraîne également des élasticité positives.

numérique relève plusieurs difficultés. Dans ce qui suit, nous nous proposons de répertorier les différentes spécifications couramment employées dans la littérature pour mesurer les élasticités.

Actuellement, la thèse selon laquelle les phénomènes gouvernant les consommations énergétiques ne sont pas réversibles trouve ses fondements dans les approches récentes de la modélisation consommation d'énergie. En conséquence, la non prise en compte de l'asymétrie de la demande dans les modèles économétriques constitue une des faiblesses du concept d'élasticité.

2. L'éventail des élasticités prix dans la littérature

L'état des lieux des élasticités de la demande de carburant montre que l'analyse de l'élasticité prix revêt une importance particulière tant pour les consommateurs que pour les producteurs d'énergie. En matière de modélisation, il est fréquent de formuler quelques hypothèses sur les valeurs attendues des coefficients d'élasticité et leurs signes. Mais, dès que l'on aborde les ordres de grandeur possibles en valeur absolue, les opinions deviennent très divergentes. Certes, ceci introduit à la fois la subjectivité et le flou dans les analyses concernant les élasticités.

Kouris (1981) souligne que la principale cause d'incohérence entre les élasticités estimées tient à la spécification des modèles et à l'interprétation des résultats. Des spécifications différentes aboutissent à des résultats eux-mêmes différents, parfois même contradictoires. Le postulat d'une correspondance univoque entre modèles et élasticités est remis en cause par certains auteurs, tels Prosser (1985) qui souligne le fait que la différence de spécifications n'influe pas les résultats d'estimations d'élasticité prix de long terme, mais elle affecte le degré de précision des estimateurs.

La question de la constance des élasticités dans le temps a fait souvent l'objet de débats relevant tout autant d'une confrontation d'écoles que de résultats réellement comparables. Il est trop souvent évident, à la lecture de certains textes, que la variabilité d'élasticité dans le temps se situe au niveau des idées à priori. Kouris (1981) est un défenseur de cette variation des élasticités.

L'hypothèse implicite dans la construction des modèles que les résultats sont parfaitement réversibles, c'est-à-dire, que l'augmentation ou la baisse des prix aboutit à la

même réaction au niveau de la demande, est remis en cause. A notre connaissance, une réelle expérimentation de ce problème passe par la formulation théorique d'un modèle plus pertinent endogénéisant la formation des prix et la prise en compte de phénomènes de seuils de réactions, connus du point de vue de la théorie économique sous les effets cliquet. Dans ce sens, Goodwin (1992) a analysé diverses estimations de l'élasticité-prix dans le secteur des transports en accordant une attention particulière à la nature et au mode de calcul des élasticités.

En synthèse, la lecture de la littérature montre qu'il y a un grand nombre d'études portant sur l'estimation des élasticités de la demande de carburants sans pouvoir arriver à des résultats convergents pour le même cadre d'étude. La disparité de ses résultats peut être liée aux sources de données, aux périodes considérées, aux spécifications du modèle, aux techniques d'estimation, aux autres variables exogènes retenues dans le modèle (Stern, 1991 ; Espey, 1996) et à la prise en considération de l'hypothèse d'asymétrie.

La contribution de Dahl et Stern (1991) consiste à la classification des élasticités prix de la demande d'essence selon le type de modèle (statique ou dynamique), la spécification du modèle (réduite ou structurels), les types de données (mensuel, trimestriel, annuel) et les variables exogènes introduites et leur retard.

Tableau V.6. Synthèse des résultats des élasticités-prix de la demande d'essence selon Dahl et Stern (1991)

| Qualification du modèle | Élasticité prix | |
|---|-----------------|------------|
| | Court terme | Long terme |
| 1- Modèle statique avec des données annuelles : CCARB=f(Prix, revenu) | -0.53 | - |
| 2- Modèle standard statique sur des données mensuelles et trimestrielles : CCARB=f(Prix, revenu) | -0.31 | - |
| 3- Modèle avec variable endogène retardée sur des données annuelles CCARB=f(Prix, revenu, CCARB ₋₁) | -0.24 | -0.80 |
| 4- Modèle avec variable endogène retardée sur des données trimestrielles CCARB=f(Prix, revenu, CCARB ₋₁) | -0.13 | -0.28 |
| 5- Modèle avec variable endogène retardée de 4 trimestriel | -0.14 | -0.59 |
| 6- Modèle avec variable endogène retardée d'un mois | -0.20 | -0.23 |
| 7- Modèle avec variable endogène retardée de 12 mois | -0.19 | -0.88 |
| 8- Modèle statique sur données annuelles avec variable exogène de parc : | -0.31 | - |

| | | |
|--|-------|-------|
| <hr/> CCARB=f(Prix, revenu, parc) <hr/> | | |
| 9- Modèle statique sur données mensuelles et trimestrielles avec variable exogène de parc : CCARB=f(Prix, revenu, parc) | -0.42 | - |
| <hr/> | | |
| 10- Modèle statique sur données annuelles avec caractéristiques de parc : CCARB=f(Prix, revenu, parc, carac.) | -0.16 | - |
| <hr/> | | |
| 11- Modèle statique sur données mensuelles et trimestrielles avec caractéristiques de parc : CCARB=f(Prix, revenu, parc, carac.) | -0.32 | - |
| <hr/> | | |
| 12- Modèle avec variable endogène retardée et parc sur des données annuelles : CCARB=f(Prix, revenu, parc, CCARB ₋₁) | -0.13 | -0.31 |
| <hr/> | | |
| 13- Modèle avec autres retards et parc sur données annuelles | -0.08 | |
| <hr/> | | |
| 14- Modèle avec autres retards et variable endogène retardée sur données annuelles | -0.22 | -0.94 |
| <hr/> | | |
| 15- Modèle avec variable endogène retardée et autres variables exogènes sur données annuelles : CCARB= f(prix, revenu, parc, Prix Transports, Prix ₋₁ , Revenu ₋₁ , CCARB ₋₁) | -0.41 | -0.77 |
| <hr/> | | |

De l'analyse de ce tableau, on peut tirer les conclusions suivantes:

- **La périodicité des données** reflète largement les estimations des élasticités : en passant de modèle standard classique avec données annuelles (1) au même modèle avec données mensuelles et trimestrielles, les valeurs des élasticités diminuent presque de la moitié dans la mesure où les consommateurs ont moins de temps de réaction face aux fluctuations. Les modèles 4, 5, 6 et 7 reflètent bien les phénomènes de saisonnalité. Nous constatons que **plus la périodicité augmente plus les élasticités diminuent**. Sterner (1990) ajoute que « *les courtes périodicités se limitent à traduire des élasticités de court terme même en introduisant des retards et qu'elles donnent des effets prix moins élastiques* ».
- En comparant **les modèles dynamiques** introduisant la variable endogène retardée (3) aux modèles statiques (1), nous remarquons que **les élasticités de long terme de modèles dynamiques correspondent presque aux trois fois de celles de court terme**, et que les élasticités de modèles statiques se situent généralement entre les deux. Ainsi, le modèle standard statique permet d'appréhender un effet prix que l'on peut qualifier de moyen terme.
- L'introduction de **l'effet de parc automobile** dans les modèles statiques **réduit de la moitié les élasticités prix**. De fait, en comparant le modèle (8) au modèle (1), nous remarquons l'effet d'une utilisation moins intensive de l'automobile et l'effet de progrès technique sur le niveau des élasticités. Dans les modèles dynamiques (12),

l'effet de parc fait réduire les élasticités prix. La prise en compte des caractéristiques des véhicules (11) aboutit à des élasticités encore plus faibles vu que l'utilisation de véhicules est moindre soit en raison de son ancienneté, soit en raison de progrès technique. La structure des prix ne peut pas demeurer constante s'il y a un changement technique (Pasinetti, 1988). En conséquence, l'effet prix est plus faible, en faveur de l'augmentation des distances parcourus et même d'achat d'un véhicule supplémentaire. Orfeuillat (1990) suggère que « *les modèles dynamiques intégrant l'effet de parc ou les caractéristiques de véhicules ne reflètent que des effets de court terme et que les estimations de ces élasticités sont biaisées en raison de mécanismes d'adaptation impliquant le bien durable* ».

- **La forme des retards** a aussi un impact sur les estimations d'élasticités. En effet, en comparant les modèles (13 et 14) au modèle (3), nous remarquons une diminution d'élasticité prix.
- **L'introduction d'autres variables exogènes** tels le modèle (15) qui suppose que le consommateur arbitre entre plusieurs modes de transport, donne des valeurs d'élasticités moindres que dans le cas de modèle standard classique (3). L'argument classique stipule que la prise en compte d'une pluralité de variables exogènes a l'avantage de capter mieux les ajustements de long terme. Cependant, l'indisponibilité des données conjoncturelles ou la non fiabilité de données brutes issues d'enquêtes constituent deux handicaps majeurs.

Force est de constater **l'influence de la technique d'estimation sur les valeurs d'élasticités calculées**. La littérature distingue trois méthodes, à savoir le modèle d'ajustement partiel, la cointégration et les méta-analyses. Schleiniger (1995) fait recours à la cointégration pour estimer les élasticités de la demande d'essence sur la période 1967-1994, en accordant une attention particulière à la stationnarité des variables utilisées. Les résultats sont surprenants dans la mesure où l'élasticité-prix de long terme est inférieure en valeur absolue à celle de court terme. Peter et al. (2002) ont montré que la demande d'essence en Suisse est parfaitement inélastique aux variations de prix sur la période 1998-2001. Samimi (1995) estime les élasticités de la demande de carburant dans le transport routier en Australie. Les résultats montrent le non significativité de l'élasticité-prix à court terme. Pour le cas de Kuwait durant la période 1970-1989, Eltony et Al-Mutairi (1995), en utilisant la même technique de cointégration, rejoignent le résultat de Banazak et al. (1999) postulant que

l'effet revenu est plus significatif que l'effet prix. Un tel résultat a été aussi affirmé par Ramanathan (1999).

Plus récemment, les survols traditionnels de la littérature ont été complétés par des méta-analyses, dans l'objectif de quantifier l'impact des caractéristiques des différentes études existantes sur les valeurs estimées des élasticités. Dans ce sens, la contribution d'Espey (1998) consiste à collecter 227 estimations de l'élasticité-prix de la demande de long terme et 363 estimations de l'élasticité-prix de court terme, couvrant la période 1929-1993. Les valeurs de l'élasticité-prix de la demande à long terme varient entre 0 et -2.72, avec une moyenne de -0.58, celle de court terme entre 0 et -1.36, avec une moyenne de -0.26.

La contribution de Brons et al. (2008) consiste à collecter 312 estimations de l'élasticité-prix à partir de 43 études. A court terme, les élasticités-prix sont comprises entre -1.36 et +0.37, avec une moyenne de -0.34 décomposée dans les élasticités par rapport à l'inverse de l'efficacité du carburant (-0.14), aux kilomètres parcourus par voiture (-0.12) et au nombre de voitures (-0.08). A long terme, elles se trouvent entre -2.04 et -0.12, avec une moyenne de -0.84 ventilée dans les élasticités par rapport à l'inverse de l'efficacité du carburant (-0.31), aux kilomètres parcourus par voiture (-0.29) et au nombre de voitures (-0.24).

A partir de ce recensement, la méta-analyse de Brons et al. (2008) permet de mettre l'accent sur les principaux facteurs expliquant la disparité des résultats d'estimations des élasticités-prix. Les études utilisant des données plus récentes aboutissent à des estimations d'élasticité-prix de la demande d'essence plus élevée en valeur absolue, impliquant ainsi une sensibilité accrue des consommateurs aux variations du prix de l'essence. Ce résultat contredit Hughes et al. (2008). Le passage de court terme au long terme fait augmenter les estimations d'élasticité, ce qui est compatible avec la théorie économique stipulant qu'avec le temps, le consommateur possède plus de moyens pour s'adapter aux changements de prix, tels l'achat d'une voiture qui consomme moins.

La règle économique générale stipulant que l'augmentation de prix implique une diminution de la quantité consommée (négativité de l'élasticité-prix) est violée dans plusieurs études portant sur la demande de carburant. En effet, Breunig et Murphy (2007) trouvent que la réponse de demande de carburant par rapport à une augmentation de prix est non

significative économiquement à court terme, pour le cas de l'Australie. Banazak et al. (1999) concluent que **l'effet de prix sur la demande d'essence est inélastique à court terme**, en mentionnant que **l'effet revenu est plus significatif que celui de prix** à Taiwan sur la période 1973-1992.

3. La prise en compte de l'hypothèse de l'asymétrie des ajustements de la demande

La présente discussion sur la place générale à accorder à la notion d'élasticité conduira naturellement à nous interroger sur la notion d'asymétrie et de réversibilité dans les modèles économétriques, question très à l'ordre du jour (Ajanovic et Haas, 2012; Ramos et Veiga, 2013). Dans cet esprit, certains chercheurs ont poussé l'investigation plus loin tout en s'attachant à *l'hypothèse de l'asymétrie des ajustements de la demande de carburant par rapport aux prix*. Dans cette alignée, Woffram (1971), Sweeney et Fenichel (1986), Wirl (1988) et Dargay (1990) ont remis en question les assertions classiques relatives à la constance et réversibilité des élasticités en exposant ainsi les fondements théoriques de l'asymétrie. Sweeney (1986) suggère que l'asymétrie peut se manifester sous deux formes distinctes :

- L'asymétrie de long terme qui se produit lorsque l'équilibre de long terme de la fonction de demande dépend de prix passés.
- L'asymétrie dynamique qui se caractérise par des taux d'ajustement à l'équilibre de long terme différents dans le cas d'une hausse ou d'une baisse de prix.

La figure V.6 illustre l'idée d'une réponse asymétrique de la demande aux mouvements de prix.

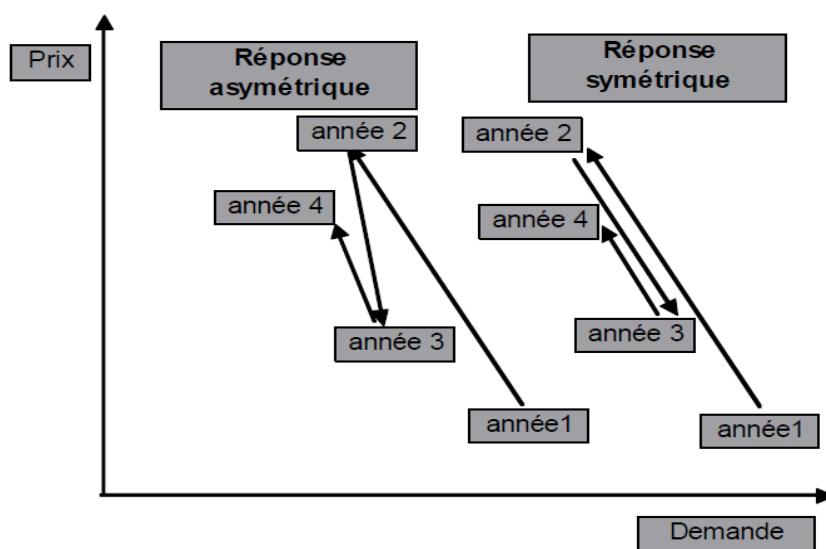


Figure V.6. Les différentes réponses de la demande aux prix

Source : d'après Gately et Hungtinton (2002), p. 23.

Le traitement de la réponse de la demande aux prix fait distinguer entre deux cas:

- La partie droite de la figure présente **la réponse symétrique** impliquant le fait que la réponse de la demande aux variations de prix a toujours la même pente, quelque soit le sens du mouvement de prix. En effet, comme il est illustré, la diminution de la demande suite à la forte augmentation du prix de l'année 1 est compensée à hauteur de l'effet de la baisse du prix à l'année 3, et de même pour l'augmentation du prix pour l'année 4.
- La partie gauche de la figure illustre le cas d'**une réponse asymétrique** suggérant que les pentes des réactions de la demande aux prix ne sont plus obligatoirement constantes et inversées en fonction du signe de la variation des prix. Autrement dit, une même variation du prix peut avoir des effets différents dans le temps. En conséquence, à l'encontre du cas d'une réponse symétrique, dans ce cas, les réponses de la demande ne compensent pas les effets des mouvements de prix en suivant une pente unique.

La contribution de Dargay (1990) est distinctive dans la matière. La relation entre le prix et la demande est dite symétrique en P_0 , si pour une variation Δ de prix, une hausse à $P_0 + \Delta$ implique le même ajustement mais de signe contraire qu'une baisse de prix $P_0 - \Delta$.

Beaucoup des estimations empiriques ont été effectuées afin de tester l'hypothèse de l'asymétrie d'ajustement de la demande de carburant par rapport au prix tels Hurst et Okogu (1988), Brown et Philipps (1989) et Shealy (1990). Malgré l'hétérogénéité de résultats entre la confirmation de cette hypothèse (Bopp, 1984 ; Uri et Hassanein, 1985 ; Lin et al., 1985 ; Bye, 1986 ; Dargay, 1990 ; Gately et Huntington, 2001 ; Ramos et Veiga, 2013) et son infirmation (Brennand, 1992 ; Gately, 1992 ; Dargay, 1993 ; Hogan, 1993 ; Ajanovic et Haas, 2012), toutes les études s'accordent sur le fait que la baisse des prix a un impact plus faible sur la demande qu'une hausse de prix. En outre, la demande de carburant est plus sensible aux hausses de prix, alors que les baisses n'ont qu'un effet marginal.

4. Formalisation de l'asymétrie des ajustements de la demande par rapport au prix

La formalisation économétrique de l'asymétrie des ajustements de la demande par rapport au prix suppose de déterminer une expression permettant de reproduire l'effet asymétrique dans un modèle de demande. La technique employée consiste à décomposer le prix de carburant afin de différencier la réponse de la demande en fonction du sens des

mouvements de prix, en partant de l'idée que le prix actuel résume l'information sur les baisses et les hausses historiques des prix.

L'étude rétrospective de la littérature fait ressortir trois approches de décomposition de prix :

- L'approche « max, hauss, baiss » en maximum historique, hausses cumulées et baisses cumulées, de Wolfram (1971) reprise par Traill (1971), Dargay (1991) et Gately (1992);
- La décomposition de Plourde et Ryan (2002);
- La décomposition d'Ajanovic et Haas (2012).

Décomposition 1: Asymétrie au sens général de Dargay (1991) et Gately (1992)

Il s'agit de décomposer le prix de carburant en trois composantes, à savoir les niveaux maximum (Pmax), les accroissements (Phauss) et les diminutions (Pbaiss). L'idée de l'introduction de Pmax se résume dans le fait que le consommateur réagit fortement en présence d'un choc externe que dans le cas d'une hausse tempérée. La deuxième composante comptabilise les hausses par rapport au maximum, alors que la troisième comptabilise les baisses.

Analytiquement, cette segmentation peut s'écrire comme suit :

$$LnPCARB_t = LnPmax_t + LnPhauss_t + LnPbaiss_t \quad (V.6)$$

Avec

$$LnPmax_t = \max (LnPCARB_0, \dots, LnPCARB_t)$$

$$LnPhauss_t = \sum_{i=0}^t \max \{0, (LnPmax_{i-1} - LnPCARB_{i-1}) - (LnPmax_i - LnPCARB_i)\}$$

$$LnPbaiss_t = \sum_{i=0}^t \min \{0, (LnPmax_{i-1} - LnPCARB_{i-1}) - (LnPmax_i - LnPCARB_i)\}$$

Cette spécification du prix décomposé en séries historiques est jugée comme le montrent les équations ci-dessus être la plus flexible et la plus contraignante à utiliser. En effet, l'ajout d'une année suppose de refaire tout. De même, on ne peut utiliser les séries de prix décomposés sur une sous-période de leur définition.

Conformément à l'intuition économique, l'élasticité Pmax est supérieur à celle Phauss, pour la simple raison qu'une envolée du prix à un seuil maximum a des effets plus importants qu'une simple progression de prix sur la demande. Cependant, certains auteurs tels Woffram (1971), Gately et Rappoport (1988), et Karrenbrock (1991) postulent implicitement l'égalité entre les deux.

Décomposition 2: Asymétrie au sens de Woffram (1971)

Cette décomposition consiste à définir deux composantes de prix de la manière suivante :

$$\text{LnPCARB}_t = \text{LnPW1}_t + \text{LnPW2}_t \quad (\text{V.7})$$

Avec

$$\text{LnPW1}_t = \text{LnPmax}_t + \text{LnPhauss}_t$$

$$\text{LnPW2}_t = \text{LnPbaiss}_t$$

D'autres auteurs tels Gately (1990) et Shealy (1990) vont plus loin en suggérant que les chocs externes affectent plus la demande que les variations. Ils mettent en évidence la notion de l'irréversibilité tout en supposant l'égalité entre l'élasticité Paugm et celle Pbaiss.

Décomposition 3: Asymétrie au sens de Traill (1971)

Selon Traill (1971), le prix est décomposé comme suit :

$$\text{LnPCARB}_t = \text{LnPT1}_t + \text{LnPT2}_t \quad (\text{V.8})$$

Avec

$$\text{LnPT1}_t = \text{LnPmax}_t$$

$$\text{LnPT2}_t = \text{LnPhauss}_t + \text{LnPbaiss}_t$$

Décomposition 4 : Plourde et Ryan (2002)

Elle repose sur l'opérateur de différence première à l'ordre k :

$$\Delta^k \text{PCARB}_t = \text{PCARB}_t - \text{PCARB}_{t-k} \quad (\text{V.9})$$

La mesure des hausses et des baisses¹⁹¹ se fait de la manière suivante :

Si $\Delta^k \text{PCARB}_t \geq 0$, alors $\Delta^k \text{PCARB}_t^+ = \Delta^k \text{PCARB}_t$ et $\Delta^k \text{PCARB}_t^- = 0$

Si $\Delta^k \text{PCARB}_t < 0$, alors $\Delta^k \text{PCARB}_t^- = \Delta^k \text{PCARB}_t$ et $\Delta^k \text{PCARB}_t^+ = 0$

¹⁹¹ L'exposant (+) signifie qu'il s'agit d'une hausse, alors que l'exposant (-) repère les baisses.

Nous distinguons ainsi deux composantes : Le premier mesure l'impact des hausses des prix, alors que le second mesure celle des baisses :

$$\Delta^k LPCARB_t = \text{Log} \left[1 + \frac{\Delta^k PCARB_t^+}{PCARB_{t-k}} \right] + \text{Log} \left[1 + \frac{\Delta^k PCARB_t^-}{PCARB_{t-k}} \right] \quad (\text{V.10})$$

Dans une seconde spécification, Plourde et Ryan (2002) procède de la même manière à une différenciation des logarithmes des prix, mais avec un ordre de différenciation de 1. Ainsi, le prix actuel est donc la somme de deux composantes suivantes :

$$\Delta^k LPCARB_t = \sum_{j=0}^{j=k-1} \left(\text{Log} \left[1 + \frac{\Delta^1 PCARB_{t-j}^+}{PCARB_{t-j-1}} \right] + \text{Log} \left[1 + \frac{\Delta^1 PCARB_{t-j}^-}{PCARB_{t-j-1}} \right] \right) \quad (\text{V.11})$$

Décomposition 5 : Ajanovic et Haas (2012)

La contribution d'Ajanovic et Haas (2012) est plus simple en utilisant une variable indicatrice D_{hauss} de la manière suivante :

$$\begin{aligned} D_{\text{hauss}} &= 1 \text{ si } PCARB_t > PCARB_{t-1} \\ D_{\text{hauss}} &= 0 \text{ si } PCARB_t \leq PCARB_{t-1} \end{aligned} \quad (\text{V.12})$$

Le test de l'hypothèse d'asymétrie consiste à tester la significativité de coefficient de la variable résultante ($D_{\text{hauss}} * \text{Ln} PCARB_t$).

II. Estimation de l'élasticité-prix de la consommation de carburant routier en Tunisie

Notre étude porte sur l'estimation de l'élasticité-prix de la demande de carburant dans le secteur du transport routier en Tunisie sur la période 1980-2010, tout en s'interrogeant sur l'hypothèse d'asymétrie de prix. En d'autres termes, il s'agit de savoir : *est ce que les réactions de la demande sont symétriques dans un cas de hausse ou de baisse de prix ? Autrement dit, une diminution de prix déclenche-t-elle le même ajustement de la demande en valeur absolue que dans le cas d'une augmentation ?*

1. Méthodologie

Nous avons pu constater dans le chapitre précédent, à travers l'analyse causale entre les différents indicateurs de transport routier énergétiquement durable, que la consommation de carburant routier en Tunisie dépend seulement de l'indicateur de prix. Ainsi, l'élasticité-prix de la demande peut être déterminée directement à partir de l'estimation du modèle d'ajustement partiel ci-dessous :

$$\ln CCARB_t = \alpha + \beta \ln PCARB_t + \phi TEMPS + \gamma \ln CCARB_{t-1} \quad (V.13)$$

Goodwin (1992) et Goodwin et al. (2004) insistent sur l'intérêt du recours aux modèles dynamiques pour pouvoir capturer les réponses à long terme et séparer le court du long terme. Ainsi, la réponse de la demande à un changement de prix n'est pas immédiate vu les délais d'ajustement. Le court terme correspond à une période de temps au cours de laquelle certains effets ne se produisent pas. A l'encontre, à long terme cependant, la quasi-totalité des ajustements ont lieu.

Dans ce modèle, l'introduction de la variable TEMPS est jugée nécessaire pour capter le progrès technique (Ayouz et Nadaud, 2005). On suppose implicitement que la demande observée s'ajuste de manière progressive et varie ainsi selon la vitesse d'ajustement γ . D'après Greene (1997), le coefficient $\gamma/(1-\gamma)$ représente le délai moyen, autrement dit le temps moyen pour que la consommation réelle atteigne le niveau socialement optimal.

Le choix de ce modèle réside principalement dans sa richesse et simplicité. En effet, grâce au processus d'ajustement partiel, nous pouvons facilement déterminer l'élasticité-prix de court terme et de long terme. En outre, les coefficients directement estimés représentent celles de court terme. Nous déduisons les élasticités de long terme en divisant ces coefficients par $1/(1-\gamma)$.

Par ailleurs, dans ce modèle, les élasticités-prix impliquent par définition que l'ajustement de la demande est symétrique à long terme par rapport aux variations de prix (élasticité prix symétrique). En d'autres termes, une baisse du prix compensée par une augmentation de même magnitude fait maintenir la consommation au même niveau. Afin de tester l'hypothèse d'asymétrie, le modèle ci-dessus est décliné en trois spécifications, en se

basant sur la technique de décomposition de prix. Ceci introduit des raffinements croissants du processus d'ajustement de la consommation de carburant. L'approche adoptée dans ce sens, est celle de Dargay (1991), qui consiste à proposer une méthodologie permettant de dissocier les effets des variations de prix, dans la mesure où les mouvements de prix sont susceptibles d'engendrer des conséquences différentes sur la demande.

S'inscrivant dans cette logique, les modèles avec décomposition du prix s'écrivent comme suit :

- **Modèle d'asymétrie complète :**

$$\ln CCARB_t = \alpha + \beta_1 \ln PMAX_t + \beta_2 \ln PHAUSS_t + \beta_3 \ln PBAISS_t + \phi TEMPS_t + \gamma \ln CCARB_{t-1} + \mu_t \quad (V.14)$$

Conformément à l'intuition économique, les coefficients β_i en valeur absolue doivent se trouver dans l'ordre suivant : $\beta_1 \geq \beta_2 \geq \beta_3$. Plus précisément, la première inégalité signifie qu'une hausse de maximum historique a des effets plus importants sur la demande qu'une simple progression de prix. La seconde inégalité stipule que l'augmentation d'un prix a des effets plus substantiels sur la demande qu'une baisse de prix.

- **Modèle d'asymétrie au sens de Wolfram :**

$$\ln CCARB_t = \alpha + \beta_1 \ln PW1_t + \beta_2 \ln PW2_t + \phi TEMPS_t + \gamma \ln CCARB_{t-1} + \mu_t \quad (V.15)$$

Dans ce cas, pour que les réponses aux majorations de prix soient plus significatives que les ajustements dus à une chute des prix, il s'agit simplement de vérifier l'inégalité suivante : $\beta_1 \geq \beta_2$

- **Modèle d'asymétrie au sens de Traill :**

$$\ln CCARB_t = \alpha + \beta_1 \ln PT1_t + \beta_2 \ln PT2_t + \eta \ln VARTH_t + \phi TEMPS_t + \gamma \ln CCARB_{t-1} + \mu_t \quad (V.16)$$

De même, cette spécification ne peut être acceptée économiquement que si $\beta_1 \geq \beta_2$, c'est-à-dire qu'un choc externe affecte plus la demande que les variations.

Notre méthodologie consiste donc à estimer quatre spécifications (*modèle symétrique, modèle d'asymétrie complète, modèle d'asymétrie au sens de Wolfram et modèle d'asymétrie au sens de Traill*) puis à les comparer aussi bien de point de vue significativité économétrique

qu'économique. La demande sera jugée symétrique et réversible si les ajustements sont les mêmes quelle que soit le cas d'un choc, hausse ou baisse ($\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$).

Pour ce faire, notre investigation empirique nécessite l'utilisation de deux indicateurs discutés précédemment : la consommation de carburant dans le transport routier (CCARB) et le prix moyen de carburant (PCARB). La figure V.7 montre la décomposition additive des prix moyens des carburants sur la période 1980 – 2010. Elle présente l'évolution de la série de prix moyen de carburant, la série du maximum historique, des hausses ou augmentations et des diminutions ou baisses cumulées.

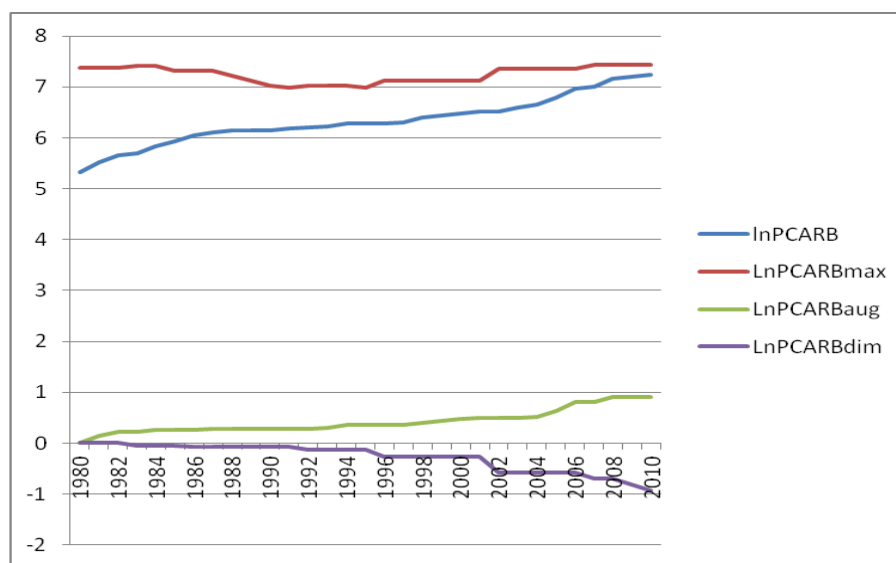


Figure V.7. Dynamique des composantes du prix moyen des carburants en Tunisie entre 1980 et 2010

Source : Élaboration de l'auteur

2. Résultats d'estimation

Dans le tableau V.7, nous reportons les résultats des estimations MCO des élasticités prix de la demande de carburant routier en Tunisie, selon les quatre spécifications exposées ci-dessus (voir annexe du chapitre 5, tableaux 1, 2, 3 et 4). Les coefficients en gras sont significatifs au seuil de 5%.

Tableau V.7. Synthèse des élasticités prix de la demande de carburant routier en Tunisie entre 1980-2010

| | Symétrie | Asymétrie complète | Asymétrie au sens de Wolffram | Asymétrie au sens de Traill |
|---|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Élasticité-prix | $\sigma_{PCARB} = -0,15$ (0,00) | $\sigma_{pmax} = -0,09$ (0,46) | $\sigma_{pw1} = -0,12$ (0,02) | $\sigma_{pt1} = -0,08$ (0,27) |
| | | $\sigma_{Phauss} = -0,16$ (0,16) | $\sigma_{pw2} = -0,02$ (0,8) | $\sigma_{pt2} = -0,16$ (0,00) |
| | | $\sigma_{Pbaiss} = -0,00$ (0,95) | | |
| R2 ajusté | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 |
| DW | 1,63 | 1,63 | 1,67 | 1,70 |
| Trend | 0,015 | 0,023 | 0,019 | 0,015 |
| Ajustement γ | 0,62 | 0,54 | 0,58 | 0,63 |
| Délai moyen $\gamma/(1-\gamma)$ | 1,63 | 1,17 | 1,38 | 1,70 |

L'analyse de résultats d'estimations peut être résumée en trois points :

- Dans le modèle supposant la symétrie de l'effet de prix, toutes les variables sont économétriquement significatives et ayant économiquement le signe attendu (voir tableau 1 de l'annexe du chapitre 5). L'élasticité-prix est égale à -0,15 à court terme et -0,39¹⁹² à long terme. Le trend temporel autonome est de 1,5% par an. Ce coefficient positif de trend peut être expliqué par la non amélioration de l'efficacité dans l'utilisation du carburant. Le délai d'ajustement moyen tombe à 1 an.
- Le modèle d'asymétrie complète n'est pas satisfaisant du point de vue économétrique et économique. Les élasticités prix sont non significatives. De même, ces coefficients ne correspondent pas à l'intuition économique suggérant que l'effet d'un choc est plus fort que l'effet d'une augmentation.
- Les modèles d'asymétrie au sens de Wolffram et d'asymétrie au sens de Traill sont sensiblement identiques en présentant la significativité économétrique d'un seul composant de prix.

¹⁹² Nous déduisons les élasticités de long terme en divisant l'élasticité de court terme par $1/(1-\gamma)$. Avec γ est la vitesse d'ajustement.

En synthèse, le modèle dynamique avec trend supposant l'hypothèse de la symétrie de l'effet de prix sur la demande de carburant, est nettement plus satisfaisant sur le plan économétrique et économique. En effet, la présence d'asymétrie n'est pas détectée et nous acceptons le modèle contraint ($\sigma_{PCARB} = \sigma_{p\max} = \sigma_{Phauss} = \sigma_{Pbaiss}$) vu que les résultats empiriques n'attestent plus de l'asymétrie et de l'irréversibilité des ajustements de la demande de carburant, consécutives à des variations de prix. Cette constatation nous amène à penser que les ménages ont des revenus faibles et donc n'ont pas de choix à acheter des voitures plus efficaces ou prendre des décisions irréversibles.

L'analyse de ces résultats empiriques permet de formuler quatre remarques.

- Premièrement, l'élasticité-prix de long terme (-0,39) est inférieure à l'unité ce qui traduit que **la demande de carburant en Tunisie est inélastique** : pour une variation de prix de 10%, la variation relative de la demande à long terme est de 3,9% ;
- Deuxièmement, **elle est inférieure à l'élasticité-prix moyenne issue de la littérature** (-0,5). Ce résultat n'est pas surprenant dans un pays émergent où la croissance économique nécessite une mobilité accrue. Ainsi, malgré la variation de prix, la nécessité de se déplacer augmente.
- Troisièmement, malgré la valeur relativement faible de l'élasticité prix, elle est loin d'être négligeable. Ceci signifie que **la politique des prix serait assez efficace pour contrôler la demande de carburant en Tunisie**.
- Finalement, nos résultats sont très proches de celles publiées par l'ANER¹⁹³ (2000). En effet, en utilisant la technique d'ajustement partiel sur la période 1980-1997, cette étude a abouti à une élasticité-prix de court terme de -0,17, valeur très proche à celle de notre estimation (-0,15).

3. Résultats des tests de constance de l'élasticité

Nous allons passer en revue les différentes sorties des tests économétriques, afin de :

- vérifier la qualité de l'ajustement du modèle à travers l'étude de l'autocorrélation des résidus ; et
- vérifier l'hypothèse de la constance de l'élasticité-prix à travers la présentation des différents résultats du modèle récursif pour conclure avec les tests de changement structurel.

¹⁹³ Rapport intitulé « Étude d'impact des prix de l'énergie sur la demande » sous la tutelle de ministère de l'industrie (2000).

a) Validité du modèle double-log

La validité du modèle double-log de symétrie, appliqué à nos données peut être vérifiée à travers l'étude de coefficient de détermination linéaire¹⁹⁴ et l'exploitation du test de Durbin Watson (DW)¹⁹⁵. L'étude du coefficient de détermination linéaire (R^2) juge bien la bonne qualité d'ajustement du modèle (0,99). Concernant le test DW, toutes les conditions d'utilisation sont bien respectées : le modèle est spécifié en série temporelle, le nombre d'observations (31) est supérieur à 15 et enfin le modèle estimé comporte un terme constant (Bourbonnais, 2003). La valeur calculée est égale à 1,63. Cette valeur est à comparer à celles lues dans la table de DW correspondant à un nombre d'observations (31) et un nombre de variables explicatives (3), soit 1,23 et 1,65. La valeur DW se situe dans la zone d'intermédiation ou de doute, cependant à proximité immédiate de la zone d'acceptation de H_0 . Nous pouvons donc conclure l'absence d'autocorrélation des erreurs.

b) Les tests de constance d'élasticité-prix

On distingue généralement trois tests : test par estimation réursive permettant à la fois de donner une idée sur la constance des coefficients et de détecter d'éventuels changements structurels, test CUSUM pour la détection de mouvements systémiques, et le test CUSUM SQ pour la détection de mouvements aléatoires.

L'estimation réursive des paramètres¹⁹⁶ porte sur deux graphiques. Le premier indique les différentes valeurs de l'élasticité calculée récurivement. Il permet de donner

¹⁹⁴ Le coefficient de corrélation linéaire permet de donner une idée sur la qualité de l'ajustement d'un modèle. Ce coefficient qui se base sur le calcul de la variance expliquée et de la variance totale permet de donner une idée sur le nuage de points de la droite des moindres carrés. En effet, plus la variance expliquée est proche de la variance totale, meilleurs est l'ajustement.

¹⁹⁵ Le test DW est le plus fréquemment utilisé pour l'identification d'autocorrélation de résidus. En effet, l'existence d'une autocorrélation des résidus, phénomène très fréquente lors du traitement de données chronologiques, a essentiellement deux origines : soit l'absence d'une variable explicative essentielle dont l'introduction permettra une redistribution aléatoire des erreurs, soit une mauvaise spécification du modèle qui n'est pas linéaire et doit être reformulé. Il permet de détecter une autocorrélation des erreurs d'ordre 1 et de rendre compte de la validité des coefficients du modèle et donc des élasticités calculées. Pour tester l'hypothèse nulle H_0 , il suffit de comparer la valeur calculée à la valeur tabulée qui dépend de la taille de l'échantillon et de nombre de variables explicatives.

¹⁹⁶ L'estimation réursive des paramètres est une procédure itérative qui consiste à estimer un premier modèle avec les k premières données de l'échantillon puis de refaire l'estimation en rajoutant à chaque fois une donnée jusqu'à atteindre la totalité de l'échantillon. La philosophie de cette procédure consiste à estimer le modèle et donc l'élasticité et le coefficient constant à partir des K premières observations. Ce nombre est choisi automatiquement par le logiciel Eviews de manière à ce que l'erreur d'estimation du modèle soit acceptable. En second lieu, les $k+1$ premières données sont utilisées pour calculer une nouvelle fois les coefficients du modèle. Cette procédure est poursuivie jusqu'à l'obtention des derniers coefficients calculés sur la base de l'intégralité de l'échantillon, donc les n observations. Cette procédure engendre une séquence d'élasticité, encadrée par un fuseau qui représente plus ou moins deux fois l'écart-type.

l'allure de la variabilité de l'élasticité dans le temps. Le second, qui représente le résidu récursif, permet de détecter les années présentant une instabilité majeure ou un changement structurel.

Les tests CUSUM et CUSUM SQ sont issus de la régression récursive. Ils permettent de compléter l'approche précédente en étudiant l'évolution des résidus qualifiés de récursifs. La différence entre les deux tests est que le CUSUM (Cumulative SUM)¹⁹⁷ se base sur la somme cumulée des résidus récursifs, alors que CUSUM SQ¹⁹⁸ calcul la somme cumulée du carré des résidus récursifs. Le test CUSUM est un test graphique permettant de tester l'hypothèse de la stabilité des coefficients sur toutes les périodes. Sa statistique doit se situer à l'intérieur du corridor, si non l'hypothèse nulle de la constance est rejetée. Alors que le test CUSUM SQ sert à détecter les mouvements aléatoires qui ne proviennent pas forcément d'une modification structurelle des paramètres. La stabilité des coefficients au cours du temps est testée à partir des résidus récursifs carrés qui doivent rester dans l'intervalle défini comme fonction de la statistique de Kolmogorov-Smirnov.

La figure V.8 ci-dessous récapitule les faits marquants que font ressortir les différents tests par estimation récursive.

¹⁹⁷ Les tests CUSUM sont proposés par Brown et al (1975) dont le fondement de base est le calcul des résidus récursifs et la dynamique de l'erreur de prévision dans le modèle récursif. Le résidu récursif pour un échantillon à k variables s'écrit comme le rapport de l'écart entre la prévision calculée par le modèle à k -1 observations des k observations et celle du modèle à k observations, sur une variable d'échelle calculée pour les k observations. Il consiste à détecter d'éventuels mouvements systémiques dans la valeur des coefficients. En outre, toute rupture implique le rejet de la spécification de la demande sur toute la période.

¹⁹⁸ Le CUSUM SQ est fondé sur la somme cumulée du carré des résidus récursifs (Brown et al., 1975).

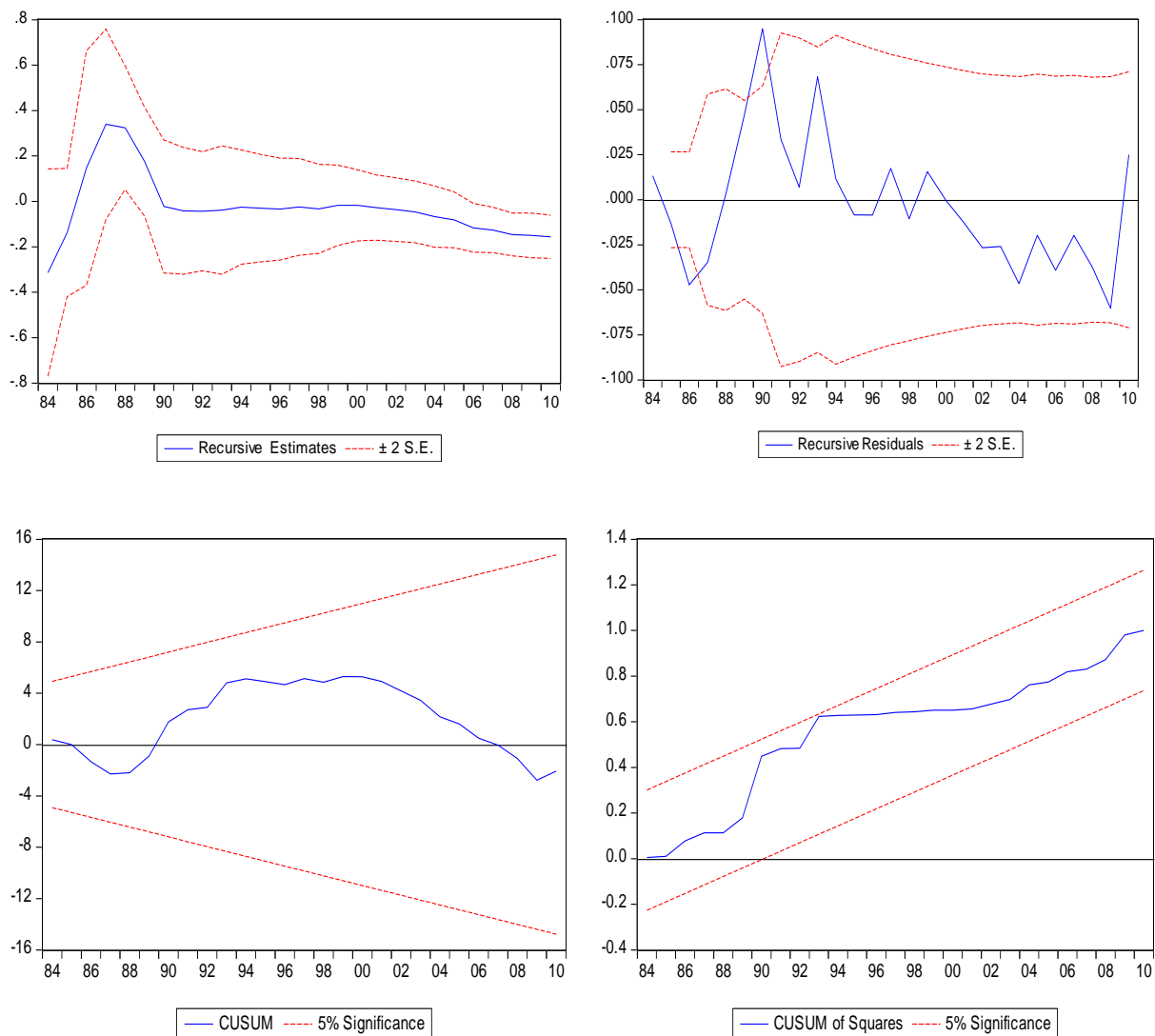


Figure V.8. Résultats de tests de constance d'élasticité-prix

Source : Élaboration de l'auteur

Le graphique de l'élasticité récursive indique une stabilisation relative de l'élasticité prix à partir de 1990 et tourne autour de -0.2 depuis cette date. Le graphique du résidu récursif montre aussi une stabilité sauf pour les années 1986 et 1990 où un débordement est mis en évidence. Ces deux années constituent les dates d'instabilité ponctuelles et font référence aux chocs pétroliers.

Nous remarquons que le graphique du CUSUM n'indique aucun débordement et donc aucun changement structurel dans la fonction de demande de carburant en Tunisie sur la période 1980-2010. En effet, ce test confirme l'hypothèse de constance des paramètres sur toute la période étudiée. Le test CUSUM SQ montre que la statistique de test reste à

l'intérieur du corridor sur toute la période d'étude. Nous concluons ainsi qu'il n'existe **aucun changement des ruptures aléatoires**, ce qui traduit **une stabilité des élasticités mesurées**.

Section 3 : L'effet de rebond dans le transport routier en Tunisie

Les politiques énergétiques visant à réduire la consommation d'énergie et les émissions de dioxyde de carbone associées se focalisent aujourd'hui sur l'amélioration de l'efficacité énergétique. Toutefois, les gains d'efficacité énergétique attendus sont en partie annihilés par les effets pervers d'un ajustement des comportements individuels, ce que l'on qualifie communément d'« effet rebond » ou d'effet de « reprise » (Jones, 1993 ; Haughton et Sarkar, 1996 ; Greene et al., 1999; West, 2004 ; Small et van Dender, 2007).

L'objectif de cette section est de **mesurer l'ampleur de l'effet rebond dans le transport routier en Tunisie et d'analyser les instruments politiques** à mettre en œuvre pour atténuer et neutraliser et si possible **prévenir ce phénomène contreproductif de rebond**.

I. L'effet de rebond, « quand économiser fait consommer plus »

L'existence et l'ampleur de l'effet de rebond (*take-back effect*) constituent deux sujets de controverses dans la littérature récente portant sur l'économie de l'énergie. A l'échelle internationale, ce débat attire plus d'importance dans le cadre des politiques publiques de lutte contre le réchauffement climatique du protocole de Kyoto ou bien du scénario facteur 4.

1. Cadrage conceptuel

La revue de littérature présente deux controverses fondatrices, issues de deux courants opposés. Le premier stipule que l'effet de rebond est généralement présent dans les politiques de maîtrise de l'énergie mais il est inférieur au potentiel d'économies d'énergies. Ainsi, il a un seul effet, celui de réduire les économies effectives par rapport au potentiel estimé d'économies. En conséquence, les politiques de maîtrise de l'énergie sont efficaces. Au contraire, le second courant insiste sur le fait que l'effet de rebond n'est pas systématique et que les politiques de maîtrise de la demande d'énergie peuvent aboutir à faire augmenter les consommations d'énergie au lieu de les réduire. Ce constat est connu sous l'effet de « retour

de flamme » (backfire), postulant que l'effet de rebond peut dépasser cent pour cent les économies d'énergie réalisables¹⁹⁹.

Depuis les années 80, plusieurs chercheurs ont pris l'effet de rebond comme un axe fondamental d'investigation théorique et empirique (Khazoom, 1980 ; Lovins, 1988 ; Greene, 1992 ; Berkhout et al., 2000 ; Reinhard et Peter, 2000 ; Greening et al., 2000 ; Binswanger, 2001 ; Bentzen, 2004 ; Brannlund et al., 2007 ; Madlener et Alcott, 2008 ; Turner et Hanley, 2011). Ce sujet est de plus en plus étudié par les économistes, et il fait rarement l'objet d'approches empiriques et moins encore interdisciplinaires. Tout au long de ces dernières années, plusieurs définitions de l'effet de rebond ont été avancées.

Quant à son origine historique, l'effet de rebond découle de paradoxe de Jevons (1865) et de Postulat de Khazoom-Brookes (1980). Jevons (1865) énonce que **les améliorations technologiques** augmentant l'efficacité avec laquelle une ressource est employée, **impliquent une augmentation de la consommation totale de cette ressource**. En particulier, ce paradoxe signifie que l'introduction de technologies plus efficaces en matière d'utilisation d'une ressource peut être assimilée à une baisse du prix du produit de l'utilisation de cette ressource, ce qui engendre généralement une augmentation de la demande de ce bien. Selon cet auteur, l'effet rebond n'est autre que l'écart entre l'augmentation de l'efficacité d'utilisation d'une ressource et la consommation de celle-ci.

En s'intéressant à la problématique de la consommation d'énergie et de comportement individuel, Khazoom et Brookes (1980) soutiennent l'idée qu'une meilleure efficacité énergétique tend paradoxalement à augmenter la consommation énergétique. Les travaux de Khazoom et Brookes ont commencé après les crises pétrolières de l'OPEP en 1973 et 1979, à partir de constat de **l'augmentation de la demande pour des automobiles à plus faible consommation**. Le postulat de Khazoom-Brookes est considéré comme une déduction très contre-intuitive à propos de l'efficacité : une augmentation de prix de l'énergie a pour effet de réduire la demande initialement, mais à plus long terme cela encourage une meilleure efficacité énergétique (progrès technique). Ainsi, la réponse en efficacité (comportement individuel) compense partiellement l'augmentation des prix et fait affaiblir la réduction de la

¹⁹⁹ Nous nous plaçons dans le premier courant de la littérature. Ainsi, notre intérêt se porte sur l'effet de rebond direct.

demande. Les voitures utilisant moins de carburant peuvent provoquer une augmentation correspondante du nombre de voitures, des trajets et d'activités liées aux voyages plutôt qu'une baisse de la demande en énergie.

Berkhout et al. (2000) stipulent qu'il s'agit de « *l'accroissement de consommation d'énergie induite par la baisse du coût unitaire d'usage permis par le progrès technique.* » Autrement dit, c'est « *la part de l'efficacité énergétique perdue par l'accroissement de l'usage* ».

Schneider et al. (2003) défendent l'idée de « *l'augmentation de la consommation liée à la réduction des limites à l'utilisation d'une technologie, ces limites pouvant être monétaires, temporelles, sociales, physiques, liées à l'effort, au danger, à l'organisation...* ».

Sophie Némoz (2013) suggère que les gains d'émissions de CO₂ obtenus suite à une amélioration de l'efficacité énergétique de certains équipements ou d'une réduction de l'intensité de la croissance économique en certains services énergétiques dépendent de trois facteurs : l'ampleur de l'amélioration de l'efficacité énergétique ou de la décroissance de l'intensité énergétique mais aussi de la réaction de la demande finale et du niveau général de l'activité. L'appellation d'effet rebond regroupe « *les mécanismes de réaction de ces deux dernières variables à des gains d'efficacité énergétique ou à des réductions de l'intensité énergétique de l'activité* ».

En synthèse, d'après les différentes définitions, nous remarquons qu'il y a un grand consensus sur le fait que l'effet de rebond peut être synthétisé sous la formule « quand économiser fait consommer plus ». Tel que diagnostiqué par les économistes, cet effet correspond initialement à l'idée que les réductions de consommation énergétique attendues à la suite de gains d'efficacité énergétique peuvent être partiellement compensées par une hausse de la demande des services énergétiques. Même si le cadre conceptuel de cette notion est relativement simple, ses mécanismes sont plus complexes, vu que le principal déterminant de l'effet rebond reste le comportement du consommateur. Une illustration classique est que l'introduction de véhicules de plus en plus efficaces permettant de profiter des économies de carburant. L'aspect économique joue également un rôle important. Ainsi, **ces économies réalisées poussent les agents à augmenter leur consommation totale en pratiquant une mobilité plus fréquente et plus lointaine** (Sorrell, 2009 ; Gossart, 2010), puisque celle-ci

leur coûté moins. Les économies d'énergie réalisées sont ainsi partiellement annihilées par une augmentation des besoins de circulation. Généralement, l'effet de rebond est exprimé par le ratio du bénéfice perdu par rapport au bénéfice pour l'environnement pour une consommation constante.

2. Types de l'effet rebond

Dans son sens large, l'effet de rebond peut prendre trois types. En reprenant les travaux de Greening et al. (2000), Barker et al. (2007) proposent la distinction entre trois types d'effet rebond :

- ✓ **L'effet rebond direct** qui se décompose en deux sous-effets : premièrement, les gains d'efficacité énergétique pour un service énergétique donné induisent une baisse du prix effectif de ce service et/ou une augmentation de revenus. En résultant, les consommateurs peuvent réagir *en augmentant leur demande* pour le service énergétique. Deuxièmement, on peut parler d'effet de substitution, dans la mesure où suite à la baisse du prix d'un service énergétique, les consommateurs peuvent répondre en substituant ce service à d'autres de manière à consommer encore plus de biens.
- ✓ **L'effet rebond indirect** est réalisé lorsque les gains réalisés sur un poste conduisent à accroître la consommation dans d'autres postes. Il se manifeste par le fait que les investissements et les technologies d'économie d'énergie nécessitent, eux-mêmes, de l'énergie pour être réalisés, ce qui peuvent réduire les économies d'énergies réalisées (Sorrell, 2007).
- ✓ **L'effet rebond global** qui se décompose en trois sous-effets, à savoir *les effets sur les prix des biens intermédiaires et finaux* dans l'ensemble de l'économie (la baisse des prix du marché de l'énergie favorise une plus grande utilisation générale des services liés à l'énergie), *les effets composite* (l'augmentation de la demande pour les biens et les services à forte intensité énergétique) et *les effets sur la croissance économique* (une augmentation globale de la productivité énergétique stimule davantage la croissance entraînant ainsi une augmentation de la demande d'énergie).

En termes d'impact sur l'économie, plusieurs auteurs annoncent que l'effet rebond peut avoir un impact positif sur la croissance économique et sur le bien-être en permettant une répartition différente des ressources. Toutefois, il s'agit d'éviter la pire forme de l'effet rebond, connu sous l'effet « backfire » qui se produit lorsque **l'économie d'énergie est surcompensée et la demande totale en énergie augmente au final.**

3. Analyse micro-économique de l'effet rebond

La figure V.9 clarifie économiquement la notion d'effet rebond. Selon Greening et Greene (2000), le mécanisme régissant l'effet rebond repose sur le lien entre efficacité énergétique, prix de l'énergie et coût de production du service. L'augmentation de l'efficacité implique la baisse de coût unitaire de production, ce qui peut induire une demande supplémentaire du service. En conséquence, le montant d'économies d'énergie est moindre que ce qui est anticipé.

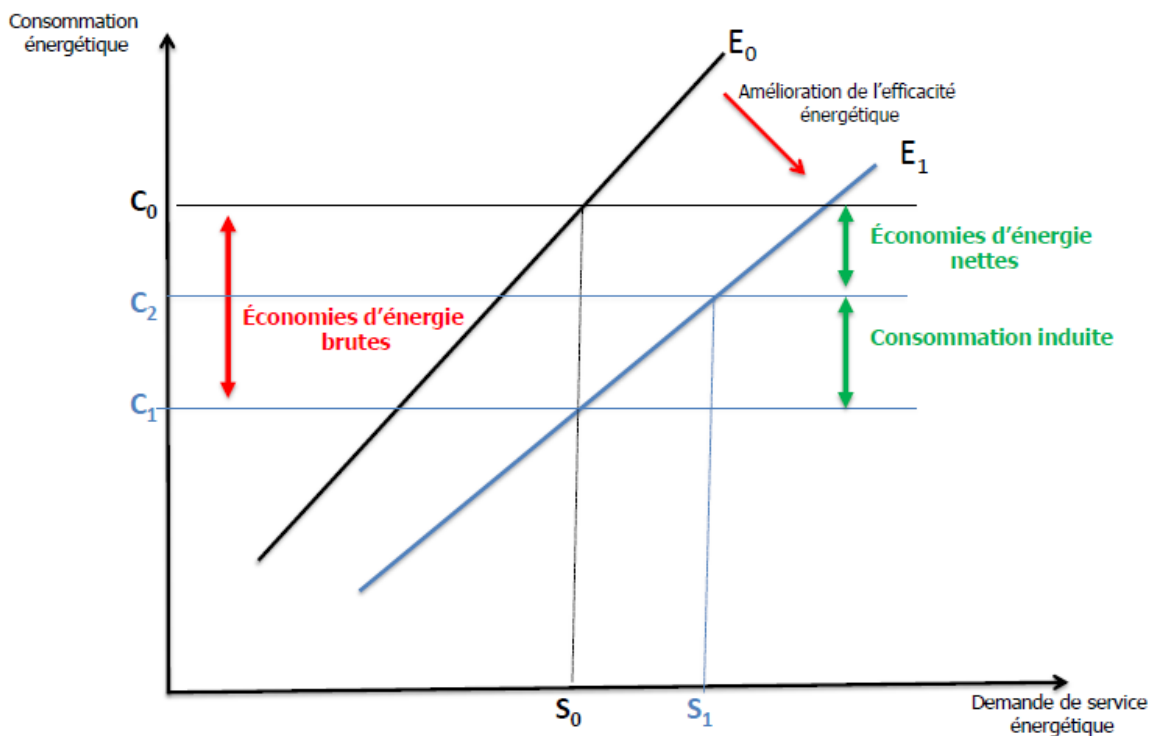


Figure V.9. Analyse économique de l'effet rebond

Source : Adapté de Greening et Greene (2000).

L'amélioration de niveau de l'efficacité énergétique d' E_0 à E_1 , en supposant que le niveau de service (S_0) reste constant, fait réduire la consommation d'énergie de C_0 à C_1 . Cependant, la réalité économique postule qu'à l'encontre de la sobriété énergétique, l'efficacité énergétique substitue à la consommation d'énergie une plus grande consommation de bien efficace (la sobriété correspond à une consommation d'énergie plus faible, à consommation de bien efficace constante).

Comme illustré dans la figure V.10, l'efficacité et la sobriété énergétiques apparaissent donc comme partiellement antagonistes, ce qui constitue un obstacle à la maîtrise de l'énergie.

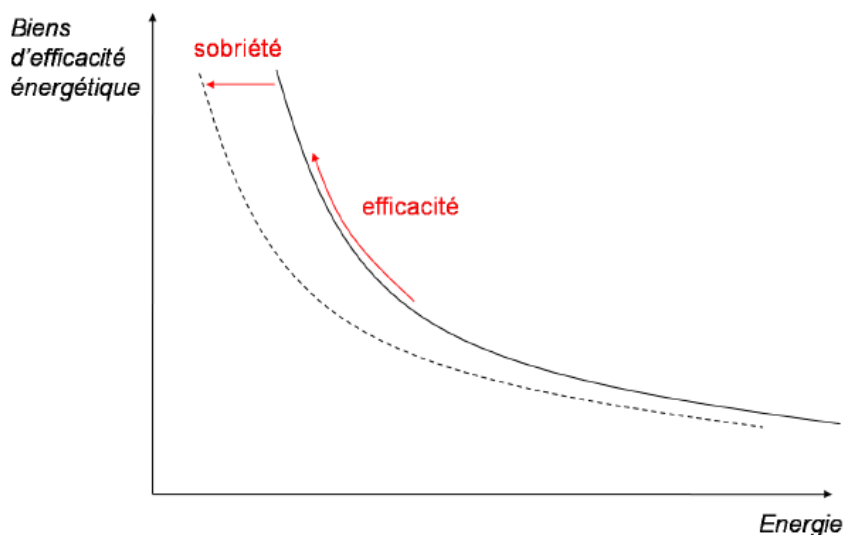


Figure V.10. Arbitrage économique entre l'efficacité et la sobriété

Source : Giraudet, 2011.

Pour tout « bien » économique, la demande de service énergétique augmente quand son prix baisse. Le coût du service dépend du prix de l'énergie et du prix du bien énergétique, alors que son coût marginal dépend du seul coût variable, celle des dépenses d'énergie. En effet, à quantité constante, le coût marginal du service énergétique augmente avec le prix de l'énergie (à technologie constante) et diminue avec l'efficacité du bien d'usage de l'énergie (à prix de l'énergie constant), puisqu'une moindre quantité d'énergie est alors nécessaire pour assurer le même service.

Dans ce sens, Berkhout et al. (2000) suggèrent que la baisse des consommations unitaires imputable au progrès technique incorporé entraîne un accroissement du pouvoir d'achat à dépense constante qui se traduit par un usage accru de l'appareil, ce qui entraîne une consommation finale d'énergie plus importante ex-post malgré que l'on dispose d'un appareil plus performant.

Par conséquent, toutes choses égales par ailleurs, un accroissement de l'efficacité énergétique du bien d'usage diminue le coût marginal du service énergétique pour finalement en augmenter la demande de service énergétique de S_0 à S_1 , ce qui induit une consommation d'énergie C_2 . Les économies brutes d'énergie calculées suite à l'amélioration de l'efficacité énergétique correspond à $\Delta C^0 = C_0 - C_1$. Suite à la diminution de prix de l'énergie, l'augmentation de la consommation énergétique est évaluée à $\Delta C^1 = C_2 - C_1$. Les économies d'énergie nettes ($C_0 - C_2$) qui s'ensuivent sont donc moindres que les économies brutes prédites

par la seule variation d'efficacité. La différence entre la consommation ex-ante (avec la technologie ancienne) et la consommation ex-post mais à niveau d'usage constant représente l'effet de rebond ER qui peut être calculé comme suit :

$$ER = \left| \frac{\Delta C^1}{\Delta C^0} \right| \times 100 \quad (\text{V.17})$$

La possibilité d'une augmentation de la consommation suite à l'accroissement de l'efficacité énergétique renvoie principalement à la non neutralité des comportements aux changements dans l'environnement économique.

En outre, l'existence de l'effet de rebond vient à l'encontre de la thèse évoquée par les partisans de l'efficacité énergétique ou du développement durable (Weizsäcker et al., 1997), selon laquelle l'élasticité de la consommation d'énergie à l'efficacité énergétique est égale à l'unité tout en négligeant ainsi les effets comportementaux (Binswanger, 1999). Les réponses comportementales sont en quelque sorte non maîtrisables, ce qui rend la prévision des effets de l'augmentation de l'efficacité énergétique difficiles.

Il est bien évidemment que l'amélioration des performances techniques des véhicules privés connaît des limites. La diminution des émissions de CO₂ et les gains d'efficacité énergétique attendus sont en quelques sortes affectés par l'ajustement des comportements individuels : **plus une voiture est économe en carburant, plus on conduit**. Comprendre ces comportements et les changer est un exercice encore complexe à saisir et constitue le centre d'ancrage des politiques de maîtrise de la demande d'énergie (Barreau et al., 2013).

En récapitulatif, suite à un changement technique, la figure V.11 présente l'effet de rebond comme un processus distinguant trois types de gains d'efficacité énergétique :

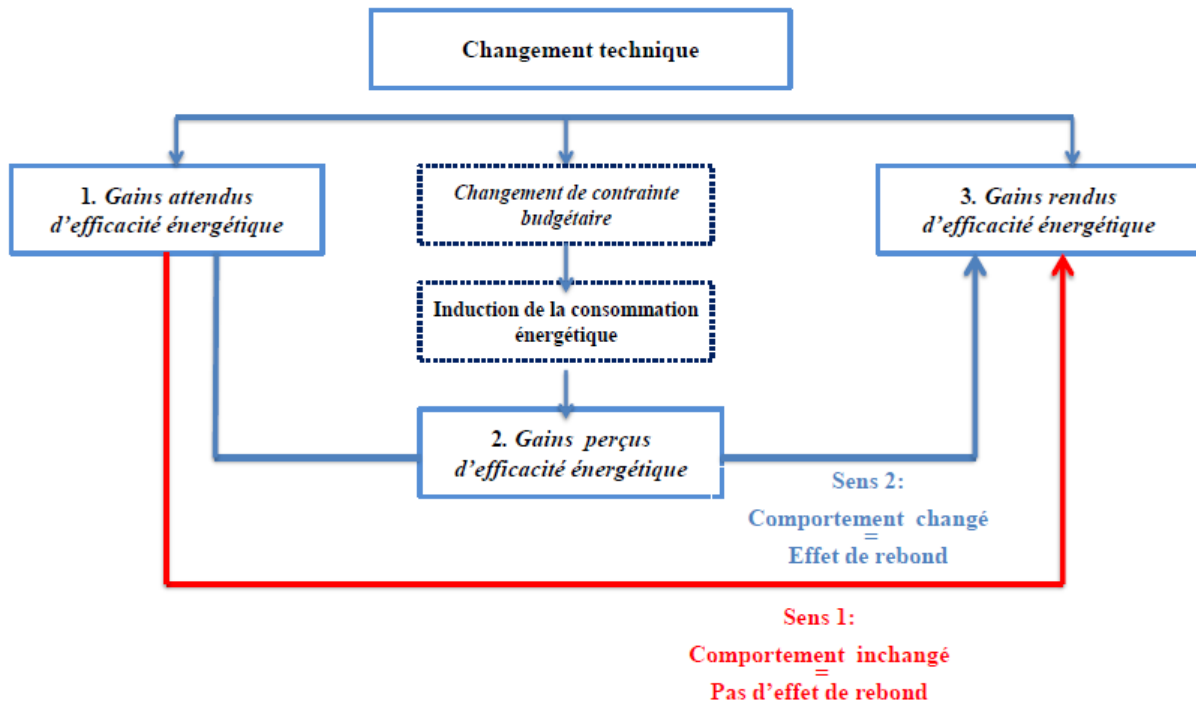


Figure V.11. Nouvelle conceptualisation de l'effet de rebond

Source : Élaboration de l'auteur

L'illustration de l'effet de rebond consiste dans le rapprochement entre les trois axes suivants :

- *Les gains attendus (théoriques) d'efficacité énergétique* qui déterminent, pour un progrès technique donné, les économies d'énergies brutes résultantes et attendues par l'action publique ;
- *Les gains perçus d'efficacité énergétique* qui soulignent la perception des utilisateurs de service énergétique. La réaction comportementale d'utilisation de service énergétique suite à la réduction de dépense en énergie, constitue le cœur de fondement de l'effet de rebond ;
- *Les gains rendus d'efficacité énergétique* fait référence à l'évaluation des économies d'énergie nettes. Si la réaction comportementale est en faveur d'un comportement inchangé d'utilisation de services énergétiques, la correspondance entre les gains attendus et les gains rendus d'efficacité énergétique est vérifiée (**sens 1**). Dans ce cas, il n'y a pas d'effet de rebond. Si non, le changement de contrainte budgétaire causé par la réduction de dépense en énergie fait infléchir les économies attendues d'énergie suite à une induction de la consommation énergétique (**sens 2**). Ainsi, l'écart entre les gains attendus et les gains rendus d'efficacité énergétique montre l'existence de l'effet de rebond.

4. État de l'art sur effet rebond dans les transports

De point de vue sectoriel, l'effet rebond peut concerner tous les services énergétiques quel que soit l'agent économique qui les consomme. Cependant, il est particulièrement puissant dans le secteur de transport routier (Sorrell et Dimitropoulos, 2008, Matos, 2011, Turner, 2011), où le progrès technique induit sur les véhicules implique **une hausse des coûts de transport inférieure à l'impact mécanique de l'augmentation des prix des énergies**. Cet effet est encadré non seulement par la contrainte budgétaire classique mais aussi par une contrainte de budget temps. En outre, le progrès technique dans le transport routier se traduit essentiellement par une augmentation du nombre de kilomètres parcourus par litre de carburant. Le coût du kilomètre parcouru baisse selon l'effet prix, ensuite, à budget temps et monétaire constant, on aura une augmentation du nombre de kilomètres parcourus puisque le ménage considéré aura la possibilité de consommer plus de ce service.

Dans le transport routier, l'effet rebond suscite aujourd'hui de plus en plus de débats. Il s'agit d'une réalité admise et observée par les économistes de l'énergie, même si l'ampleur de cet effet constitue largement un sujet de controverse vu la divergence de ses définitions et la rareté, voire l'ambiguïté de ses évaluations empiriques (Greene, 1992 ; Schipper et al., 1994 ; Sorrell et Dimitropoulos, 2008 ; Matos, 2011).

En outre, dans la mesure où les véhicules économes en carburant offrent une plus forte possibilité de se déplacer à moindre coût, les consommateurs traduisent ce gain en choisissant de voyager plus loin et/ou plus souvent, ce qui annule une partie des économies d'énergie réalisées. A cet instar, selon des études américaines, l'effet rebond du transport automobile en termes d'augmentation des distances parcourues suite à une diminution des consommations unitaires des véhicules oscille entre 10 et 30 % des économies d'énergie réalisées. Autrement dit, si l'effet rebond est de 30 %, cela signifie que seules 70 % des économies d'énergie attendues seront réalisées (Sorrell et Dimitropoulos, 2008 ; Herring et Sorrell, 2009; Matos, 2011 ; Turner, 2011). Pour Greene (1992), lorsque l'efficacité énergétique dans le transport augmente de 1%, la distance parcourue s'allonge de 0.15% (effet rebond de 0.15) aux États Unis durant la période 1966-1989. Schipper et al. (1994) estiment un effet rebond encore supérieur en valeur se situant entre 0.25 et 0.42. Pour le même pays, mais durant la période 1966-2001, Small et VanDender (2007) estiment que l'effet rebond associé à l'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules légers est de l'ordre de 4.7% à court terme et de 22% à long terme.

Pour le cas de Canada, Lamonde (2007) estime qu'il existe un effet rebond dans le transport routier comprise entre 19% et 24% à long terme tout au long de la période 1990-2004. La contribution de Matos et Silva (2011) consiste à estimer l'effet rebond dans le transport routier de marchandises en Portugal durant la période 1987-2006. Les résultats indiquent que l'amélioration de l'efficacité énergétique n'entraîne pas d'effet « backfire », mais implique un effet rebond direct estimé à l'ordre de 24.1%. Récemment, Némoy (2013) montre que la plupart des indicateurs significatifs d'effets rebonds dans le transport routier sont en augmentation en Europe entre 1990-2005.

En moyenne, les estimations empiriques de **l'effet de rebond direct** portant essentiellement sur **les transports personnels et la demande de carburant convergent vers un taux de 10 % à court terme et une moyenne de 20 % à 30 % à long terme** (Sorrell, 2007).

Cependant, le test empirique et l'interprétation de l'effet de rebond nécessitent une rigueur particulière (Binswanger, 2001) :

- L'effet de rebond est dans la plupart du temps estimé sur des données agrégées, en supposant le modèle de service unique : *l'hypothèse de la séparabilité du service analysé économétriquement de tous les autres services énergétiques.*
- Seule l'énergie est considérée en tant qu'input de la production du service: *l'hypothèse de l'unicité de l'énergie comme facteur de production de service.* Cependant, d'autres inputs sont pertinents surtout dans le secteur de transport, tels le bien capital (l'automobile) ou encore temporel (la fréquence et la longueur des déplacements).

II. La mesure de l'effet rebond dans le transport routier en Tunisie

À l'heure actuelle, l'estimation économétrique de l'effet de rebond dans le secteur de transport constitue un domaine actif dans le champ de l'économie de l'énergie vu l'importance de son évaluation pour l'élaboration de politiques énergétiques durables. Malgré que les économistes de l'énergie s'accordent sur le fondement théorique solide d'un tel effet, son ampleur et sa mesure restent une question empirique encore largement débattues à cause l'absence d'une méthodologie unifiée de quantification. Nous proposons ici une mesure de l'effet rebond dans les transports routiers privés en Tunisie sur données annuelles couvrant la période 1980-2010. L'approche adoptée consiste à modéliser la consommation unitaire de

carburant par véhicules afin d'évaluer le signal prix sur l'ampleur d'utilisation de la voiture particulière suite à un gain d'efficacité énergétique favorisé par le progrès technique.

1. Le modèle théorique de Khazoom (1980)

Le modèle de référence de l'effet rebond dont la quasi-totalité des travaux empiriques s'inspirent, est introduit par Khazoom (1980). La formalisation théorique proposée considère le cas de la demande d'un unique service énergétique (D) dont le prix P est supposé égal au rapport entre le prix de l'énergie fournissant le service (P_E) et l'efficacité énergétique de la technologie de production (ε). En ignorant le revenu et les autres prix, la fonction de demande de service énergétique peut être écrite comme suit :

$$D = f(P) = f(P_E / \varepsilon) \quad (\text{V.18})$$

La fonction de la demande d'énergie (E) peut être déduite de la manière suivante :

$$E = D(P) / \varepsilon \quad (\text{V.19})$$

La relation entre l'élasticité prix de la demande de service énergétique $\eta_p(D)$ et l'élasticité de l'efficacité énergétique de la demande d'énergie $\eta_\varepsilon(E)$ est la suivante :

$$\eta_\varepsilon(E) = \frac{\partial E}{\partial \varepsilon} \frac{\varepsilon}{E} = \frac{\partial(D/\varepsilon)}{\partial \varepsilon} \frac{\varepsilon}{E} \quad (\text{V.20})$$

Cette expression peut être développée comme suit :

$$\eta_\varepsilon(E) = \left[D \frac{\partial(1/\varepsilon)}{\partial \varepsilon} + \frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial D}{\partial \varepsilon} \right] \frac{\varepsilon}{E} = \left[-D\varepsilon^2 + \frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial D}{\partial \varepsilon} \right] \frac{\varepsilon^2}{D} \quad (\text{V.21})$$

En final, on peut aboutir à écrire :

$$\eta_\varepsilon(E) = \frac{\varepsilon}{D} \frac{\partial D}{\partial \varepsilon} - 1 = \eta_p(D) - 1 \quad (\text{V.22})$$

Le résultat de ce développement analytique est que l'élasticité de la demande d'énergie $\eta_\varepsilon(E)$ est égale à l'élasticité de la demande de service $\eta_p(D)$ moins un. En remplaçant l'efficacité par son expression en fonction du prix relatif de l'énergie au service ($\varepsilon = \frac{P_E}{P}$), on obtient :

$$\eta_{\varepsilon}(E) = \frac{\varepsilon}{D} \frac{\partial D}{\partial \varepsilon} - 1 = \frac{P_E / P}{D} \frac{\partial D}{\partial (P_E / P)} - 1 = -\eta_P(D) - 1 \quad (\text{V.23})$$

Le postulat de Khazoom se résume dans le fait que l'élasticité de la demande d'énergie à l'efficacité du service est égale à l'opposé de l'élasticité prix du service moins un. En outre, comme l'élasticité prix est négative, il n'y a pas d'effet de rebond que si cette élasticité est inférieure à 1 en valeur absolue. Selon Saunders (1992), cette expression peut être synthétisée dans le fait qu' « à prix de l'énergie fixé, les gains en efficacité énergétique vont accroître la consommation d'énergie au dessus de ce qu'elle aurait été sans ces gains ».

Concernant la mesure de l'effet de rebond pour les transports personnels, la contribution de Greening et al. (2000) consiste à caractériser l'effet de rebond direct en trois origines:

- *l'effet de parc*, c'est-à-dire l'accroissement du nombre de véhicules ;
- *l'effet d'accroissement de la consommation de carburant par véhicules* suite au progrès technique,
- *l'effet kilométrage*, c'est-à-dire l'accroissement du nombre de kilomètres parcourus en moyenne.

La totalité d'investigations empiriques dans le domaine des transports estime l'effet de rebond direct en se référant à deux déterminants de la demande de transport routier : la consommation de carburant par véhicule et le nombre de Km parcouru par litre de carburant pour refléter l'usage des véhicules personnels suite à un changement technique. Cependant, la sensibilité de l'efficacité énergétique, mesurée par la consommation par véhicules, aux variations du prix du carburant est perçue relativement plus importante et constitue la plupart de l'effet constaté sur le trafic. D'une manière assez simple, l'effet rebond se représente comme l'opposé de l'élasticité prix de la consommation de carburant par véhicule. Une telle approche a été sujet à caution en sciences économiques vu que dans cet exercice de modélisation, l'hypothèse que l'argent économisé par l'automobiliste peut être dépensé dans d'autres services énergétiques ou dans des biens de consommations est rejetée (Dimitropoulos, 2007 ; Sorrell, 2009).

2. Estimation de l'élasticité-prix de l'efficacité énergétique en Tunisie

Afin d'évaluer l'effet de rebond dans le transport routier en Tunisie, notre investigation empirique consiste à estimer l'élasticité prix de la consommation de carburant par véhicules routiers sur la période 1980-2010. L'approche adoptée est la cointégration bivariée entre les deux séries annuelles, prises sous forme logarithmique, suivantes :

- La consommation du carburant par véhicules routiers (CCARBV)
- Le prix moyen réel du carburant (PCARB)

La dernière série temporelle a fait déjà l'objet d'analyse statistique dans le chapitre précédent. L'application de tests statistiques d'ADF et de PP (tableau V.8) montre que l'indicateur CCARBV est stationnaire en différence première au seuil de 5%.

Tableau V.8. Résultats de tests de racine unitaire

| Variables | ADF | | PP | |
|------------------------|-----------|------------------------|-----------|------------------------|
| | En niveau | En différence première | En niveau | En différence première |
| LNCCARBV | -2.01 | -5.21 | -1.98 | -5.20 |
| Valeurs critiques à 5% | -2.96 | -2.96 | -2.96 | -2.96 |

Note: Notez que seulement la constante est incluse dans les tests.

L'ensemble des variables sont donc stationnaires en différence première au seuil de 5%. Nous pouvons alors conclure qu'elles sont intégrées d'ordre un (I(1)), ce qui donne la possibilité de l'existence d'une relation de cointégration.

Nous déterminons la longueur du retard optimal pour le test de cointégration de Johansen à travers l'estimation du modèle VAR non contraint en minimisant les critères d'Akaike (AIC) et de Schwarz(SC). Le tableau V.9 montre que le nombre de retard optimal retenu est $p^*=1$.

Tableau V.9. Sélection du nombre de retard du modèle VAR

| | VAR(1) | VAR(2) | VAR(3) |
|----------------------------------|---------|---------|--------|
| Critère d'information d'Akaike | -14.63 | -14.77* | -14.27 |
| Critère d'information de Schwarz | -13.68* | -13.06 | -11.80 |

*La plus petite valeur de deux critères.

D'après le tableau V.10, l'analyse de la cointégration en utilisant le test de Johansen (1990) conduit à accepter l'existence de relation de cointégration et donc la possibilité d'utiliser un modèle VECM.

Tableau V.10. Tests de cointégration de Johansen

| Valeurs propres | $H_0 : r$ | Trace | λ -max | Valeurs critiques à 5% | |
|-----------------|-----------|-------|----------------|------------------------|----------------|
| | | | | Trace | λ -max |
| 0.673 | 0 | 57.06 | 32.47 | 54.07 | 28.58 |
| 0.360 | 1 | 24.58 | 12.98 | 35.19 | 22.29 |

Note : Les valeurs critiques pour la valeur propre maximale et les statistiques de test de trace sont proposés par Johansen et Juselius (1990). r indique le nombre de relation de cointégration : le test de Trace indique une équation de cointégration au seuil de 5%. Le test la valeur propre maximale indique une équation de cointégration au seuil de 5%. Nous supposons que les données n'ont pas des tendances déterministes et que les relations de cointégration ont des constantes.

Lorsqu'il s'agit de deux variables (modèle bivarié), la méthode la plus répandue est celle d'Engle et Granger (1987). Dès lors, le modèle à correction d'erreur peut être estimé en deux étapes :

- **Première étape : Estimation par les MCO de la relation de long terme :**

$$\text{LnCCARBV} = \alpha + \beta \text{LnPCARB} + e_t \quad (\text{V.24})$$

- **Deuxième étape : Estimation par les MCO de la relation du modèle dynamique (court terme) :**

$$\Delta \text{LnCCARBV} = \lambda_1 \Delta \text{LnPCARB} + \lambda_2 e_{t-1} + \mu_t \quad (\text{V.25})$$

Le coefficient λ_2 est défini comme étant la force de rappel vers l'équilibre. Il doit être significativement négatif. Si non, le mécanisme de correction d'erreur, sorte de rattrapage qui permet de tendre vers la relation de long terme, va au sens contraire et s'éloigne de la cible de long terme. La force de rappel permet d'avoir un aperçu sur le degré d'instabilité de l'élasticité entre le long et le court terme.

Puisque notre modèle est spécifié en double-log, les coefficients des deux modèles, de long terme et dynamique, sont interprétés comme l'élasticité de long terme et celle de court terme. La différenciation entre ces deux élasticités permet de mesurer la tendance générale de l'interaction consommation unitaire du carburant/ prix du carburant d'une part, et d'apprécier ponctuellement l'amplitude de cette interaction de l'autre part.

L'étude de l'élasticité à long et court terme a pour objectif principal la comparaison de la tendance globale et la réactivité instantanée de l'efficacité énergétique par rapport au prix. L'existence d'une relation de cointégration entre les deux séries nous permet de différencier une tendance de long terme de celle de court terme.

Les résultats d'estimation (voir annexe du chapitre 5, tableaux 5 et 6) sont synthétisés dans le tableau V.11 ci-dessous :

Tableau V.11. Les résultats d'estimation d'élasticité prix de la consommation de carburant par véhicules

| LnPCARB | LnCCARBV | | |
|---------|------------|-------------|-----------------|
| | Long terme | Court terme | Force de rappel |
| | -0.51* | -0.18** | -0.35* |

*Significativité au seuil de confiance de 1%

** Significativité au seuil de confiance de 5%

Selon le tableau V.11, nous remarquons que :

- *Les élasticités prix de la consommation du carburant par véhicule sont négatives avec une différence notable entre le long et le court terme.* Cet écart reflète une variabilité importante de la réactivité au prix du carburant de la consommation par véhicules en Tunisie ;
- La force de rappel du modèle de correction des erreurs est assez importante en valeur absolue indiquant la rapidité à laquelle le court terme rejoint la tendance de long terme et donc *une stabilisation rapide entre le long et le court terme* ;
- *Les élasticités au prix de la consommation par véhicules sont inférieures à l'unité.* L'intensité de la consommation du carburant par véhicules est donc peu élastique au prix moyen du carburant routier.

3. Évaluation de l'effet de rebond dans le transport routier en Tunisie

L'effet de rebond induit par le prix du carburant sur la consommation du carburant peut être calculé simplement en remplaçant les valeurs estimées de l'élasticité prix dans l'équation du modèle théorique de référence. Les valeurs issues de notre essai de modélisation sont données dans le tableau V.12.

Tableau V.12. Évaluation de l'effet de rebond sur la consommation de carburant

| | Élasticités prix | Effet de rebond |
|---------------|------------------|-----------------|
| A court terme | -0,18 | 18% |
| A long terme | -0.51 | 51% |

A court terme, l'élasticité prix est de l'ordre de -0.18, alors la consommation du carburant par véhicules baisse de 82% lorsque l'efficacité énergétique augmente de 1% : **l'effet rebond est de 18% à court terme**. A long terme, l'élasticité prix est de l'ordre de -0,51, alors la consommation du carburant par véhicules baisse de 49 % lorsque l'efficacité énergétique augmente de 1 % : **l'effet rebond est de 51% à long terme**.

L'effet rebond causé dû aux prix varie de 18 % à 51%. Ces estimations dépassent la tranche médiane des travaux économétriques résumés dans la littérature dont l'effet de rebond varie entre 10 % et 30 %.

L'effet rebond est non négligeable en Tunisie. Cet effet contrecarre la baisse attendue en stimulant l'utilisation et la possession de la voiture particulière. Les gains d'efficacité sont donc partiellement compensés par l'augmentation du parc et de la consommation du carburant par véhicules. La prépondérance de l'effet rebond en Tunisie peut être expliquée par deux principaux facteurs :

- **Facteur comportemental** : suite à des gains d'efficacité dus au progrès technique, le comportement des usagers de la voiture particulière en Tunisie est un phénomène encore complexe à saisir (Chalkley et al., 2001). Les modifications de l'allocation des ressources peuvent distinguer deux types de comportement. Certains automobilistes ont un comportement inchangé : même avec la diminution des dépenses en carburant, l'utilisation et la possession de la voiture restent inchangées. D'autres ont un comportement modifié, soit en utilisant davantage la voiture en termes de kilométrage parcouru et donc de consommation de carburant, soit en s'équipant d'une voiture supplémentaire, soit en rognant sur d'autres postes de dépenses (vêtements, nourriture, loisirs)²⁰⁰. Le comportement résultant au niveau de l'ensemble de la population (qui comprend les peu sensibles et les plus sensibles au signal-prix) reste ambigu. Son orientation est incontournable pour toutes politiques de transport routier énergétiquement durable (Barreau et al., 2013). En Tunisie, l'intervention des autorités publiques est censée guider les choix des usagers de transport privé vers une conduite plus économe en

²⁰⁰ Dans ce sens, Berkhout et al. (2000) suggèrent que suite au progrès technique, il y a deux types d'effets : les de premier ordre et de diverses rétroactions de second ordre sur d'autres agents. Cela recouvre la notion d'externalités pécuniaires, c'est-à-dire de la modification de l'équilibre général induit par des mouvements de prix. Les effets de premier ordre concernent les effets prix et revenu directs d'une amélioration de l'efficacité énergétique pour le consommateur et le producteur concernés. Par contre, les effets secondaires sont les effets induits sur les autres secteurs dont l'évaluation paraît plus difficile.

utilisant des véhicules propres. L'instrument de l'action publique le plus conseillé est ainsi la fiscalité environnementale du transport automobile.

- **Facteur économique** : En Tunisie, les subventions à l'efficacité énergétique génèrent un effet de rebond important. Dans ce sens, la réduction des subventions, voire leur élimination constitue un pilier important pour lutter contre l'effet de rebond et concrétiser la synergie entre la dimension économique et environnementale de la durabilité énergétique dans le transport routier en Tunisie.

Conclusion

Tout au long de ce chapitre, les investigations empiriques portant sur les mécanismes de transmission de prix de carburant en Tunisie sur la période 1980-2010 ont été étendues dans trois directions.

La première s'attache, en amont de la phase de consommation du carburant, à déterminer les répercussions du prix du pétrole à l'international sur la formation du prix du carburant à l'échelle nationale. L'absence de causalité entre ces deux prix confirme que le mode de tarification des carburants en Tunisie induit **une distorsion par rapport au prix à l'international**. Cette déconnexion des cours mondiaux nous pousse à conclure que la formation du prix de carburant est soumise à une logique politique et à penser vivement à la question de transparence qui en découle.

La seconde direction s'intéresse à l'exploration de **l'asymétrie de l'effet prix sur la demande de carburant**. Sur le plan économétrique, les résultats sont très satisfaisants et les estimations montrent une stabilité des différentes élasticités. Parmi les principaux résultats, on dénote une faible réactivité de la consommation de carburant au prix réel du carburant, une symétrie de réponse de la consommation du carburant au prix et la présence d'un progrès technique autonome rapide affectant positivement la consommation. Ce dernier résultat nous appelle à réfléchir vivement à l'interaction progrès technique-consommation du carburant routier et à attribuer plus d'importance au concept de gains d'efficacité énergétique nettes. En outre, la réalité de cette interaction est régie par le comportement individuel des usagers et leurs perceptions et réactions suite à la diminution de la dépense allouée au carburant causée par le changement technique de véhicules routiers.

Motivée par un ancrage théorique solide, la troisième direction consiste à **quantifier l'effet de rebond** par le biais d'une représentation plus fine de la formation de la demande de transport routier. Les estimations montrent que **l'effet rebond direct est compris entre 18 % à court terme et 51% dans le long terme**. En effet, à court terme, les gains d'efficacité énergétiques entraînent une hausse de 18% de la consommation de carburant. A long terme, les impacts sont plus importants : les gains d'efficacité énergétiques entraînent une hausse de 51% de la consommation de carburant. Ces résultats dépassent en quelque sorte les estimations moyennes de la littérature. En Tunisie, l'effet rebond dans le transport routier est très prépondérant et toute politique de transport routier énergétiquement durable doit en tenir compte. En effet, de nouveau, l'articulation entre l'action sur les besoins de mobilité privée et le coût d'usage des automobiles est un levier d'action important.

En conclusion, à la remarquable stabilité de la fonction de consommation de carburant s'ajoute un effet de rebond significatif en Tunisie. En effet, nous concluons qu'une approche uniquement basée sur le prix du carburant aura une efficacité faible, d'autant plus que l'effet rebond direct a pour effet de diminuer l'impact des mesures d'économies réalisées. Autrement dit, la prise en compte de progrès technique fait amoindrir l'importance du prix du carburant dans la formation de la demande.

En termes de politique publique, l'action doit être de très grande ampleur, en raison de l'effet rebond. En Tunisie, le prix de carburant paraît avoir un rôle important mais seulement au sein d'un faisceau étroit. Le mode de formation de ce prix en déconnection complète du cours mondiaux et l'importance des subventions rendent difficile l'interprétation des élasticités obtenues économétriquement. En outre, la mise en œuvre d'une politique efficiente de prix de carburant exige de revoir les mécanismes de pilotage de prix de carburant (*question de formation du prix de carburant*) d'une part, et de maîtriser un certain nombre de contraintes inhérentes au progrès technique et aux comportements des usagers qui en découle de l'autre part (*question de perception du prix de carburant*).

Conclusion générale

La présente thèse consacrée à **la modélisation des interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable** a permis non seulement d'exploiter l'abondante littérature sur le sujet, mais également d'identifier les leviers d'action pour que la politique de transport routier en Tunisie soit durable sur le plan énergétique.

En partant de l'affirmation selon laquelle la dimension sociale (en terme de taux de motorisation individuelle) et la dimension économique (en termes de transport informel), ne sont pas pleinement prise en considération pour éclairer les prises de décision en matière de politique de transport routier énergétiquement durable, l'objectif de cette thèse a été de **valider empiriquement la relation entre le système de transport routier (composé de l'infrastructure routière et du parc de voitures particulières), le système énergétique (composé de la consommation de carburant routier et du prix moyen de carburant), l'économie réelle et les émissions de CO₂ du secteur du transport**. Étant donnée la controverse à propos de sens de causalité entre ces indicateurs, nous avons en recours à une panoplie de techniques économétriques afin de mieux cerner cette problématique. La spécificité de notre travail réside essentiellement dans le passage de causalité entre indicateurs aux articulations entre politiques ce que nous considérons comme nécessaire pour l'aide à la décision publique dans la matière.

Les principaux résultats théoriques

Si le développement durable est né du constat d'effets négatifs produits par l'homme sur son environnement, sa signification est multiple tout en s'attachant aussi bien aux ressources naturelles qu'aux secteurs productifs. Dès lors, il n'existe pas de cadre conceptuel unique. Dans ce sens, la première partie de cette thèse a été consacrée à **l'évaluation théorique du rapprochement épistémologique entre la durabilité énergétique et le transport durable**.

L'évolution de la littérature sur le sujet peut être résumée en deux facettes: (1) l'existence de multiples travaux portant sur le transport durable, ses enjeux et ses pratiques; (2) l'essor plus récemment d'analyses critiques de l'approche sectorielle et l'émergence du concept de développement énergétique durable suite à la montée en puissance de la question

de la lutte contre le changement climatique. Notre contribution consiste à remettre en cause de telle analyse segmentée dans la mesure où la problématique du transport routier durable dépend et fait dépendre de développement énergétique durable : elle s'inscrit dans toute démarche de durabilité énergétique et présente, en même temps, un cadre vierge pour la recherche des options énergétiques durables spécifiques pour le secteur du transport. **L'intégration de ces deux aspects de la durabilité a donné naissance au développement théorique du concept de transport routier énergétiquement durable : un transport routier dont la consommation énergétique est conçue à la fois comme une cause et un résultat d'un transport durable.**

Cette réflexion a été basée sur **l'approche de la modélisation conceptuelle** qui a permis, en premier lieu, de caractériser ce concept en **trois dimensions : le transport routier compétitif, le transport routier vert et le transport routier équitable**. En second lieu, nous avons eu recours à **la modélisation PIR** afin d'opérationnaliser les dimensions en termes d'indicateurs tout en tenant compte de spécificités du territoire Tunisie et de la disponibilité de données. Notre essai de modélisation a fait sortir trois « groupes d'indicateurs » ventilés en six indicateurs relatifs à **l'intensité de consommation de carburant routier par habitant (indicateurs de pression), l'intensité de la valeur ajoutée du secteur de transport par habitant et l'intensité d'émissions de CO₂ dues au trafic routier par habitant (indicateurs d'impacts), le taux de motorisation, l'intensité de l'infrastructure routière par habitant et le prix moyen de carburant routier en Tunisie (indicateurs de réponse).**

Synthèse des résultats empiriques

Les investigations empiriques de la présente thèse se sont attachées à répondre à quatre questionnements. *La première question est relative à la contextualisation de la Tunisie en termes de transport routier énergétiquement durable* tout en cherchant à déterminer son positionnement international en matière d'efficacité énergétique et d'efficacité environnementale de la consommation d'énergie dans le transport routier. L'approche adoptée, inspirée de Karanfil (2008) et Fiorito (2013), a été appliquée sur un échantillon de 90 pays sur la période 1980-2010. Les résultats ont montré que **la Tunisie est classée en matière d'efficacité énergétique au 48^{ème} rang et en 38^{ème} rang pour l'efficacité environnementale**. Selon l'index général de la performance énergétique dans le secteur du transport routier, **le rang de la Tunisie est relativement stable** en se classant **au 34^{ème} rang en 2010**. Nous remarquons que **la Tunisie a subi une amélioration relative de la**

performance générale dans le transport routier, avec un gain de 15 rangs dans le classement entre l'année 1980 et l'année 2010. Cependant, elle est jugée comme **un pays à performance moyenne-élevée**. Dans ce sens, les efforts en matière de **performance énergétique globale** nécessitent d'être consolidés davantage en cherchant en permanence la synergie entre l'efficacité énergétique et l'efficacité environnementale.

*La seconde question s'inscrit dans le cadre de la mesure des indicateurs pilotes du transport routier énergétiquement durable et a porté principalement sur le problème d'estimation de la valeur ajoutée réelle de secteur de transport. La démarche adoptée a été axée sur l'application de filtre de Kalman (1960) selon l'approche environnementale présentée par Karanfil et Ozkaya (2007). Les résultats ont montré **la prépondérance de participation du transport informel à la croissance économique de secteur de transport tout en présentant presque 61% du total de la valeur ajoutée du secteur en 2010.***

*La troisième question concerne la modélisation économétrique des interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie. La dynamique de relations causales entre la consommation du carburant dans le transport routier, les émissions de CO₂ dues au transport, la valeur ajoutée réelle du secteur du transport, le prix moyen du carburant, la longueur de l'infrastructure routière et le taux de motorisation en Tunisie sur la période 1980-2010 a été basée sur l'application de modèle VECM et le test de modèle de CEK. Les principaux enseignements sont : (1) **l'incohérence de triangle énergétique dans le transport routier en Tunisie** tout confirmant l'hypothèse de neutralité entre la consommation de carburant et la valeur ajoutée réelle du secteur du transport ; (2) **la validation de l'hypothèse de CEK** ; (3) **la mise en évidence d'un cercle vicieux de l'automobile** et (4) **la centralité d'impact de prix de carburant sur la dynamique des interactions.***

Ce dernier résultat a été l'objet de *la dernière question qui est relative principalement à l'estimation des élasticités prix de la consommation du carburant routier et l'étude économétrique de l'effet de rebond dans le secteur de transport routier en Tunisie. Les résultats empiriques ont montré que **le prix du pétrole brut ne présente pas un déterminant effectif du prix de carburant en Tunisie.** En conséquence, la distorsion par rapport au prix du pétrole à l'international est confirmée en Tunisie entre 1980-2010. En utilisant le modèle d'ajustement partiel et la technique de décomposition de prix, **l'hypothèse de la symétrie de***

l'effet de prix sur la demande de carburant, est nettement plus satisfaisante sur le plan économétrique et économique. A l'instar des élasticités prix estimées, l'analyse du signal-prix a permis de quantifier et saisir l'importance de l'effet de rebond dans le transport routier en Tunisie sur la période 1980-2010. En effet, le modèle théorique de Khazoom (1980) a été adopté pour modéliser la consommation de carburant par véhicules afin d'évaluer l'effet de prix sur l'ampleur d'utilisation de la voiture particulière suite à un gain d'efficacité énergétique favorisé par le progrès technique. Les résultats ont montré que **l'effet rebond est non négligeable en Tunisie** tout en présentant 18 % à court terme et 51% dans le long terme. Plus précisément, à court terme, les gains d'efficacité énergétiques entraînent une hausse de 18% de la consommation de carburant par véhicule, alors qu'à long terme, les impacts sont plus importants dans la mesure où les gains d'efficacité énergétiques entraînent une hausse de 51% de la consommation de carburant par véhicule. Ces résultats dépassent les estimations moyennes de la littérature.

Recommandations

Sur le plan managérial, notre contribution consiste essentiellement dans un approfondissement quant à l'analyse des articulations entre la politique de consommation du carburant routier, la politique de prix de carburant, la politique économique, la politique environnementale, la politique d'infrastructure routière et la politique de la voiture particulière. A l'instar de différents résultats, nous avons conclu **(1) une relation de dépendance entre la politique environnementale et la politique énergétique, la politique économique et la politique d'offre de transport routier ; (2) une relation d'interdépendance entre la politique environnementale et la politique d'offre de transport routier ; (3) une relation d'indépendance entre la politique énergétique et la politique économique ; (4) un effet symétrique de prix du carburant sur la consommation et (5) l'impact de progrès technique dans la formation de l'effet de rebond.**

Ainsi, à l'issue de ce travail, il y a lieu d'émettre un certain nombre de recommandations. On peut ainsi affirmer que la formulation d'une politique de transport routier énergétiquement durable en Tunisie passe par la mise en place de stratégies capables d'intégrer dans les politiques de transports traditionnelles des questions d'urbanisme, d'évolutions technologiques, de politiques tarifaires, des préoccupations environnementales voire même de changements comportementaux. Il s'agit essentiellement **d'adopter des**

politiques publiques transversales où la question énergétique du transport routier est résolue en adéquation avec l'offre d'infrastructure, le droit de la mobilité individuelle et la protection de l'environnement. En outre, la réussite de ces politiques réside dans l'agencement optimal de divers instruments d'actions stratégiques visant à la diminution des consommations de carburants des véhicules routiers, la maîtrise de l'offre de transport routier et la réduction des émissions de CO₂ des véhicules. Rappelons que les leviers d'action recommandés portent principalement sur le volet de la consommation du carburant tout en signalant la rigidité de modification de l'offre de l'énergie dans le transport routier en Tunisie.

Dans ce sens, nous insistons en premier lieu sur **la nécessité d'une rationalisation des déplacements individuels** tout en encourageant le report modal vers les modes doux, améliorant l'attractivité de transport en commun, limitant l'offre de stationnement et l'étalement urbain, maîtrisant les investissements en infrastructures, développant davantage les politiques de modération de la vitesse, de planification des transports et de la signalisation, et consolidant le suivi du parc de véhicules en termes quantitatifs et qualitatifs.

En second lieu, il apparaît fondamental d'instaurer progressivement **une politique de taxation différenciée** portant aussi bien sur la technologie de véhicule et le type de carburant utilisé tout en encourageant à l'achat des véhicules routiers économes et décarbonnés et en internalisant les comportements non responsables sur le plan environnemental. Pour garantir son efficacité, la définition de la politique de taxation doit tenir compte de plusieurs facteurs d'ordre social (acceptabilité sociale) et technologique (ampleur de l'effet de rebond).

En troisième lieu, la conception et la mise en œuvre d'une politique de transport routier énergétiquement durable en Tunisie nécessite **la définition d'un cadre d'action et d'orientation favorable**. Dans cet objectif, il est fortement recommandé d'institutionnaliser le processus tout en simplifiant et renforçant une approche législative opérationnelle et stratégique portant sur les lois d'aménagement, les outils de planification urbaine et le principe du respect de l'environnement. Ceci suppose aussi de s'appuyer sur le comportement des acteurs individuels et collectifs. En effet, l'approche contraignante de la loi doit s'accompagner d'une approche plus concertée et participative reposant sur des dynamiques d'acteurs responsables. A cet égard, l'adaptation du cadre législatif et réglementaire doit permettre de développer les initiatives des acteurs et non l'inverse, à travers la mobilisation des régulations plus souples, plus interactives et plus incitatives.

En quatrième lieu, si l'on veut véritablement s'engager sur la voie de la transition énergétique dans le transport routier en Tunisie, il est donc essentiel d'assurer **une gouvernance énergétique** (Mañé-Estrada, 2006; Neves et Leal, 2010; Karlsson-Vinkhuyzen et al., 2012; Morlet et Keirstead, 2013; Bazilian et al., 2014) vu la difficile transversalité des politiques énergie-environnement-transport à cause du problème de fonctionnement encore sectoriel et d'éparpillement des compétences, et du manque de cohérence entre les politiques engagées à cause des conflits d'intérêts. Pour mener une politique de transport routier énergétiquement durable, il est nécessaire de renforcer les interactions entre forces sociales autour d'une médiatisation croissante des questions de durabilité énergétique et de transport routier durable. Les comportements suite à un tel changement sont au cœur des jeux d'acteurs et des rapports de force. La réussite d'une telle transition réside dans la conduite de ce changement vers un compromis autour d'un intérêt public mobilisant toute une culture en faveur d'un cadre conceptuel où tous les acteurs publics et privés interagissent pour concevoir, développer et appliquer la politique en question.

Limites et perspectives

Tout au long de ce travail, nous avons essayé de mettre en œuvre des techniques et méthodes économétriques afin d'apporter un éclairage empirique sur les indicateurs de transport routier énergétiquement durable en Tunisie. Notre approche peut être qualifiée de simple et relativement globale :

- *Simple*, car elle s'efforce d'évaluer **des relations linéaires** entre plusieurs indicateurs en faisant appel à la technique de cointégration multivariée et à la régression linéaire. **Les modèles utilisés sont rétrospectifs** et ne permettent pas d'appréhender les évolutions futures. Néanmoins, il serait plus judicieux de poursuivre l'analyse en apportant des améliorations par l'élargissement des outils techniques et le perfectionnement de la méthodologie employée. Une première amélioration du travail consiste donc à enrichir l'interprétation des résultats obtenus en supposant des hypothèses de non linéarité et de prévision.
- *Relativement globale*, car elle traite la modélisation des interactions d'**une liste non exhaustive d'indicateurs**. Le choix d'indicateurs a été régi par leur pertinence, leur disponibilité et la fiabilité des données. De même, la période d'étude (1980-2010) que nous avons considérée dans cette thèse manque, en quelque sorte de la représentativité

aujourd'hui, vu les brusques changements survenus suite à la révolution Tunisienne. Ces changements peuvent altérer les sens de causalité résultant de l'exercice de modélisation. Il serait important d'actualiser les résultats d'estimation en élargissant la période d'étude.

En définitive, les axes de recherche futurs, qui prolongeraient et compléteraient cette thèse, pourraient à notre sens s'orienter selon deux aspects. Le premier réside dans **un approfondissement dans l'étude des interactions entre les indicateurs de transport routier énergétiquement durable** tout en s'attachant à intégrer d'autres indicateurs dans le circuit causal et d'en déterminer leurs impacts en termes de nature et de sens de causalité. Il s'agit principalement d'accorder d'importance aux indicateurs relatifs à l'offre de carburant, l'activité de transport de marchandises et aux caractéristiques qualitatives de véhicules routiers. L'introduction de l'offre de carburant permettra de modéliser un système plus complet d'offre-demande. La prise en compte de l'activité de transport de marchandises en termes de tonnage kilométrique par mode de transport consistera une approche légitime afin de mettre en évidence le rôle modal dans la concrétisation d'une politique de transport routier des marchandises énergétiquement durable. L'intégration des caractéristiques qualitatives de véhicules routiers aura un intérêt particulier quant à la mise en relief de l'impact de la technologie sur la consommation du carburant (impact limitatif ou inductif ?).

Le second aspect concerne le **perfectionnement méthodologique** tout en menant, en parallèle, un travail prospectif en termes de scénarios futurs afin de se prolonger dans le futur afin de mieux identifier les axes stratégiques d'action publique, éléments principaux pour concevoir et opérationnaliser toute politique de transport routier énergétiquement durable.

Bibliographie

- Abid, M., Ben Salha, O., 2013. The informal economy in Tunisia: measurement and linkage with the formal economy. *Int. J. of Economics and Business Research* 6, 194-209.
- Acknoff, RL., 1973. *Re-defining the future: a systems approach to societal problems*. Wiley, London.
- Adair, P., 2009. Économie non observée et emploi informel dans les pays de l'Union européenne : Une comparaison des estimations et des déterminants. *Revue économique* 60, 1117-1153.
- AIE., 2012. Agence internationale de l'énergie.
- Ajanovic, A., Haas, R., 2012. The role of efficiency improvements vs. price effects for modeling passenger car transport demand and energy demand—Lessons from European countries. *Energy Policy* 41, 36-46.
- Akaike, H., 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control* 19, 716-723.
- Akinboade, O., Ziramba, E., Kumo, W., 2008. The demand for gasoline in South Africa: An empirical analysis using co-integration techniques. *Energy Economics* 30, 3222-3229.
- Alcott, B., 2008. The sufficiency strategy: Would rich-world frugality lower environmental impact? *Ecological Economics* 64(4), 770-786.
- Al-Hinti, I., Al-Ghandoor, A., Akash, B., Sakhrieh, A., Abu-Nada, E., 2013. A comparative analysis of energy indicators and CO2 emissions in 15 Arab countries. *International Journal of Environment and Waste Management* 11, 129-147.
- ANER. 2002. Étude sur l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur de l'énergie en Tunisie.
- ANER., 2000. Étude d'impact des prix de l'énergie sur la demande. Ministère de l'industrie. Agence nationale des énergies renouvelables.
- ANME., 2012. Agence nationale de maîtrise de l'énergie.
- ANME., 2011. Agence nationale de maîtrise de l'énergie.
- Asafu-Adjaye, J., 2000. The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asia developing countries. *Energy Economics* 22, 615-625.
- Ascher, F., Brams, L., Delamarre, A., 1993. *Les Territoires du futur*. La Tour d'Aigues , Éd. de l'Aube.
- Attia, W., 2006. Le découplage entre croissance du transport et croissance économique: vérification d'une hypothèse. Université Lumière Lyon II, Faculté des Sciences Économiques et de Gestion. Thèse pour le Doctorat en Sciences Économiques, Mention Économie des Transports, dirigée par Professeur Alain BONNAFOUS, Lyon.

Audenis, C., Biscourp, P., Riedinger, N., 2002. Le prix des carburants est plus sensible à une hausse qu'à une baisse du brut. *Economie et Statistique*.

Aworemi, JR., Salami, AO., Adewoye, JO., Iori, MO., 2008. Impact of Socio-economic characteristics on Formal and Informal Public Transport demands in Kwara State, Nigeria. *African Journal of Business Management* 2, 72-76.

Ayouz, M., Nadaud, F., 2005. Changement technique induit – rôle des normes et des prix dans les mécanismes d'induction : une approche de longue période. Rapport final pour l'IFE, EHESS-CNRS (UMR N° 8568).

Bacchetta, M., Ernst, E., Bustamante, JP., 2009. Globalisation and Informal Jobs in Developing Countries. A joint study of the International Labour Office and the Secretariat of the World Trade Organization, Geneva: ILO and WTO.

Bacon, R., Chadwick, M., Dargay, J., Long, D., Mabro, R., 1990. Demand, Prices and the Refining Industry: A Case Study of the European Oil Products Market. Oxford: Oxford University Press.

Baksi, S., Bose, P., 2010. Environmental Regulation in the Presence of an Informal Sector. Departmental Working Papers 2010-03, the University of Winnipeg, Department of Economics, Canada.

Baltagi, B., Griffin, J., 1983. Gasoline demand in the OECD: An application of Pooling and Testing Procedures. *European Economic Review* 22, 117-137.

Banaszak, S., Chakravorty, U., Leung, PS., 1999. Demand for ground transportation fuel and pricing policy in Asian tigers: a comparative study of Korea and Taiwan. *The Energy Journal* 20, 145-166.

Bansal, P., 2002. The corporate challenges of sustainable development. *Academy of Management Executive* 16, 122-131.

Barker, T., Ekins, P., Foxon, T., 2007. The macro-economic rebound effect and the UK economy. *Energy Policy* 35, 4935-4946.

Barker, TS., Pesaran, MH., 1990. *Disaggregation in Econometric Modelling*, London: Routledge.

Barreau, B., Dujin, A., Védie, M., 2013. Comment limiter l'effet rebond des politiques d'efficacité énergétique dans le logement ? L'importance des incitations comportementales. *La Note d'analyse* 320.

Barreto, L., Makihiro, A., Riahi, K., 2003. The hydrogen economy in the 21st century: A sustainable development scenario. *International Journal of Hydrogen Energy* 28, 267-284.

Baumol, W., Oates, WE., 1975. *The Theory of Environmental Policy*. Prentice Hall.

Bavoux, JJ., 2002. *La Géographie : Objets, méthodes, débats*. Armand Colin, Collection U Géographie.

Bazilian, M., Nakhoda, S., de Graaf, TV., 2014. Energy governance and poverty. *Energy Research & Social Science* 1, 217-225.

Beaumais, O., Bréchet, T., 1995. La stratégie communautaire de régulation de l'effet de serre : quels enjeux pour la France ? L'analyse des modèles Hermès-Midas. *Économie et Prévision* 117, 155-174.

Beckerman, W., 1992. Economic growth and the environment: whose growth? Whose environment? *World Development* 20, 481-496.

Belloumi, M., 2009. Energy consumption and GDP in Tunisia: Cointegration and causality analysis. *Energy Policy* 37, 2745-2753.

Ben abdallah, K., Belloumi, M., DeWolf, D., 2013. Indicators for sustainable energy development: A multivariate cointegration and causality analysis from Tunisian road transport sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25, 34-43.

Ben abdallah, K., Mraïhi, K., Abid, K., 2013. Road transport-related energy consumption and sustainable development: a bivariate cointegration analysis and environmental kuznets curve approach. *Asectu*.

Bentzen, J., 2004. Estimating the rebound effect in US manufacturing energy consumption. *Energy Economics* 26, 123-134.

Bentzen, J., 1994. An empirical analysis of gasoline demand in Denmark using cointegration techniques. *Energy Economics* 16, 139-143.

Berkhout, PHG., Muskens, JC., Velthuisen, JW., 2000. Defining the rebound effect. *Energy Policy* 28, 425-432.

Besancenot, F., 2006. Territorialité, durabilité: un seul enjeu? Thèse pour l'obtention du doctorat en géographie. L'École Normale Supérieure Lettres et Sciences-humaines

Bessone, M., 1989. Les Transports Urbains dans le Tiers Monde : La Place du Secteur Informel. *Problèmes économiques* 2115, 25-30.

Bi, GB., Song, W., Zhou, P., Liang, L., 2014. Does environmental regulation affect energy efficiency in China's thermal power generation? Empirical evidence from a slacks-based DEA model. *Energy Policy* 66, 537-546.

Bigano, A., Hafner, M., Criqui, P., 2012. Energy Security through Environmental Sustainability: the SECURE Project. *Review of Environment, Energy and Economics*.

Binswanger, M., 2001. Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect? *Ecological Economics* 36, 119-132.

Bockris, JOM., 2003. On hydrogen futures: Towards a sustainable energy system. *International journal of hydrogen energy* 28, 131-133.

Bohi, DR., 1981. Analyzing Demand Behavior: A Study of Energy Elasticities. Published for Resources for the Future by Johns Hopkins Press, Baltimore, MD.

Bonilla, D., 2009. Fuel demand on UK roads and dieselisation of fuel economy. *Energy Policy* 37, 3769-3778.

Bopp, AE., 1984. Tests for structural change in US oil consumption, 1967-1982. *Energy Economics* 6, 223-230.

Bossel, H., 1999. Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications. A Report to the Balaton Group. International Institute for Sustainable Development. Winnipeg, Canada.

Boulanger, PB., 2004. Les indicateurs de développement durable : un défi scientifique, un enjeu démocratique. Séminaires de l'Iddri12, séminaire Développement durable et économie de l'environnement.

Bourbonnais, R., 2003. *Econométrie*. Dunod.

Braat, L., 1991. The predictive meaning of sustainability indicators. In *Search of Indicators of Sustainable Development Environment and Management*, 57-70.

Brannlund, R., Ghalwash, T., Nordstrom, J., 2007. Increased energy efficiency and the rebound effect: Effects on consumption and emissions. *Energy Economics* 29, 1-17.

Breheny, MJ., 1995. The Compact City and Transport Energy Consumption. *Transactions of the Institute of British Geographers, New Series* 20, 81-101.

Brennand, G., 1992. Asymmetric fuel share responses to relative price movements. *OPEC Review* 16, 309-325.

Breunig, RV., Murphy, C., 2007. Single-equation estimates of Australian petrol demand: methodological issues and implications of different modeling strategies. The Australian National University.

Breusch, T., 2005. Estimating the Underground Economy using MIMIC Models. *Econometrics, EconWPA*.

Brodhag, C., Gondran, N., Delchet, K., 2004. Du concept à la mise en œuvre du développement durable : théorie et pratique autour du guide SD 21 000. *Vertigo – La revue en Sciences de l'Environnement* 5.

Brons, M., Nijkamp, P., Pels, E., Rietveld, P., 2008. A meta-analysis of the price elasticity of gasoline demand. A SUR approach. *Energy Economics* 30, 2105-2122.

Brookes, LA., 1979. A low-energy strategy for the UK by G. Leach et al.: a review and reply. *Atom* 269, 3-8.

Brown, RL., Durbin, J., Evans, JM., 1975. Techniques for Testing the Constancy of Regression Relationships over Time. *Journal of the Royal Statistical Society B* 37, 149-192.

Brown, SPA., Phillips, KR., 1989. An econometric analysis of U.S. oil demand. Research Paper, Federal Reserve Bank of Dallas 8901, Federal Reserve Bank of Dallas.

Bye, T., 1986. Non-Symmetric Responses in Energy Demand? In *Proceedings of the Eighth Annual International Conference of the International Association of Energy Economists, Washington* .

Cagan, P., 1958. The Demand for Currency Relative to Total Money Supply. *National Bureau of Economic Research*.

Camagni, R., 1997. Pour une ville durable. In Camagni R, Gibelli MC (eds.), *Développement urbain durable: quatre métropoles européennes à l'épreuve*. Éditions de l'Aube, 5-20.

Carlevaro, F., Spierer, C., 1983. Dynamic Energy Demand Models with Latent Equipment. *European Economic Review* 23, 161-194.

Carpenter, J., 1979. Lessening Automobile Dependence through Land Use Planning. *Practising Planner*.

CEMT., 2004. Assessment and Decision Making for Sustainable Transport. *European*

Cervero, R., 2000. *Informal Transport in the Developing World*. UN-Habitat.

Cervero, R., Golub, A., 2007. Informal Transport: A Global Perspective. *Transport Policy* 14, 445-457.

Chalkley, AM., Billett, E., Harrison, D., 2001. An investigation of the possible extent of the Rebounding Rebound Effect in the sphere of consumer products. *The Journal of Sustainable Product Design* 1, 163-170.

Chang, T., Fang, W., Wen, L.F., 2001. Energy consumption, employment, output and temporal causality: evidence from Taiwan based on cointegration and error-correction modelling techniques. *Applied Economics* 33, 1045-1056.

Charmes, J., 1990. A review of recent experiences and methodological issues for surveying household and informal activities in Africa. A new challenge for survey statisticians. United Nations Statistical Office, NHSCP, New York.

Chartier, P., Eyzat, P., Girard, C., Morcheoine, A., Orfeuil, J.P., 1995. Transport routier et développement: conciliation ou incompatibilité. Communication, 16^{ème} Congrès du Conseil Mondial de l'énergie, Tokyo.

Chassande, P., 2002. Développement durable. Pourquoi ? Comment ? Editions Edisud.

Chatterjee, S., Chaudhuri, K., Schneider, F., 2003. The Size and Development of the Indian Shadow Economy and a Comparison with other 18 Asian Countries: An Empirical Investigation. Economics working papers, Department of Economics, Johannes Kepler University Linz, Austria.

Chaudhuri, S., Mukhopadhyay, U., 2006. Pollution and Informal Sector: A Theoretical Analysis. *Journal of Economic Integration* 21, 363-378.

Chester, L., 2010. Conceptualising energy security and making explicit its polysemic nature. *Energy Policy* 38, 887-895.

Chorazewicz, S., 1998. Modélisation de la demande de carburant appliquée à l'Europe. Thèse en économie. Université de Bourgogne. Faculté de sciences économiques et de gestion. .

Clerici, N., Bodini, A., Ferrarini, A., 2004. Sustainability at the local scale : defining highly aggregated indices for assessing environmental performance. The province of Reggio Emilia (Italy) as a case study. *Environmental Management* 34, 590-608.

Clivaz, C., Babey, N., Bigler, J.M., Perini, D., 2002. Indicateurs de durabilité au niveau local : « Elaboration d'un système provisoire d'indicateurs du développement durable au niveau local ». Sierre, Suisse: HES-SO Puma .

CMED., 1987. Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement. Rapport Brundtland, Notre avenir à tous, 47.

Coing, H., 1981. Crise des transports urbains et transports non conventionnels. *Environnement Africain, Etudes et Recherches* 13, 5-15.

Cole, M.A., Rayner, A.J., Bates, J.M., 1997. The environmental Kuznets curve: an empirical analysis. *Environment and Development Economics* 2, 401-416.

Combes, P.P., Lafourcade, M., 2001. Distribution spatiale des activités et politiques d'infrastructures de transport : l'économie géographique, un nouvel outil d'évaluation? Dans *Aménagement du territoire, Rapport 31 du Conseil d'Analyse Économique*. La Documentation Française, Paris, 219-235.

Con, M., 1978. Informal sector or petty commodity production: Dualism or dependence in urban development? *World Development* 6, 1041-1064.

Contini, B., 1981. Labor Market Segmentation and the Development of the Parallel Economy-The Italian Experience. *Oxford Economic Papers* 33, 401-412.

Coondoo, D., Dinda, S., 2002. Causality between income and emission: a country group-specific econometric analysis. *Ecological Economics* 40, 351-367.

- Criqui, P., 1994. Le prix du pétrole : passé, présent et futur. *Revue Futuribles* 189, 47-59.
- Crocker, TD., 1966. The Structuring of Atmospheric Pollution Control Systems. In Harold Wolozin, ed., *The Economics of Air Pollution*. New York: W.W. Norton.
- Crozet, M., 2009. Commerce et Géographie : la mondialisation selon Paul Krugman. *Revue d'Économie Politique* 119, 513-534.
- Cui, Q., Kuang, H-B., Wu, C-Y., Li, Y., 2014. The changing trend and influencing factors of energy efficiency: The case of nine countries. *Energy* 64, 1026-1034.
- Dahl, C., Kurturbi, A., 1997. Estimating oil products demand in Indonesia using a cointegration error correction model, *OPEC Review*, 1-25.
- Dahl, C., Sterner, T., 1991. Analysing gasoline demand elasticities: a survey. *Energy Economics* 13, 203-210.
- Dahl, C., Sterner, T., 1991. Analysing gasoline demand elasticities: a survey. *Energy Economics* 13, 203-210.
- Dahl, CA., 1982. Do Gasoline Demand Elasticities Vary? *Land Economics* 58, 373-382.
- Dales, JH., 1968. *Pollution, Property and Prices: An Essay in Policy-making and Economics*. Toronto: University of Toronto Press.
- Dargay, JM., 1990. Have low oil prices reversed the decline in energy demand?: A case study for the UK. Oxford Institute of Energy Studies.
- Dargay, J., 1988. The demand for petroleum products in Europe. Working paper. Oxford Institute of Energy Studies, Oxford, England.
- Dargay, JM., 1991. The Irreversible Demand Effects of High Oil Prices: Motor Fuels in France, Germany and the UK. Oxford Institute for Energy Studies.
- Dargay, JM., 1993. Demand Elasticities: A Comment. *Journal of Transport Economics and Policy* 27, 87-90.
- Davenant, C., 1699. An essay upon the probable methods of making a people gainers in the balance of trade. James Knapton, London.
- De Bruyn, S., Vanden Bergh, J., Opschoor, J., 1998. Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves. *Ecological Economics* 25, 161-175.
- De Miras, C., 1990. Etat de l'informel, informel et Etat : illustration sud-américaine. *Revue Tiers Monde* 31, 377-391.
- De Palma, A., Quinet, E., 2005. La tarification des transports : enjeux et défis. *Economica*.
- Dell'Anno, R., Gómez-Antonio, M., Alañon-Pardo, A., 2007. The shadow economy in three Mediterranean countries: France, Spain and Greece: A MIMIC approach. *Empirical Economics* 33, 51-84.
- Denizot, FB., Levy-Garboua, V., 1972. Le problème de l'agrégation : un essai de synthèse. *Revue Economique* 23, 20-53.
- Derek, B., David, R., 2004. Mesurer l'économie non observée. Paris, OCDE, coll. Cahiers statistiques.

Devezeaux de Lavergne, JG., 1986. Consommation d'énergie et croissance économique: un essai d'analyse économique et économétrique. Thèse d'Etat, Paris-I.

Dickey, DA., Fuller, WA., 1979. Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association* 74, 427-431.

Diebolt, C., Litago, J., 1997. Education and Economic growth in Germany before the Second World War. *An Econometric Analysis of Dynamic Relations. Historical Social Research* 22, 132-149.

Diemer, A., Labrune, S., 2007. L'écologie industrielle : quand l'écosystème industriel devient un vecteur du développement durable. *Revue Développement Durable et Territoires Fragiles*, 1-23.

Dilnot, A., Morris, C., 1981. What do we Know about the Black Economy? *Fiscal Studies* 2, 58-73.

Dimitropoulos, J., 2007. Energy productivity improvements and the rebound effect: An overview of the state of knowledge. *Energy Policy* 35, 6354-6363.

Dincer, I., 1999. Environmental impacts of energy. *Energy Policy* 27, 845-854.

Dincer, I., 2000. Renewable energy and sustainable development: a crucial review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 4, 157-175.

Dincer, I., Rosen, MA., 2005. Thermodynamic aspects of renewables and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9, 169-189.

Dinda, S., 2004. Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics* 49, 431-455.

Dontenwill, E., 2005. Comment la théorie des parties prenantes peut-elle permettre d'opérationnaliser le concept de développement durable pour les entreprises ? *Revue des sciences de gestion, Direction et Gestion* 40, 85-96.

Drollas, LP., 1984. The Demand for Gasoline: Further Evidence. *Energy Economics* 6, 71-82.

Dupuy, G., 1999. From the "magic circle" to "automobile dependence": measurements and political implications. *Transport Policy* 6, 1-17.

Ediger, VS., Hoşgör, E., Sürmeli, AN., Tatlıdil, H., 2007. Fossil fuel sustainability index: An application of resource management. *Energy Policy* 35, 2969-2977.

Eilat, Y., Zinnes, C., 2000. The Evolution of the Shadow Economy in Transition Countries: Consequences for Economic Growth and Donor Assistance. *Consulting Assistance on Economic Reform II, Discussion Paper* 83.

Eltoni, MN., Al-Mutairi, NH., 1995. Demand for gasoline in Kuwait: An empirical analysis using cointegration techniques. *Energy Economics* 17, 249-253.

Engle, RF., Granger, CWJ., 1987. Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica* 55, 251-276.

Espey, M., 1996. Explaining the Variation in Elasticity Estimates of Gasoline Demand in the United States: A Meta-Analysis. *The Energy Journal, International Association for Energy Economics* 17, 49-60.

Espey, M., 1998. Gasoline demand revisited: an international meta-analysis of elasticities. *Energy Economics* 20, 273-295.

Fagan, GP., 1994. Measuring the size of Ireland black economy. *Journal of the Statistical and Social Inquiry Society of Ireland* 27, 1-30.

Feige, EL., 1979. How big is the irregular economy? *Challenge* 22, 5-13.

Feige, EL., 1990. Defining and Estimating Underground and Informal Economies: The New Institutional Economics Approach. *World Development* 18, 989-1002.

Feige, EL., Urban, I., 2003. Estimating the Size and Growth of Unrecorded Economic Activity in Transition Countries: A Re-evaluation of Electric Consumption Method Estimates and their Implications. William Davidson Institute, Working Paper 636.

Feigl, H., 1953. Notes on causality. In Feigl and brodbeck (eds.), *Readings in the Philosophy of Science*, New York.

Ferman, PR., Ferman, LA., 1973. The Structural Underpinnings of the Irregular Economy. *Asia Pacific Journal of Human Resources* 8, 1-17.

Fiorito, G., 2013. Can we use the energy intensity indicator to study “decoupling” in modern economies? *Journal of Cleaner Production* 47, 465-473.

Fodha, M., Zaghdoud, O., 2010. Economic growth and pollutant emissions in Tunisia: An empirical analysis of the environmental Kuznets curve. *Energy Policy* 38, 1150-1156.

Fortin, B., 2002. Les enjeux de l'économie souterraine. Série Scientifique, Centre Interuniversitaire de Recherche en Analyse des Organisations, Montréal.

Fosgerau, M., Kveiborg, O., 2004. A Review of some Critical Assumptions in the Relationship between Economic Activity and Freight Transport. *International Journal of Transport Economics* 31, 247-261.

Freeman, RE., 1984. *Strategic Management: A Stakeholder Approach*. Pitman Series in Business and Public Policy.

Frey, BS., Weck, H., 1982. Pommerehne WW. Has the Shadow Economy Grown in Germany? An Exploratory Study, *Weltwirtschaftliches Archiv* 118, 499-524.

Friedl, B., Getzner, M., 2003. Determinants of CO₂ emissions in a small open economy. *Ecological Economics* 45, 133-148.

Friedman, E., Johnson, S., Kaufmann, D., Zoido-Lobaton, P., 2000. Dodging the grabbing hand: the determinants of unofficial activity in 69 countries. *Journal of Public Economics* 76, 459-493

Gadrey, J., Jany-Catrice, F., 2003. Les indicateurs de richesse et de développement. Un bilan international en vue d'une initiative française. Paris, DARES.

Gately, D., 1990. The U.S. demand for highway travel and motor fuel. *The Energy Journal* 11, 59-73.

Gately, D., 1992. Imperfect Price-Reversibility of U.S. Gasoline Demand: Asymmetric Responses to Price Increases and Decreases. *Energy Journal* 13, 179-207.

Gately, D., Huntington, HG., 2002. The Asymmetric Effects of Changes in Price and Income on Energy and Oil Demand. *The Energy Journal* 23, 19-55.

Gately, D., Rappoport, P., 1988. Adjustment of U.S. Oil Demand to the Price Increases of the 1970s. *The Energy journal* 9, 93-107.

Gbezo, BE., 1999. Le transport urbain non structuré en Afrique de l'Ouest : les taxis-motos au Bénin. *Travail* 28, 18-19.

Ghezloun, A., Chergui, S., Oucher, N., 2011. Algerian energy strategy in the context of sustainable development (Legal framework). *Energy Procedia* 6, 319-324.

Ghezloun, A., Oucher, N., Chergui, S., 2012. Energy Policy in the Context of Sustainable Development: Case of Algeria and Tunisia. *Energy Procedia* 18, 53-60.

Ghosh, S., 2006. Future demand of petroleum products in India. *Energy Policy* 34, 2032-2037.

Giles, DEA., Tedds, L., Werkneh, G., 1999. The Canadian Underground and Measured Economies: Granger Causality Results. *Econometrics Working Papers 9907*, Department of Economics, University of Victoria.

Giorgi, L., 2003. Sustainable mobility, Challenges, opportunities and conflicts: a social science perspective. *International Social Science Journal* 55, 179-183.

Giraudet, LG., 2011. Les instruments économiques de maîtrise de l'énergie : Une évaluation multidimensionnelle. Thèse co-dirigée par Dominique FINON et Philippe QUIRION, Ecole Doctorale «Ville, Transports et Territoires », Université Paris-Est.

Girod, J., 1977. La demande d'énergie: méthodes et techniques de modélisation, CNRS, Paris, Collection Energie et Société.

Godard, X., 2008. Le transport artisanal dans les villes méditerranéennes. *Actes INRETS 114*, les collections de l'INRETS.

Goldblum, C., 2001. Transports «informels» et adaptations à la métropolisation en Asie du Sud-Est. *L'information géographique* 65, 18-32.

Goodwin, PB., 1992. A review of new demand elasticities with special reference to short run and long run effects of price changes. *Journal of Transport Economics and Policy* 26, 155-169.

Goodwin, PB., Dargay, J., Hanly, M., 2004. Elasticities of Road Traffic and Fuel Consumption with Respect to Price and Income: A Review. *Transport Reviews* 24, 275-292.

Gossart, C., 2010. À la découverte de l'effet rebond : Quand les technologies vertes poussent à la consommation? *Le Monde Diplomatique* 20.

Granger, CWJ., 1969. Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica* 37, 424-438.

Granger, G., 1978. Logique et pragmatique de la causalité dans les sciences de l'homme. In *Systèmes symboliques, science et philosophie*, Paris, Éditions du C.N.R.S.

Greene, DL., 1979. A Regional Stock System Model of Highway Gasoline Demand. in *Changing Energy Use Futures. Proceedings of the Second International Conference on Energy Use and Management*, Los Angeles, California.

Greene, DL., 1983. Highway Fuel Use: Trends and Factors. *Proceedings of the Energy Information Administration Symposium on Petroleum Information*, DOE/EIA-0425, Energy Information Administration, Washington, DC.

Greene, DL., 1992. Vehicle use and fuel economy: how big is the rebound effect? *The Energy Journal* 13, 117-143.

Greene, DL., 1997. Oil Dependence: The Value of R&D. *Proceedings of the 32nd Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*, American Institute of Chemical Engineers, New York 3, 2148-2153.

Greene, DL., Kahn, JR., Gibson, RC., 1999. Fuel Economy Rebound Effect for U.S. Household vehicles. *The Energy Journal* 20, 1-31.

Greening, LA., Greene, DL., Difiglio, C., 2000. Energy efficiency and consumption - the rebound effect - a survey. *Energy Policy* 28, 389-401.

Grossman, GM., Krueger, AB., 1991. Environmental impacts of a North American free trade agreement. Working paper 3194. Cambridge : National Bureau of Economics Research.

Grossman, GM., Krueger, AB., 1994. Economic Growth and the Environment. NBER Working Papers 4634.

Guay, R., Milbourne, RD., Otto, G., Smith, GW., 1990. Estimation du PIB mensuel canadien : 1962 à 1985. *L'Actualité économique* 66, 14-30.

Guttman, M., 1977. The subterranean economy. *Financial Analysts Journal* 33, 24-27.

Guttman, R., 1984. Stagflation and Credit-Money in the USA. *British Review of Economic* 6,79-119.

Guyot, F., 1985. *Eléments de microéconomie*. Editions TECHNIP.

Hahn, RW., Stavins, RN., 1992. Economic Incentives for Environmental Protection: Integrating Theory and Practice. *American Economic Review* 82, 464-468.

Hammond, A., Adriaanse, A., Rodenburg, E., Bryant, D., Woodward, R., 1995. Environmental Indicators: A Systemic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development. Washington D. C :World Resources Institute.

Harbaugh, W., Levinson, A., Wilson, D., 2002. Re-examining the empirical evidence for an environmental Kuznets curve. *The Review of Economics and Statistics* 84, 541-551.

Hardi, P., Barg, S., Hodge, T., Pinter, L., 1997. La mesure du développement durable : étude des pratiques en vigueur. Institut international du développement durable. Programme des publications de recherche 17. Industrie du Canada.

Hardin, G., 1968. The tragedy of the commons. *Science* 162, 1243-1248.

Harris, JR., Todaro, MP., 1970. Migration, Unemployment and Development: A Two- sector Analysis. *American Economic Review* 60, 126-142.

Hart, k., 1973. Informal Income Opportunities and Urban Employment in Ghana. *The Journal of Modern African Studies* 11, 61-89.

Haughton, J., Sarkar, S., 1996. Gasoline Tax as a Corrective Tax: Estimates for the United States, 1970-1991. *The Energy Journal* 17, 103-126.

Heil, M.T., Wodon, Q.T., 2000. Future Inequality in CO2 Emissions and the Impact of Abatement Proposals, *Environmental and Resource Economics* 17, 163-181.

Heran, F., 2001. Transports en milieu Urbain : les effets externes négligés, Monétarisation des effets de coupure, des effets sur l'affectation des espaces publics et des effets sur les paysages.

Herring, H., 2009. Sufficiency and the rebound effect. 224-239, in Herring, H., Sorrell, S., *Energy efficiency and sustainable consumption: the rebound effect*, Palgrave MacMillan Ed.

Herring, H., Sorrell, S., 2009. *Energy efficiency and sustainable consumption: the rebound effect*. New York : Palgrave Macmillan.

Herzog, E., Bricka, S., Audette, L., Rockwell, J., 2006. Do Employee Commuter Benefits Reduce Vehicle Emissions and Fuel Consumption? Results of Fall 2004 Survey of Best Workplaces for Commuters. *Transportation Research Record* 1956, 34-41.

Hilton, FGH., Levinson, AM., 1998. Factoring the environmental Kuznets curve: Evidence from automotive lead emissions. *Journal of Environmental Economics and Management* 35, 126-141.

Hiremath, RB., Balachandra, P., Kumar, K., Bansode, SS., Murali, J., 2013. Indicator-based urban sustainability—A review. *Energy for Sustainable Development* 17, 555-563.

Hofman, K., Li, X., 2009. Canada's energy perspectives and policies for sustainable development. *Applied Energy* 86, 407-415.

Hogan, WW., 1993. OECD Oil Demand Dynamics: Trends and Asymmetries. *The Energy Journal* 14, 125-158.

Holtz-Eakin, D., Selden, T., 1995. Stoking the fires ? CO2 emissions and economic growth. *Journal of Public Economics* 57, 85-101.

Hourcade, JC., 1990. Les coefficients d'élasticité et leur domaine de pertinence pour la prévision énergétique : de l'élasticité «loi» à l'élasticité mesure' des degrés de liberté. Etude réalisée à la demande du Commissariat Général du Plan.

Hughes, JE., Knittel, CR., Sperling, D., 2008. Evidence of a Shift in the Short-Run Price Elasticity of Gasoline Demand. *The Energy Journal* 29, 113-134.

Hung, MF., Shaw, D., 2002. Economic growth and the environmental Kuznets cure in Taiwan: a simultaneity model analysis. Mimeo National Cheng-Chi University Department of Economics.

Hurst, C., Okogu, BE., 1988. Testing the reversibility theory in oil demand. Mimeo, Oxford.

Hussmanns, R., 1997. Secteur informel : historique, définition et importance. In actes du séminaire sur le secteur informel et la politique économique en Afrique subsaharienne, Bamako.

Hussmanns, R., 2001. Informal Sector and Informal Employment: Elements of a Conceptual Framework. Presented at ILO/WIEGO Workshop on Informal Employment Statistics in Latin America, Santiago/Chile.

Huybrechts, A., 1971. Transports et structures de développement au Congo. Étude du progrès économique de 1900 à 1970. Paris, Mouton.

Huzayyin, AS., Salem, H., 2013. Analysis of thirty years evolution of urban growth, transport demand and supply, energy consumption, greenhouse and pollutants emissions in Greater Cairo. *Research in Transportation Economics* 40, 104-115.

Hwang, JJ., 2010. Sustainable transport strategy for promoting zero-emission electric scooters in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 1390-1399.

IAEA., 1999. International atomic energy agency.

IAEA., 2007. Energy indicators for sustainable development: Country Studies on Brazil, Cuba, Lithuania Mexico, Russian Federation, Slovakia and Thailand.

Ichi, I., 2008. Can environmental taxation stimulate growth? The role of indeterminacy in endogenous growth models with environmental externalities. *Journal of Economic Dynamics and Control* 32, 1156-1180.

Jacobs, RL., Leamer, EE., Ward, MP., 1979. Difficulties with Testing for Causation. *Economic Inquiry* 17, 401-413.

Jacobson, A., Milman, A.D., Kammen, D.M., 2005. Letting the (energy) Gini out of the bottle: Lorenz curves of cumulative electricity consumption and Gini coefficients as metrics of energy distribution and equity. *Energy Policy* 33, 1825-1832.

Jaffe, AB., Stavins, RN., 1994. The energy-efficiency gap what does it mean? *Energy Policy* 22, 804-810.

Jaffe, AB., Newell, RG., Stavins, RN., 2004. Economics of energy efficiency. *Encyclopedia of Energy* 2, 79-90.

Jaffe, AB., Stavins, RN., 1995. Dynamic Incentives of Environmental Regulations: The Effects of Alternative Policy Instruments on Technology Diffusion. *Journal of Environmental Economics and Management* 29, 43-63.

Jevons, WS., 1865. *The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of our Coal-mines.* London: Macmillan and Co., 1865. 2nd edition, revised.

Jia, YP., Liu, RZ., 2012. Study of the Energy and Environmental Efficiency of the Chinese economy based on a DEA Model. *Procedia Environmental Sciences* 13, 2256-2263.

Johansen, S., 1991. Estimation and Hypothesis Testing of Cointegration Vectors in Gaussian Vector Autoregressive Models. *Econometrica* 59, 1551-1580.

Johansen, S., Juselius, K., 1990. Maximum likelihood estimation and inference on cointegration with applications to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 52, 169-210.

Johansson, O., Shipper, L., 1997. Measuring the Long-run Fuel Demand of Cars: Separate Estimations of Vehicle Stock, Mean Fuel Intensity, and Mean Annual Driving Distance. *Journal of Transport Economics and Policy* 31, 277-292.

Joignaux, G., Verny, J., 2003. Le découplage entre transport de marchandises et croissance : organisations productives, localisations et demande de transport. *Revue d'Économie Régionale et Urbaine* 5, 779-791.

Jones, CT., 1993. Another Look at U.S. Passenger Vehicle Use and the 'Rebound' Effect from Improved Fuel Efficiency. *The Energy Journal* 14, 99-110.

Joumard, R., 2005. The stakes of air pollution in the transport sector, from the French case. *Atmospheric Environment* 39, 2491-2497.

Joumard, R., 2005. Développement durable et transports. INRETS, Laboratoire transports et Environnement, conservatoire National de Formation à l'environnement.

Judet, P., 1989. Secteur non structuré et développement industriel. Notes et Etudes, Caisse Centrale de Coopération Economique 27.

Kahn, ME., 1998. A Household level Environmental Kuznets Curve, *Economic Letters* 59, 269-273.

Kahn, ME., 2006. *Green Cities: Urban Growth and the Environment.* Washington, D.C. Brookings Institution Press.

Kalman, R., 1960. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems, *Transactions of the ASME. Journal of Basic Engineering* 82, 35-45.

Karanfil, F., 2008. Relation énergie-économie et régulation environnementale en présence de l'économie non enregistrée. Thesis on economic science, university of Paris- sorbonne, France.

Karanfil, F., Ozkaya, A., 2007. Estimation of real GDP and unrecorded economy in Turkey based on environmental data. *Energy policy* 35, 4902-4908.

Karathodorou, N., Graham, DJ., Noland, RB., 2010. Estimating the effect of urban density on fuel demand. *Energy Economics* 32, 86-92.

Karlsson-Vinkhuyzen, SI., Jollands, N., Staudt, L., 2012. Global governance for sustainable energy: The contribution of a global public goods approach. *Ecological Economics* 83,11-18.

Karrenbrock, JD., 1991. The Behavior of Retail Gasoline Prices: Symmetric or Not? *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 19-29.

Kaufmann, D., Kaliberda, A., 1996. Integrating the Unofficial Economy into the Dynamics of Post Socialist Economies: A framework of Analyses and Evidence. *Policy Research Working Papers 1691*. Washington, D.C, The World Bank.

Kaufmann, V., Guidez, JM., 1998. Les citoyens face à l'automobilité : Les déterminants du choix modal. Lyon, CERTU.

Kaygusuz, K., 2012. Energy for sustainable development: A case of developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 1116-1126.

Khazoom, JD., 1980. Economic implications of mandated efficiency in standards for household appliances. *The Energy Journal* 4, 21-40.

Kiang, N., Schipper, L., 1996. Energy Trends in the Japanese Transportation Sector. *Transport Policy* 3, 21-35.

Klooz, D., Schneider, T., 2000. The Sustainable Development Barometer and the Key-Indicator-Set: Two Tools and their Application in the City of Winterthur. *Proceedings of the Symposium Making Sustainable Regional Development Visible. Evaluation Methods and Indicators in the Regional Context, Schloss Seggau, Leibnitz*, 37-48.

Koop, G., Pesaran, MH., Potter, SM., 1996. Impulse response analysis in nonlinear multivariate models. *Journal of Econometrics* 74, 119-147.

Koop, G., Tole, L., 1999. Is there an environmental Kuznets curve for deforestation? *Journal of Development Economics* 58, 231-244.

Kouris, G., 1981. Elasticities - science or fiction? *Energy Economics* 3, 66-70.

Kuznets, S., 1955. Economic growth and income inequality. *American Economic Review* 65, 1-28.

Lacour, S., Joumard, R., 2002. Parc, usage et émissions des véhicules routiers en France de 1970 à 2020. *Laboratoire transports et environnement, inrets, rapport n° 0208*.

Laganier, R., Villalba, B., Zuideau, B., 2002. Le développement durable face au territoire : éléments pour une recherche pluridisciplinaire. *Revue Développement durable et territoire*.

Lamonde, B., 2007. Estimation d'un modèle agrégé du nombre de kilomètres parcourus, du taux de consommation moyen de carburant et du nombre de véhicules légers au Canada. *Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en économique*.

Lapillonne, B., 1988. La demande d'énergie dans les pays de l'OCDE : tendances d'hier et de demain. *Energie internationale, Economica, Paris*.

Laponche, B., 2006. L'énergie dans le monde: enjeux et prospective. In: *Jacquet P, Tubiana L., (eds.) Regards sur la terre. Paris. Les Presses Sciences Po, 71- 83*.

Lauriol, A., 2005. Le développement durable à la recherche d'un corps de doctrine. *Revue française de gestion* 30, 139.

Lazarsfeld, P., 1965. Des concepts aux indices empiriques. Le vocabulaire des sciences sociales, Paris, Mouton.

Lazzeri, Y., Planque, B., 2006. Elaboration d'indicateurs pour un système de suivi-évaluation du développement durable-Tome 1 : Principes et méthodologie de construction du référentiel. Programme de Recherche Politiques Territoriales et Développement Durable.

Le Kama, AA., Lagarenne, C., 2004. Le Lourd P. Indicateurs nationaux du développement durable : lesquels retenir ? La Documentation Française. Réponses environnement.

Le Roux, S., 2008. Énergie et développement urbain durable. Thèse en géographie. Université de Limoges. Faculté des lettres et des sciences humaines.

Lemoine, M., Pelgrin, F., 2003. Introduction aux modèles espace-état et au filtre de Kalman. Revue de l'OFCE 86, Presses de Sciences-Po 86, 203-229.

Leray, T., de la Roncière, B., 2002. 30 ans de maîtrise de l'énergie. Ed. ATEE.

Lesser, C., Moisé-Leeman, E., 2009. Informal Cross-Border Trade and Trade Facilitation Reform in Sub-Saharan Africa. OECD Trade Policy Papers 86.

Levarlet, F., 1999. Les indicateurs de développement durable. Méthodes et perspectives IFEN. Collection Etudes et Travaux 24, Orléans.

Lewis, WA., 1954. Economic Development with Unlimited Supplies of Labour. The Manchester School 22, 139-191.

Liimatainen, H., Pöllänen, M., 2013. The impact of sectoral economic development on the energy efficiency and CO2 emissions of road freight transport. Transport Policy 27, 150-157.

Lin, AI., Botsas, EN., Monroe, SA., 1985. State gasoline consumption in the USA : an econometric analysis. Energy Economics 7, 29-36.

Lind, JT., Mehlum, H., 2007. With or Without U? The appropriate test for a U shaped relationship. MPRA Paper 4823, University Library of Munich, Germany.

Lior, N., 2012. Sustainable energy development: The present (2011) situation and possible paths to the future. Energy 43, 174-191.

Lior, N., 2012. Sustainable energy development (May 2011) with some game-changers. Energy 40, 3-18.

Lipsy, PY., Schipper, L., 2013. Energy efficiency in the Japanese transport sector. Energy Policy 56, 248-258.

Lootvoet, B., 1988. L'artisanat et le petit commerce dans l'économie ivoirienne : éléments pour une analyse à partir de l'étude de quatre villes de l'intérieur (Agboville, Bouaké, Dimbokro, Katiola). Paris, ORSTOM, Etudes et Thèses.

Lourd, N., Gondran, N., Laforest, V., Debray, B., Brodhag, C., 2004. Evaluation of student comprehension of sustainable development: use of cognitive map as indicator. European Roundtable on Sustainable Consumption and Production, Bilbao.

Lovins, AB., 1988. Energy Saving from the Adoption of More Efficient Appliances: Another View. The Energy Journal 9, 155-162.

Lovins, AB., 2004. Energy Efficiency, Taxonomic Overview. 383-401, in Cleveland, C.J., Encyclopedia of Energy 2, San Diego and Oxford (UK). Elsevier.

Lund, H., Woodrow, W., Clark, II., 2008. Sustainable energy and transportation systems introduction and overview. *Utilities Policy* 16, 59-62.

Lyssiotou, P., Pashardes, P., Stengos, T., 2004. Estimates of the Black Economy based on Consumer Demand Approaches. *The Economic Journal* 114, 622-640.

Ma, L., Liu, P., Fu, F., Li, Z., Ni, W., 2011. Integrated energy strategy for the sustainable development of China. *Energy* 36,1143-1154.

Madlener, R., Alcott, B., 2009. Energy rebound and economic growth: A review of the main issues and research needs. *Energy* 34, 370-376.

Madlener, R., Sunak, Y., 2011. Impacts of urbanization on urban structures and energy demand: What can we learn for urban energy planning and urbanization management? *Sustainable Cities and Society* 1, 45-53.

Magee, J., 1970. *Transport: vital link in physical distribution*. Ottawa: Canadian Transport Commission.

Maillard, D., 1983. La planification énergétique à moyen et long terme. *Revue générale de thermique*.

Malinvaud, E., 1981. *Théorie macroéconomique tome 1 : comportements, croissance*. Paris Dunod.

Maloney, FW., 2004. Informality Revisited. *World Development* 32, 1159-1178.

Mañé-Estrada, A., 2006. European energy security: Towards the creation of the geo-energy space. *Energy Policy* 34, 3773-3786.

Mankiw, NG., 1998. Teaching the Principles of Economics. *Eastern Economic Journal* 24, 519-524.

Markovska, N., Taseska, V., Pop-Jordanov, J., 2009. SWOT analyses of the national energy sector for sustainable energy development. *Energy* 34, 752-756.

Marques, AC., 2012. Fuinhas JA. Is renewable energy effective in promoting growth? *Energy Policy* 46, 434-442.

Marshall, L., Joseph, LS., Pablo, D., Kimberly, AG., 2011. The effect of residential location on vehicle miles of travel, energy consumption and greenhouse gas emissions: Chicago case study. *Transportation Research Part D* 16, 1-9.

Martin, G., 1996. Renewable energy and the ODA. *Renewable Energy* 9, 1098-1103.

Martinez-Alier, J., 2002. *The Environmentalism of the Poor: A Study of Ecological Conflicts and Valuation*. Edward Elger Publishing.

Martinez-Val, JM., 2013. Energy for Sustainable Development: A systematic approach for a badly defined challenge. *Energy Conversion and Management* 72, 3-11.

Matos, F., Silva, F., 2011. The rebound effect on road freight transport: Empirical evidence from Portugal. *Energy Policy* 39, 2833-2841

Mazumdar, D., 1976. The urban informal sector. *World Development* 4, 655-679.

Medina-Ross, JA., Mata-Sandoval, JC., Lopez-Pérez, R., 2005. Indicators for sustainable energy development in Mexico. *Natural Resources Forum* 29, 308-321..

Micheletti, M., 2002. Consumer choice as political participation. *Statsvetenskaplig Tidskrift* 105, 218-234.

Midilli, A., Dincer, I., Ay, M., 2006. Green energy strategies for sustainable development. *Energy Policy* 34, 3623-3633.

Milliman, SR., Prince, R., 1989. Firms incentives to promote technological change in pollution control. *Journal of Environmental Economics and Management* 17, 247-265.

Mirabel, F., 1999. Répartitions modales urbaines, externalités et instauration de péages : Le cas des externalités de congestion et des externalités modales croisées. *Revue Économique* 50, 1007-1027.

Mirus, R., Smith, RS., Karoleff, V., 1994. Canada's Underground Economy Revisited: Update and Critique. *Canadian Public Policy* 20, 235-252.

Montgomery, WD., 1972. Markets in Licenses and Efficient Pollution Control Programs. *Journal of Economic Theory* 5, 395-418.

Morana, J., 2010. Le Sustainable Supply Chain Management : Une première étape de modélisation. The 8th International Conference on Logistics and SCM Research, Bordeaux.

Morlet, C., Keirstead, J., 2013. A comparative analysis of urban energy governance in four European cities. *Energy Policy* 61, 852-863.

Mozumder, P., Berrens, PR., Bohara, KA., 2006. Is there an environmental Kuznets curve for the risk of biodiversity loss? *The Journal of Developing Areas* 39, 175-190.

Mraihi, R., 2008. Le transport de voyageurs par taxis collectifs et louages en Tunisie : un modèle réussi à la ville de Sousse. *Actes INRETS 114, les collections de l'INRETS*.

Mraihi, R., Ben Abdallah, K., Abid, M., 2013. Road transport-related energy consumption: Analysis of driving factors in Tunisia. *Energy Policy* 62, 247-253.

Nahrath, S., Gerber, JD., 2014. Pour une approche ressourcielle du développement durable. *Développement durable et territoires* 5, n°2.

NégaWatt., 2010. Philippe Quirion, Centre international de recherches sur l'environnement et le développement.

Némoz, S., 2013. Face au rebond de la demande de transport automobile, une approche multi-niveaux des effets de l'éco-fiscalité en Belgique et des ressorts de consommation. *Développement durable et territoires* 4, dossier « Les conditions de production d'un transport durable ».

Neves, AR., Leal, V., 2010. Energy sustainability indicators for local energy planning: Review of current practices and derivation of a new framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 2723-2735.

Ni, W., Johansson, TB., 2004. Energy for sustainable development in China. *Energy Policy* 32, 1225-1229.

Nicolas, JP., Verry, D., 2005. Indicateurs de mobilité durable : de l'état de l'art à la définition des indicateurs dans le projet Simbad. *LET, rapport intermédiaire* 2.

Niovi, K., Daniel, JG., Robert, BN., 2010. Estimating the effect of urban density on fuel demand. *Energy Economics* 32, 86-92.

Nowak, M., 1988. De la pluriactivité à l'industrialisation rurale. *Caisse Centrale de Coopération Economique*.

OCDE., 1993. Indicateurs pour l'intégration des préoccupations environnementales dans les politiques des transports. *Environment Monograph* 80, Paris, France.

- Omer, AM., 2008. Energy, environment and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 2265-2300.
- Ong, HC., Mahlia, TMI., Masjuki, HH., 2011. A review on emissions and mitigation strategies for road transport in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 3516-3522.
- Ong, HC., Mahlia, TMI., Masjuki, HH., 2012. A review on energy pattern and policy for transportation sector in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 532-542.
- Onnis, L., Tirelli, P., 2010. Challenging the popular wisdom. New estimates of the unobserved economy. Working Papers 184, University of Milano-Bicocca, Department of Economics.
- Orfeuill, JP., 1990. Prix et consommation de carburants dans les transports routiers de voyageurs. *Revue Transports* 341.
- Oyedepo, SO., 2012. On energy for sustainable development in Nigeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 2583-2598.
- Pacolet, J., Perelman, S., Baeyens, K., Pestieau, P., 2008. Un indicateur de l'étendue et de l'évolution du travail au noir en Belgique. *Revue belge de la Sécurité Sociale*, 4^{ième} trimestre, 437-462.
- Panayotou, T., 1993. Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development. Working Paper WP238 Technology and Employment Programme, Geneva: International Labor Office.
- Panayotou, T., 1997. Demystifying the environmental Kuznets curve: turning a black box into a policy tool. *Environment and Development Economics* 42, 265-284.
- Pao, H., Tsai, C., 2010. CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in BRIC countries. *Energy Policy* 38, 7850-7860.
- Pao, H., Tsai, C., 2010. CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in BRIC countries. *Energy Policy* 38, 7850-7860.
- Pasinetti, LL., 1988. Growing subsystems, vertically hyper-integrated sectors and the labour theory of value. *Cambridge Journal of Economics* 12, 125-34.
- Pasquero, J., 2008. Entreprise, Développement durable et Théorie des parties prenantes: esquisse d'un arrimage socio-constructionniste. *Management International* 12, 27-47.
- Patier, D., Routhier, JL., 2009. La logistique urbaine : acquis et perspectives. *Les Cahiers Scientifiques du Transport* 55, 5-10.
- Paul, S., Bhattacharya, R., 2004. Causality between energy consumption and economic growth in India: a note on conflicting results. *Energy Economics* 26, 977-983.
- Percebois, J., 2006. La politique pétrolière et gazière de la France depuis 1945. *Regards sur l'Actualité* 3128, La Documentation Française.
- Pereira, AO., Soares, JB., Gorini de Oliveira, R., Pinto de Queiroz, R., 2008. Energy in Brazil: Toward sustainable development? *Energy Policy* 36, 73-83.
- Perman, R., Stern, DI., 2003. Evidence from panel unit root and cointegration tests that the environmental Kuznets curve does not exist. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 47, 325-347.

- Perret, B., 2002. Indicateurs sociaux. Etat des lieux et perspectives. Les Papiers du CERC 2002-01, Conseil de l'emploi, des revenus et de la cohésion sociale, Paris.
- Perroux, F., 1991. L'économie du XXe siècle : Ouvrage et articles. Presses universitaires de Grenoble.
- Pesaran, HH., Shin, Y., 1998. Generalized impulse response analysis in linear multivariate models. *Economics Letters* 58, 17-29.
- Peter, M., Schmidt, N., Maibach, M., 2002. Evaluation kurzfristiger Benzinpreiserhöhungen. Zuerich, Infrac.
- Peura, P., 2013. From Malthus to sustainable energy-Theoretical orientations to reforming the energy sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19, 309-327.
- Phillips, PCB., 1974. The estimation of some continuous time models. *Econometrica* 42, 803-823
- Phillips, PCB., Perron, P., 1988. Testing for a Unit Root in Time Series Regression. *Biometrika* 75, 335-346.
- Pigou, AC., 1920. The economics of welfare. London, Macmillan and co., limited.
- Pinchemel, G., 1997. La face de la terre: Éléments de géographie. Paris, Armand Colin.
- Plourde, A., Ryan, DL., 2002. Smaller and Smaller? The Price Responsiveness of Non-Transport Oil Demand. *The Quarterly Review of Economics and Finance* 42, 285-317.
- Polemis, M., 2006. Empirical assessment of the determinants of road energy demand in Greece. *Energy Economics* 28, 385-403.
- Pongthanasawan, J., Sorapipatana, C., 2010. Relationship between level of economic development and motorcycle and car ownerships and their impacts and greenhouse gas emission in Thailand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 2966-2975.
- Portes, A., Castells, M., Benton, LA., 1989. The Informal Economy: Studies in Advanced and Less Developed Countries. Johns Hopkins University Press.
- Poumanyong, P., Kaneko, S., Dhakal, S., 2012. Impacts of urbanization on national transport and road energy use: Evidence from low, middle and high income countries. *Energy Policy* 46, 268-277
- Pourouchottamin, P., Barbier, C., Chancel, L., Colombier, M., 2013. Nouvelles représentations des consommations d'énergie. *Les Cahiers du Club Ingénierie Prospective Énergie et Environnement* 22.
- Prosser, RD., 1985. Demand elasticities in OECD: Dynamical aspects. *Energy Economics* 7, 9-12.
- Pulselli, FM., Ciampalini, F., Tiezzi, E., Zappia, C., 2006. The index of sustainable economic welfare (ISEW) for a local authority: a case study in Italy. *Ecological Economics* 60, 271-281.
- Raad, T., 1998. The Car in Canada: A Study of Factor Influencing Automobile Dependence in Canada's Seven Largest Cities, 1961-1991. Vancouver, School of Community and Regional Planning, University of British Columbia.
- Ramanathan, R., 1999. Short and long-run elasticities of gasoline demand in India: An empirical analysis using cointegration techniques. *Energy Economics* 21, 321-330.
- Ramos, SB., Veiga, H., 2013. Oil price asymmetric effects: Answering the puzzle in international stock markets. *Energy Economics* 38, 136-145.
- Ramsey, JB., Rasche, R., Allen, BT., 1975. An Analysis of the Private and Commercial Demand for Gasoline. *The Review of Economics and Statistics* 57, 502-507.

Reinhard, H., Peter, B., 2000. The rebound effect for space heating Empirical evidence from Austria. *Energy Policy* 28, 403-410.

Reinhard, M., Yasin, S., 2011. Impacts of urbanization on urban structures and energy demand: What can we learn for urban energy planning and urbanization management? *Sustainable Cities and Society* 1, 45-53.

Reix, R., 2004. *Systèmes d'information et management des organisations*. Vuibert.

Rey-Valette, H., Dedieu, O., Réau, M., Valarié, P., 2006. *Quelle gestion durable pour les territoires littoraux ? Pour qui et avec qui ? Ouvrage de synthèse ORME*, Ed du CNRS 2006.

Roca, J., Padilla, E., Farre, M., Galletto, V., 2001. Economic growth and atmospheric pollution in Spain: discussing the environmental Kuznets curve hypothesis. *Ecological Economics* 39, 85-99.

Roca, J., Padilla, E., Farre, M., Galletto, V., 2001. Economic growth and atmospheric pollution in Spain: discussing the environmental Kuznets curve hypothesis. *Ecological Economics* 39, 85-99.

Rocheftort, M., 2000. *Le défi urbain dans les pays du Sud*. L'Harmattan.

Rodekahr, M., 1980. Replacement energy costs in the residential and commercial sector, 1985, 1990 and 1995. Washington U.S. Dept. of Energy, Energy Information Administration, Assistant Administrator for Applied Analysis.

Romero, JC., Linares, P., 2014. Exergy as a global energy sustainability indicator: A review of the state of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 33, 427-442.

Rothman, DS., 1998. Environmental Kuznets curves real progress or passing the buck? A case for consumption-based approaches. *Ecological Economics* 25, 177-194.

Roubaud, F., 1994. *L'économie informelle au Mexique : de la sphère domestique à la dynamique macro-économique*. Paris, Karthala. *Economie et développement*.

Roubaud, F., Sérurier, M., 1991. *Économie non enregistrée par la statistique et secteur informel dans les pays en développement*. Stateco 68, INSEE, Paris.

Rouxel, F., 2000. *Le développement durable. Approche méthodologique dans les diagnostics territoriaux*. Collections du CERTU.

Rouxel, F., Rist, D., 2000. *Le développement durable. Approche méthodologique dans les diagnostics territoriaux*. Collections du CERTU.

Rudra, PP., 2010. Transport Infrastructure, Energy Consumption and Economic Growth Triangle in India: Cointegration and Causality Analysis. *Journal of Sustainable Development* 3, 167-173.

Sachs, JD., 1980. *Energy and Growth under Flexible Exchange Rates: A Simulation Study*. Working Paper 582, National Bureau of Economic Research.

Salomon, T., Couturier, C., Jedliczka, M., Letz, T., Lebot, B., 2005. A negawatt scenario for 2005–2050. *Proceedings of the ECEEE Summer Study*.

Samimi, R., 1995. Road Transport Energy Demand in Australia: A Cointegration Approach. *Energy Economics* 17, 329-339.

Santos, G., Behrendt, H., Maconi, L., Shirvani, T., Teytelboym, A., 2010. Part I: Externalities and economic policies in road transport. *Research in Transportation Economics* 28, 2-45.

Santos, G., Behrendt, H., Teytelboym, A., 2010. Part II: Policy instruments for sustainable road transport. *Research in Transportation Economics* 28, 46-91.

Schäfer, A., Heywood, JB., Jacoby, HD., 2009. Transportation in a climate-constrained world. The MIT Press, Cambridge.

Schafer, A., Victor, DG., 2000. The future mobility of the world population. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 34, 171-205.

Schipper, L., Meyers, S., Howarth, R., Steiner, R., 1994. Energy efficiency and human activity: past trends, future prospects. 2nd Cambridge: Cambridge University Press.

Schleiniger, R., 1995. The demand for gasoline in Switzerland: in the short and in the long run. Institute for Empirical Research in Economics, University of Zurich.

Schlör, H., Fischer, W., Hake, JF., 2013. Methods of measuring sustainable development of the German energy sector. *Applied Energy* 101, 172-181.

Schmalensee, R., Stoker, TM., 1999. Household Gasoline Demand in the United States. *Econometrica* 67, 645-662.

Schmid, E., 2007. Integrative Analysis to Support Policy Decision Making in Natural Resource Management. Habilitationsschrift, Universität für Bodenkultur Wien, Habilitation im Fach Agrar- und Ressourcenökonomik.

Schneider, F., 2003. L'effet rebond. *l'Ecologiste* 4.

Schneider, F., 2005. Shadow economies around the world: What do we really know. *European Journal of Political Economy* 21, 598-642.

Schneider, F., 2010. The influence of public institutions on the shadow economy: an empirical investigation for OECD countries. *European Journal of Law and Economics* 6, 441-468.

Schneider, F., Enste, DH., 2000. Shadow Economies: Size, Causes, and Consequences. *Journal of Economic Literature* 38, 77-114.

Schumacher, K., 2007. Innovative energy technologies in energy-economy models assessing economic: energy and environmental impacts of climate policy and technological change in Germany. Thèse de doctorat, Humboldt Universität Berlin.

Schwarz, G., 1978. Estimating the Dimension of a Model *Annals of Statistics* 6, 461-464.

Searle, J., 1985. *Intentionality: An Essay in the Philosophy of Mind*. Cambridge, Cambridge University Press.

Selden, TM., Song, D., 1994. Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions? *Journal of Environmental Economics and Management* 27, 147-162.

Shafik, N., Bandyopadhyay, S., 1992. Economic growth and environmental quality: time series and cross-country evidence, research working papers WPS 904. World development report.

Shahbaz, M., Mutascu, M., Azim, P., 2013. Environmental Kuznets curve in Romania and the role of energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 18, 165-173.

Shahbaz, M., Hooi Lean, H., Shabbir, MS., 2012. Environmental Kuznets Curve hypothesis in Pakistan: Cointegration and Granger causality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 2947-2953.

Sharpe, A., 2004. Literature review of frameworks for macro-indicators. Technical report, Centre for the Study of Living Standards, CSLS Research Report 2004-03, Ottawa.

Shealy, MT., 1990. Oil demand asymmetry in the OECD. In *Energy Supply / Demand balances: Options and Costs*, proceedings of the 12th Annual North American Conference of the International Association for Energy Economics, Washington, 154 – 165.

Shunping, JIA., Peng, H., Liu, S., Zhang, X., 2009. Review of Transportation and Energy Consumption Related Research. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology* 9, 6-16.

Simon, CP., Witte, AD., 1982. *Beating the System: The Underground Economy*. Auburn House Publishing Company, Boston, Massachusetts.

Sims, CA., 1980. Macroeconomics and Reality. *Econometrica* 48, 1-48.

Small, KA., Van Dender, K., 2007. Fuel Efficiency and Motor Vehicle Travel: The Declining Rebound Effect. *Energy Journal* 28, 25-51.

Small, KA., Van Dender, K., 2007. Long run trends in transport demand, fuel price elasticities and implications of the oil outlook for transport policy. Document de travail n° 2007-16. Joint Transport Research Centre.

Smith, VL., 1973. Notes on some literature in experimental economics. Social Sciences working paper 21, California Institute of Technology.

Sorrel, S., 2007. The rebound effect: An assessment of the evidence for economy wide savings from improved energy efficiency. A report produced by the Sussex Energy Group for the Technology and Policy Assessment function of the UK Energy Research Centre.

Sorrell, S., 2009. Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency. *Energy Policy* 37, 1456-1469.

Sorrell, S., Dimitropoulos, J., 2008. The rebound effect: Microeconomic definitions, limitations and extensions. *Ecological Economics* 65, 636-649.

Spangenberg, JH., 2002. Environmental space and the prism of sustainability: frameworks for indicators measuring sustainable development. *Ecological Indicators* 2, 295-309.

Springer, RK., Resek, RW., 1981. An Econometric Model of Gasoline Consumption, Vehicle Miles Traveled and New Car Purchases. *Energy Systems and Policy* 5, 73-87.

Starzec, K., 1983. L'économie polonaise vue à travers des circuits parallèles. *Consommation* 30, 55-94.

Stead, D., 2007. Transport energy efficiency in Europe: Temporal and geographical trends and prospects. *Journal of Transport Geography* 15, 343-353.

Chung, W., Zhou, G., Yeung, IMH., 2013. A study of energy efficiency of transport sector in China from 2003 to 2009. *Applied Energy* 112, 1066-1077.

Steel, WF., 1980. Intensité de capital, dimension de la firme et choix entre emploi et production : l'importance de l'analyse multisectorielle. *Tiers Monde* 21, 285-306.

Steenhof, P., Woudsma, C., Sparling, E., 2006. Greenhouse gas emissions and the surface transport of freight in Canada. *Transportation Research Part D. Transport and Environment* 11, 369-376.

Stern, DI., Common, MS., 2001. Is there an environmental Kuznets curve for sulfur? *Journal of Environmental Economics and Management* 41, 162-178.

Sterner, T., 1990. The Pricing of and Demand for Gasoline. Swedish Transport Research Board: Stockholm.

Sterner, T., 1991. Gasoline demand in the OECD: choice of model and data set in pooled estimations. *OPEC review* 15, 91-101.

Sterner, T., Franzén, M., 1994. Long-run Demand Elasticities for Gasoline. In T Barker et al. (eds) *Global Warming and Energy Elasticities*, Routledge. London.

Streimikiene, D., Ciegis, R., Grundey, D., 2007. Energy indicators for sustainable development in Baltic States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11, 877-893.

Sturges, H.A., 1926. The choice of a class interval. *Journal of the American Statistical Association* 21, 65-66. Sala-i-Martin, X.X., 1996. The Classical Approach to Convergence Analysis. *The Economic Journal* 106, 1019-1036.

Sweeney, J.L., Fenichel, D., 1986. Price Asymmetries in the Demand for Energy. Technical Report, Center for Economic Policy Research, Stanford University, Stanford.

Tanishita, M., Miyoshi, H., 2007. Safety and fuel economy of passenger cars. ITEC working paper, 07-03.

Taylor, J.E., 2003. The Microeconomics of Globalisation: Evidence from China and Mexico. *Agricultural Trade and Poverty: Making Policy Analysis Count*. Organization for Economic Co-operation and Development, 213-232.

Tedds, L.M., 2004. Nonparametric expenditure-based estimation of income under-reporting and the underground economy. Department of Economics Working Papers, McMaster University.

Timilsina, G.R., Shrestha, A., 2009. Transport sector CO₂ emissions growth in Asia: Underlying factors and policy options. *Energy Policy* 37, 4523-4539.

Tokman, V.E., 1989. Policies for a Heterogeneous Informal Sector in Latin America. *World Development* 17, 1067-1076.

Tonn, B., Frymier, P., Graves, J., Myers, J., 2010. A Sustainable Energy Scenario for the United States: Year 2050. *Sustainability* 2, 3650-3680.

Traill, B., 1971. Estimating irreversible supply functions. *American Journal of Agricultural Economics* 60, 528-531.

Turner, K., 2011. Determinants and Potential Magnitude of Economy-wide Rebound Effects: Overview of Key Findings from a Research Project Funded by the UK Economic and Social Research Council. Paper prepared for the CEDM Rebound Workshop, Washington.

Turner, K., Hanley, N., 2011. Energy efficiency, rebound effects and the environmental Kuznets Curve. *Energy Economics* 33, 709-720.

Ubaidillah, N.Z., 2011. The relationship between income and environment in UK's road transport sector: is there an EKC? Proceedings of the 2011 International Conference on Economics and Finance Research, Singapore: IACSIT Press 4, 100-103.

Uri, N.D., Hassanein, S.A., 1985. Testing for stability: motor gasoline and distillate fuel oil demand. 1985. *Energy Economics* 7, 87-93.

Vera, I.A., Langlois, L.M., Rogner, H.H., Jalal, A.I., Toth, F.L., 2005. Indicators for sustainable energy development : An initiative by the international atomic energy agency. *Natural Resources Forum* 29, 274-283.

Vivoda, V., 2010. Evaluating Energy Security in the Asia-Pacific Region: A Novel Methodological Approach. *Energy Policy* 38, 5258-5263.

Voiron-Canicio, C., 2005. Pour une approche systémique du développement durable. *Développement durable et territoires Dossier 4. La ville et l'enjeu du Développement Durable*.

Wagner, M., 2008. The carbon Kuznets curve: A cloudy picture emitted by bad econometrics? *Resource and Energy Economics* 30, 388-408.

Walker, IO., Wirl, F., 1993. Irreversible price-induced efficiency improvements: theory and empirical application to road transportation. *The Energy Journal* 14, 183-205.

Wang, K., Lu, B., Wei, Y-M., 2013. China's regional energy and environmental efficiency: A Range-Adjusted Measure based analysis. *Applied Energy* 112, 1403-1415.

WDI., 2011. *World Development Indicators IBRD*, World Bank, Washington, DC.

WDI., 2012. *World Development Indicators IBRD*. World Bank, Washington, DC.

Weeks, J., 1975. L'extension de l'emploi dans le secteur urbain non structuré des pays en voie de développement. *Revue Internationale du Travail* 111, 1-14.

Weizsäcker, EV., Lovins, AB., Lovins, LH., 1997. *Factor Four; Doubling Wealth - Halving Resource Use*. London, Earthscan.

West, SE., 2004. Distributional Effects of Alternative Vehicle Pollution Control Policies. *Journal of Public Economics* 88, 735-757.

Wibulswas, P., 2004. Sustainable Energy Development Strategies for Thailand. *Asian J. Energy Environmental* 5, 285-307.

Wirl, F., 1988. The asymmetrical energy demand pattern: some theoretical explanations. *OPEC Review* 12, 353-367.

Wolffram, R., 1971. Positivistic Measures of Aggregate Supply Elasticities: Some New Approaches – Some Critical Notes. *American Journal of Agricultural Economics* 53, 356-359

Wright, JC., 1991. Indicators for sustainable energy development. Center for Resource Management, Information Paper 28.

Yang, L., Wang, KL., 2013. Regional differences of environmental efficiency of China's energy utilization and environmental regulation cost based on provincial panel data and DEA method. *Mathematical and Computer Modelling* 58, 1074-1083.

Yaobin, L., 2009. Exploring the relationship between urbanization and energy consumption in China using ARDL (autoregressive distributed lag) and FDM (factor decomposition model). *Energy* 34, 1846-1854.

Yu, ESH., Jin, JC., 1992. Cointegration tests of energy consumption, income and employment. *Resources Energy* 14, 259-266.

Zaccai, E., 2007. Développement durable et disciplines scientifiques. *Natures Sciences Sociétés* 15, 379-388.

Zecca, A., Chiari, L., 2010. Fossil fuel constraints on global warming. *Energy Policy* 38, 1-3.

Zellner, A., 1979. Causality and econometrics. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy* 10, 9-54.

Zen, AC., Lima, A., Brianchi, AL., Babot, L., 2012. Sustainability, Energy and development: A proposal of indicators. *International Journal for Infonomics* 5, 537-541.

Zhang, N., Lior, N., Jin H., 2011. The energy situation and its sustainable development strategy in China. *Energy* 36, 3639-3649.

Zhou, G., Chung, W., Zhang, Y., 2014. Measuring energy efficiency performance of China's transport sector: A data envelopment analysis approach. *Expert Systems with Applications* 41, 709-722.

Zlatoper, TJ., 1991. Determinants of motor vehicle deaths in the United States. *Accident Analysis and Prevention* 23, 431-436.

Zuindeau, B., 1997. Le développement durable: une introduction générale. In *Environnement : Représentations et concepts de la nature*. Harmattan, 191-204

Zuindeau, B., 2000. La « durabilité » : essai de positionnement épistémologique du concept. In Zuindeau B. (Ed.), *Développement durable & Territoires*. Presses Universitaires du Septentrion, Villeneuve d'Ascq, 27-69.

Annexe du chapitre 2

Tableau 1. Index de l'efficacité énergétique dans le transport routier

| | Pays (Ccarb/PIB) | 1980 | Pays (Ccarb/PIB) | 2010 |
|----|-------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------|
| 1 | Korea, Rep. | 0 | Hong Kong SAR, | 0 |
| 2 | Bangladesh | 0.00576157 | Cuba | 0.00417788 |
| 3 | Hong Kong SAR, China | 0.02944079 | Japan | 0.02014302 |
| 4 | Japan | 0.043470838 | Singapore | 0.02854799 |
| 5 | Switzerland | 0.055898201 | Norway | 0.0356173 |
| 6 | Costa Rica | 0.057727227 | Switzerland | 0.03690431 |
| 7 | Brunei Darussalam | 0.06127424 | United Kingdom | 0.0468057 |
| 8 | Norway | 0.067943585 | Denmark | 0.05238035 |
| 9 | Gabon | 0.07661644 | Sweden | 0.05319278 |
| 10 | Denmark | 0.081861902 | Israel | 0.05372838 |
| 11 | Iceland | 0.082981507 | Germany | 0.05459578 |
| 12 | Nepal | 0.088409101 | Iceland | 0.05579065 |
| 13 | Greece | 0.090826336 | Netherlands | 0.05821145 |
| 14 | Israel | 0.10546674 | Zambia | 0.06329217 |
| 15 | Uruguay | 0.114097313 | Finland | 0.06474621 |
| 16 | Congo, Dem. Rep. | 0.115473168 | France | 0.06700933 |
| 17 | United Kingdom | 0.116240899 | Bangladesh | 0.06781536 |
| 18 | Italy | 0.117980876 | Cote d'Ivoire | 0.07343325 |
| 19 | Portugal | 0.11823329 | Ireland | 0.0763983 |
| 20 | Netherlands | 0.119262566 | Italy | 0.07704264 |
| 21 | Sweden | 0.126803728 | Belgium | 0.07723736 |
| 22 | Spain | 0.127398285 | Gabon | 0.07754025 |
| 23 | Austria | 0.128057853 | Uruguay | 0.08047076 |
| 24 | France | 0.129143857 | Austria | 0.08473925 |
| 25 | Germany | 0.129222622 | Turkey | 0.08630858 |
| 26 | Belgium | 0.131091418 | Dominican | 0.09010274 |
| 27 | El Salvador | 0.132841359 | Korea, Rep. | 0.09103329 |
| 28 | Finland | 0.140584684 | Congo, Dem. Rep. | 0.09627503 |
| 29 | United Arab Emirates | 0.154909538 | Malta | 0.10092964 |
| 30 | Guatemala | 0.163313073 | Spain | 0.11066437 |
| 31 | Panama | 0.164236532 | Australia | 0.11362299 |
| 32 | Morocco | 0.171356044 | Greece | 0.1140432 |
| 33 | Saudi Arabia | 0.173419265 | China | 0.11709696 |
| 34 | Mozambique | 0.175039796 | United States | 0.11762604 |
| 35 | Oman | 0.17642191 | Colombia | 0.12932822 |
| 36 | Singapore | 0.179207922 | Portugal | 0.13399964 |
| 37 | Ireland | 0.184733913 | India | 0.13826832 |
| 38 | Turkey | 0.186685762 | Chile | 0.15087726 |
| 39 | Mexico | 0.189716926 | El Salvador | 0.15117525 |
| 40 | Peru | 0.193728646 | Panama | 0.15227016 |
| 41 | Brazil | 0.226491989 | United Arab | 0.15264057 |
| 42 | Honduras | 0.228834015 | Philippines | 0.15390801 |
| 43 | Bahrain | 0.239941326 | Canada | 0.15652018 |
| 44 | Tunisia | 0.246003271 | Peru | 0.15902788 |
| 45 | Luxembourg | 0.250996039 | Mozambique | 0.16025562 |
| 46 | Egypt, Arab Rep. | 0.252742722 | Brunei Darussalam | 0.1619629 |
| 47 | Malta | 0.253706505 | Morocco | 0.16387501 |
| 48 | Dominican Republic | 0.258082786 | Tunisia | 0.16895647 |
| 49 | Algeria | 0.259454199 | Cyprus | 0.17527431 |
| 50 | Cuba | 0.25980126 | Costa Rica | 0.1768251 |

Tableau 1. Index de l'efficacité énergétique dans le transport routier (Suite)

| | Pays (Ccarb/PIB) | 1980 | Pays (Ccarb/PIB) | 2010 |
|----|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------|
| 51 | Hungary | 0.259902644 | Nigeria | 0.1792916 |
| 52 | Romania | 0.268010357 | South Africa | 0.18290453 |
| 53 | China | 0.270693692 | New Zealand | 0.18454529 |
| 54 | Cote d'Ivoire | 0.280604252 | Cameroon | 0.19060744 |
| 55 | Cyprus | 0.285302192 | Oman | 0.19847917 |
| 56 | New Zealand | 0.288149196 | Brazil | 0.20039961 |
| 57 | India | 0.291619158 | Hungary | 0.20339145 |
| 58 | Trinidad and Tobago | 0.297253047 | Guatemala | 0.20434014 |
| 59 | Philippines | 0.299123779 | Mexico | 0.21053012 |
| 60 | Australia | 0.3074428 | Trinidad and Tobago | 0.21578145 |
| 61 | Nicaragua | 0.311276451 | Egypt, Arab Rep. | 0.21767554 |
| 62 | Cameroon | 0.316961653 | Romania | 0.22528504 |
| 63 | United States | 0.317874357 | Nepal | 0.22591564 |
| 64 | Chile | 0.322323327 | Kenya | 0.2293747 |
| 65 | South Africa | 0.329825632 | Nicaragua | 0.23497098 |
| 66 | Senegal | 0.340006928 | Sri Lanka | 0.23537353 |
| 67 | Colombia | 0.344553113 | Luxembourg | 0.24091929 |
| 68 | Pakistan | 0.366046472 | Bahrain | 0.25264733 |
| 69 | Kenya | 0.372705685 | Congo, Rep. | 0.26577464 |
| 70 | Paraguay | 0.378175436 | Zimbabwe | 0.26739249 |
| 71 | Sri Lanka | 0.381918464 | Senegal | 0.26782993 |
| 72 | Benin | 0.382539034 | Sudan | 0.27816894 |
| 73 | Malaysia | 0.400368644 | Honduras | 0.27996767 |
| 74 | Canada | 0.412199869 | Pakistan | 0.28521406 |
| 75 | Thailand | 0.417844426 | Malaysia | 0.29257419 |
| 76 | Congo, Rep. | 0.442431541 | Thailand | 0.30867062 |
| 77 | Zimbabwe | 0.447372357 | Venezuela, RB | 0.31119714 |
| 78 | Indonesia | 0.450122506 | Jordan | 0.33564711 |
| 79 | Zambia | 0.461248505 | Indonesia | 0.346843 |
| 80 | Venezuela, RB | 0.503494732 | Albania | 0.3592792 |
| 81 | Ecuador | 0.505132987 | Algeria | 0.37913968 |
| 82 | Bolivia | 0.512817402 | Syrian Arab | 0.39194093 |
| 83 | Togo | 0.556893109 | Bulgaria | 0.39337882 |
| 84 | Bulgaria | 0.620737645 | Saudi Arabia | 0.40324533 |
| 85 | Jordan | 0.635578525 | Paraguay | 0.4345418 |
| 86 | Sudan | 0.687623096 | Ecuador | 0.51222198 |
| 87 | Nigeria | 0.714152525 | Ghana | 0.53319642 |
| 88 | Ghana | 0.772849629 | Bolivia | 0.57224353 |
| 89 | Albania | 0.882582546 | Togo | 0.60325099 |
| 90 | Syrian Arab Republic | 1 | Benin | 1 |

Tableau 2. Index de l'efficacité environnementale dans le transport routier

| | Pays (CO₂Troutier/Ccarb) | 1980 | Pays (CO₂Troutier/Ccarb) | 2010 |
|----|--|-------------|--|--------------------|
| 1 | Syrian Arab Republic | 0 | Brazil | 0 |
| 2 | Congo, Dem. Rep. | 0.074405614 | Thailand | 0.155328244 |
| 3 | Romania | 0.076362361 | Oman | 0.16980086 |
| 4 | Bulgarie | 0.07646656 | Germany | 0.173950922 |
| 5 | Oman | 0.076585826 | Congo, Dem. Rep. | 0.177743372 |
| 6 | Malaysia | 0.078100165 | Cyprus | 0.181749971 |
| 7 | Mozambique | 0.078503867 | Venezuela, RB | 0.183149662 |
| 8 | Malta | 0.080262178 | Austria | 0.186543159 |
| 9 | Trinidad and Tobago | 0.080671314 | Hungary | 0.193993273 |
| 10 | Brunei Darussalam | 0.082327862 | Israel | 0.199007072 |
| 11 | Cyprus | 0.082363388 | Malaysia | 0.203741309 |
| 12 | Guatemala | 0.082749007 | Paraguay | 0.204110532 |
| 13 | Bahrain | 0.082818118 | Togo | 0.205455274 |
| 14 | Togo | 0.082818118 | Benin | 0.206553706 |
| 15 | Colombia | 0.084576586 | Pakistan | 0.208252104 |
| 16 | Israel | 0.084707986 | Brunei Darussalam | 0.211559953 |
| 17 | Honduras | 0.084731311 | El Salvador | 0.212848495 |
| 18 | Thailand | 0.084785265 | Sweden | 0.215335205 |
| 19 | El Salvador | 0.085295199 | Guatemala | 0.21536834 |
| 20 | Cameroon | 0.085479506 | Jordan | 0.216152955 |
| 21 | Venezuela, RB | 0.085690836 | Honduras | 0.217495007 |
| 22 | Singapore | 0.08630438 | United Arab Emirates | 0.218728559 |
| 23 | Dominican Republic | 0.086322077 | Belgium | 0.221427993 |
| 24 | United Arab Emirates | 0.086489384 | France | 0.222313827 |
| 25 | Gabon | 0.086740163 | Trinidad and Tobago | 0.222852492 |
| 26 | Nigeria | 0.08729667 | Panama | 0.223094802 |
| 27 | Luxembourg | 0.087329874 | Luxembourg | 0.225186104 |
| 28 | Sudan | 0.088065036 | Malta | 0.227007728 |
| 29 | Hong Kong SAR, China | 0.088351174 | Costa Rica | 0.227551917 |
| 30 | Paraguay | 0.088601473 | Bahrain | 0.227853095 |
| 31 | Benin | 0.088655581 | Netherlands | 0.231446323 |
| 32 | Switzerland | 0.089751073 | Switzerland | 0.233111108 |
| 33 | Albania | 0.090614085 | Bolivia | 0.234548735 |
| 34 | Nepal | 0.093075775 | Uruguay | 0.234624659 |
| 35 | Algeria | 0.094318052 | Mexico | 0.235732165 |
| 36 | Jordan | 0.094621046 | Ireland | 0.237361484 |
| 37 | Ireland | 0.095144546 | Singapore | 0.240323308 |
| 38 | Ghana | 0.095755014 | Tunisia | 0.241316493 |
| 39 | Austria | 0.096515011 | Nepal | 0.241876478 |
| 40 | Saudi Arabia | 0.097226588 | Portugal | 0.243790341 |
| 41 | Philippines | 0.098284971 | Sudan | 0.246631781 |
| 42 | Nicaragua | 0.098336392 | Gabon | 0.247678961 |
| 43 | Italy | 0.100418607 | Saudi Arabia | 0.248654514 |
| 44 | France | 0.102075276 | Hong Kong SAR, China | 0.250578855 |
| 45 | Belgium | 0.10274135 | Italy | 0.251842033 |
| 46 | Morocco | 0.103582463 | Syrian Arab Republic | 0.252629064 |
| 47 | Pakistan | 0.103782138 | Morocco | 0.256070194 |
| 48 | Netherlands | 0.105194383 | Korea, Rep. | 0.264488461 |
| 49 | Germany | 0.105417959 | Colombia | 0.266664504 |
| 50 | Congo, Rep. | 0.105506406 | Bulgarie | 0.283640345 |

Tableau 2. Index de l'efficacité environnementale dans le transport routier (suite)

| | Pays (CO₂Troutier/Ccarb) | 1980 | Pays (CO₂Troutier/Ccarb) | 2010 |
|----|--|-------------|--|-------------|
| 51 | Chile | 0.107125319 | Albania | 0.285199899 |
| 52 | Sweden | 0.107862172 | Peru | 0.300516845 |
| 53 | Indonesia | 0.108812278 | United Kingdom | 0.305311247 |
| 54 | Finland | 0.110150653 | Congo, Rep. | 0.305788706 |
| 55 | Cote d'Ivoire | 0.111837888 | Nicaragua | 0.307702538 |
| 56 | Zambia | 0.114194482 | Cameroon | 0.310723592 |
| 57 | New Zealand | 0.114331548 | Kenya | 0.322276319 |
| 58 | Brazil | 0.116239898 | Romania | 0.330411069 |
| 59 | Tunisia | 0.12006992 | Iceland | 0.334732094 |
| 60 | United Kingdom | 0.120416871 | Finland | 0.337239501 |
| 61 | Uruguay | 0.123365027 | South Africa | 0.339362887 |
| 62 | Turkey | 0.12381552 | Senegal | 0.347397184 |
| 63 | Kenya | 0.124696134 | Sri Lanka | 0.350191612 |
| 64 | Australia | 0.129015529 | Egypt, Arab Rep. | 0.356040563 |
| 65 | Bolivia | 0.129446881 | United States | 0.357988638 |
| 66 | Peru | 0.129641517 | Denmark | 0.364490236 |
| 67 | Ecuador | 0.132217551 | Zimbabwe | 0.366178237 |
| 68 | Portugal | 0.132602825 | Ghana | 0.371322992 |
| 69 | United States | 0.133709279 | Japan | 0.37842575 |
| 70 | Japan | 0.137406588 | Mozambique | 0.390903138 |
| 71 | Canada | 0.141016538 | Cuba | 0.394626708 |
| 72 | Hungary | 0.142142713 | New Zealand | 0.406904732 |
| 73 | Senegal | 0.145817257 | Spain | 0.41522928 |
| 74 | Egypt, Arab Rep. | 0.150161968 | India | 0.415342883 |
| 75 | Denmark | 0.15167478 | Philippines | 0.417909759 |
| 76 | Iceland | 0.152766665 | Turkey | 0.422358873 |
| 77 | South Africa | 0.153290822 | Indonesia | 0.440890114 |
| 78 | Cuba | 0.16355056 | Greece | 0.446337315 |
| 79 | Sri Lanka | 0.168464647 | Algeria | 0.451867704 |
| 80 | Greece | 0.178645169 | Chile | 0.458366287 |
| 81 | Panama | 0.191158471 | Australia | 0.495137687 |
| 82 | Spain | 0.191173621 | Canada | 0.517708399 |
| 83 | Norway | 0.207069686 | Ecuador | 0.535282631 |
| 84 | Mexico | 0.207400987 | Nigeria | 0.539220279 |
| 85 | Bangladesh | 0.27595236 | Bangladesh | 0.572320274 |
| 86 | Zimbabwe | 0.295853297 | China | 0.581193612 |
| 87 | India | 0.303758063 | Dominican Republic | 0.626601783 |
| 88 | China | 0.457797064 | Cote d'Ivoire | 0.631443139 |
| 89 | Costa Rica | 0.61621631 | Norway | 0.78211232 |
| 90 | Korea, Rep. | 1 | Zambia | 1 |

Tableau 3. Index général

| Pays (index général) | 1980 | Pays (index général) | 2010 |
|-----------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------|
| 1 Hong Kong SAR, China | 0.05889598 | Brazil | 0.1001998 |
| 2 Brunei Darussalam | 0.07180105 | Germany | 0.11427335 |
| 3 Switzerland | 0.07282464 | Hong Kong SAR, China | 0.12528943 |
| 4 Gabon | 0.0816783 | Israel | 0.12636773 |
| 5 Japan | 0.09043871 | Sweden | 0.13426399 |
| 6 Nepal | 0.09074244 | Singapore | 0.13443565 |
| 7 Congo, Dem. Rep. | 0.09493939 | Switzerland | 0.13500771 |
| 8 Israel | 0.09508736 | Austria | 0.13564121 |
| 9 El Salvador | 0.10906828 | Congo, Dem. Rep. | 0.1370092 |
| 10 Italy | 0.10919974 | France | 0.14466158 |
| 11 Netherlands | 0.11222847 | Netherlands | 0.14482888 |
| 12 Austria | 0.11228643 | Belgium | 0.14933268 |
| 13 France | 0.11560957 | Ireland | 0.15687989 |
| 14 Denmark | 0.11676834 | Uruguay | 0.15754771 |
| 15 Belgium | 0.11691638 | Gabon | 0.16260961 |
| 16 Germany | 0.11732029 | Malta | 0.16396868 |
| 17 Sweden | 0.11733295 | Italy | 0.16444234 |
| 18 Iceland | 0.11787409 | United Kingdom | 0.17605847 |
| 19 United Kingdom | 0.11832888 | Korea, Rep. | 0.17776088 |
| 20 Uruguay | 0.11873117 | Cyprus | 0.17851214 |
| 21 United Arab Emirates | 0.12069946 | El Salvador | 0.18201187 |
| 22 Guatemala | 0.12303104 | Oman | 0.18414002 |
| 23 Finland | 0.12536767 | United Arab Emirates | 0.18568457 |
| 24 Portugal | 0.12541806 | Brunei Darussalam | 0.18676143 |
| 25 Oman | 0.12650387 | Panama | 0.18768248 |
| 26 Mozambique | 0.12677183 | Portugal | 0.18889499 |
| 27 Singapore | 0.13275615 | Iceland | 0.19526137 |
| 28 Greece | 0.13473575 | Colombia | 0.19799636 |
| 29 Saudi Arabia | 0.13532293 | Hungary | 0.19869236 |
| 30 Morocco | 0.13746925 | Japan | 0.19928438 |
| 31 Norway | 0.13750664 | Cuba | 0.19940229 |
| 32 Ireland | 0.13993923 | Finland | 0.20099285 |
| 33 Bangladesh | 0.14085696 | Costa Rica | 0.20218851 |
| 34 Turkey | 0.15525064 | Tunisia | 0.20513648 |
| 35 Honduras | 0.15678266 | Denmark | 0.20843529 |
| 36 Spain | 0.15928595 | Guatemala | 0.20985424 |
| 37 Bahrain | 0.16137972 | Morocco | 0.2099726 |
| 38 Peru | 0.16168508 | Trinidad and Tobago | 0.21931697 |
| 39 Malta | 0.16698434 | Mexico | 0.22313114 |
| 40 Luxembourg | 0.16916296 | Peru | 0.22977236 |
| 41 Brazil | 0.17136594 | Thailand | 0.23199943 |
| 42 Romania | 0.17218636 | Luxembourg | 0.2330527 |
| 43 Dominican Republic | 0.17220243 | Nepal | 0.23389606 |
| 44 Algeria | 0.17688613 | United States | 0.23780734 |
| 45 Panama | 0.1776975 | Bahrain | 0.24025021 |
| 46 Tunisia | 0.1830366 | Pakistan | 0.24673308 |
| 47 Cyprus | 0.18383279 | Venezuela, RB | 0.2471734 |
| 48 Trinidad and Tobago | 0.18896218 | Malaysia | 0.24815775 |
| 49 Cote d'Ivoire | 0.19622107 | Honduras | 0.24873134 |
| 50 Mexico | 0.19855896 | Cameroon | 0.25066551 |

Tableau 3. Index général (suite)

| | Pays (index général) | 1980 | Pays (index général) | 2010 |
|----|-----------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|
| 51 | Philippines | 0.19870438 | Turkey | 0.25433373 |
| 52 | Hungary | 0.20102268 | South Africa | 0.26113371 |
| 53 | Cameroon | 0.20122058 | Sudan | 0.26240036 |
| 54 | New Zealand | 0.20124037 | Spain | 0.26294683 |
| 55 | Egypt, Arab Rep. | 0.20145235 | Nicaragua | 0.27133676 |
| 56 | Nicaragua | 0.20480642 | Mozambique | 0.27557938 |
| 57 | Cuba | 0.21167591 | Kenya | 0.27582551 |
| 58 | Colombia | 0.21456485 | Jordan | 0.27590003 |
| 59 | Chile | 0.21472432 | India | 0.2768056 |
| 60 | Australia | 0.21822916 | Romania | 0.27784805 |
| 61 | United States | 0.22579182 | Greece | 0.28019026 |
| 62 | Paraguay | 0.23338845 | Congo, Rep. | 0.28578168 |
| 63 | Pakistan | 0.2349143 | Philippines | 0.28590888 |
| 64 | Benin | 0.23559731 | Egypt, Arab Rep. | 0.28685805 |
| 65 | Malaysia | 0.2392344 | Sri Lanka | 0.29278257 |
| 66 | South Africa | 0.24155823 | New Zealand | 0.29572501 |
| 67 | Senegal | 0.24291209 | Australia | 0.30438034 |
| 68 | Kenya | 0.24870091 | Chile | 0.30462177 |
| 69 | Thailand | 0.25131485 | Senegal | 0.30761356 |
| 70 | Congo, Rep. | 0.27396897 | Zimbabwe | 0.31678536 |
| 71 | Sri Lanka | 0.27519156 | Paraguay | 0.31932617 |
| 72 | Canada | 0.2766082 | Bangladesh | 0.32006782 |
| 73 | Indonesia | 0.27946739 | Albania | 0.32223955 |
| 74 | Zambia | 0.28772149 | Syrian Arab Republic | 0.322285 |
| 75 | Venezuela, RB | 0.29459278 | Saudi Arabia | 0.32594992 |
| 76 | India | 0.29768861 | Canada | 0.33711429 |
| 77 | Ecuador | 0.31867527 | Bulgaria | 0.33850958 |
| 78 | Togo | 0.31985561 | China | 0.34914529 |
| 79 | Bolivia | 0.32113214 | Cote d'Ivoire | 0.35243819 |
| 80 | Costa Rica | 0.33697177 | Dominican Republic | 0.35835226 |
| 81 | Bulgaria | 0.3486021 | Nigeria | 0.35925594 |
| 82 | China | 0.36424538 | Indonesia | 0.39386656 |
| 83 | Jordan | 0.36509979 | Bolivia | 0.40339613 |
| 84 | Zimbabwe | 0.37161283 | Togo | 0.40435313 |
| 85 | Sudan | 0.38784407 | Norway | 0.40886481 |
| 86 | Nigeria | 0.4007246 | Algeria | 0.41550369 |
| 87 | Ghana | 0.43430232 | Ghana | 0.4522597 |
| 88 | Albania | 0.48659832 | Ecuador | 0.5237523 |
| 89 | Korea, Rep. | 0.5 | Zambia | 0.53164608 |
| 90 | Syrian Arab Republic | 0.5 | Benin | 0.60327685 |

Annexe du chapitre 4

Tableau 1. Décomposition de la variance

| Variance Decomposition of LNCCARBH: | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Period | S.E. | LNCCARBH | LNCO2TH | LNINFRAH | LN MOT | LNPCARB | LNVAR TH |
| 1 | 0.026699 | 100.0000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 2 | 0.040558 | 79.37607 | 7.473429 | 4.917768 | 0.188546 | 7.861172 | 0.183015 |
| 3 | 0.047658 | 69.57131 | 10.45268 | 5.383205 | 1.567761 | 11.75160 | 1.273446 |
| 4 | 0.059823 | 50.06621 | 24.72636 | 5.331160 | 2.418046 | 11.07235 | 6.385879 |
| 5 | 0.073659 | 35.64390 | 34.96063 | 4.939130 | 3.863317 | 12.25271 | 8.340304 |
| 6 | 0.087684 | 26.41192 | 41.92574 | 4.284473 | 5.222462 | 12.68426 | 9.471145 |
| 7 | 0.101799 | 20.39086 | 46.85544 | 3.751263 | 6.108203 | 12.78920 | 10.10504 |
| 8 | 0.115153 | 16.47448 | 50.08445 | 3.352242 | 6.785047 | 12.95229 | 10.35149 |
| 9 | 0.127642 | 13.80985 | 52.33355 | 3.048188 | 7.286258 | 13.03944 | 10.48272 |
| 10 | 0.139335 | 11.91408 | 53.96664 | 2.820487 | 7.650229 | 13.09612 | 10.55244 |

| Variance Decomposition of LNCO2TH: | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Period | S.E. | LNCCARBH | LNCO2TH | LNINFRAH | LN MOT | LNPCARB | LNVAR TH |
| 1 | 0.030006 | 29.84519 | 70.15481 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 2 | 0.037754 | 25.93929 | 69.11478 | 2.549874 | 0.028407 | 0.502670 | 1.864984 |
| 3 | 0.042645 | 21.94573 | 62.89767 | 4.255371 | 0.683452 | 0.697500 | 9.520282 |
| 4 | 0.047475 | 18.03997 | 50.87784 | 6.204123 | 2.269035 | 1.617966 | 20.99107 |
| 5 | 0.053334 | 14.29548 | 40.91304 | 6.982102 | 5.171141 | 3.544187 | 29.09406 |
| 6 | 0.060205 | 11.26856 | 34.27817 | 6.894632 | 8.015705 | 5.166915 | 34.37601 |
| 7 | 0.067529 | 9.056025 | 30.40215 | 6.541518 | 10.28173 | 6.532505 | 37.18606 |
| 8 | 0.074782 | 7.512389 | 28.13134 | 6.134627 | 12.04046 | 7.606091 | 38.57509 |
| 9 | 0.081774 | 6.412870 | 26.76884 | 5.765623 | 13.34989 | 8.391502 | 39.31127 |
| 10 | 0.088419 | 5.607574 | 25.89870 | 5.460821 | 14.33570 | 8.991186 | 39.70601 |

| Variance Decomposition of LNINFRAH: | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Period | S.E. | LNCCARBH | LNCO2TH | LNINFRAH | LN MOT | LNPCARB | LNVAR TH |
| 1 | 0.038121 | 1.648146 | 0.011238 | 98.34062 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 2 | 0.073989 | 1.836435 | 17.43177 | 73.68560 | 3.626589 | 0.561697 | 2.857908 |
| 3 | 0.088882 | 1.383100 | 12.43951 | 76.17030 | 2.770528 | 4.131223 | 3.105341 |
| 4 | 0.099224 | 1.457214 | 10.35634 | 78.84018 | 3.091367 | 3.627583 | 2.627316 |
| 5 | 0.110161 | 1.853946 | 8.514492 | 80.02880 | 3.706425 | 3.415278 | 2.481057 |
| 6 | 0.119915 | 2.131719 | 7.217220 | 80.56054 | 4.198264 | 3.214540 | 2.677717 |
| 7 | 0.129106 | 2.434111 | 6.294097 | 80.80864 | 4.786335 | 2.920136 | 2.756677 |
| 8 | 0.138008 | 2.707498 | 5.622477 | 80.81466 | 5.313360 | 2.683907 | 2.858100 |
| 9 | 0.146442 | 2.926594 | 5.148571 | 80.72674 | 5.756567 | 2.482035 | 2.959497 |
| 10 | 0.154484 | 3.114325 | 4.782013 | 80.61901 | 6.144109 | 2.307237 | 3.033304 |

Variance
Decomposition
of LNMOT:

| Period | S.E. | LNCCARBH | LNCO2TH | LNINFRAH | LNMOT | LNPCARB | LNVARTH |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0.021602 | 0.039340 | 1.672740 | 12.39536 | 85.89256 | 0.000000 | 0.000000 |
| 2 | 0.039094 | 6.064538 | 44.61031 | 4.759718 | 38.77062 | 5.304040 | 0.490775 |
| 3 | 0.052096 | 7.040025 | 25.78225 | 7.122521 | 33.79362 | 10.24035 | 16.02124 |
| 4 | 0.060753 | 10.80405 | 18.99989 | 9.750227 | 28.90130 | 8.337650 | 23.20688 |
| 5 | 0.070017 | 14.74086 | 15.68329 | 10.06042 | 23.18073 | 6.779113 | 29.55559 |
| 6 | 0.080037 | 17.00604 | 15.57418 | 9.879257 | 18.37323 | 5.338128 | 33.82916 |
| 7 | 0.089630 | 18.73570 | 16.50867 | 9.509944 | 14.88587 | 4.272274 | 36.08754 |
| 8 | 0.098940 | 19.91088 | 17.75629 | 9.046329 | 12.32461 | 3.509407 | 37.45248 |
| 9 | 0.107828 | 20.68216 | 19.00903 | 8.642112 | 10.43836 | 2.954682 | 38.27366 |
| 10 | 0.116189 | 21.25739 | 20.07639 | 8.304943 | 9.028466 | 2.545558 | 38.78726 |

Variance
Decomposition
of LNPCARB:

| Period | S.E. | LNCCARBH | LNCO2TH | LNINFRAH | LNMOT | LNPCARB | LNVARTH |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0.042257 | 6.634471 | 1.345849 | 0.026622 | 20.13369 | 71.85936 | 0.000000 |
| 2 | 0.074360 | 3.721414 | 3.039091 | 0.825284 | 31.16230 | 60.98676 | 0.265151 |
| 3 | 0.102133 | 3.143873 | 13.79283 | 1.041977 | 32.04490 | 48.53090 | 1.445521 |
| 4 | 0.132450 | 2.884457 | 20.69075 | 0.840130 | 30.64111 | 43.31273 | 1.630819 |
| 5 | 0.160607 | 3.020930 | 23.97324 | 0.852079 | 30.36602 | 40.11581 | 1.671923 |
| 6 | 0.186756 | 3.074368 | 26.70986 | 0.852037 | 29.85668 | 37.69123 | 1.815834 |
| 7 | 0.210993 | 3.111494 | 28.48079 | 0.846196 | 29.47737 | 36.21640 | 1.867746 |
| 8 | 0.233288 | 3.151240 | 29.69407 | 0.852175 | 29.23638 | 35.16527 | 1.900857 |
| 9 | 0.253958 | 3.176080 | 30.61745 | 0.856197 | 29.03770 | 34.38287 | 1.929707 |
| 10 | 0.273235 | 3.195090 | 31.30347 | 0.859507 | 28.88798 | 33.80688 | 1.947073 |

Variance
Decomposition
of LNVARTH:

| Period | S.E. | LNCCARBH | LNCO2TH | LNINFRAH | LNMOT | LNPCARB | LNVARTH |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0.015406 | 0.169231 | 18.31497 | 0.181909 | 0.728858 | 6.237033 | 74.36800 |
| 2 | 0.019971 | 0.973420 | 27.82405 | 0.138981 | 6.335239 | 6.050384 | 58.67792 |
| 3 | 0.023207 | 1.116771 | 30.65134 | 0.961021 | 10.19447 | 4.817669 | 52.25873 |
| 4 | 0.025435 | 0.930279 | 33.00887 | 1.446866 | 11.39881 | 4.254143 | 48.96103 |
| 5 | 0.026636 | 0.875536 | 32.96780 | 2.079023 | 12.54800 | 4.074322 | 47.45531 |
| 6 | 0.027465 | 0.934825 | 32.37327 | 2.716244 | 13.16718 | 3.849955 | 46.95852 |
| 7 | 0.028091 | 1.103010 | 31.63923 | 3.235219 | 13.51048 | 3.681277 | 46.83078 |
| 8 | 0.028606 | 1.316082 | 30.83529 | 3.712686 | 13.75157 | 3.551620 | 46.83276 |
| 9 | 0.029077 | 1.556922 | 30.03874 | 4.144803 | 13.90050 | 3.448802 | 46.91023 |
| 10 | 0.029519 | 1.808806 | 29.27659 | 4.535280 | 14.00339 | 3.363033 | 47.01291 |

Annexe du chapitre 5

Tableau 1. Résultats d'estimation du modèle de symétrie

Dependent Variable: LNCCARB

Method: Least Squares

Sample: 1980 2010

Included observations: 31

| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| LNCCARB(1) | 0.620220 | 0.111136 | 5.580756 | 0.0000 |
| LNPCARB | -0.156039 | 0.047813 | -3.263501 | 0.0030 |
| TEMPS | 0.015442 | 0.004605 | 3.353116 | 0.0024 |
| C | 3.510633 | 0.893941 | 3.927142 | 0.0005 |
| R-squared | 0.992360 | Mean dependent var | | 6.892684 |
| Adjusted R-squared | 0.991511 | S.D. dependent var | | 0.381880 |
| S.E. of regression | 0.035185 | Akaike info criterion | | -3.736488 |
| Sum squared resid | 0.033425 | Schwarz criterion | | -3.551457 |
| Log likelihood | 61.91556 | Hannan-Quinn criter. | | -3.676172 |
| F-statistic | 1168.989 | Durbin-Watson stat | | 1.632011 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | | | |

Tableau 2. Résultats d'estimation du modèle d'asymétrie complète

Dependent Variable: LNCCARB

Method: Least Squares

Sample: 1980 2010

Included observations: 31

| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| LNCCARB(1) | 0.543009 | 0.173655 | 3.126944 | 0.0044 |
| TEMPS | 0.023345 | 0.012846 | 1.817263 | 0.0812 |
| LNPMAX | -0.090027 | 0.121426 | -0.741414 | 0.4654 |
| LNPbaiss | 0.009002 | 0.165049 | 0.054543 | 0.9569 |
| LNPhauss | -0.165655 | 0.140271 | -1.180966 | 0.2487 |
| C | 3.520250 | 0.909300 | 3.871386 | 0.0007 |
| R-squared | 0.992807 | Mean dependent var | | 6.892684 |
| Adjusted R-squared | 0.991368 | S.D. dependent var | | 0.381880 |
| S.E. of regression | 0.035480 | Akaike info criterion | | -3.667703 |
| Sum squared resid | 0.031471 | Schwarz criterion | | -3.390157 |
| Log likelihood | 62.84939 | Hannan-Quinn criter. | | -3.577230 |
| F-statistic | 690.0783 | Durbin-Watson stat | | 1.634751 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | | | |

Tableau 3. Résultats d'estimation du modèle d'asymétrie au sens de Wolfram

Dependent Variable: LNCCARB

Method: Least Squares

Sample: 1980 2010

Included observations: 31

| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| TEMPS | 0.019700 | 0.005735 | 3.435296 | 0.0020 |
| LNCCARB(1) | 0.584173 | 0.113973 | 5.125546 | 0.0000 |
| LNPW2 | -0.028222 | 0.114517 | -0.246446 | 0.8073 |
| LNPW1 | -0.124533 | 0.053895 | -2.310643 | 0.0290 |
| C | 3.518295 | 0.893429 | 3.937968 | 0.0005 |
| R-squared | 0.992777 | Mean dependent var | | 6.892684 |
| Adjusted R-squared | 0.991666 | S.D. dependent var | | 0.381880 |
| S.E. of regression | 0.034862 | Akaike info criterion | | -3.728169 |
| Sum squared resid | 0.031599 | Schwarz criterion | | -3.496880 |
| Log likelihood | 62.78661 | Hannan-Quinn criter. | | -3.652774 |
| F-statistic | 893.4494 | Durbin-Watson stat | | 1.673764 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | | | |

Tableau 4. Résultats d'estimation du modèle d'asymétrie au sens de Traill

Dependent Variable: LNCCARB

Method: Least Squares

Sample: 1980 2010

Included observations: 31

| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| TEMPS | 0.015258 | 0.004598 | 3.318145 | 0.0027 |
| LNCCARB(1) | 0.632253 | 0.111471 | 5.671901 | 0.0000 |
| LNPT1 | -0.088203 | 0.079907 | -1.103820 | 0.2798 |
| LNPT2 | -0.165060 | 0.048463 | -3.405887 | 0.0022 |
| C | 3.520855 | 0.899737 | 3.913205 | 0.0006 |
| R-squared | 0.992675 | Mean dependent var | | 6.892684 |
| Adjusted R-squared | 0.991548 | S.D. dependent var | | 0.381880 |
| S.E. of regression | 0.035107 | Akaike info criterion | | -3.714142 |
| Sum squared resid | 0.032045 | Schwarz criterion | | -3.482853 |
| Log likelihood | 62.56920 | Hannan-Quinn criter. | | -3.638748 |
| F-statistic | 880.9140 | Durbin-Watson stat | | 1.704856 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | | | |

Tableau 5. Résultats d'estimation de l'effet rebond à long terme

Dependent Variable: LNCCARBV

Method: Least Squares

Sample: 1980 2010

Included observations: 31

| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| LNPCARB | -0.515095 | 0.038923 | -13.23358 | 0.0000 |
| C | -6.176711 | 0.025833 | -239.1062 | 0.0000 |
| R-squared | 0.857932 | Mean dependent var | | -5.888969 |
| Adjusted R-squared | 0.853033 | S.D. dependent var | | 0.202572 |
| S.E. of regression | 0.077659 | Akaike info criterion | | -2.210645 |
| Sum squared resid | 0.174895 | Schwarz criterion | | -2.118130 |
| Log likelihood | 36.26500 | Hannan-Quinn criter. | | -2.180487 |
| F-statistic | 175.1276 | Durbin-Watson stat | | 0.496740 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | | | |

Tableau 6. Résultats d'estimation de l'effet rebond à court termeDependent Variable: Δ LNCCARBV

Method: Least Squares

Sample: 1980 2010

Included observations: 31

| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| Δ LNPCARB | -0.183308 | 0.079289 | -2.311895 | 0.0281 |
| E_{t-1} | -0.355151 | 0.101226 | -3.508509 | 0.0015 |
| R-squared | 0.263708 | Mean dependent var | | -0.023202 |
| Adjusted R-squared | 0.238319 | S.D. dependent var | | 0.045671 |
| S.E. of regression | 0.039859 | Akaike info criterion | | -3.544591 |
| Sum squared resid | 0.046074 | Schwarz criterion | | -3.452076 |
| Log likelihood | 56.94116 | Hannan-Quinn criter. | | -3.514434 |
| Durbin-Watson stat | 1.741663 | | | |

