

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la



المدرسة الوطنية المتعددة الفتيات
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie Industriel

Mémoire du Projet de Fin d'Etudes d'Ingénieur

Thème

**Modélisation et optimisation de la consommation
d'énergie dans le secteur du transport**



Présenté par :

M. Nassim AZOUAOU

Dirigé par :

M. A. BOUKABOUS

M. S. HAMDANI

Promotion : juin 2010

DEDICACES

A ma mère, à mon père et à mon frère,

A toute ma famille,

A tous mes amis,

A tous ceux que j'ai connus durant ma formation,

Je dédie ce travail.

Nassim AZOUAOU

REMERCIEMENTS

Je remercie M.BOUKABOUS pour son aide et ses conseils au cours de la réalisation de ce mémoire et l'intérêt qu'il a toujours témoigné à l'égard de mon travail, qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude.

Je tiens à remercier M.HAMDANI qui m'a proposé ce présent sujet, pour toute l'aide qu'il m'a apporté à la réalisation de ce dernier, toutes les fois où il a répondu à mes questions et pour ces précieux conseils et recommandations.

Je remercie également tous les professeurs du département de Génie Industriel de m'avoir formé.

Je tiens à remercier les membres de ma famille qui m'ont soutenus tout au long de ces années d'études.

ملخص

والهدف من عملنا هو تحليل استهلاك الطاقة في قطاع النقل ، وذلك بسبب التطور السريع لهذا الاستهلاك في السنوات الأخيرة ، ونحن مهتمون في النمذجة والتنبؤ . وفي هذا السياق ، تم إجراء هذا العمل .فإن طاقة التكرير المتاحة قد لا تغطي هذه تطبيق سيناريوهات مختلفة لاحتمال استهلاك الطاقة في المستقبل في قطاع النقل للعمل على هذا الاستهلاك كلمات السر التي لها : النمذجة والتنبؤ ، والانحدار المتعدد ، النمذجة الأسلوب الذاتي اسقاطي التوقعات, أسلوب السيناريوهات المتوقعة

Résumé :

L'objectif de notre travail est d'analyser la consommation d'énergie dans le secteur du transport, en raison de l'évolution très rapide de cette consommation au cours de ces dernières années, les capacités de raffinage disponibles risquent de ne plus couvrir cette demande. C'est dans ce cadre que ce travail a été mené. Nous nous sommes intéressés à la modélisation et à la prévision selon différents scénarios futurs probables de la consommation d'énergie dans le secteur du transport afin d'agir sur cette consommation.

Mot clés : modélisation causale, régression multiple, modélisation autoprojective, méthode des scénarios, prévision.

Abstract:

The objective of our work is to analyze the energy consumption in the sector of the transport. because of the very fast evolution of this consumption during these last years, the available capacities of refining risk not to cover any more this demand(request). It is in this frame(executive) that this work was led. We were interested in the modelling and in the forecast according to the future various likely scenarios of the energy consumption in the sector of the transport to act on this consumption.

Key words: causal modeling, multiple regression, modeling AutoProject, Method

Sommaire

Introduction générale.....	11
Problématique.....	13
Chapitre I : Etude de l'existant.....	15
Introduction	16
I. Consommation d'énergie en Algérie	16
II. Description du transport en Algérie	17
III. L'étude du marché.....	24
Conclusion	34
Chapitre II : Modélisation de la consommation d'énergie dans le secteur du transport	35
Introduction	36
I. Démarche économétrique	36
Section I : Outil de modélisation: la régression multiple	40
I. Présentation du modèle	40
II. Rôle du terme aléatoire	41
III. Estimation des paramètres du modèle	41
IV. Equation d'analyse de la variance	42
V. Test de spécification de l'ajustement	43
VI. La prévision	50
Section II : Modélisation de la consommation d'énergie dans le secteur du transport par la régression multiple	51
Introduction	51
I. Segmentation de la demande des carburants.....	51
II. Les variables explicatives de la consommation d'énergie (essence, gasoil)	56
III. Modélisation économétrique du problème	59
IV. Application	65
Conclusion	79
Chapitre III : Prévision autoprojective de la consommation d'énergie.....	80
Introduction	81
Section I : Méthodes de prévision.....	82
I. Les méthodes de prévisions	82
Section II : Application de la méthodologie Box & Jenkins pour les variables explicatives	93

I. Mise en œuvre de la méthodologie Box & Jenkins sur les séries	93
II. Comparaison entre la méthode causale et la méthode auto-projective pour les deux modèles	108
Conclusion	109
Chapitre IV : Simulation de la consommation d'énergie avec différents scénarios	110
Introduction	111
Section I : La démarche de la méthode des scénarios.....	113
Introduction	113
I. Définition de la méthode des scénarios	113
II. Rôle des scénarios	114
III. Conditions des scénarios	115
IV. Caractéristiques des scénarios	116
V. Types de scénarios	117
VI. Objectifs de la méthode des scénarios	118
VII. Les étapes de la méthode	119
Conclusion :.....	126
Section II : Application de la méthode des scénarios.....	127
I. L'horizon temporel	127
II. Objectif de l'étude	127
III. Application de la méthode des scénarios	128
Conclusion	141
Conclusion générale	143
Bibliographie.....	146
Les annexes	149
Annexe 1 :Données de l'étude	1870
Annexe 2 : Guide Eviews.....	15252
Annexe 3 : Régressions des modèles	16262
Annexe 4 : Série chronologique	1733
Annexe 5 : Valeurs des variables clés et de la consommation d'essence et de gasoil pour les différents scénarios.....	1877

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I. 1 : Répartition de la consommation d'énergie au niveau national	16
Figure I. 2 : Représentation des aéroportuaires nationaux	20
Figure I. 3 : Représentation des grands axes du plan de modernisation du rail en Algérie ...	21
Figure I. 4 : Représentation de la configuration du réseau routier en Algérie	23
Figure I. 5 : Evolution de la consommation des carburants	24
Figure I. 6 : Evolution des prix des carburants en Algérie	25
Figure I. 7: Evolution du parc automobile total en Algérie	26
Figure I. 8 : Evolution du parc automobile essence en Algérie	27
Figure I. 9 : Evolution du parc auto Diesel en Algérie	28
Figure I. 10 : Répartition des différentes raffineries en Algérie	29
FIGURE I. 10 : REPARTITION DES DIFFERENTES RAFFINERIES EN ALGERIE	29
Figure I. 11 : Répartition de la production totale par raffinerie	31
Figure I. 12 : Répartition de la production par produit	31

Chapitre II:

Figure II. 1 : Représentation des étapes économétrique.....	37
Figure II. 2 : Segmentation selon le type de transport.....	52
Figure II. 3 : Répartition de la consommation des carburants dans le secteur du transport.....	53
Figure II. 4: Segmentation selon le type de carburants	54
Figure II. 5 : Segmentation selon le type d'utilisation	54
Figure II. 6 : Segmentation selon le type de clients	55
Figure II. 7 : Schéma simplifié de la procédure de la sélection du meilleur modèle	65
Figure II. 8: Représentation graphique de la série résiduelle, actuelle et estimée	71
Figure II. 9: Représentation graphique de la série résiduelle, actuelle et estimée	71
Figure II. 10 : Corrélogramme des résidus.....	72
Figure II. 11 : Test de normalité des résidus pour le modèle essence.....	73
Figure II. 12 : Test de normalité des résidus pour le modèle gasoil	74
Figure II. 13 : Test de normalité des résidus	75
Figure II. 14 : Test de normalité des résidus	76

Chpitre III:

Figure III. 1 : Les méthodes de prévisions	82
Figure III. 2 : représentation des étapes de la méthode Box & Jenkins	90
Figure III. 3 : Corrélogramme de la série la série $POPt_c$	94
Figure III. 4 : Représentation graphique de la série Pop_{tc}	94
Figure III. 5 : Représentation graphique de $DPOPt_c$	95
Figure III. 6 : Représentation graphique de $D2POPt_c$	96
Figure III. 7 : Corrélogramme de la série la série $D2POP_{tc}$	Erreur ! Signet non défini.
Figure III. 8 : Représentation graphique de la série résiduelle, actuelle et estimée de $D2POPt_c$	98

Figure III. 9 : Corrélogramme des résidus du modèle ARIMA (1, 2, 6).....	99
Figure III. 10 : Histogramme de la distribution des résidus du modèle ARIMA (1, 2, 6).....	100
Figure III. 11 : Évolution de la population utilisant le transport en commun réelle et prévue	101
Figure III. 12 : La prévision de la POP _{Ptc}	102
Figure III. 13 : La prévision du PIB	103
Figure III. 14 : La prévision du P _{gas}	103
Figure III. 15 : La prévision du P _{ess}	104
Figure III. 16 : La prévision du PARC.....	105
Figure III. 17 : La prévision du Tcr.....	105
Figure III. 18 : La prévision du POP _{act}	106
Figure III. 19 : La prévision de C _{ess}	107
Figure III. 20 : La prévision de C _{gas}	108

Chpitre IV:

Figure IV. 1 : Représentation des étapes de la méthode des scénarios	119
Figure IV. 2 : Schéma représentant l'équivalence entre l'approche par scénarios et l'approche économétrique	125
Figure IV. 3 : Evolution des variables clés pour le scénario A et B pour le modèle essence en pourcentage	133
Figure IV. 4 : Evolution de la consommation d'essence pour les scénarios A et B	134
Figure IV. 5 : Evolution des variables clés pour le scénario A et B pour le modèle gasoil en pourcentage	135
Figure IV. 6 : Evolution de la consommation de gasoil pour les scénarios A et B.....	136
Figure IV. 7 : Représentation de l'utilisation du transport en commun	137
Figure IV. 8 : Evolution des variables clés pour les scénarios C et D en pourcentage.....	138
Figure IV. 9: Evolution de la consommation d'essence pour les scénarios C et D.....	140
Figure IV. 10: Evolution de la consommation de gasoil pour les scénarios C et D.....	141

Annexe 2:

Figure 2. 1 : L'environnement de l'espace de travail (Workfile) de Eviews 5.....	152
Figure 2. 2 : Création d'un Workfile.....	153
Figure 2. 3 : Modification d'une série.....	154
Figure 2. 4 : Elaboration d'un graphique	155
Figure 2. 5 : Méthode des moindres carrés ordinaires	156
Figure 2. 6: Test de Wald	157
Figure 2. 7 : Test d'autocorrélation	158
Figure 2. 8 : Test de normalité	159
Figure 2. 9 : Ajustement de la saisonnalité	160
Figure 2. 10 : Test de Dickey-Fuller	160
Figure 2. 11 : Prévision avec Eviews	161

Liste des tableaux

Chapitre II :

Tableau II. 1: Test de Durbin-Watson.....	46
Tableau II. 2 : Critère de choix du meilleur modèle	67
Tableau II. 3 : Critère de choix du meilleur modèle	69
Tableau II. 4: Estimation des paramètres du modèle essence	69
Tableau II. 5: Estimation des paramètres du modèle gasoil.....	70
Tableau II. 6: corrélation entre les variables explicatives pour le modèle essence.....	75
Tableau II. 7: corrélation entre les variables explicatives pour le modèle gasoil	75

Chapitre III:

Tableau III. 1: Caractéristiques des méthodes de prévisions	92
Tableau III. 2 : Test de Dickey-Fuller augmenté sur la POP_{tc}	95
Tableau III. 3 : Test de Dickey-Fuller augmenté sur la $DPOPt_c$	96
Tableau III. 4 : Test de Dickey-Fuller augmenté sur la $D2POP_{tc}$	97
Tableau III. 5 : Caractéristique des modèles retenus pour $D2POP_{tc}$	98
Tableau III. 6 : La prévision de la POP_{tc}	102
Tableau III. 7 : Les prévisions des variables explicatives.....	102
Tableau III. 8 : La prévision du PIB.....	103
Tableau III. 9 : La prévision du P_{gas}	103
Tableau III. 10 : La prévision du P_{ess}	104
Tableau III. 11 : La prévision du PARC	105
Tableau III. 12 : La prévision du Tcr	105
Tableau III. 13 : La prévision du POP_{act}	106
Tableau III. 14 : Tableau récapitulatif des Prévisions des variables explicatives.....	106
Tableau III. 15 : La prévision de C_{ess}	107
Tableau III. 16 : La prévision de C_{gas}	108

Chapitre IV:

Tableau IV. 1 : Régressions simples des acteurs avec les variables clés pour les scénarios (essence) A et B.....	132
Tableau IV. 2 : Régressions simples des acteurs avec les variables clés pour les scénarios (gasoil) A et B	135
Tableau IV. 3 : Régressions simples des acteurs avec les variables clés pour les scénarios C et D	138

Annexe 1:

Tableau 1. 1 : Données historiques des données 1980-2008.....	150
Tableau 1. 2 : Données historiques des données 1980-2008.....	151

Annexe 2:

Tableau 2. 1 : 1 ^{ère} étape de la régression pas à pas.....	162
Tableau 2. 2 : 2 ^{ème} étape de la régression pas à pas	162

Tableau 2. 3 : 3 ^{ème} étape de la régression pas à pas	163
Tableau 2. 4 : 4 ^{ème} étape de la régression pas à pas	163
Tableau 2. 5 : 5 ^{ème} étape de la régression pas à pas	164
Tableau 2. 6 : 6 ^{ème} étape de la régression pas à pas	165
Tableau 2. 7 : 1 ^{ère} étape de la régression pas à pas.....	166
Tableau 2. 8 : 2 ^{ème} étape de la régression pas à pas	166
Tableau 2. 9 : 3 ^{ème} étape de la régression pas à pas	167
Tableau 2. 10 : 1 ^{ère} étape de la régression pas à pas.....	167
Tableau 2. 11 : 2 ^{ème} étape de la régression pas à pas	168
Tableau 2. 12 : 3 ^{ème} étape de la régression pas à pas	168
Tableau 2. 13 : 4 ^{ème} étape de la régression pas à pas	169
Tableau 2. 14 : 5 ^{ème} étape de la régression pas à pas1.....	170
Tableau 2. 15 : 1 ^{ère} étape de la régression pas à pas.....	171
Tableau 2. 16 : 2 ^{ème} étape de la régression pas à pas	171
Tableau 2. 17 : 3 ^{ème} étape de la régression pas à pas	172

Annexe 5:

Tableau 5. 1 : Valeurs des variables clés pour le scénario A pour le modèle essence.....	187
Tableau 5. 2 : Consommation d'essence pour le scénario A.....	187
Tableau 5. 3: Valeurs des variables clés pour le scénario A pour le modèle gasoil.....	188
Tableau 5. 4: Consommation de gasoil pour le scénario A.....	188
Tableau 5. 5 : Valeurs des variables clés pour le scénario B pour le modèle essence	189
Tableau 5. 6 : Consommation d'essence pour le scénario B.....	189
Tableau 5. 7: Valeurs des variables clés pour le scénario B pour le modèle gasoil.....	190
Tableau 5. 8: Consommation de gasoil pour le scénario B	190
Tableau 5. 9 : Valeurs des variables clés pour le scénario C pour le modèle essence	191
Tableau 5. 10 : Consommation d'essence pour le scénario C.....	191
Tableau 5. 11: Valeurs des variables clés pour le scénario C pour le modèle gasoil.....	192
Tableau 5. 12: Consommation de gasoil pour le scénario C	192
Tableau 5. 13 : Valeurs des variables clés pour le scénario D pour le modèle essence.....	193
Tableau 5. 14 : Consommation d'essence pour le scénario D.....	193
Tableau 5. 15: Valeurs des variables clés pour le scénario D pour le modèle gasoil.....	194
Tableau 5. 16: Consommation de gasoil pour le scénario D.....	194

Introduction générale

Au cours du développement industriel, dès le début du XXe siècle, le pétrole s'est substitué à l'utilisation du charbon pour devenir l'énergie de référence pour les transports, le chauffage et l'industrie.

Le pétrole sert dans tous les domaines énergétiques, mais c'est dans les transports que sa domination est la plus importante. Seul le transport ferroviaire est en grande partie électrifié. Pour tous les autres moyens de transports, les alternatives sont marginales et coûteuses, et ont un potentiel de croissance limité. Ainsi, la problématique de la consommation d'énergie dans le secteur du transport reste entière.

Actuellement, la consommation d'énergie dans le secteur du transport est très élevée et dépasse 13 millions de TEP (tonnes équivalent pétrole) pour l'année 2008, le souci de la Sonatrach est de connaître les facteurs dominants de cette consommation ainsi que son évolution dans les prochaines années ? Pour ce faire, l'utilisation des méthodes de modélisation et de prévisions fiables s'impose.

C'est dans cette perspective que s'étend ce présent travail dont l'objectif est de faire un état des lieux sur la consommation d'énergie dans le secteur du transport, permettant de faire ressortir les facteurs qui l'influencent afin de la modéliser et de la prévoir.

Notre document sera structuré de la manière suivante:

Dans le premier chapitre, nous commencerons à examiner la consommation nationale totale d'énergie, par la suite nous donnerons un bref historique sur le transport en Algérie, ainsi nous éclairerons la situation actuelle des caractéristiques de ce mode. Nous nous intéresserons ensuite au marché algérien des carburants, afin de définir la structure de l'offre et de la demande ainsi que ses tendances dans le but de comprendre le fonctionnement de ce marché.

Dans le second chapitre, nous présenterons, en première section, l'outil de modélisation causale qui est la régression multiple, en insistant sur son caractère adapté aux grands phénomènes économiques. Dans ce contexte, nous passerons en revue, d'une manière succincte les principes de base de la modélisation, fondée sur la régression multiple. En seconde partie, nous traiterons la modélisation de la consommation des carburants, basée sur

Introduction générale

la régression économétrique. Le but étant de concevoir un modèle explicatif de la consommation de ces derniers, en tenant compte des différents paramètres qui sont susceptibles de l'influencer.

Le troisième chapitre sera consacré à la prévision proprement dite de la consommation des carburants. Nous y développerons les fondements théoriques et les principes de base des méthodes de prévisions, par la suite nous choisirons la méthode appropriée pour l'appliquer aux variables explicatives, afin d'aboutir à la prévision de la consommation des carburants (scénario de référence).

Le quatrième chapitre sera dédié à la simulation de la consommation future de carburant sur la base de la méthode des scénarios. Dans un premier temps, nous décrirons les étapes d'application de cette méthode, puis, nous procéderons à son application à notre étude. Le but est d'évaluer la prévision de la consommation future des carburants pour les différents scénarios construits.

Enfin, une conclusion générale sera dressée et fournira un bilan des travaux en précisant les perspectives de notre travail.

Problématique

Dans la structure d'apport énergétique, le pétrole occupe une place privilégiée. Un certain nombre de questions se posent sur l'épuisement des réserves, leurs adaptations aux contraintes environnementales et aux exigences du marché.

L'activité du transport est au cœur du développement économique d'un pays et constitue un des principaux secteurs demandeurs d'énergies dans le monde.

Pour l'Algérie, ce secteur représente près de 35% de la consommation d'énergie en 2008, cette énergie est principalement de l'énergie fossile. Cette consommation est tirée par le mode routier qui représente plus de 90% de l'énergie total des transports. Ces sources d'énergie constituent l'essentiel des exportations du pays et par la même des recettes en devises, et que cette consommation diminuera le potentiel d'exportation d'hydrocarbure.

Au cours de ces dernières années, le rythme de croissance de la consommation d'énergie est très élevé et le gasoil constitue près de 75% de la demande totale en carburants routiers. Ce rythme de croissance record induira à l'absorption de toute la production nationale de produits pétroliers à partir du raffinage, et il faudra procéder à des importations d'appoint qui seront très élevées, pour cela des dispositions ont été relevées afin de couvrir la totalité des besoins des carburants routier pour le territoire national.

Ces dispositions révèlent de l'investissement et sont certes nécessaires, mais elles seraient largement incomplètes et insuffisantes si un effort de rationalisation ne sera pas entrepris pour faire le meilleur usage de nos ressources pétrolières qui sont épuisables.

De ce fait, la rationalisation de la consommation d'énergie dans le secteur des transports routiers doit obligatoirement concerner les carburants classiques, les essences et le gasoil qui constituent aujourd'hui plus de 97% des carburants utilisés dans le secteur des transports routiers.

Afin de prendre des décisions pour optimiser la consommation d'énergie dans le secteur du transport au niveau national, il est important de comprendre la dynamique d'évolution de cette

Problématique

consommation. Pour cela il s'agira d'apporter des éléments de réponse aux questions suivantes :

- Quels sont les déterminants de cette consommation ?
- Comment peut-on modéliser et prévoir cette consommation ?
- Comment évoluera cette consommation avec différentes décisions sur les acteurs du système ?

C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude dans laquelle nous nous intéresserons à :

« Optimisation et modélisation de la consommation d'énergie dans le secteur du transport ».

Chapitre I : Etude de l'existant

Introduction

Ce chapitre a pour but de définir le cadre général de notre étude. Dans un premier temps, nous analyserons la consommation d'énergie en Algérie en précisant les secteurs dominants, ensuite nous présenterons l'évolution et les caractéristiques du transport en Algérie. Dans un second temps, nous procéderons à une étude du marché algérien des carburants où nous distinguerons l'offre et la demande, et ce afin de comprendre leurs fonctionnements.

I. Consommation d'énergie en Algérie : (ARPUE, 2007)

L'économie de l'Algérie ne cesse de croître, il est légitime de se soucier des défis énergétiques qui constituent un obstacle à la croissance globale du pays. Même si le pays est doté d'importantes sources d'énergies, souvent inexploitées, l'Algérie est marquée par la faiblesse de ses services énergétiques.

La consommation d'énergie en Algérie a progressé à un taux de 4% sur les dix dernières années et a atteint 39,6 Millions de Tep en 2007.

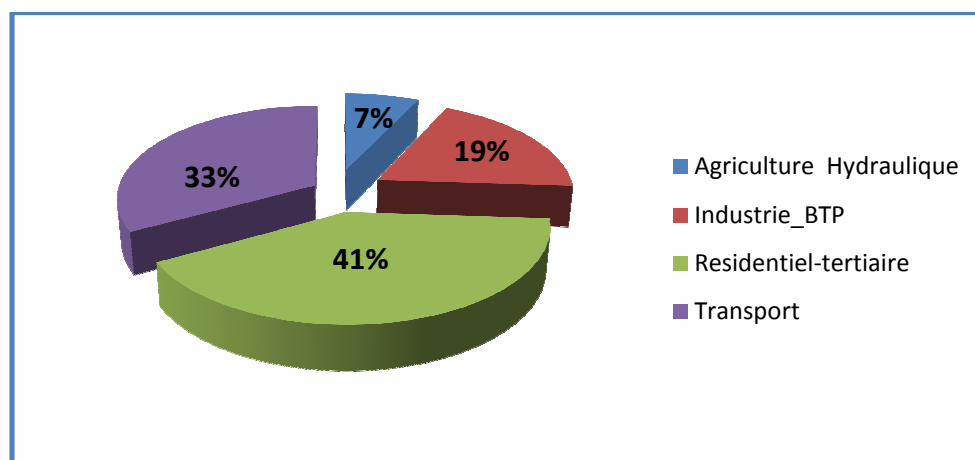


Figure I.1 : Répartition de la consommation d'énergie au niveau national (ARPUE, 2007)

Nous constatons d'après la *figure I.1* que la consommation résidentiel-tertiaire est majoritaire à 41% ceci due au grand nombre de la population. Cette consommation est prédominante et on peut agir sur celle-ci en modernisant la technologie et en sensibilisant les consommateurs.

Nous remarquons aussi que la part des transports représente 33% de la consommation d'énergie totale en 2007, soit 13 millions de TEP. Cette consommation est élevée pour un tel secteur, c'est pour cette raison que nous nous lançons dans l'étude du transport en Algérie.

II. Description du transport en Algérie :

1. Historique et définition du transport en Algérie : (BENABDALLAH, 07)

Après l'indépendance, l'Algérie a tenté de faire face aux besoins grandissant de mobilité des personnes et des marchandises, entraînés par la croissance démographique et économique, à travers la mise en place de grandes entreprises étatiques de transport, qui avaient le monopole national ou régional et évoluaient dans un système de planification centralisée, où l'état discutait les règles de conduite, et où les tarifs des transports étaient administrés.

Ces entreprises dont l'activité n'étaient pas tirées par le profit et la performance, et fortement contraintes par les tarifs administrés, ont souvent eu recours aux subventions pour combler leur déficit.

Un tel système a montré ses limites, notamment avec la crise économique des années 80, qui a réduit les ressources de l'état et a imposé par ce fait un rationnement de ses dépenses de subventions des entreprises et aussi de financement des infrastructures.

Cela s'est fortement répercuté sur les capacités offertes de transport, et a suscité des tensions sur l'offre de transport existante.

Le développement des infrastructures n'a jamais été une priorité durant toute la période allant de 1970 à 2000. Les montants qui leur ont été alloués restaient inférieurs à 25% du budget d'équipement.

Quant aux infrastructures économiques, les plus importantes pour la croissance économique, leur montant n'atteint en moyenne que 5% des dépenses de l'Etat sur cette période.

Elles ont été relativement négligées dans le total des infrastructures (économiques, sociales, éducatives et administratives) ; leur poids est resté dans une fourchette de 15 à 33% sur la période allant de 1970 à 1998. Plusieurs travaux, durant les années soixante-dix et quatre-vingt avaient souligné la nécessité de l'investissement dans les infrastructures pour améliorer, à la fois, l'absorption productive et le bien-être général de la population. L'effort qui a été fait dans le cadre du plan quinquennal (1980-1984) n'as pas connu de succès suite à l'effondrement des cours de pétrole qui a eu pour effet l'arrêt des grands projets tels que le métro d'Alger, l'autoroute est-ouest, aéroport d'Alger etc.

Au cours de la décennie 90, l'état a entamé un processus de réformes du secteur à travers la libéralisation et la démonopolisation des activités de transport, laissant place au capital privé.

L'état a changé donc son rôle et passe d'un état gérant à un état garant.

En ce sens, plusieurs mesures ont été adoptées

- Adaptation du dispositif juridique encadrant et organisant les activités de transport,
- Ouverture des activités de transport, terrestres aérien et maritime à l'initiative du capital privé national et/ou étranger,
- Séparation de l'infrastructure et de l'exploitation,
- Recherche de nouvelles formules de financement des infrastructures de transport à travers notamment le régime de la concession.

2. Situation actuelle : (BENABDALLAH, 07)

Les réformes du secteur des transports, ont permis de franchir des étapes importantes, et ont permis dans une certaine mesure d'augmenter les capacités de transport dans les différents secteurs, mais beaucoup restent à faire pour améliorer l'efficacité du système de transport et surtout la qualité de la prestation de transport.

L'Algérie accuse un retard important en termes d'adaptation à la forte évolution des trafics et de modernisation des transports (innovations techniques, notamment dans les technologies d'informations).

En effet, de multiples contraintes d'ordre organisationnel, administratifs et de coordination intermodales et intersectorielles, font que les indicateurs de performance du système de transport restent mauvais.

3. Caractéristiques des différents types de transport en Algérie :

a. Transport maritime : (BENABDALLAH, 06)

L'Algérie est dotée d'une structure portuaire mixte et spécialisée, héritée de l'époque coloniale, à l'exception du port de Djendjen. L'espace portuaire algérien est composé de 13 ports de commerce dont 8 sont tournés vers les marchandises générales (Alger, Oran, Annaba, Mostaganem, Djendjen, Ténès, Ghazaouet et Dellys), 3 ports mixtes qui accueillent les

marchandises générales et les hydrocarbures (Bejaia, Skikda (ancien port) et Arzew). Les ports de Bethouia et de Skikda (nouveau port) sont spécialisés dans les hydrocarbures.

Tous les ports algériens sont des ports urbains, sauf Djendjen. Cette situation les asphyxie et compromet leurs développements et provoque la congestion des places portuaires face à des flux en croissance continue.

L'ensemble de ces créations et restructurations qu'ont connu les ports n'a pas donné les résultats escomptés. Le retard accumulé par l'ensemble des ports algériens peut être imputé aux facteurs suivants:

- Les contraintes d'ordre structurel liées à la vétusté et à l'inadaptation des infrastructures et superstructures;
- Le déficit accumulé en matière d'équipements, de procédures de facilitation et de développement en général du complexe portuaire;
- Les difficultés issues de l'organisation globale.

b. Transport aérien : (BOUSBIA, 06)

Excepté les aéroports à usage restreint, l'infrastructure aéroportuaire actuelle est composée de 36 aéroports dont 16 à caractère international. Toutefois la prédominance de l'aéroport d'Alger dans le trafic global est très prononcée.

La compagnie Air Algérie prend en charge l'exploitation du réseau aérien, quant à la gestion des aéroports sont confiés à des établissements de gestion des services aéroportuaires (EGSA) qui sont nés des opérations de restructuration réalisées en 1987.

Considérant le transport aérien comme un mode privilégié de développement et d'échanges et occupant une place importante dans le système de transport algérien du fait de l'étendu du territoire national, un large programme de développement est envisagé. Après l'achèvement de la nouvelle aéroport d'Alger, le programme prévoit la réalisation des aéroports sur une dizaine d'aéroport (Constantine, Annaba, Ain amenas, Djanet, Bordj Badji Mokhtar, Chlef, El Bayadh) pour augmenter la capacité d'accueil des passagers, rentabiliser les aéroports et hisser le niveau de sécurité et de sûreté au niveau des normes internationales.

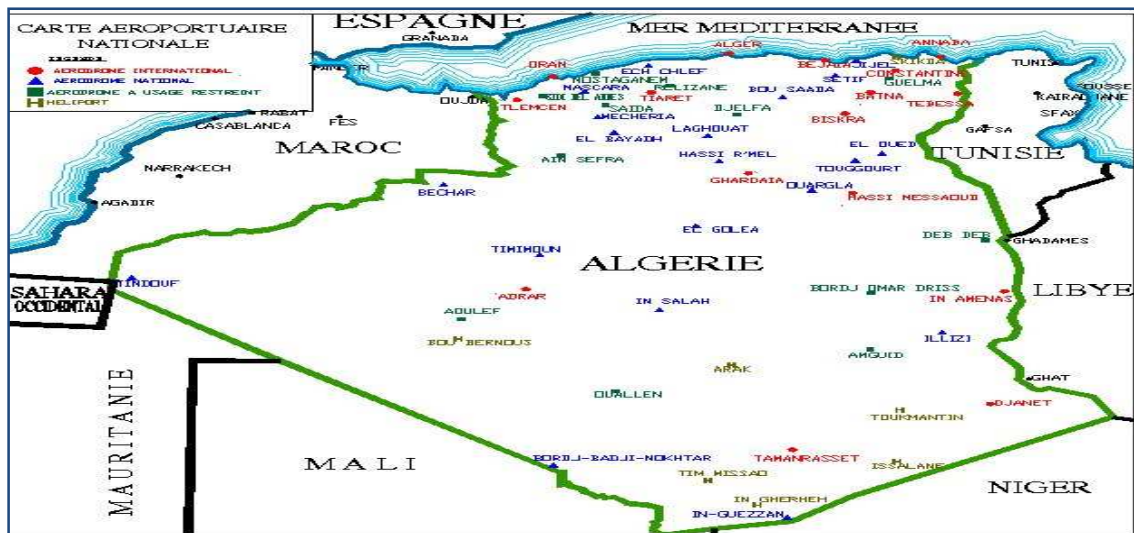


Figure I.2 : Représentation des aéroports nationaux (BOUSBIA, 06)

Le trafic aérien c'est :

- ✓ 6.700.000 passagers traités en moyenne dont 3 millions à l'international.
- ✓ 5 aéroports assurent près de 80 % du trafic national et international.
- ✓ Un volume de fret aérien négligeable.

c. Transport ferroviaire : (CHABANE, 03)

Le réseau ferroviaire algérien est constitué de 3973Km dont 2888 Km à écartement normal (1435 mm) et 1085km à écartement étroit (1055mm).

A l'exception de quelques entreprises privées de petites tailles qui interviennent dans les travaux d'entretiens, travaux d'aménagement des gares, l'infrastructure ferroviaire est exploitée par l'Etat par le biais de la société nationale de transport ferroviaire (SNTF) relayée à partir de 2007 par l'agence nationale pour l'étude et le suivi de la réalisation des infrastructures ferroviaires (ANESRIF).

Ce mode de transport connaît une baisse du trafic de passagers et de marchandises au cours de ces dernières décennies conséquence de la dégradation de la qualité de service et de la concurrence de la route.

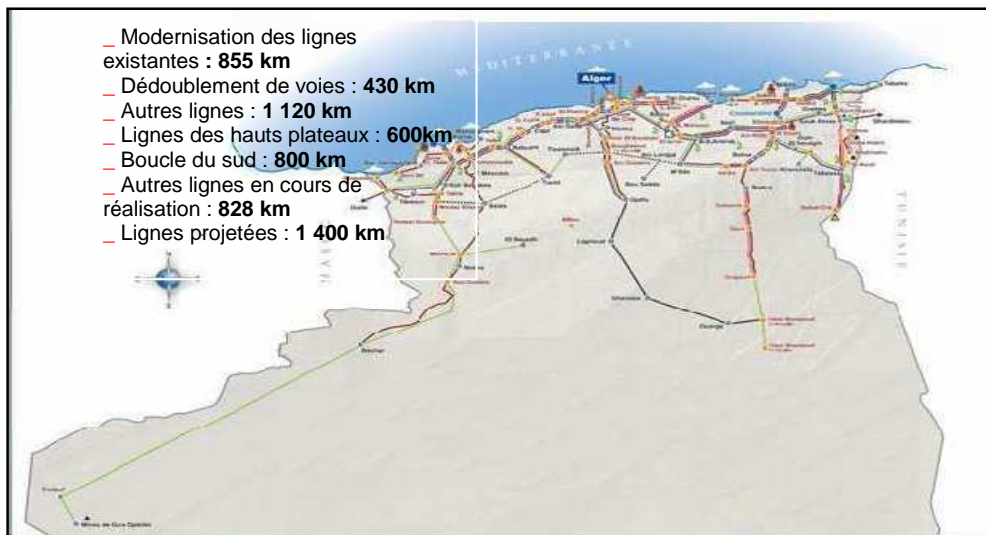


Figure I.3 : Représentation des grands axes du plan de modernisation du rail en Algérie (CHABANE, 03)

Le transport ferroviaire c'est :

+ 4250 Kms de voies, 198 embranchements particuliers, 1993 passages à niveau dont 254 gardés, 3600 Ponts, 133 tunnels (45 Kms), 220 locomotives dont 14 électriques et 49 locotracteurs, 10101 wagons marchandises, 11500 agents, 50 locomotives dont 20 électriques, 17 autorails, 64 rames automotrices, 20rames auto électriques, et un programme de réhabilitation de 132 locomotives diesel- électriques, 10 filiales : travaux, études, services, transit etc. à 100 % SNTF, 02 filiales mixtes 50/50 NAFTAL et OAIC, 01 filiale mixte avec SIEMENS AG (Allemagne), et moins de 10 % de Parts de Marché.

d. Transport routier : (CHABANE, 03)

La densité du réseau routier en Algérie est à l'image de la répartition de la population et des activités; la densité est très élevée au nord, assez lâche sur les hauts-plateaux et très dispersées au sud. La longueur totale du réseau routier est de plus de 107000 km dont plus de 70% sont revêtus.

Les non revêtus touchent principalement les chemins communaux, les routes des régions de montagne et du sud.

La longueur du réseau principal est de 25500 Km qui se repartissent sur six axes :

Axes Est-Ouest

Axe nord reliant El Tarf à Tlemcen via Annaba - Constantine - Alger et Oran (1194Km) ;

Axe nord des hauts - plateaux reliant Tébessa à Tlemcen via M'sila et Tiaret (1053Km) ;

Axe sud des hauts-plateaux reliant Tebessa à Bougtob via Djelfa et El-bayadh (938Km)

Axes Nord-Sud

Axe Est reliant Constantine à Djanet via Biskra- Ouargla-Illizi (1938Km) ;

Axe Centre reliant Alger à Ain Guezzam via Media- Ghardaia- Tamanrasset (2271Km) ;

Axe Ouest reliant Oran à Tindouf via Saida et Bechar (1367 Km).

La route prédomine dans les flux de passagers et des marchandises pour plus de 80 %. Mais face à cette demande qui est en constante augmentation l'offre en infrastructure est insuffisant, notamment sur les axes qui desservent la frange littorale et à l'approche des grandes villes.

La vétusté et l'existence de goulets d'étranglements sur quelques passages à géométrie difficile (Khemis Miliana et Affroun, Lakhdaria et Bouira, Bouira- Bordj Bou Arreridj, Skikda-Constantine) empêchent la fluidité et la célérité du trafic routier.

La concentration de la circulation sur les axes du nord a pour conséquence l'augmentation de la mobilité des voyageurs et des marchandises, ceci induira à une augmentation de la consommation des carburants

Le financement de la construction et de l'entretien des routes est du ressort de l'Etat qui consacre près de 1% du PNB à cet effet (pour l'année 2004). Ce niveau alloué du budget est considéré comme moins important et il est au-dessous des normes internationales qui sont fixés à 1,5% du PNB.

L'Etat recherche et compte faire participer le secteur privé national et étranger dans le financement des routes et des autoroutes. Pour la réalisation de l'autoroute Est-Ouest l'Etat a envisagé cette source de financement mais cette dernière a été infructueuse ce qui l'a amené à prendre en charge entièrement cet ouvrage.



Figure I.4 : Représentation de la configuration du réseau routier en Algérie (CHABANE, 03)

Le transport routier c'est :

- 68400 opérateurs de transport routier de voyageurs pour 57300 véhicules
- 233335 opérateurs de transport routier de marchandises pour 226839 véhicules.

Soit une croissance de l'ordre de 10 % annuellement.

- 107000 Kms de routes dont 73000 Kms de routes revêtues.
- 90 % des trafics intérieurs des transports de passagers et de marchandises.
- Plus de 4000 morts et 40.000 blessés / an.
- un parc automobile de 3 à 3.5 millions d'unités
- Une moyenne d'âge entre 12 et 15 ans

Après avoir défini les caractéristiques principales de la consommation d'énergie et du transport en Algérie, nous proposons dans ce qui suit, une analyse de la structure du marché des carburants en Algérie, qui pourra nous éclairer sur l'approche méthodologique à adopter en vue de la modélisation et de la prévision de la consommation d'énergie en Algérie. Cette analyse pourra entre autres nous aider à distinguer les variables pertinentes à intégrer dans notre étude.

III. L'étude du marché:

L'étude de marché se définit comme une étude qui regroupe un ensemble d'outils et de techniques permettant de rechercher des données quantitatives et qualitatives sur un marché et de les analyser dans le but de bien comprendre le fonctionnement de ce dernier [KAL 02]

1. Etude de la demande :

L'étude de la demande a pour objet d'examiner l'évolution de la demande des carburants sur le marché algérien, ainsi que les facteurs qui l'expliquent tels que le parc auto, le prix des carburants et le revenu des ménages.

a. L'évolution de la demande des carburants en Algérie :

La *figure I.5*, représente l'évolution de la consommation nationale des carburants (essence, gasoil, GPLc) durant 1980 à 2008 :

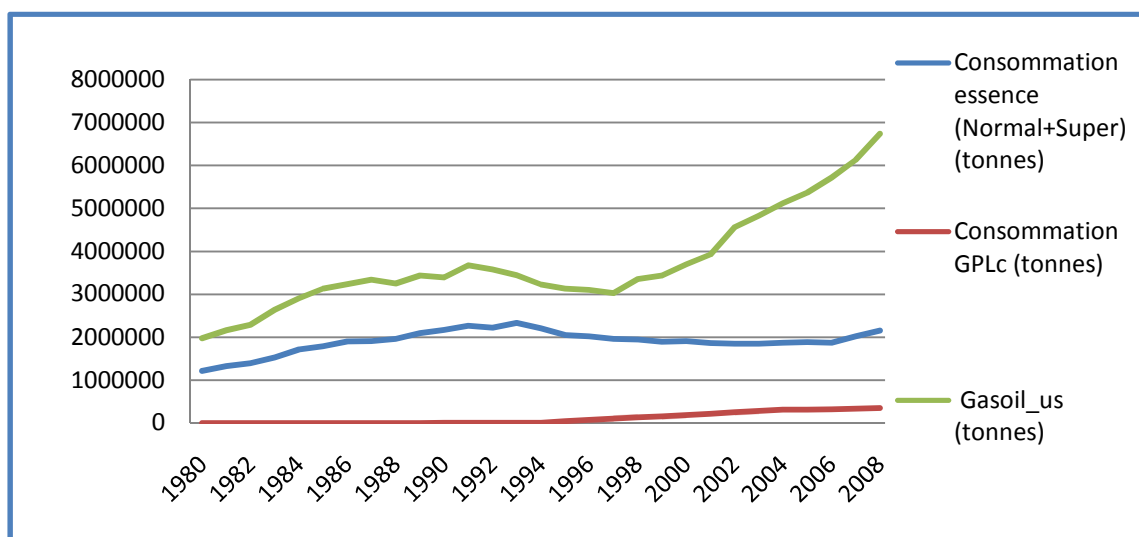


Figure I. 5 : Evolution de la consommation des carburants (MEM)

Après examen du graphe, nous pouvons identifier les périodes suivantes:

- De 1980 à 1991 : cette période se caractérise par une absence de consommation du GPLc et en même temps une croissance continue de la demande des autres carburants (essences et gasoil). En effet, nous remarquons que cette consommation a presque doublé, ceci étant dû surtout à la stabilité des prix et la croissance du parc automobile.
- De 1992 à 1997 : on remarque un début de consommation du GPLc, mais cette consommation reste très insignifiante. La consommation des autres carburants a

sensiblement diminué, à hauteur de 14%, à cause de la crise économique et de l'augmentation des prix qui a engendré une diminution du pouvoir d'achat.

- De 1998-2008 : on remarque que durant cette période :
 - La consommation du GPLc a progressé pour atteindre plus de 0,3 Mt en 2006 mais elle reste nettement inférieure à la consommation des autres carburants.
 - La consommation du gasoil routier a presque doublé (80%), sur la même période, pour atteindre les 6Mt, sous l'influence des deux facteurs suivants:
 - Une multiplication par deux du taux de diésélisation du marché des véhicules particuliers en Algérie (7 % en 1985 à 14 % en 2003) ;
 - Le développement du trafic routier de marchandise par véhicule professionnel.
 - La demande en essence a légèrement augmenté (2Mt), ceci est dû à la diésélisation du parc automobile.

b. L'évolution des prix des carburants en Algérie :

Le prix des carburants est sans doute le premier facteur influant le comportement des consommateurs.

La *figure I.6*, ci-dessous, représente l'évolution des prix des carburants en Algérie (de 1990 à 2008)

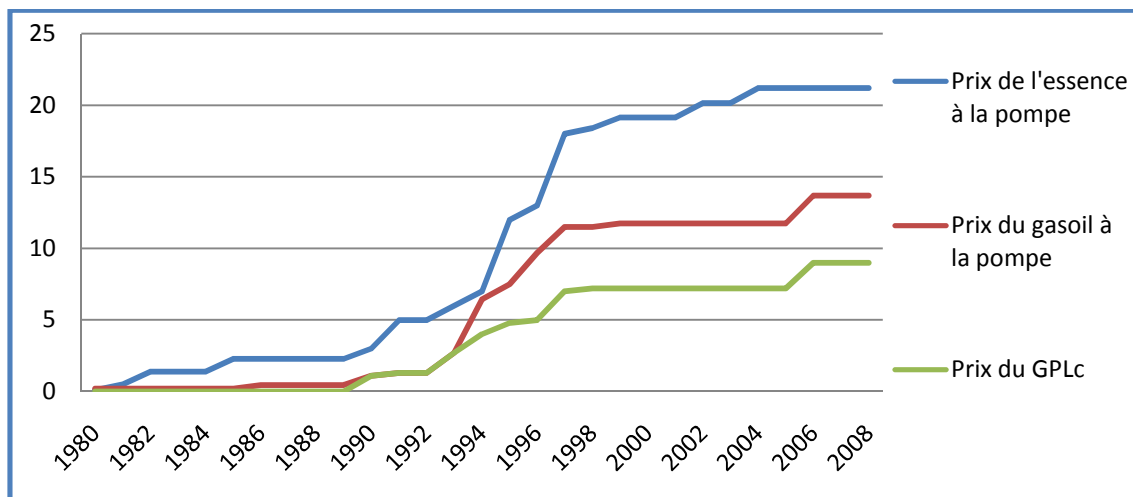


Figure I. 6 : Evolution des prix des carburants en Algérie (Naftal)

Sur la base du graphe, on distingue les périodes suivantes :

- Jusqu'au début des années 90 les prix des différents carburants étaient très bas du fait de la subvention de l'Etat, destinée à encourager la consommation des carburants,
- A partir de 1993, les prix des carburants ont connu une évolution rapide. En effet :
 - Pour l'essence : le prix a fortement évolué allant de 7.00 DA/L en 1993 à 18.40 DA/L en 1998 soit une augmentation de 163 %,

- Pour le gasoil : le prix a aussi fortement évolué allant de 2.50 DA/l en 1993 à 11.50 DA/l en 1998 soit une augmentation de 360 %,

- Pour le GPLc : le prix a évolué allant de 2.5 DA/L en 1993 à 7.2 DA/L en 1998, soit une augmentation de plus de 188 %. Néanmoins, il reste le carburant le moins cher.

• A partir de 1998, les prix ont continué leur progression mais de façon moins rapide et plutôt stable, en effet :

- Le prix du gasoil s'est maintenu à 11,75 DA/L, ce qui a eu pour conséquence la multiplication par deux de la demande du gasoil entre 1998 et 2005 avant de connaître une hausse, en 2006, le plaçant à 13.7 DA/L, le prix ne change pas de 2006 à 2008,

- Le prix de l'essence a continué à progresser jusqu'à atteindre le seuil de 21,20 DA/L en 2004, seuil auquel il se maintient à ce jour,

- Quant au GPLc, son prix est resté stable à 7.2 DA/L jusqu'à 2005, avant d'atteindre 9DA/L en 2006, pas de variation du prix de 2006 à 2008, demeurant toujours le carburant le moins cher sur le marché national.

c. Evolution du parc automobile en Algérie :

Le deuxième facteur qui influence la consommation de carburants automobile est le nombre total de véhicules en circulation (la taille du parc automobile). Aussi nous allons illustrer l'évolution du parc automobile par type de carburant utilisé. Mais avant cela, il conviendra d'analyser l'évolution du parc automobile totale. Cette évolution est représentée par le graphe ci-dessous (*figure I.7*) :

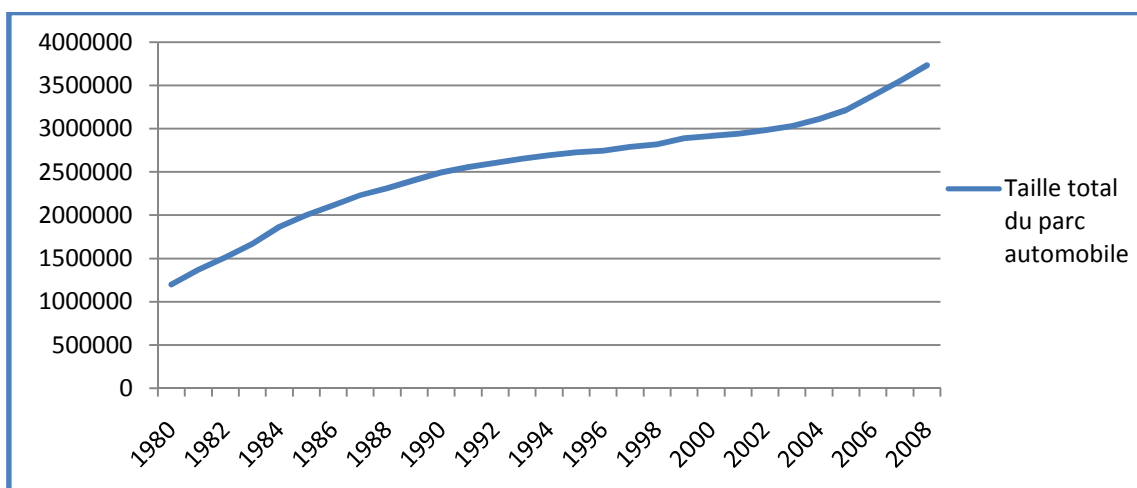


Figure I. 7: Evolution du parc automobile total en Algérie (ONS)

D'après la *figure I.7* on remarque que la taille du parc automobile total est en progression continue d'année en année. Les figures qui suivent illustrent l'évolution du parc auto par type de carburant utilisé :

i. Evolution du parc automobile essence :

Le graphique (*figure I .8*) suivant représente l'évolution du parc automobile des véhicules roulant à l'essence.

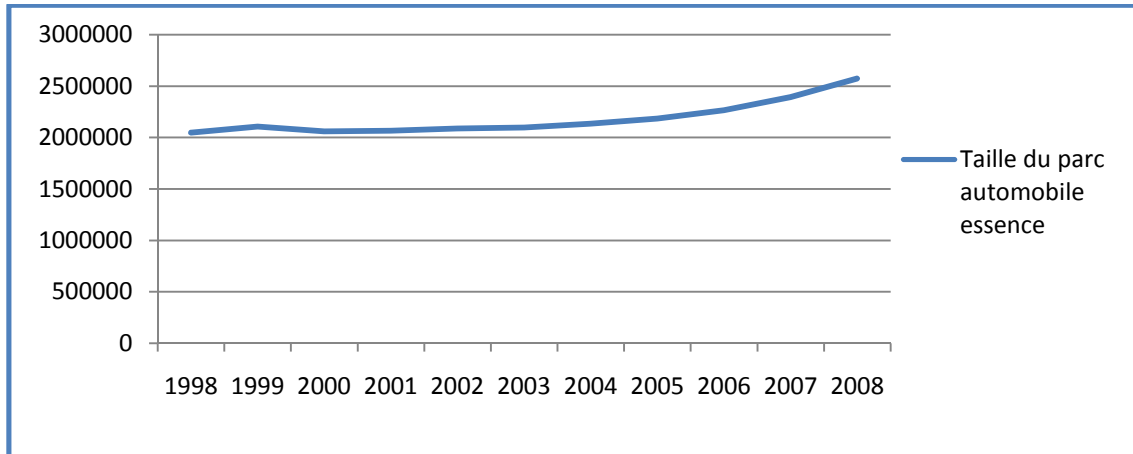


Figure I. 8 : Evolution du parc automobile essence en Algérie (ONS)

Nous remarquons d'après la *Figure I.8* que :

- De 1998 à 2003 : la taille du parc automobile essence est constant (augmente légèrement), s'expliquant par un PIB/Capitant faible et la difficulté d'achat de véhicules.
- De 2003 à 2008 : on constate une augmentation du parc automobile essence et a dépassée 2.5M de véhicules essences, ceci grâce au prêt bancaire (achats groupés), et l'augmentation du PIB/Capitant et aux investissements étrangers en Algérie.

Remarque :

Il faut noter que les données, relatives à la taille du parc auto essence, incluent bien sûr les véhicules à essence, mais aussi les véhicules roulant en GPLc en raison de la bicarburation des moteurs.

ii. Evolution du parc gasoil :

La figure I.9 représente l'évolution du parc automobile des véhicules roulant au diesel :

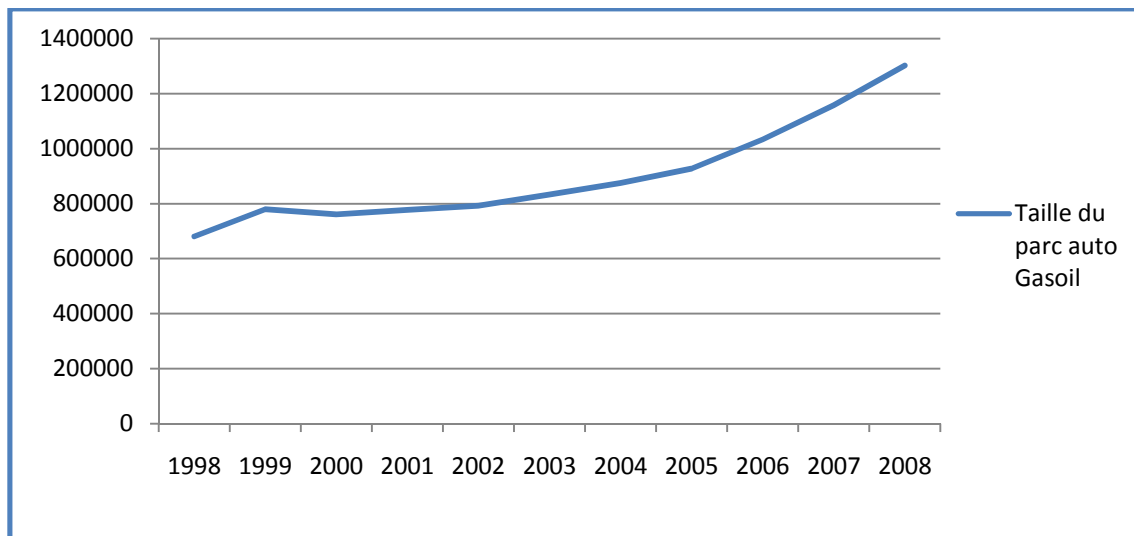


Figure I. 9 : Evolution du parc auto Diesel en Algérie (ONS)

L'examen du graphe fait apparaître une forte augmentation du marché diesel des voitures. Ceci a fait que la consommation du gasoil routier a plus que doublé en Algérie. L'amorce et le développement de la consommation du diesel en Algérie sont dus essentiellement :

- A une importation de véhicules diésélisés très importante;
- Au prix du gasoil très faible par rapport à l'essence à cause des différentes taxations des deux carburants (13.7 DA pour le gasoil contre 23 DA pour l'essence super en 2006),
- A l'efficacité énergétique des moteurs diesel.

2. Etude de l'offre:

a. Etude de la production en Algérie:

i. La Production en Amont : Sonatrach et associés: (SH, 08) (SH)

L'activité en Amont a en charge la recherche, l'exploitation et la production des hydrocarbures. Ses missions sont principalement axées sur le développement des gisements découverts, l'amélioration du taux de récupération et la mise à jour des réserves.

Elle est conduite soit d'une manière autonome soit en association avec d'autres opérateurs pétroliers internationaux. Avec une production en association de plus de 232 millions de tep en 2005, la progression de la production se confirme (5% par rapport à l'exercice précédent).

L'activité Amont intègre dans sa stratégie opérationnelle les filiales qui lui sont rattachées telles que :

- ENAGEO (Entreprise Nationale de Géophysique) ;
- GCB (Société Nationale de Génie Civil et Bâtiment) ;
- ENSP (Entreprise Nationale des Services aux Puits) ;
- ENTP (Entreprise Nationale des Travaux aux Puits) ;
- ENAFOR (Entreprise Nationale de Forage) ;
- et ENGTP (Entreprise Nationale de Grands Travaux aux Puits).

Ces filiales participent au développement et à l'exploitation des hydrocarbures.

ii. La Production en aval : (Naftec)

La production aval est assurée par Naftec.

Naftec est une filiale à 100% du Groupe Sonatrach, à travers son Holding RCH.

Sa mission principale est le raffinage du pétrole et la production des : Carburants, aromatiques, lubrifiants et des bitumes.

La société dispose d'un siège situé à Alger, de structures fonctionnelles et de raffineries. Un tiers de sa production assure la couverture des besoins nationaux en produits raffinés.

• Les principales raffineries de Naftec : (Naftec)

L'entreprise Naftec possède cinq raffineries réparties à travers le territoire national :

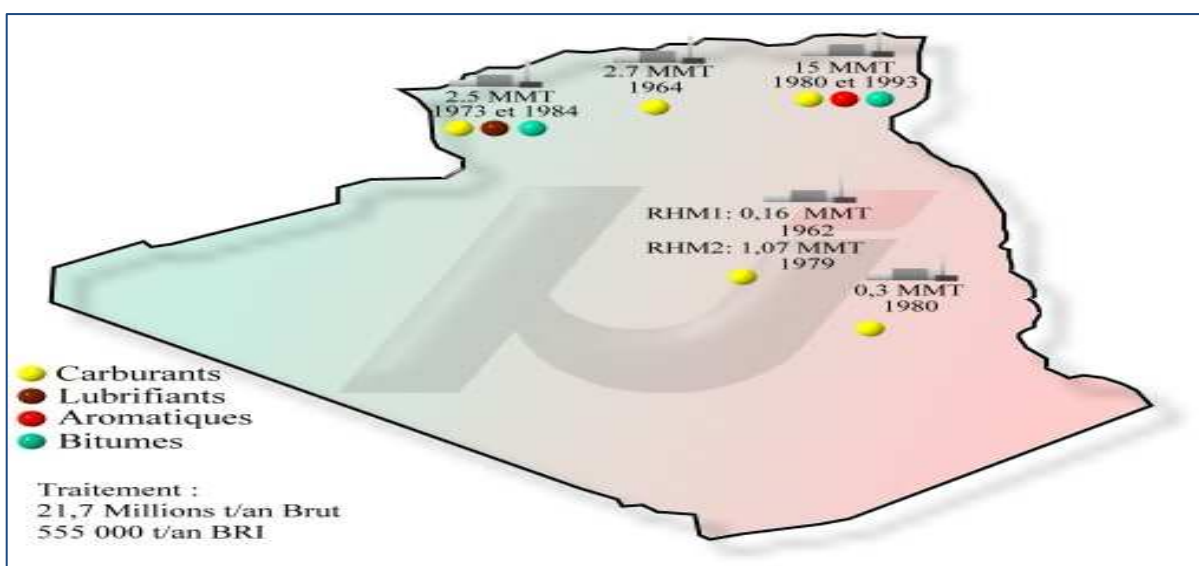


Figure I. 10 : Répartition des différentes raffineries en Algérie (Naftec)

Raffinerie de Skikda (RSk)

Mise en service en 1980, elle est à connotation plus pétrochimique et orientée vers l'exportation pour près de 80% de sa production.
02 unités de traitement de pétrole brut d'une capacité de 7.500.000 tonnes/an chacune pour la production des GPL et des carburants et 01 unité de production de bitumes routiers et oxydés d'une capacité de 145.000 tonnes/an.

Raffinerie de Hassi Messaoud

Constituée de deux installations :

- Une ancienne raffinerie (RHM1) mise en service en 1960 et assurant une production de 120.000 tonnes/An de carburants et de butane.
- Une nouvelle raffinerie (RHM2) d'une capacité de traitement de pétrole brut de 1.116.500 tonnes/An mise en service en 1979 et permettant le ravitaillement d'une grande partie du Sud en gasoil, kérosène et essences.

Raffinerie d'In Aménas (RIA)

Mise en service en 1980, d'une capacité de 300.000 tonnes et produisant des essences, gasoil et kérosène, cette raffinerie est à l'arrêt depuis 1986 pour causes techniques.

Raffinerie d'Arzew (RARz)

Raffinerie plus complexe, spécialisée dans la production des lubrifiants et des bitumes, elle approvisionne également les régions ouest et sud-ouest en carburants et GPL.

Raffinerie d'Alger (RAI)

Mise en service en 1964 avec une capacité de traitement de pétrole brut de 2 700 000 tonnes par an, elle est orientée vers la production de carburants et GPL et dessert la région centre.

- **La répartition de la production par raffinerie: (SH, 08)**

En 2005, la production nationale s'est élevée à 18,25 millions de tonnes, cette production se répartit comme suit :

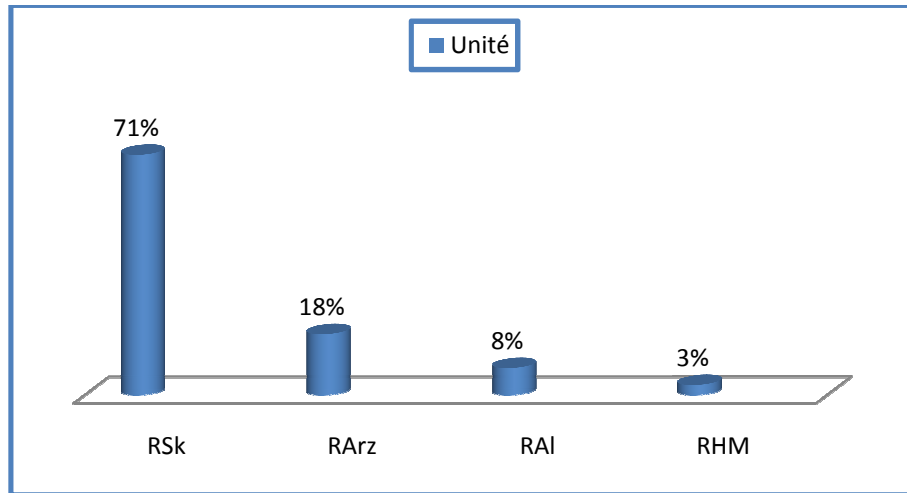


Figure I. 11 : Répartition de la production totale par raffinerie (SH, 08)

D'après la *figure I.11*, nous remarquons que la raffinerie de Skikda produit à elle seule 71% des produits pétroliers.

- **La répartition par produit : (SH, 08)**

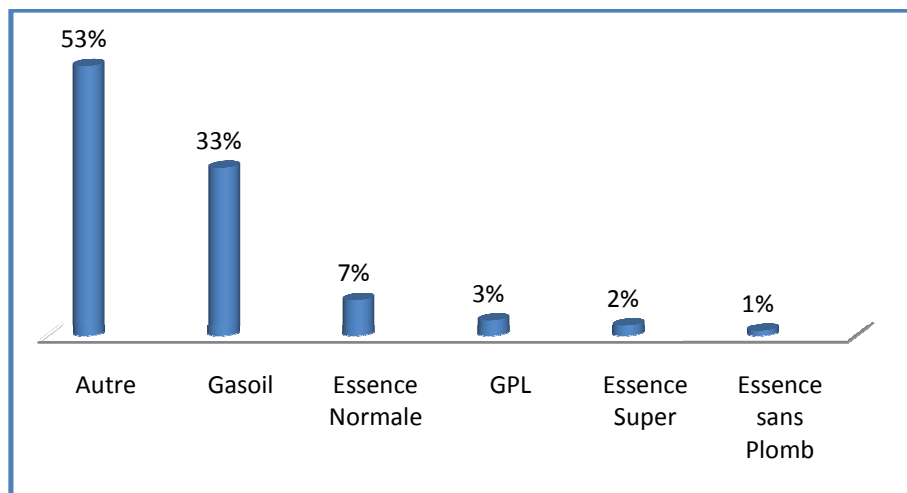


Figure I. 12 : Répartition de la production par produit (SH, 08)

D'après la *figure I.12*, nous remarquons que le Gasoil représente 33% de la production des produits pétroliers raffinés soit plus le double de la somme de l'essence et du GPL, cette répartition se justifie par l'immensité de sa demande vue son faible prix et son grand rendement énergétique par rapport aux autres carburants.

b. Etude de la distribution et de la commercialisation des carburants en Algérie: (Naftal)

Société Nationale de commercialisation et de distribution de produits pétroliers, filiale 100 % de la Sonatrach, à travers son holding SVH, Naftal distribue et commercialise les produits pétroliers sur le marché National.

i. Produits distribués par Naftal :

Les produits distribués par Naftal sont classés en cinq catégories :

- Les carburants;
- Lubrifiants;
- Bitumes;
- Produits spéciaux;
- Pneumatiques (importés).

La vente de carburants représente plus de 50 % du chiffre d'affaires de l'entreprise. Naftal assure la distribution de (06) types de carburants :

- L'essence Super ;
- L'essence Normale;
- Le Gasoil;
- Le GPLc;
- Le Kérosène;
- Le Fuel lourd.

Le carburant terre est en croissance de 5%. Ses ventes ont été dynamisées par la progression des ventes d'essence, notamment les ventes d'essence super et super sans plomb. L'essence normale est par contre en recul de 2%, suite à une forte diésélisation du parc automobile et à l'augmentation du parc équipé de pot catalytique, favorisant la consommation du super sans plomb. **(Naftal)**

ii. Description de la chaîne logistique des carburants en Algérie : (Naftal)

Sur le marché algérien, Naftal occupe une grande partie de l'activité de la logistique des carburants. Son objectif principal consiste à rendre disponible sur l'ensemble du territoire national les carburants récupérés auprès des raffineries. Naftal dispose d'un maillage du territoire, avec différentes « strates », qui peut être décrit ainsi :

- Des dépôts primaires directement alimentés par les raffineries, disposant d'une position centrale dans leur zone de couverture ;
- Des dépôts secondaires alimentés par les dépôts primaires dont ils forment un maillage de la zone de couverture ;
- Des stations service alimentées par les dépôts secondaires, qui constituent un maillage plus fin autour des dépôts primaires et secondaires.

iii. Le réseau de stations services de Naftal : (MEM) (Naftal)

Naftal se charge surtout de ravitailler directement les stations service, et fait un appel important à la sous-traitance pour le transport terrestre. Le réseau national de distribution de carburants est constitué de plus 1 847 points de vente, dont 60% appartiennent à des opérateurs privés.

Les stations services du réseau de distribution de Naftal peuvent être réparties en cinq catégories :

- Les stations du réseau propre, liées contractuellement à Naftal ;
- Les stations en gestion directe appartiennent à Naftal qui en assure elle-même la gestion;
- Les stations en gestion libre appartiennent à Naftal et leur gestion est confiée à un gérant.
- Les revendeurs ordinaires (ces stations pourraient être reclassées en stations privées)
- Les stations du réseau privé, sans lien avec Naftal mais qui s'approvisionnent auprès d'elle.

Conclusion :

L'analyse du marché des carburants a permis d'explicitier l'évolution de la consommation d'essence, de gasoil et de GPLc en Algérie, ainsi que les principales caractéristiques de l'offre et des circuits de distribution de ces produits.

Il ressort de cette première analyse que la consommation d'énergie est naturellement influencée par des facteurs de demande tels que le parc automobile, les prix des différents carburants, mais aussi par des facteurs liés à l'offre tels que les réseaux de distribution. Cependant, notre approche dans ce travail s'intéresse plutôt aux facteurs de demande ; il s'agit d'identifier les variables pertinentes et apprécier leur pouvoir explicatif dans la consommation d'énergie.

L'intérêt de cette approche est donc d'apprécier le potentiel d'évolution de la consommation d'énergie dans le secteur du transport en rapport aux tendances d'évolution des variables de demande. Une fois apprécié, ce potentiel pourrait servir à agir sur cette consommation dont le but de l'optimiser. On s'inscrit alors dans une logique tirée par la demande.

Chapitre II : Modélisation de la consommation d'énergie dans le secteur du transport

Introduction :

Avant d'entrer dans le vif de notre sujet qui est celui de la modélisation de la consommation d'énergie dans le secteur du transport, nous proposons d'exposer quelques principes de base qui régissent le processus de modélisation. Son aboutissement est en fait l'élaboration d'un modèle qui se définit comme la représentation simplifiée d'un phénomène en vue de le décrire, le comprendre, l'expliquer et enfin le prévoir.

La modélisation économétrique est donc l'outil incontournable utilisé lorsque nous voulons appréhender un phénomène à travers ses multiples facettes. Dans cette démarche, des hypothèses sont émises et des relations sont explicitées avec pour finalité la représentation des traits les plus marquants d'une réalité que le modélisateur cherche à styliser. **(FOUCART, 04)**

A titre illustratif, l'économétrie représente le principal outil d'analyse quantitative, utilisé par les économistes dans divers domaines d'application comme la macroéconomie ou la finance. Elle permet de vérifier l'existence de certaines relations entre des phénomènes économiques à travers divers modèles. Ces derniers consistent en une présentation formalisée de ces phénomènes sous forme d'équations, dont les variables sont des grandeurs économiques.

I. Démarche économétrique :

Le schéma ci dessous résume les principales étapes de la démarche économétrique

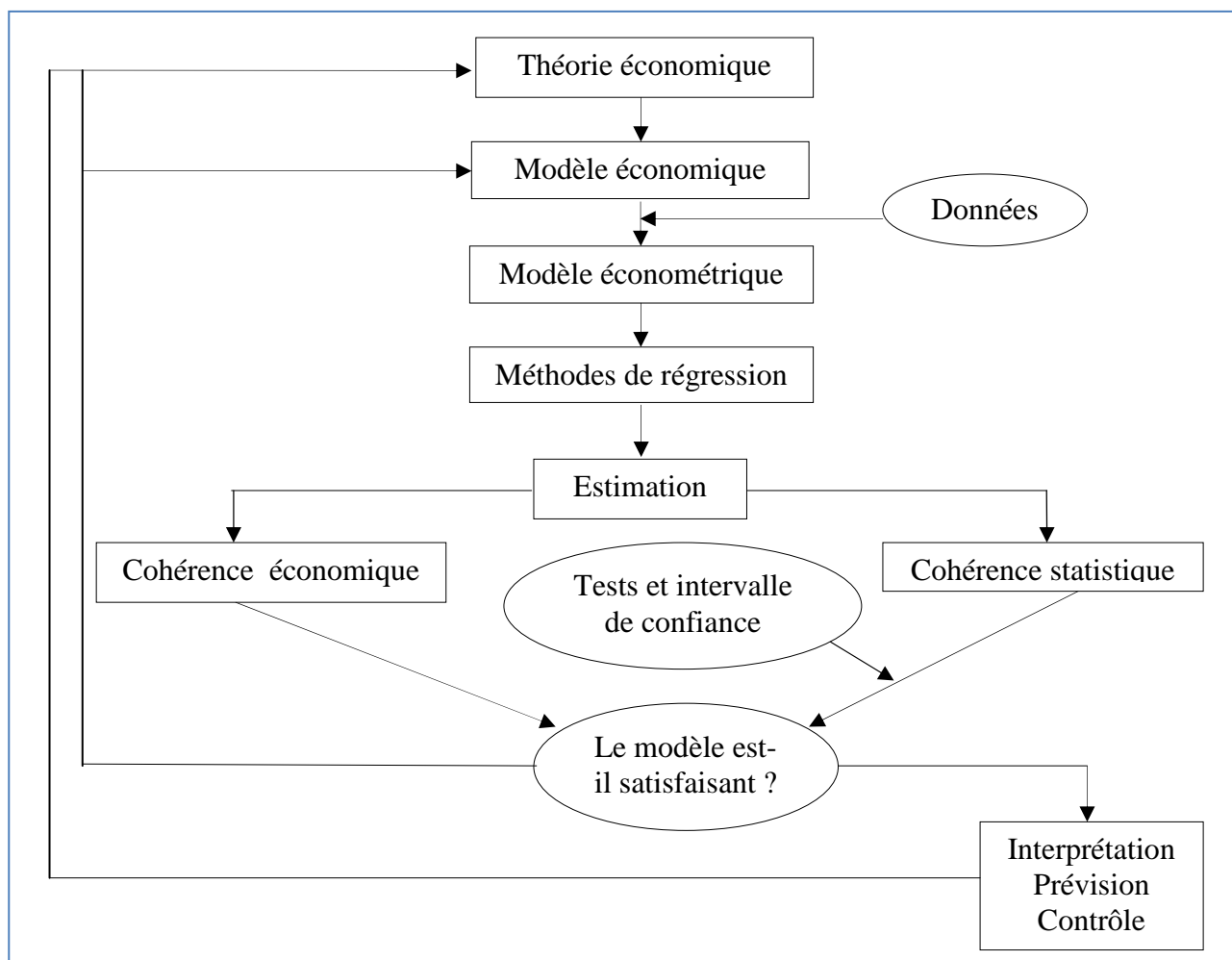


Figure II.1 : Représentation des étapes économétrique (FAUVEAU, 05)

Nous devons souligner un point important de la méthodologie économétrique, à savoir l'omniprésence des considérations économiques, théoriques ou empiriques, au cours du processus de modélisation, en plus des considérations purement statistiques. (FAUVEAU, 05)

Il existe dans la littérature plusieurs formes fonctionnelles pour modéliser les comportements des agents économiques. Ces fonctions vont des simples spécifications linéaire ou log-linéaire à des spécifications très complexes telles que les fonctions les fonctions translogarithmiques, les fonctions trinomiales, les systèmes quadratiques, les approximations locales utilisant des développements en séries de Taylor, ou des approximations globales basées sur des transformés de Fourier (Savado, 1990). Le choix d'une forme fonctionnelle est très important dans le processus de modélisation empirique des comportements de demande et d'offre. (FAUVEAU, 05)

Dans ce cadre, la régression multiple représente la méthode la plus utilisée dans la modélisation des phénomènes économiques. Elle se définit comme étant une méthode

statistique largement utilisée pour modéliser la relation existant entre la variable qu'on cherche à expliquer et les variables jugées susceptibles de l'expliquer (dites variables explicatives). **(KALIKA, 02)**

Cette méthode de modélisation est employée, dans le cas où l'on s'intéresse directement à la quantification de l'effet de chacune des variables explicatives sur la variable qu'on cherche à expliquer, ou bien dans celui où l'on souhaite disposer d'un modèle en vue de la prédiction des valeurs de la variable dépendante à partir des valeurs des variables explicatives.

En d'autres termes, la régression multiple peut être utilisée aux fins de trouver la meilleure équation linéaire de prévision (modèle) et en évaluer la précision et la signification, estimer la contribution relative de deux ou plusieurs variables explicatives sur la variation d'une variable à expliquer et enfin juger de l'importance relative de plusieurs variables explicatives sur une variable dépendante. **(JOHNSON, 99)**

La régression multiple s'impose donc comme une méthode très efficace pour la modélisation des phénomènes économiques. A ce titre, plusieurs travaux, basés sur cette méthode, appliquée à différents domaines, dont celui de l'énergie, ont été menés à travers le monde. Parmi ces travaux, on peut citer ceux de F. LANTZ qui s'est intéressé à la modélisation économétrique des marchés du pétrole et des produits pétroliers en France. Il s'est aussi intéressé à la modélisation basée sur une régression multiple de la demande d'énergie dans le monde. **(LANTZ, 03)**

On peut également évoquer le travail de Alves.D. Bueno **(ALV 03)** qui s'est intéressé à la modélisation de la demande de gaz au Brésil, à court et moyen terme. Il a aussi basé son modèle sur la régression multiple.

Quand le modèle économétrique est correctement spécifié, l'économétrie fournit des méthodes pour obtenir des estimations et des intervalles de confiance pour les paramètres inconnus du modèle. Il existe diverses techniques pour estimer ces coefficients et le point essentiel de cette étape repose sur la sélection de la méthode statistique la plus adaptée au problème. L'estimation même ne consiste qu'en l'application du programme informatique correspondant. **(FAUVEAU, 05)**

Ayant introduit brièvement le processus de modélisation et mis en relief la méthode de la régression multiple, comme outil privilégié de modélisation des phénomènes économiques, nous proposons d'appliquer cette méthode en vue d'atteindre l'objectif du présent travail qui

visé dans un premier temps, la modélisation de la consommation d'énergie dans le secteur du transport.

A cet effet, ce chapitre sera scindé en deux parties : la première sera consacrée à la présentation succincte des principes de base de la modélisation, fondée sur la régression multiple et la seconde partie sera dédiée à la modélisation de la consommation d'énergie dans le secteur du transport.

Section I : Outil de modélisation: la régression multiple

I. Présentation du modèle : (BOURBONNAIS, 02)

Un modèle de régression multiple s'écrit de la manière suivante :

$$y_t = a_0 + a_1 x_{1t} + a_2 x_{2t} + \dots + a_k x_{kt} + \varepsilon_t ; t = \overline{1, n}.$$

Avec :

y_t : La variable à expliquer à la date t ,

x_{1t} : La variable explicative 1 à la date t ,

x_{2t} : La variable explicative 2 à la date t ,

·
·

x_{kt} : La variable explicative k à la date t ,

$a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$: Les paramètres du modèle,

ε_t : L'erreur de spécification (différence entre le modèle vrai et le modèle spécifié),

n : Le nombre d'observations.

L'écriture précédente du modèle est d'un maniement peu pratique. Afin d'en alléger l'écriture et de faciliter l'expression de certains résultats, on a recours aux notations matricielles.

$$Y = \begin{pmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_n \end{pmatrix} ; a = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ a_k \end{pmatrix} ; \varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_0 \\ \varepsilon_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \varepsilon_n \end{pmatrix} ; X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & \dots & x_{kn} \end{pmatrix}$$

Nous avons $Y = X * a + \varepsilon$.

II. Rôle du terme aléatoire : (BOURBONNAIS, 02)

Le terme ε_t mesure la différence entre les valeurs réellement observées Y_t et les valeurs qui auraient été observées si la relation spécifiée avait été rigoureusement exacte.

Le terme regroupe donc trois erreurs :

- Une erreur de spécification, c'est-à-dire le fait que la seule variable explicative n'est pas suffisante pour rendre compte de la totalité du phénomène expliqué,
- Une erreur de fluctuation d'échantillonnage : les observations changent d'un échantillon à l'autre et donc les estimations sont légèrement différentes,
- Une erreur de mesure : les données ne représentent pas exactement le phénomène.

Le modèle tel qu'il vient d'être spécifié n'est qu'une caricature de la réalité. En effet, ne retenir que k variables explicatives pour expliquer la variable exogène est à l'évidence insuffisante puisqu'il existe une multitude d'autres facteurs susceptibles de l'expliquer. C'est pourquoi, nous ajoutons un terme ε_t qui synthétise l'ensemble de ces informations non explicitées dans le modèle.

III. Estimation des paramètres du modèle :

1. Hypothèses : (BOURBONNAIS, 02)

H1 : le modèle est linéaire en x_{it} (ou n'importe quelle transformation de x_{it}),

H2 : les valeurs x_{it} sont observées sans erreurs (x_{it} non aléatoire),

H3 : $E(\varepsilon_t) = 0$: l'espérance mathématique de l'erreur est nulle : en moyenne le modèle est bien spécifié et donc l'erreur moyenne est nulle,

H4 : $E(\varepsilon_t^2) = a$: la variance de l'erreur est constante : le risque d'amplitude de l'erreur est le même quelle que soit la période (hypothèse d'homoscédasticité),

H5 : $E(\varepsilon_t, \varepsilon_s) = 0$ si $t \neq s$: les erreurs sont non corrélées (ou encore indépendantes): une erreur à l'instant ' t ' n'a pas d'influence sur les erreurs suivantes (absence d'autocorrélation),

H6 : $Cov(X_t, \varepsilon_t) = 0$: l'erreur est indépendante de la variable explicative.

2. Formulation des estimateurs: (BOURBONNAIS, 02) (AIKAPACCHI, 03)

En traçant un graphique des couples de données, liant la variable à expliquer et les variables explicatives, nous obtenons un nuage de points que nous pouvons ajuster à l'aide d'une droite. L'estimateur des coefficients a_i , est obtenu en minimisant la distance au carré entre chaque observation et la droite, d'où le nom d'estimateur des Moindres Carrés Ordinaires (MCO).

La résolution analytique est la suivante : $Min \sum_{t=1}^T \varepsilon_t^2$

$$\text{On a : } \begin{cases} Min \sum_{t=1}^T \varepsilon_t^2 = Min \varepsilon' \varepsilon = Min (Y - X\hat{a})'(Y - X\hat{a}) = Min S. \\ \text{Avec : } \varepsilon' : \text{ Transposé du vecteur } \varepsilon. \end{cases}$$

La solution de ce problème est l'estimateur MCO donné par la formule suivante :

$$\hat{a} = (X'X)^{-1} X'Y$$

Cette solution est réalisable, si la matrice carrée $X'X$ de dimension $(k+1, k+1)$ est inversible.

Le modèle estimé s'écrit :

$$\hat{y}_t = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 x_{1t} + \hat{a}_2 x_{2t} + \dots + \hat{a}_k x_{kt} + e_t$$

Avec $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$ Où e_t représente l'écart entre la valeur observée de la variable à expliquer et sa valeur estimée (ajustée).

IV. Equation d'analyse de la variance :

L'équation fondamentale d'analyse de la variance s'écrit : (BOURBONNAIS, 02)

$$\sum_t (Y_t - \bar{Y})^2 = \sum_t (\hat{Y}_t - \bar{Y})^2 + \sum_t e_t^2$$

SCT = SCE + SCR.

Avec :

SCT : La Somme des Carrés Totale (la variabilité totale),

SCE : La Somme des Carrés Expliquée (la variabilité expliquée),

SCR : La Somme des Carrés Résiduelle (la variabilité des résidus).

Cette équation va nous permettre de juger de la qualité de l'ajustement d'un modèle.

En effet, plus la variance expliquée est proche de la variance totale, meilleur est l'ajustement du nuage de points par la droite des moindres carrés.

À cet effet, Il est important de calculer :

1. Le coefficient de détermination R^2 : (BOUKABOUS, 08)

Il indique la qualité de l'ajustement. En effet, le coefficient de détermination R^2 reflète l'écart entre les réalisations et les estimations du modèle, ce qui permet d'évaluer l'efficacité du modèle c'est à dire la possibilité de représenter le phénomène à une erreur moyenne égale à $(1-R^2)$.

$$R^2 = \frac{\sum_t^T (\hat{y}_t - \bar{y})^2}{\sum_t^T (y_t - \bar{y})^2} = 1 - \frac{\sum_t^T e_t^2}{\sum_t^T (y_t - \bar{y})^2} = \frac{SCE}{SCT}$$

R^2 : La variance expliquée par la régression (variance de Y).

- Une valeur de R^2 proche de 1, montre que l'ajustement est bon.
- Une valeur de R^2 proche de 0, montre que l'ajustement est mauvais.
- Une valeur de $R^2 = 1$ montre que l'ajustement est parfait.

2. Le coefficient de corrélation ρ : (BOUKABOUS, 08)

ρ est le coefficient de corrélation entre la série Y_t et \hat{Y}_t . Il représente la valeur maximale du coefficient de corrélation linéaire simple entre les coordonnées de Y et celles de tout vecteur de la forme $X \hat{a}$. Il est donné par :

$$\rho = \frac{\text{Cov}(Y, \hat{Y}_t)}{\sigma_Y \sigma_{\hat{Y}_t}}$$

V. Test de spécification de l'ajustement : (BOUKABOUS, 08)

La détermination des paramètres a_i , R^2 , ρ n'est pas suffisante pour affirmer que la liaison entre X et Y est significative. En effet il est indispensable de vérifier:

- La significativité globale du modèle (le F- Test);
- La significativité des variables explicatives du modèle (le T- test);
- La blancheur et la normalité des résidus ;
- Et la stabilité du modèle.

Pour ce faire, nous allons présenter les différents tests d'hypothèses qui permettent de vérifier ceci :

1. Test global de Fisher : (le F- Test) (BOURBONNAIS, 02)

Ce test permet de voir la relation entre Y et les variables $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ dans leur ensemble, c'est-à-dire si l'ensemble des variables explicatives a une influence sur la variable à expliquer.

Ce test peut être formulé de la manière suivante : existe-t-il au moins une variable explicative significative ? Soit le test d'hypothèse :

$$\begin{cases} H_0 : a_0 = a_1 = a_2 = \dots = a_k = 0 \\ H_1 : \text{il existe au moins un des coefficients qui est non nul.} \end{cases}$$

La statistique utilisée est :

$$F = \frac{SCE/k}{SCR/(n-k-1)} = \frac{R^2/k}{(1-R^2)/(n-k-1)} \text{ pour } i = \overline{1, k}$$

- Si : $F^* \geq F_{(1, n-k-1)}^\alpha$, alors l'hypothèse H_0 est rejetée, le modèle est globalement explicatif.
- Sinon l'hypothèse H_0 est acceptée, ce qui signifie qu'il n'existe aucune relation linéaire significative entre la variable à expliquer et les variables explicatives.

2. Test de significativité des variables : (le T- Test) (BOURBONNAIS, 02)

Pour une droite de régression : $y_t = a_0 + a_1 x_{1t} + a_2 x_{2t} + \dots + a_k x_{kt} + \varepsilon_t ; t = \overline{1, n}$

Afin de vérifier la significativité des variables x_{it} , c'est-à-dire si ces variables expliquent significativement le modèle, on propose le test d'hypothèse suivant:

Soit A , le vecteur de composantes $(a_0, a_1, a_2, \dots, a_k)$ '

Les hypothèses sont formulées par :

$$\begin{cases} H_0 : a_i = 0 \text{ (la variable } x_{it} \text{ n'explique pas le modèle)} \\ H_1 : a_i \neq 0 \text{ (la variable } x_{it} \text{ explique le modèle).} \end{cases}$$

La statistique utilisée est celle de Student.

Pour un seuil α , la règle de décision est alors la suivante :

- Si : $t_{\hat{a}_i}^* = \frac{\hat{a}_i}{\alpha_{\hat{a}_i}} > t_{\alpha/2}(t - k)$, alors l'hypothèse H_0 est rejetée et la variable x_{it} est alors contributive à l'explication de la variable y_t .
- Sinon l'hypothèse H_0 est acceptée et la variable x_{it} n'est pas contributive à l'explication de la variable y_t .

3. Test sur les résidus : (CADORETI, 09)

L'analyse des résidus représente une phase très importante pour la validation du modèle. Il s'agira avant tout, de vérifier que les résidus forment bien un bruit blanc, c'est-à-dire que :

- Le risque d'amplitude de l'erreur est le même quelle que soit la période.
- Les erreurs sont non corrélées (ou encore indépendantes) : une erreur à l'instant 't' n'a pas d'influence sur les erreurs suivantes.

Par la suite, il s'agira de vérifier que les résidus suivent une loi normale. En effet, pour pouvoir calculer les intervalles de confiance prévisionnels et aussi pour pouvoir effectuer les tests de Student, les résidus doivent suivre une loi normale.

a. Test de blancheur des résidus : (PIERRE, 04)

Un bruit blanc ($\varepsilon_t, t \in T$) est une suite de variables aléatoires non corrélées de moyenne nulle et de variance finie constante. En effet, un processus bruit blanc vérifie les propriétés suivantes :

$$\begin{cases} E(\varepsilon_t) = 0, \\ \\ Var(\varepsilon_t) = E(\varepsilon_t^2) = \sigma_\varepsilon^2. \end{cases} \quad \forall t \in T,$$

Par conséquent, sa fonction d'autocovariance est donnée par :

$$\gamma(h) = Cov(X_t, X_{t+h}) = E(\varepsilon_t \varepsilon_{t+h}) = \begin{cases} 0 & h \neq 0, \\ \sigma_\varepsilon^2 & h = 0. \end{cases}$$

Si de plus : $\varepsilon_t \rightarrow \mathbf{N}(0, \sigma^2)$ alors est un bruit blanc gaussien.

Il existe plusieurs tests qui permettent de vérifier la blancheur des résidus, parmi lesquels on a:

- **Test de Durbin- Waston: (BOUKABOUS, 08)**

Le test de Durbin- Watson permet de détecter une autocorrélation des résidus. Le test d'hypothèse s'écrit comme suit :

$$\begin{cases} H_0 : \rho = 0 \text{ (absence de corrélation),} \\ H_1 : \rho \neq 0 \text{ (présence de corrélation).} \end{cases}$$

La statistique de Durbin- Watson est donnée par:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (\hat{\epsilon}_t - \hat{\epsilon}_{t-1})}{\sum_{t=1}^n \hat{\epsilon}_t} \quad \text{Avec : } 0 < DW < 4$$

Afin de tester l'hypothèse H_0 , Durbin- Watson ont tabulé les valeurs critiques de DW , au seuil 5%, en fonction de la taille de l'échantillon (n) et le nombre de variables explicatives (k).

La lecture de la table permet de déterminer deux valeurs critiques : d_1 et d_2 comprises entre 0 et 2.

Selon la position du DW empirique, entre ces deux valeurs, nous pouvons conclure que si :

$0 < DW < d_1$	H_0 est rejetée	$\rho \geq 0$
$d_1 < DW < d_2$	<i>On ne peut pas conclure</i>	
$d_1 < DW < 4 - d_2$	H_0 est acceptée	$\rho = 0$
$4 - d_2 < DW < 4 - d_1$	<i>On ne peut pas conclure</i>	
$4 - d_1 < DW < 4$	H_0 est rejetée	$\rho < 0$

Tableau II. 1: Test de Durbin-Watson

- **Tests de portemanteau : (BOURBONNAIS, 02) (JOHNSON, 99)**

Outre le test de Durbin Waston, il existe d'autres tests qui permettent d'identifier les processus de bruit blanc. Nous devons donc identifier $Cov(Y_t, Y_{t-k})=0$ ou encore

$\rho_k = 0, \forall k$. En effet, un processus de bruit blanc implique que $\rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_n = 0$.

Les statistiques Q et Q' de Box- Pierce et de Ljung- Box permettent de tester cette hypothèse.

Soit les hypothèses :

$$\begin{cases} H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_n = 0 \text{ (absence d'autocorrélation),} \\ H_1 : \text{il existe } j \text{ tel que : } \rho_j \neq 0 \text{ (présence d'autocorrélation).} \end{cases}$$

- **Test de Box Pierce (1970) :**

Pour effectuer ce test, on a recours à la statistique de Quenouille Q (due à Box Pierce) qui est donnée par:

$$Q = T \sum_{h=1}^H \hat{\rho}_h^2(\hat{\epsilon}_t)$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} H : \text{nombre de retards,} \\ \rho_k : \text{autocorrélation empirique d'ordre } k, \\ T : \text{nombre d'observations.} \end{array} \right.$$

La statistique Q est distribuée de manière asymptotique comme un χ^2 à h degré de liberté.

Les règles du test sont :

- Si $Q \leq \chi^2(h)$ au seuil $(1 - \alpha)$, on accepte H_0 , alors les résidus forment un bruit blanc et donc le modèle est valide,
- Sinon on rejette H_0 , et les résidus ne forment pas un bruit blanc et donc le modèle n'est pas valide.

- **Test de Ljung-Box : (CADORETI, 09)**

Ce test est préféré au test de Box- Pierce, lorsque l'échantillon est de petite taille. La distribution de la statistique du test de Ljung- Box, notée Q' est en effet plus proche de celle de Khi deux χ^2 en petit échantillon que ne l'est celle du test de Box- pierce.

Dérivée de la première statistique Q , la statistique Q' de Ljung- Box s'écrit :

$$Q^* = T(T+2) \sum_{h=1}^H \frac{\hat{\rho}_h^2(\hat{\epsilon}_t)}{T-h}$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} T : \text{Taille de l'échantillon,} \\ H : \text{Le nombre de retard,} \\ \rho_k : \text{Autocorrélation empirique d'ordre } k. \end{array} \right.$$

Cette statistique est aussi distribuée selon un χ^2 à h degré de liberté et dont les règles de décisions sont identiques au précédent.

Ces tests sont appelés par les anglo-saxons « portemanteau test » soit littéralement test : « fourre- tout »

- **Test de normalité des résidus : (BOURBONNAIS, 02)**

Le test de Jarque & Bera (1984) peut s'appliquer pour tester la normalité des résidus.

Ce dernier est fondé sur la notion Skewness (moment d'ordre 3, l'asymétrie de la distribution) et sur la notion de Kurtosis (moment d'ordre 4, l'aplatissement – épaisseur des queues de distribution).

Soit le moment empirique d'ordre k du processus :

$$\mu_k = \mathbf{E}[\hat{\varepsilon}_t - \mathbf{E}(\hat{\varepsilon}_t)]^k = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (\hat{\varepsilon}_t - \bar{\varepsilon}_t)^k$$

Où n : nombre d'observations.

- **Test de Skewness : (BOURBONNAIS, 02)**

Le Skewness est une mesure de l'asymétrie de la distribution de la série autour de sa

moyenne. Le coefficient du Skewness est défini par : $(S_k)^{1/2} = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}}$

Lorsque le nombre d'observations est grand ($n \geq 30$), c'est-à-dire :

$$n \rightarrow \infty : (S_k)^{1/2} \sim \mathbf{N}\left(0, \sqrt{\frac{6}{n}}\right)$$

Remarque :

- Le Skewness d'une distribution symétrique est nulle telle que la distribution normale,
- Le Skewness positif signifie que la distribution a une queue allongée vers la droite,
- Le Skewness négatif signifie que la distribution a une queue allongée vers la gauche.

- **Test de Kurtosis : (BOURBONNAIS, 02)**

Le Kurtosis mesure le caractère pointu ou plat de la distribution de la série. Le coefficient du

Kurtosis est défini par : $k_u = \frac{\mu_4}{\mu_2^2}$.

Lorsque le nombre d'observations est grand, c'est-à-dire ($n \geq 30$) :

$$n \rightarrow \infty : k_u \sim \mathbf{N}\left(3, \sqrt{\frac{24}{n}}\right)$$

Remarque :

- Le Kurtosis de la distribution normale est 3,
- Si le Kurtosis est supérieur à 3, la distribution est plutôt pointue relativement à la normale,
- Si le Kurtosis est inférieur à 3, la distribution est plutôt aplatie relativement à la normale.

On construit alors les statistiques centrées réduites correspondantes que l'on compare à la valeur représenté par la loi normale représenté au seuil α (on nommera cette valeur N_t).

$$v_1 = \frac{S_k^{1/2}}{\sqrt{\frac{6}{n}}} \sim \mathbf{N}(0,1) \quad ; \quad v_2 = \frac{|k_u - 3|}{\sqrt{\frac{24}{n}}} \sim \mathbf{N}(0,1)$$

- Si $v_1 \leq N_t$ et $v_2 \leq N_t$, on accepte l'hypothèse de symétrie et l'hypothèse de queue de distributions plates et les résidus sont donc gaussiens.
- Dans le cas contraire, l'hypothèse de normalité est rejetée.

• **Test de Jarque et Bera : (PIERRE, 04)**

Le test de Jarque-Bera est une statistique, qui permet d'examiner si la série est normalement distribuée. La statistique mesure la différence du Skewness et du Kurtosis de la série avec ceux de la distribution normale. La statistique est calculée comme suit :

$$JB = \frac{N}{6} S_k + \frac{N}{24} (k_u - 3)^2 \sim \chi^2(2) \quad \text{Où } S_k: \text{ le Skewness ; } k_u: \text{ le Kurtosis.}$$

Sous l'hypothèse nulle d'une distribution normale, la statistique de Jarque-Bera suit asymptotiquement une loi de $\chi^2(1 - \alpha)$ avec deux degrés de liberté α .

Si : $JB > \gamma_{1-\alpha}^2(2)$ alors on rejette l'hypothèse de normalité des résidus au seuil α .

b. Test de stabilité du modèle : Le test de CUSUM : (BOURBONNAIS, 02)

Le test de CUSUM (CUMulative SUM) est fondé sur la dynamique de l'erreur de prévision. Il permet de détecter les instabilités structurelles des équations de régression au cours du temps.

L'idée générale de ce test est d'étudier l'évolution au cours du temps de l'erreur de prévision normalisée Il est fondé sur la somme cumulée des résidus récursifs, On appelle résidus récursifs cette succession d'erreur de prévision calculée en $t-1$ pour t .

Le résidu récursif $t w$ au temps t est donc défini comme le rapport entre :

- L'écart entre la prévision calculée en $t-1$ pour t et la réalisation en t ,
- Et une variable d'échelle, calculée pour cette même période t ,

Soit :

$$w_t = \frac{e_t = y_t - \hat{a}_t}{S_e} = \frac{y_t - x_t' \hat{a}_{t-1}}{\sqrt{(1 + x_t'(X_{t-l}'X_{t-l})^{-1})}}$$

Avec : $t = K+2, K+3, K+4, \dots, n$ ($K = k+1$ est le nombre total de paramètres estimés du modèle). Ce résidu récursif suit donc une loi normale $N(0, \sigma^2)$.

A partir du résidu récursif w_t , on calcule la statistique *CUSUM* :

$$CUSUM = \frac{n-K}{SCR} \sum_{j=K+2}^t w_j$$

Avec : $t = K+2, \dots, n$ ($K = k+1$ est le nombre total de paramètres estimés du modèle) et *SCR* la somme des carrés des résidus, calculée à partir du modèle à n observations.

Si les coefficients du modèle sont stables au cours du temps, alors les résidus récursifs doivent rester dans l'intervalle défini par les deux droites : $[K, \pm \alpha n - K]$ et $[n, \pm 3\alpha n - K]$.

VI. La prévision : (BOURBONNAIS, 02)

Lorsque les coefficients du modèle ont été estimés, il est possible de calculer une prévision à un horizon h . Le problème consiste à déterminer la valeur qui doit être attribuée à la variable endogène (variable à expliquer) lorsque nous connaissons les valeurs des variables exogènes (variables explicatives).

Le modèle général estimé est le suivant : $\hat{Y}_t = \hat{a}_0 + \hat{a}_{1t}x_{1t} + \hat{a}_{2t}x_{2t} + \dots + \hat{a}_{kt}x_{kt}$.

L'erreur de prévision est donnée par : $e_{t+h} = Y_{t+h} - \hat{Y}_{t+h}$.

Après avoir présenté les règles principales d'estimation des paramètres d'un modèle de régression à partir des différentes hypothèses ainsi que les règles de validation (T-test, F-test...), nous allons procéder à la résolution du problème de « la modélisation de la consommation nationale d'énergie dans le secteur du transport » sur la base des règles énoncées.

Section II : Modélisation de la consommation d'énergie dans le secteur du transport par la régression multiple

Introduction :

Dans cette partie, nous proposons une approche de modélisation de la consommation d'énergie dans le secteur du transport, basée sur la régression économétrique, telle que présentée précédemment. Ce type d'approche va nous permettre de tester la pertinence des variables jugées à priori explicatives dans la consommation d'énergie.

L'identification de ces variables repose sur une segmentation et une analyse de la demande des carburants en Algérie afin de mieux comprendre sa structure. Cette segmentation vient en complément à l'analyse du marché effectuée dans le premier chapitre.

Avec l'absence de théorie économique, notre travail va donc concerner, tour à tour, la segmentation de la demande d'énergie dans le secteur du transport, la définition des variables susceptibles d'expliquer la consommation d'énergie dans ce secteur et enfin l'estimation de la fonction de la demande par le biais d'une régression multiple à plusieurs variables.

I. Segmentation de la demande des carburants : (KALIKA, 02)

Comme pour toute étude de modélisation de la fonction « Demande », nous commençons par la segmentation de cette dernière pour mieux comprendre sa structure et choisir les meilleurs facteurs explicatifs. La segmentation se définit comme étant une technique de découpage du marché consistant à isoler des groupes de consommateurs ayant des comportements ou des habitudes d'achat homogènes. La segmentation permet d'adapter les actions mercatiques à chacun des groupes ainsi constitués.

La segmentation de la demande des carburants se fait selon les deux critères suivants :

- Le type d'utilisation,
- Le type de clients.

1. Segmentation selon le type d'utilisation :

La demande des carburants selon le type de l'utilisation peut être décomposée en plusieurs segments bien différents.

a. Type de transport :

Il existe quatre types de transport (voir chapitre 1) :

1. Le transport routier,
 2. Le transport aérien,
 3. Le transport maritime,
 4. Le transport ferroviaire.
- Pour le transport aérien et maritime le ravitaillement en carburant se fait à l'intérieur et l'extérieur du pays, ce qui nous emmène à dire que les données récoltées sur le territoire national ne reflètent pas la réalité (elles sont erronées).
 - Pour le transport ferroviaire, sa consommation est majoritairement électrifiée soit sa consommation en carburant est négligeable par rapport aux autres modes.
 - Pour le transport routier, sa consommation de carburant dépasse 90% d'énergie totale dans le secteur du transport

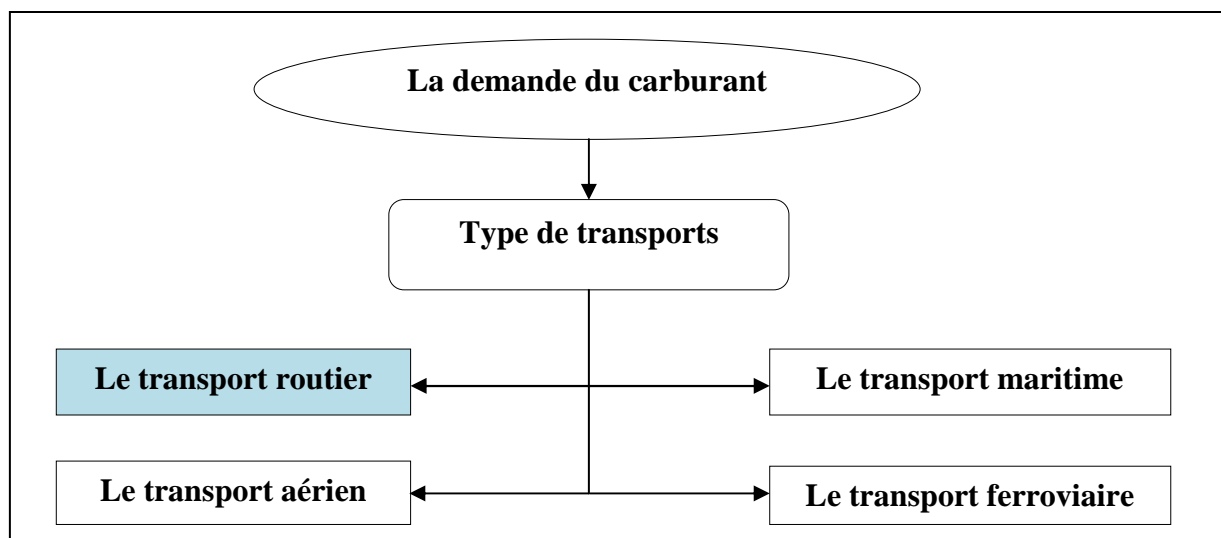


Figure II. 2 : Segmentation selon le type de transport

b. Type de carburant :

Dans le transport routier, il existe trois types de carburants :

1. L'essence,
 2. Le gasoil,
 3. Le GPLc.
- L'essence représente 42.9% de la consommation d'énergie dans ce secteur,
 - Le gasoil représente 51% de la consommation d'énergie dans ce secteur,
 - Le GPLc représente 6.1% de la consommation d'énergie dans ce secteur.

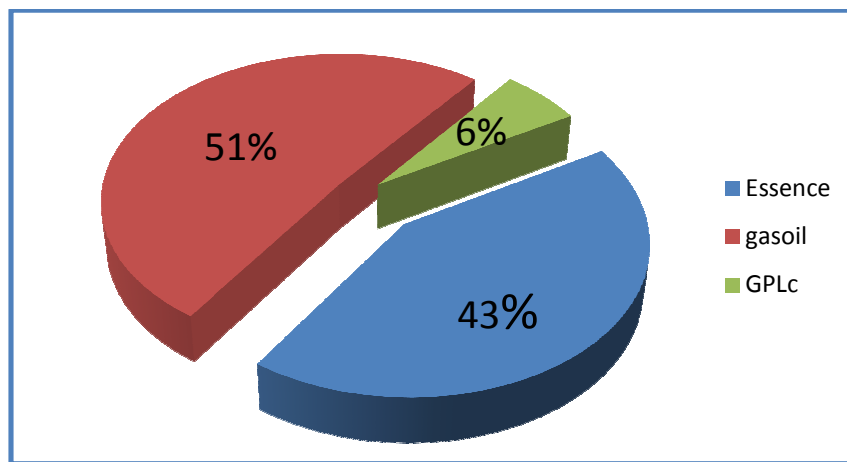


Figure II. 3 : Répartition de la consommation des carburants dans le secteur du transport (ARPUE, 2007)

Nous constatons que la consommation d'essence et de gasoil représente près de 94% de la consommation d'énergie dans le secteur du transport et que la consommation de GPLc représente 6% de cette consommation, ce qui est négligeable par rapport aux parts d'essence et de gasoil.

Donc, notre étude portera sur la modélisation de la consommation d'essence et du gasoil, vu leurs grandes parts de consommation. Et que le GPLc a des caractéristiques plus économiques et plus écologiques, ainsi que sa grande disponibilité en Algérie, aussi, son utilisation permettra à l'Algérie de valoriser ces exportations en produits pétroliers, donc il serait idéal de l'utiliser avec une grande part.

On peut schématiser cette segmentation comme suit :

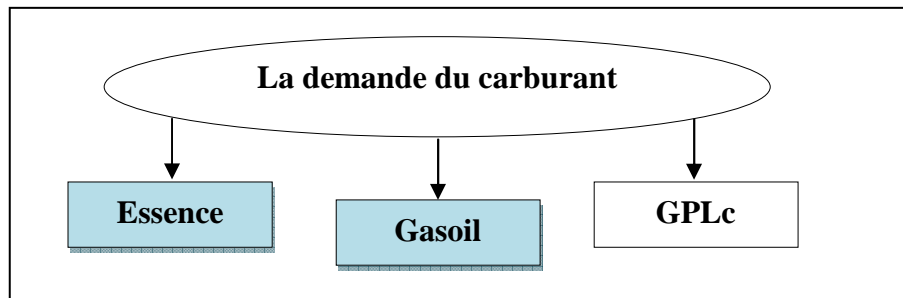


Figure II. 4: Segmentation selon le type de carburants

c. Type de la demande :

i. La demande routière :

Après avoir retenu le transport routier, nous segmenterons ce transport en trois parties : les véhicules particuliers, les transports en communs et les véhicules de transport de marchandises.

ii. La demande non routière :

C'est la demande qui utilise le carburant hors route. On peut distinguer deux sous segments différents :

- Dans l'industrie où le carburant est utilisé comme un additif,
- Dans l'agriculture, la construction de bâtiments, les usines.

On peut schématiser cette segmentation comme suit :

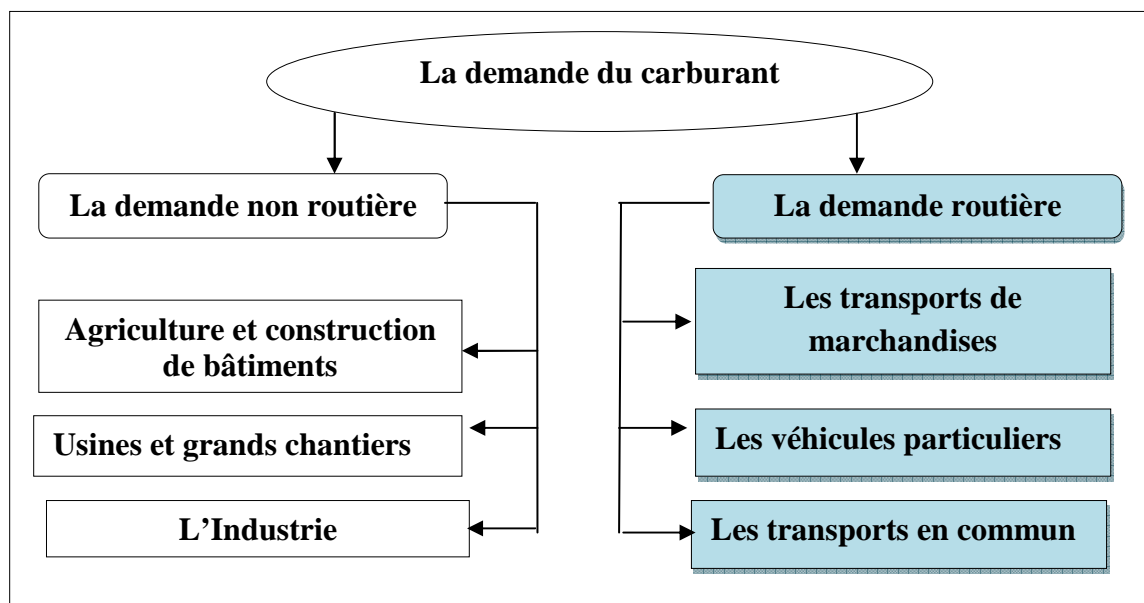


Figure II. 5 : Segmentation selon le type d'utilisation

2. Segmentation selon le type de clients :

Une deuxième segmentation peut se faire sur la base du type de clients (consommateurs).

Il existe deux types de consommateurs : les particuliers et les professionnels sur lesquels on distingue deux segments de la demande :

- **La demande des particuliers :**

Représentée par les automobilistes qui possèdent en général des véhicules de petite taille (véhicules de tourisme).

- **La demande des professionnels :**

Elle intègre également les activités de :

- Transport de voyageurs ;
- Véhicules lourds (Transport de marchandises) ;
- Grands chantiers, Agriculture, Industrie.

On peut schématiser cette segmentation comme suit:

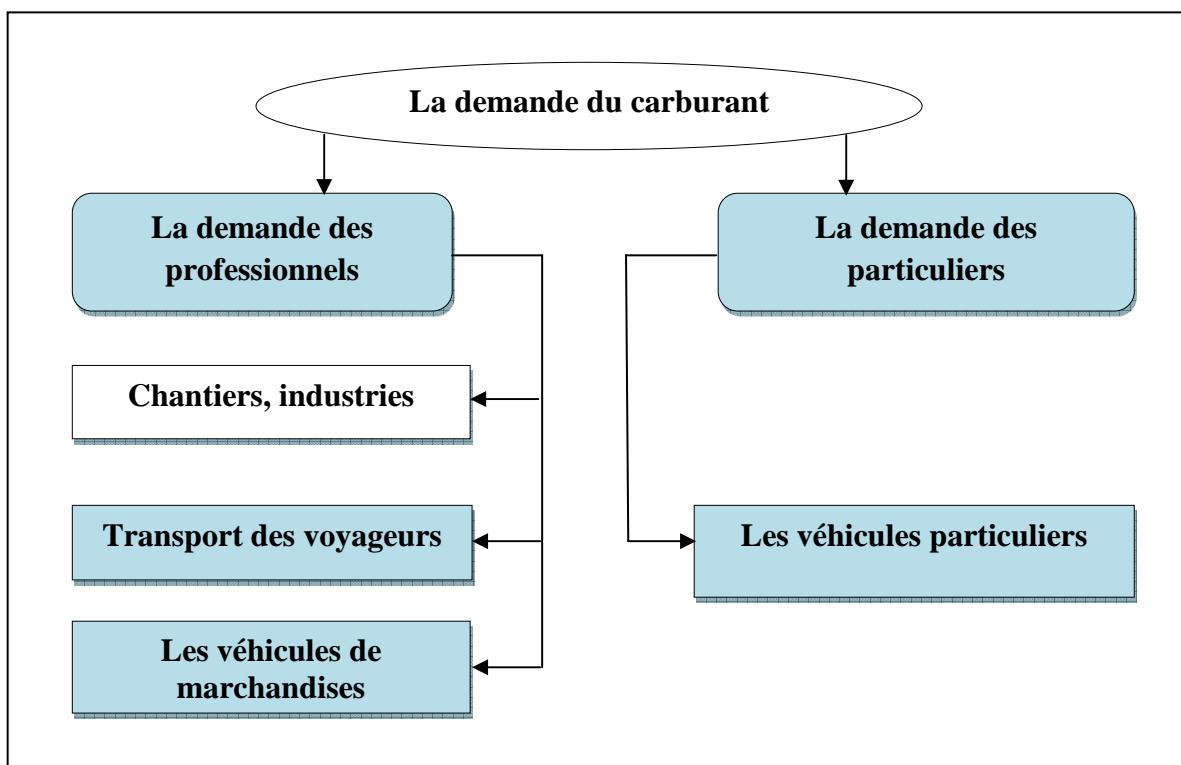


Figure II. 6 : Segmentation selon le type de clients

3. Conclusion :

Notre étude ciblera essentiellement le transport routier, afin d'en évaluer la consommation d'essence et de gasoil dans ce secteur. Ce choix est justifié par sa grande part de consommation, soit plus de 90% de la consommation d'énergie dans le secteur du transport en Algérie, et que celle-ci est majoritairement composée d'essence et de gasoil (94% de la consommation routière).

Dans cette étude, nous devons prendre en considération: les transports de marchandises, les véhicules particuliers et les transports en commun.

Après avoir précisé les segments qui délimitent notre travail, il convient de déterminer les variables susceptibles d'expliquer cette consommation.

Ces variables doivent être groupées en familles de variables ayant un impact sur cette consommation tels que : le prix des carburants, la croissance économique, la démographie, les revenus de la population, les déplacements de la population, etc.

II. Les variables explicatives de la consommation d'énergie (essence, gasoil):

Notre objectif est de réaliser un modèle explicatif de la consommation d'énergie, en considérant les différents paramètres qui sont susceptibles de l'influencer, et d'après la segmentation et l'étude de marché des carburants faites, nous désignons plusieurs facteurs qui pourraient avoir une influence sur la demande de ces carburants. Les variables retenues sont citées ci-dessous:

1. Le prix : (dinars par litre)

Le prix est le premier facteur ayant un impact direct sur la consommation. Plus un produit est coûteux, moins sa consommation devient accessible. Nous distinguons ici : prix d'essence (P_{ess}), prix du gasoil (P_{gas}) et prix du GPLc (P_{GPLc}).

2. La taille du parc automobile : (Parc)

La consommation de carburant varie en proportion directe avec la taille du parc automobile. En effet, la taille du parc automobile implique que le potentiel de consommation est d'autant

plus important que le parc soit important, donc l'augmentation de la taille du parc conduirait à une augmentation de la consommation d'énergie.

3. Le taux de croissance de la taille du parc automobile : (T_{cr})

On peut supposer aussi que la consommation de carburant varie proportionnellement avec le taux de croissance du parc automobile. En effet, une augmentation du taux de croissance du parc implique une augmentation de la consommation d'énergie.

4. La population : (en millions) (POP)

La taille de la population a un effet positif sur la demande de carburant. Il est logique de supposer que l'augmentation de ce facteur, influera sur la quantité consommée des carburants. Plus la taille de la population est grande, plus le nombre d'acquéreurs potentiels de véhicules essence ou gasoil est élevé. La taille de la population représente un très bon indicateur de la consommation potentielle des carburants.

5. La population active: (en millions) (POP_{act})

Les déplacements de la population active auront tendance à pousser à la hausse la consommation des carburants. Aussi, l'augmentation de la taille de la population active augmenterait ses déplacements, ce qui conduirait à une consommation plus importante des carburants.

6. Le PIB/Capita : (en millions de Dinars)

Le PIB/Capita est la mesure du revenu par habitant provenant de la production et son augmentation est l'un des indicateurs clés de la croissance économique et le développement de cette dernière impliquerait une augmentation du PIB.

Cet indicateur économique expliquerait la demande des carburants, car le transport représente un segment important dans l'activité économique du pays. Aussi, plus le taux annuel de croissance de cet indicateur de richesse est grand, meilleur est le pouvoir d'achat des citoyens et meilleures seront les opportunités d'achat de véhicules.

7. La masse salariale : (en millions de dinars) (Ms)

Elle caractérise la capacité des ménages à demander le carburant.

8. La distance : (Dis)

La distance a une influence sur la consommation du carburant. En effet, plus la distance parcourue par les consommateurs est grande, plus la consommation du carburant est grande.

9. Le nombre de voyageurs utilisant le Transport en Commun (En millions) (POP_{tc})

Les citoyens pourraient, dans des circonstances particulières, être amenés à délaissé leur propre véhicule au profit du transport en commun ce qui représente un facteur de réduction de la consommation des carburants.

10. Les marchandises transportées (en tonnes) :

Le transport de marchandise se fait par route et cela due à l'inefficacité du transport ferroviaire et à l'immensité du territoire nationale, ce transport augmente de plus en plus puisque la production nationale est en constante progression, ce qui augmente la consommation des carburants.

11. La taille des routes nationales :

Elle caractérise l'espace dédié à la circulation d'automobile.

Remarque:

Par manque de données, la distance moyenne parcourue, la masse de marchandise transportée et la taille des routes nationales ne seront pas prise en considération dans notre étude. Ce manque de données sera introduit dans le modèle en terme d'erreur ε_t .

Ayant choisi les variables explicatives, nous aborderons les étapes de la formulation économique, suivie de la formulation économétrique de la consommation d'énergie dans le secteur du transport, le but étant de modéliser cette dernière.

III. Modélisation économétrique du problème: (CADORETI, 09)

Cette étape consiste à modéliser la relation qui existe entre les variables explicatives (indépendantes) retenues et la variable à expliquer (dépendante) qui est la consommation d'énergie. Cette relation est symbolisée par la fonction f . Elle peut s'écrire comme suit :

$$C_{Carburant} = f[var_1(t), var_2(t), \dots, var_n(t)]$$

Avec :

C : Variable dépendante

$var_1(t), var_2(t), \dots, var_n(t)$: Variables explicatives (indépendantes).

Nous avons donc :

$$C_{carburant}(t) = f(P_{ess}, P_{gas}, P_{GPLc}, Ms, Tcr, Pop, Pib, Pop_{act}, Parc)(t) + \varepsilon_t.$$

Où :

$C_{carburant}(t)$: La consommation du carburant à l'année t ;

P_{GPLc} : Le prix du GPLc à l'année t ;

P_{gas} : Le prix du gasoil à l'année t ;

P_{ess} : Le prix de l'essence à l'année t ;

Ms : La masse salariale de l'année t ;

Tcr : Le taux de croissance du parc automobile à l'année t ;

Pop : La taille de la population à l'année t ;

Pib : Le taux de croissance économique à l'année t ;

Pop_{act} : La taille de la population active à l'année t ;

Pop_{tc} : Le nombre de voyageurs utilisant le transport en commun à l'année t ;

$Parc$: la taille du parc automobile à l'année t ;

ε_t : L'erreur statistique qui représente la différence entre l'observation et la valeur estimée par le modèle à l'année t .

L'estimation de la consommation de carburant sera conduite selon la méthode de la régression multiple, présentée précédemment.

1. Les modèles testés :

Pour trouver le modèle susceptible d'expliquer au mieux la consommation des carburants, il est nécessaire de tester plusieurs variantes.

Nous avons pour notre part, analysé trois spécifications possibles du modèle de régression :

- Le modèle linéaire simple ;
- Le modèle linéaire logarithmique;
- Le modèle à effet de parc.

a. Le modèle linéaire simple : (JOHNSON, 99)

Le modèle statistique le plus simple à utiliser et à comprendre est le modèle de régression linéaire. C'est le modèle qui permet de mesurer l'influence d'un ensemble de variables quantitatives sur une autre variable quantitative. Dans notre cas le modèle s'écrit comme suit:

$$C_{carburant}(t) = \beta_0 + \beta_1 P_{ess\ t} + \beta_2 P_{gas\ t} + \beta_3 P_{GPLc\ t} + \beta_4 Ms_t + \beta_5 Tcr_t + \beta_6 Pop_t + \beta_7 Pib_t + \beta_8 Pop_{tc\ t} + \beta_9 Pop_{act\ t} + \beta_{10} Parc_t + \varepsilon_t$$

Où : les B_i représentent les paramètres du modèle (coefficients de régression).

Lorsque la relation entre les variables est supposée linéaire, chaque paramètre est interprété comme la dérivée partielle de la variable dépendante par rapport à la variable explicative concernée. Chaque paramètre mesure donc les variations de la variable dépendante suite à une augmentation ou une réduction de la variable explicative concernée, les autres variables explicatives restant inchangées.

b. Le modèle logarithmique : (JOHNSON, 99)

Les principes de la régression linéaire se généralisent à la régression logarithmique. Dans ce dernier type de régression, on utilise les log des quantités comme des variables. Ainsi, les quantités n'interviennent plus directement, mais à travers leur logarithme.

Dans notre cas, le modèle s'écrit comme suit :

$$\begin{aligned} \text{Log } C_{carburant}(t) = & \beta_0 + \beta_1 \log P_{ess\ t} + \beta_2 \log P_{gas\ t} + \beta_3 \log P_{GPLc\ t} \\ & + \beta_4 \log Ms_t + \beta_5 \log Tcr_t + \beta_6 \log Pop_t + \beta_7 \log Pib_t + \beta_8 \log Pop_t \\ & + \beta_9 \log Pop_{act\ t} + \beta_{10} \log Parc_t + \varepsilon_t \end{aligned}$$

La spécification logarithmique permet, entre autres, d'interpréter les coefficients en termes d'élasticité.

c. Le modèle à effet de parc : (LANTZ, 03)

Dans ce type de modèle, nous introduisons dans le modèle logarithmique le nombre de véhicules essence, gasoil et GPLc, ainsi que leurs parts dans le parc automobile total. L'objectif étant de tester la pertinence de chaque type de véhicules dans l'explication de la consommation d'énergie. Cette approche se traduit par :

$$\begin{aligned} \text{Log } C_{\text{carburant}}(t) = & \beta_0 + \beta_1 \log P_{\text{ess } t} + \beta_2 \log P_{\text{gas } t} + \beta_3 \log P_{\text{GPLc } t} \\ & + \beta_4 \log M_s t + \beta_5 \log Tcr_t + \beta_6 \log Pop_t + \beta_7 \log Pib_t + \beta_8 \log Pop_t \\ & + \beta_9 \log Pop_{\text{act } t} + \beta_{10} \log V_t + \beta_{11} \log (V_t / Parc_t) + \beta_{12} \log X_t + \\ & \beta_{13} \log (X_t / Parc_t) + \beta_{14} \log W_t + \beta_{15} \log (W_t / Parc_t) + \varepsilon_t. \end{aligned}$$

Avec :

- V_t : Le nombre de véhicules essence,
- W_t : Le nombre de véhicules Diesel,
- X_t : Le nombre de véhicules GPLc.

Remarque :

Vu que les données, relatives, au nombre de véhicules GPLc ne sont pas disponibles, seules les deux premiers modèles seront testés.

Comme nous disposons, pour chaque modèle, d'un nombre assez élevé de variables susceptibles d'être des variables explicatives de la consommation d'énergie (le nombre est égal à 11), il est plus que nécessaire d'utiliser une des méthodes qui permet de trouver un modèle avec le minimum de variables exogènes et un maximum d'explication à un risque près. En effet, la sélection des entrées est une étape essentielle pour toute conception de modèle. Cette sélection va nous permettre de réduire le nombre de variables explicatives de telle sorte que le modèle final ne contienne que les variables les plus pertinentes pour la modélisation.

2. La sélection des variables explicatives : (BOURBONNAIS, 02)

Pour ce faire, il existe plusieurs méthodes suggérées par la théorie. Il s'agit:

- Des méthodes de combinaison de toutes les régressions,
- De la procédure d'élimination progressive des variables « Backward Elimination »,
- De la méthode de sélection progressive « Forward Regression »,
- De la méthode de régression pas à pas « Stepwise Regression ».

a. Méthodes de combinaison de toutes les régressions :

La méthode de combinaison de toutes les régressions, représente la méthode la plus simple dans son exposé. En effet, il s'agit d'estimer toutes les combinaisons de régressions possibles ($2^k - 1$ possibilités avec $k =$ nombre de variables explicatives candidates) et l'on compare toutes les possibilités dans le but de conserver la meilleure, selon un critère bien défini. La limite d'utilisation de cette méthode est liée au nombre initial de variables explicatives candidates.

Une telle approche, certes optimale, est de mise en œuvre très lourde, car sa complexité croît exponentiellement avec le nombre de variables. C'est pour cette raison que nous n'allons pas la retenir pour déterminer le modèle optimal.

b. La procédure d'élimination progressive :

Elle consiste, sur le modèle complet, à éliminer de proche en proche (c'est à dire en réestimant l'équation après chaque élimination) la variable explicative la moins significative. A cette fin, on compare tous les sous modèles au modèle complet et on conserve le meilleur selon un critère donné.

Cette procédure n'est utilisable que s'il y a absence de multi colinéarité entre toutes les variables explicatives, ce qui n'est pas toujours le cas (Le terme de multi- colinéarité est employé dans le cas d'un modèle incorporant des séries explicatives qui sont très liées entre elles). Aussi n'avons-nous pas retenu cette méthode.

c. La méthode de sélection progressive :

On commence par estimer le modèle le plus simple et on le compare aux autres ($k-1$) modèles simples à une variable explicative (k étant le nombre initial de variables explicatives). On choisit alors le meilleur, suivant un critère donné, et l'on réitère la procédure jusqu'à ce que l'ajout d'une nouvelle variable n'améliore plus la qualité du modèle.

d. La méthode de régression pas à pas :

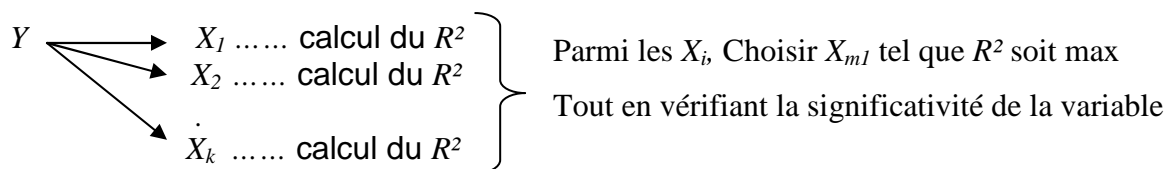
Elle est identique à la précédente, sauf qu'après avoir incorporé une nouvelle variable explicative, nous examinons la pertinence des variables explicatives préalablement sélectionnées en vue d'éliminer du modèle celles qui sont non pertinentes.

Ainsi, nous utiliserons, dans notre application, « la régression pas à pas » pour chacun des modèles cités ci-dessus. Cette régression va nous permettre de trouver le modèle optimal pour le modèle simple et le modèle optimal pour le modèle logarithmique.

Nous pouvons résumer les étapes de la « régression pas à pas » comme suit :

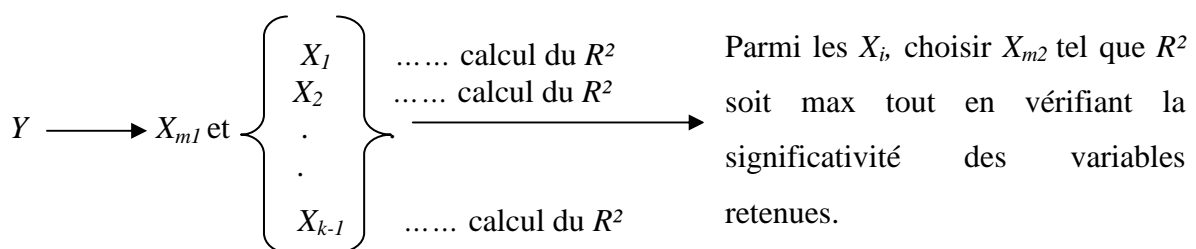
1^{ère} étape : Modèle à 2 variables

Dans cette étape, il s'agit de faire k régressions simples et choisir la variable X_{m1} dont le taux de réalité R^2 est le plus élevé :



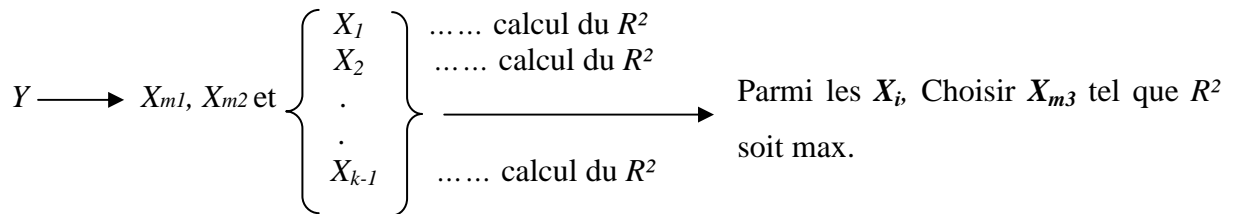
2^{ème} étape : Modèle à 3 variables

Une fois la 1^{ère} variable sélectionnée, il s'agira de faire $(k-1)$ régressions simples et de choisir la variable X_{m2} dont le taux de réalité R^2 est le plus élevé comme suit :



3^{ème} étape : Modèle à 4 variables

Faire $(k - 2)$ régressions simples et choisir la variable X_{m3} dont le taux de réalité R^2 est le plus élevé comme suit :



Répéter la procédure pour le choix de la 4^{ème} variable X_{m4} , la 5^{ème} variable X_{m5} etc.

La sélection s'arrête lorsque l'ajout d'une nouvelle variable n'améliore plus le R^2 .

3. Critère de choix de la meilleure variante :

Une fois la régression pas à pas appliquée, le modèle optimal étant trouvé pour chaque variante (pour le modèle simple et pour le modèle logarithmique), le choix de la meilleure variante se fera sur la base du meilleur taux de réalité (R^2) tout en vérifiant :

- La significativité globale du modèle ;
- La significativité des variables explicatives ;
- La non corrélation des résidus ;
- L'absence du multi colinéarité entre les variables ;
- La stabilité du modèle et de ses coefficients ;

On peut illustrer ceci par la *figure II.7* qui résume la procédure de sélection de la meilleure variante :

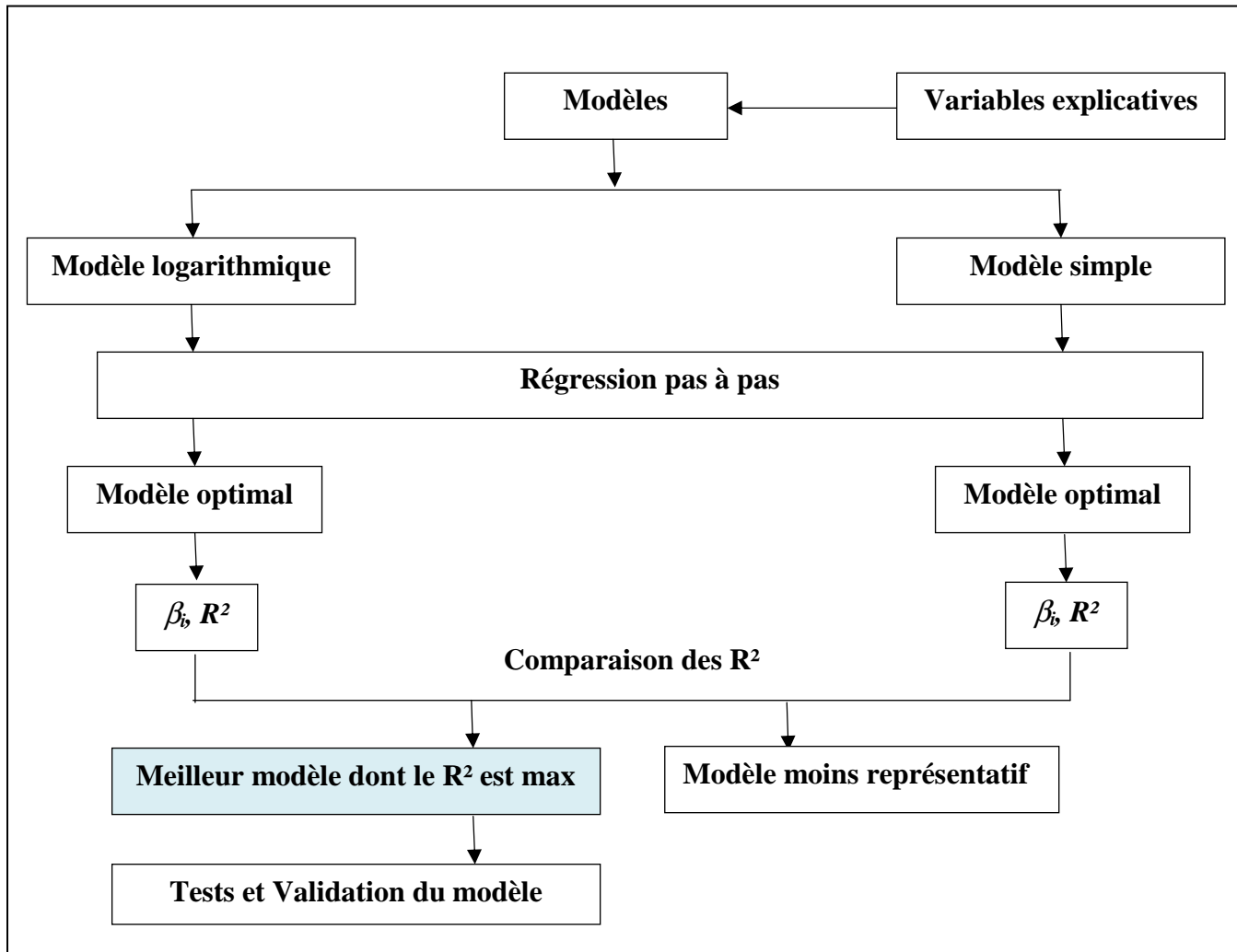


Figure II. 7 : Schéma simplifié de la procédure de la sélection du meilleur modèle (FOUCART, 04)

IV. Application :

Les données :

La collecte des données des différentes variables nécessaires à la modélisation de la consommation des carburants s'est faite auprès du Ministère de l'Énergie et des Mines, de NAFTAL, de l'Office Nationale des Statistiques (ONS), de l'Agence nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (APRUE).

Les données sont représentées sous forme de chroniques annuelles avec 29 observations (1980-2008) (cf. annexe 1).

L'outil informatique utilisé:

Il existe plusieurs logiciels statistiques qui peuvent être utilisés : *SPSS*, *STATISTICA*, *EVIIEWS*, etc. Le logiciel *EVIIEWS* est choisi dans notre étude pour son efficacité et sa pertinence (cf. annexe 2).

Aussi, ce logiciel est utilisé actuellement, comme principal outil informatique, dans de nombreuses études de modélisation et de prévision, ce qui nous a rendu sa compréhension et son utilisation plus aisées.

Nous proposons dans ce qui suit d'appliquer la régression pas à pas sur chaque variante, à savoir : le modèle simple et le modèle logarithmique.

1. Evaluation du risque α :

La détermination du risque demeure importante lors de la modélisation d'un phénomène. Ce risque traduit la fiabilité du modèle construit. Généralement, plus le phénomène est exposé aux aléas plus le risque est faible. Dans les études économiques énergétiques, les risques sont de l'ordre de 1%, 5% et 10% selon l'objectif de l'étude.

Dans notre étude, avec l'incertitude qui décrit les différentes caractéristiques du secteur des transports (*PARC*, *POP_{act}*, ...) font que nous tolérons un faible risque de 1%. Ce risque permet de compenser cette incertitude c'est-à-dire de réduire le cumul de risque sur les données et les risques de spécification du modèle afin que notre étude soit significative.

2. Estimation des paramètres de la consommation d'essence :

a. Estimation des paramètres du modèle simple :

Nous proposons d'appliquer la régression pas à pas sur le modèle simple.

Ce dernier est donné par :

$$C_{ess}(t) = \beta_0 + \beta_1 P_{ess t} + \beta_2 P_{gas t} + \beta_3 P_{GPLc t} + \beta_4 MS_t + \beta_5 Tcr_t + \beta_6 Pop_t + \beta_7 Pib_t + \beta_8 Pop_t + \beta_9 Pop_{act t} + \beta_{10} Parc_t + \varepsilon_t.$$

Les étapes de la régression pas à pas sur le modèle simple pour la consommation d'essence donne le résultat suivant (cf. annexe 3; 1) :

$$C_{ess} = \beta_0 + \beta_1 Tcr_t + \beta_2 P_{ess t} + \beta_3 Parc_t + \beta_4 Pop_{ic t} + \beta_5 Pib_t + \varepsilon_t.$$

Avec : $R^2=0,979$.

b. Estimation des paramètres du modèle logarithmique :

Le modèle logarithmique s'écrit comme suit :

$$\begin{aligned} \text{Log } C_{ess}(t) = & \beta_0 + \beta_1 \log P_{ess t} + \beta_2 \log P_{gas t} + \beta_3 \log P_{GPLc t} \\ & + \beta_4 \log Ms_t + \beta_5 \log Tcr_t + \beta_6 \log Pop_t + \beta_7 \log Pib_t + \beta_8 \log Pop_t \\ & + \beta_9 \log Pop_{act t} + \beta_{10} \log Parc_t + \varepsilon_t. \end{aligned}$$

L'application de la régression pas à pas sur le modèle logarithmique pour la consommation d'essence aboutit au résultat suivant (cf. annexe 3; 2) :

$$\text{Log } C_{ess}(t) = \beta_0 + \beta_1 \log Parc_t + \beta_2 \log Pop_{act} + \varepsilon_t$$

Avec : $R^2=0,952$.

c. Choix du modèle:

Le modèle simple et le modèle logarithmique étant construits, le choix du meilleur modèle se fera sur la base du taux de réalité ($R^2 \text{ max}$). Le modèle qui a le meilleur R^2 est celui qui représente au mieux la réalité.

Modèle	R^2
Modèle simple	0,979
Modèle logarithmique	0,952

Tableau II. 2 : Critère de choix du meilleur modèle

Le taux de réalité R^2 du modèle simple est supérieur à celui du modèle logarithmique, donc le meilleur modèle est le modèle simple avec un $R^2 = 0,979$. Ce dernier s'écrit comme suit :

$$C_{ess} = \beta_0 + \beta_1 Tcr_t + \beta_2 P_{ess t} + \beta_3 Parc_t + \beta_4 Pop_{tc t} + \beta_5 Pib_t + \varepsilon_t.$$

3. Estimation des paramètres de la consommation du gazoil:

a. Estimation des paramètres du modèle simple :

Nous proposons d'appliquer la régression pas à pas sur le modèle simple. Ce dernier est donné par :

$$C_{gas}(t) = \beta_0 + \beta_1 P_{ess t} + \beta_2 P_{gas t} + \beta_3 P_{GPLC t} + \beta_4 Ms_t + \beta_5 Tcr_t + \beta_6 Pop_t + \beta_7 Pib_t + \beta_8 Pop_t + \beta_9 Pop_{act t} + \beta_{10} Parc_t + \varepsilon_t.$$

Les étapes de la régression pas à pas sur le modèle simple pour la consommation du gazoil donne le résultat suivant (cf. annexe 3; 3) :

$$C_{gas} = \beta_0 + \beta_1 Pib_t + \beta_2 P_{gas t} + \beta_3 Pop_{act} + \beta_4 Pop_{tc t} + \varepsilon_t.$$

Avec : $R^2=0,983$.

b. Estimation des paramètres du modèle logarithmique :

Le modèle logarithmique s'écrit comme suit :

$$\begin{aligned} \text{Log } C_{gas}(t) &= \beta_0 + \beta_1 \log P_{ess t} + \beta_2 \log P_{gas t} + \beta_3 \log P_{GPLC t} \\ &+ \beta_4 \log Ms_t + \beta_5 \log Tcr_t + \beta_6 \log Pop_t + \beta_7 \log Pib_t + \beta_8 \log Pop_t \\ &+ \beta_9 \log Pop_{act t} + \beta_{10} \log Parc_t + \varepsilon_t. \end{aligned}$$

L'application de la régression pas à pas sur le modèle logarithmique pour la consommation du gazoil aboutit au résultat suivant (cf. annexe 3; 4)

$$\text{Log } C_{gas}(t) = \beta_0 + \beta_1 \log Parc_t + \beta_2 \log Tcr + \varepsilon_t.$$

Avec : $R^2 = 0,924$.

c. Choix du modèle:

Le modèle simple et le modèle logarithmique étant construits, le choix du meilleur modèle se fera sur la base du taux de réalité (R^2max). Le modèle qui a le meilleur R^2 est celui qui représente au mieux la réalité.

Modèle	R^2
Modèle simple	0,983
Modèle logarithmique	0,924

Tableau II. 3 : Critère de choix du meilleur modèle

Le taux de réalité R^2 du modèle simple est supérieur au taux de réalité R^2 du modèle logarithmique, donc le meilleur modèle est bien le modèle simple avec un $R^2 = 0.986$. Ce dernier s'écrit comme suit :

$$C_{gas} = \beta_0 + \beta_1 Pib_t + \beta_2 P_{gas\ t} + \beta_3 Pop_{act\ t} + \beta_4 Pop_{tc\ t} + \varepsilon_t.$$

4. Tests et validation des deux modèles:

Après avoir déterminé les modèles qui expliquent au mieux la consommation d'essence et du gasoil, il est essentiel vérifier dans une seconde étape :

- La significativité globale du modèle;
- La significativité des paramètres estimés du modèle;
- La non corrélation des résidus ;
- L'absence de multi colinéarité entre les variables.
- La stabilité du modèle.

La régression du modèle simple pour le modèle essence, fournie par *EViews* est donnée par le tableau II.3:

F-statistic	56.14508	Probability		0.002502
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	369680.5	178828.3	2.222904	0.0446
Tcr	244662.8	493628.1	-1.080189	0.2997
P_{ess}	-35885.62	3798.673	-2.092814	0.0565
Parc	0.871814	0.058121	-1.559587	0.1429
Pop_{tc}	-0.001544	0.000322	-3.579481	0.0034
Pib	-1.954356	0.450031	1.575532	0.1391
R-squared	0.979052	Mean dependent var		2.43E-11
Adjusted R-squared	0.974498	S.D. dependent var		38756.63
S.E. of regression	24662.92	Akaike info criterion		23.36509
Sum squared resid	7.91E+09	Schwarz criterion		24.11946
Log likelihood	-322.7938	Durbin-Watson stat		1.444560

Tableau II. 4: Estimation des paramètres du modèle **ESSENCE**

La régression du modèle simple pour le modèle gasoil, fournie par *EVIIEWS* est donnée par le tableau II.4:

F-statistic	57.70196	Probability		0.084524
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1805347	502515.2	-3.592622	0.0015
Pib	4.282817	1.586679	2.699234	0.0125
P_{gas}	-178064.3	24738.48	-7.197865	0.0000
Pop_{act}	0.661593	0.062810	10.53319	0.0000
Pop_{tc}	0.004730	0.001660	2.849516	0.0088
R-squared	0.983172	Mean dependent var		3717250.
Adjusted R-squared	0.980368	S.D. dependent var		1163357.
S.E. of regression	163004.0	Akaike info criterion		26.99652
Sum squared resid	6.38E+11	Schwarz criterion		27.23226
Log likelihood	-386.4496	Durbin-Watson stat		1.342551

Tableau II.5: Estimation des paramètres du modèle **gasoil**

a. La significativité globale du modèle :

Pour tester la significativité globale des modèles de régression d'essence et du gasoil obtenus, c'est-à-dire vérifier si l'ensemble des variables explicatives a une influence sur la variable à expliquer. Pour ce faire, il faudra comparer la F- statistique, fournie directement par *EVIIEWS*, avec la valeur lue dans la table de Fisher F (1, n-k-1), où k représente le nombre de variables explicatives (dans notre cas k= 5 et 4 respectivement) et n le nombre d'observations.

On obtient :

- F statistique (essence) = 56.14 \geq F (1, 23) = 4.62,
- F statistique (gasoil) = 57.70 \geq F (1, 24) = 4.97.

Ce qui permet de conclure que les modèles sont globalement significatifs, ceci est confirmé avec la probabilité de nullité (= 0.0000) qui est inférieure à 0,01.

b. La significativité des paramètres :

Les paramètres du modèle estimé sont tous significativement différents de zéro (la régression pas à pas fait que nous ne retenons que les variables significatives et que les variables non significatives sont rejetées) (cf. annexe 3)

c. Test sur les résidus :

La représentation graphique de la série résiduelle actuelle et estimée, fournie directement par *EVIIEWS* est la suivante :

i. Pour le modèle essence :

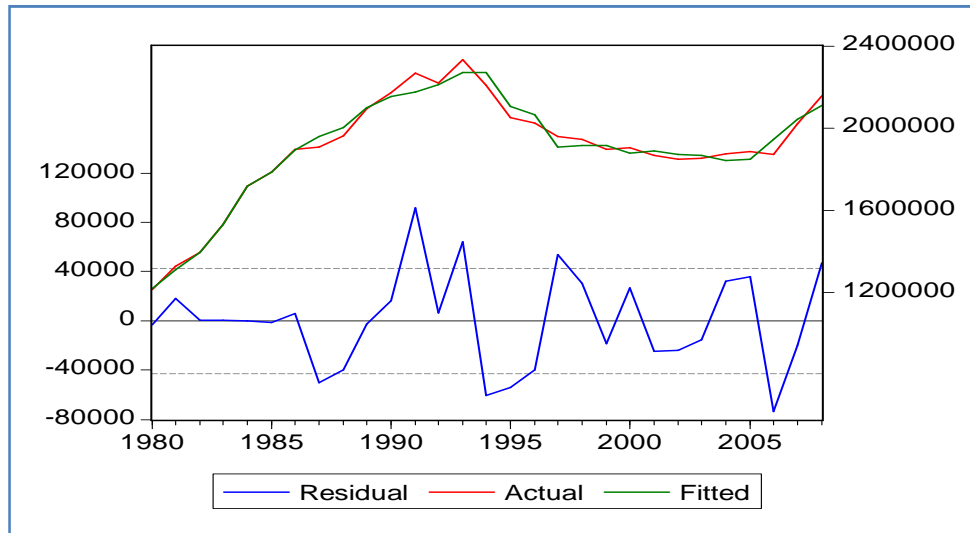


Figure II. 8: Représentation graphique de la série résiduelle, actuelle et estimée

ii. Pour le modèle gasoil :

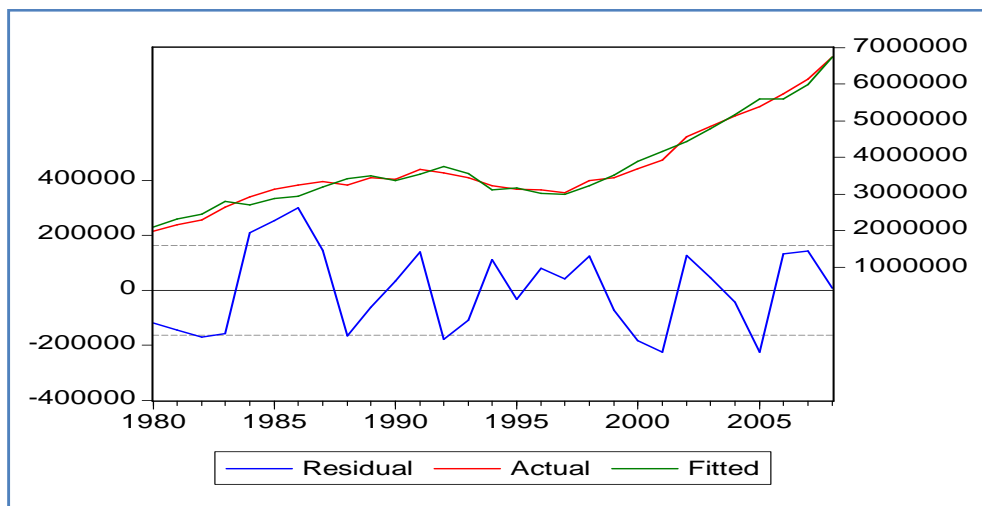


Figure II. 9: Représentation graphique de la série résiduelle, actuelle et estimée

A partir de ces deux représentations graphiques, nous constatons que les graphes des deux séries estimées sont semblables aux séries réelles, à un risque près, donc les modèles estimés expliquent bien les variations totales des variables dépendantes.

d. Test de Blancher des résidus

Nous allons appliquer le test de Durbin- Waston afin de vérifier la blancheur des résidus.

Les valeurs DW de Durbin Waston, fournie par *EViews* sont égales à 1,444560 et 1,342551 (essence et gasoil). Les valeurs critiques, lues dans la table de Durbin- Waston au seuil 0,01, sont: $d_1 = 0,88$ et $d_2 = 1,51$

Nous remarquons bien que les deux valeurs DW sont comprises dans l'intervalle $[d_1, d_2]$
Donc on ne peut rien conclure sur la blancheur des résidus.

Il faut utiliser la statistique de Ljung- Box Q pour vérifier si les résidus forment un bruit blanc. Afin d'appliquer ce test, nous commençons d'abord par examiner les corrélogrammes des résidus: Les deux corrélogrammes des résidus, fournis directement par *EViews*, sont représentés par la *figure II.10*.

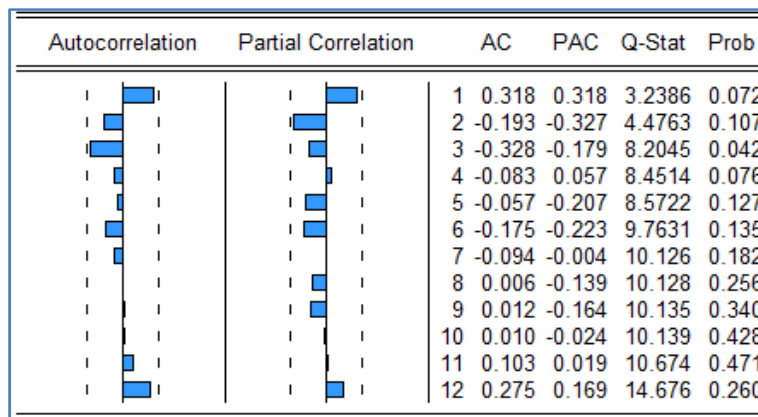


Figure II. 10 : Corrélogramme des résidus

Le logiciel *EViews* fournit les résultats des fonctions d'autocorrélation simple (colonne AC) et d'autocorrélation partielle (colonne PAC), ainsi que leur corrélogramme associé. Les bornes de l'intervalle de confiance sont stylisées par des pointillés horizontaux. Ainsi tous les termes qui sont à l'intérieur de cet intervalle sont significativement nuls et ceux qui sortent de ce dernier sont significativement différents de zéro, au seuil 1%.

L'analyse du corrélogramme des résidus (*figure II.10*) montre que tous les termes sont à l'intérieur de l'intervalle de confiance, donc on conclut que les résidus forment un bruit blanc. Ceci est confirmé par la statistique de Ljung- Box (Q - stat). En effet, cette statistique est inférieure à la valeur théorique de χ^2 (h) quelque soit le retard h, et particulièrement pour

$h= 12$, on a : Q- stat (12) = 14.676 inférieure à $\chi^2(12) = 21.03$, lue au seuil 0,01, donc les résidus forment bien un bruit blanc.

e. Test de normalité sur les résidus :

L'histogramme de la distribution des résidus, les valeurs empiriques de Skewness, de Kurtosis ainsi que la statistique de Jarque- Bera, fournis directement par *EViews*, sont donnés ci-après:

i. Pour le modèle essence :

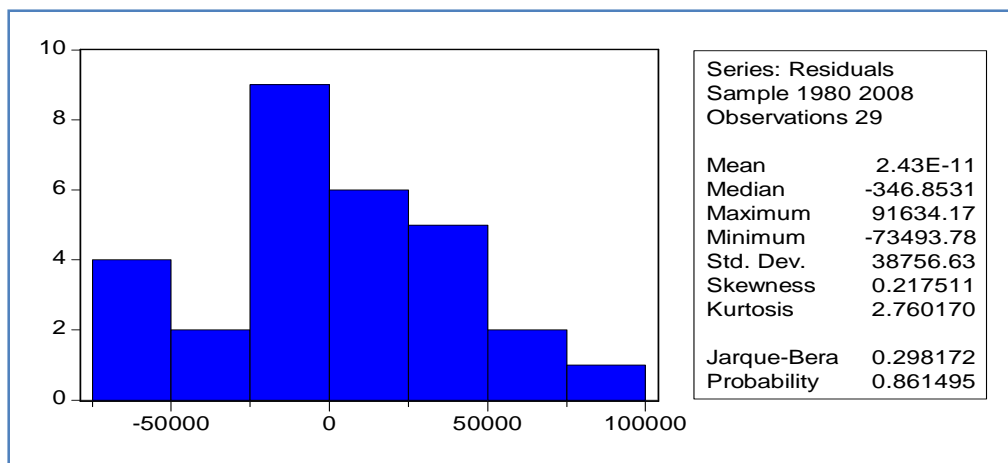


Figure II. 11 : Test de normalité des résidus pour le modèle essence

Le coefficient de Skewness (asymétrie) = 0.217511

Le coefficient de Kurtosis (aplatissement) = 2.760170

Sur cette base, je construis les statistiques centrées réduites correspondantes que l'on compare à 2.36 qui représente la valeur de la loi normale, au seuil 1%, comme suit :

$$v_1 = ((0.217511) / 6 / 29) = 1.0513 \text{ inférieur à } 2.36$$

$$v_2 = (3 - 2.760170) / ((26 / 29) = 0.2675 \text{ inférieur à } 2.36$$

L'hypothèse de normalité est donc acceptée. Ceci est confirmé par la statistique de Jarque-Bera, donnée par : $JB = 0.298172$. Cette statistique est inférieure à la statistique de $\chi^2(2)=(9.210)$ lue au seuil 0.01.

Donc les résidus forment bien un bruit blanc gaussien.

ii. Pour le modèle gasoil :

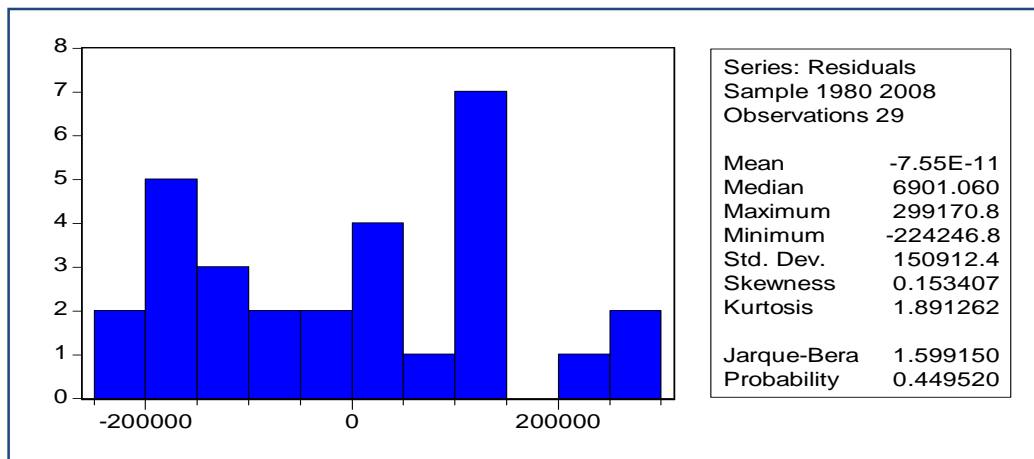


Figure II. 12 : Test de normalité des résidus pour le modèle gasoil

Le coefficient de Skewness (asymétrie) = 0.153407

Le coefficient de Kurtosis (aplatissement) = 1.891262

$v_1 = ((0.153407) / 6 / 29) = 0.74147$ inférieur à 1.96

$v_2 = (3 - 1.891262) / ((26 / 29) = 1.2367$ inférieur à 1.96

L'hypothèse de normalité est donc acceptée. Ceci est confirmé par la statistique de Jarque-Berra, donnée par : JB = 1.599150. Cette statistique est inférieure à la statistique de $\chi^2(2) = (5.991)$ lue au seuil 0.05.

Donc les résidus forment bien un bruit blanc gaussien.

f. Test d'existence de multi colinéarité entre les variables :

Lors de la modélisation des phénomènes économiques, les séries explicatives sont toujours plus ou moins liées entre elles et peut avoir en conséquence : une augmentation de la variance estimée de certains coefficients et instabilité des estimateurs.

Afin de détecter l'existence d'une multi- colinéarité entre les variables explicatives, nous allons appliquer le test de Klein. Ce test est fondé sur la comparaison du coefficient de détermination R^2 calculé sur le modèle estimé avec les coefficients de corrélation simple $r_{i,j}$ entre les variables explicatives (pour $i \neq j$).

i. Test de Klein :

La matrice des coefficients de corrélation entre les variables explicatives fournie par *EViews* est comme suit :

- **Modèle essence :**

	Tcr	P _{ess}	PARC	POP _{tc}	PIB
Tcr	1.000000	-0.566166	-0.750901	0.650383	-0.345008
P _{ess}	-0.566166	1.000000	0.866111	-0.817670	0.888985
PARC	-0.750901	0.866111	1.000000	-0.694961	0.856333
POP _{tc}	0.650383	-0.817670	-0.694961	1.000000	-0.575677
PIB	-0.345008	0.888985	0.856333	-0.575677	1.000000

Tableau II. 6: corrélation entre les variables explicatives pour le modèle essence

- **Modèle gasoil :**

	PIB	P _{gas}	POP _{act}	POP _{tc}
PIB	1.000000	0.882244	0.958200	-0.575677
P _{gas}	0.882244	1.000000	0.945360	-0.843904
POP _{act}	0.958200	0.945360	1.000000	-0.726914
POP _{tc}	-0.575677	-0.843904	-0.726914	1.000000

Tableau II. 7: corrélation entre les variables explicatives pour le modèle gasoil

On remarque bien que les coefficients de corrélation simple entre les variables explicatives sont tous inférieurs au coefficient de corrélation multiple pour les deux modèles explicatifs, donc on déduit l'absence de multi colinéarité.

ii. Test sur la stabilité du modèle (Test de CUSUM):

Le test de *CUSUM* (CUMulative SUM) permet de détecter les instabilités structurelles des équations de régression et d'étudier la stabilité du modèle estimé au cours du temps. Le test de *CUSUM* peut être effectué directement avec le logiciel *EViews*, le résultat est donné par le graphique suivant:

- **Modèle essence :**

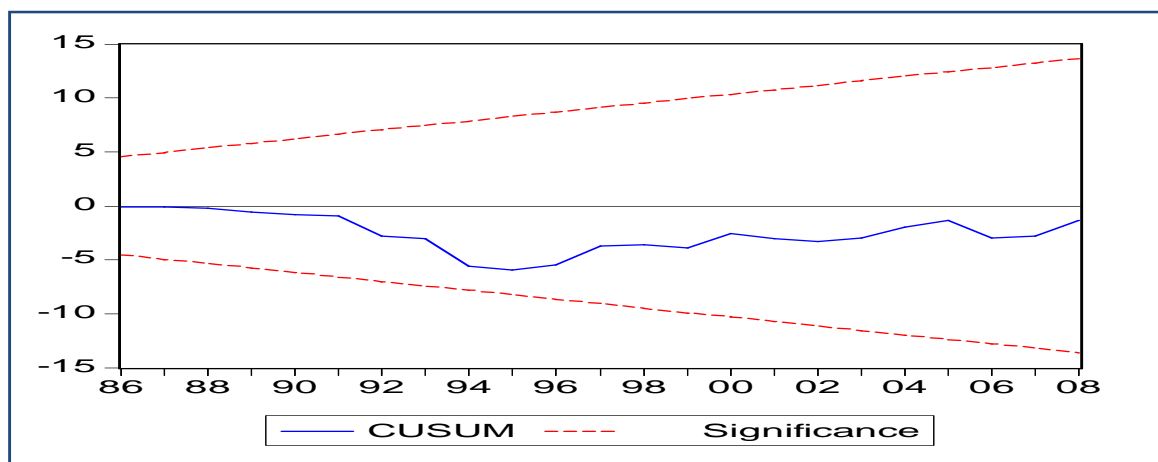


Figure II. 13 : Test de normalité des résidus

- **Modèle gasoil :**

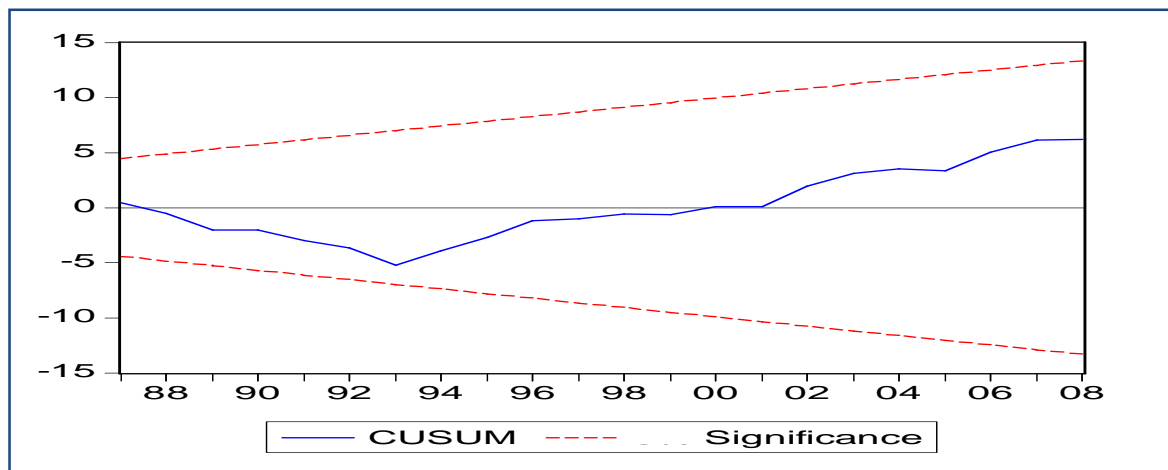


Figure II. 14 : Test de normalité des résidus

La statistique *CUSUM* reste toujours dans son intervalle de confiance, là encore on rejette l'hypothèse d'un changement structurel.

g. Conclusion :

Les modèles estimés sont globalement significatifs, stables, ses paramètres sont tous significativement différents de zéro et les résidus forment un bruit blanc gaussien, les modèles sont donc validés. Ces modèles expliquent bien l'évolution de la consommation d'essence et du gasoil, avec un taux de réalité égal à 97,9% et 98,9% respectivement.

5. Interprétation des résultats:

Après avoir construit les modèles, il conviendra d'interpréter l'influence de chaque variable explicative retenue sur chaque modèle.

a. Influences des variables explicatives sur la consommation d'essence :

i. Taux de croissance du parc automobile :

Le coefficient, correspondant à la variable explicative taux de croissance du parc, est positif (= +244662.8), ceci signifie qu'une augmentation de ce taux de croissance, aura un effet positif sur la consommation d'essence. En d'autres termes, une augmentation du taux de croissance du parc automobile implique que les nouveaux véhicules seraient plus susceptibles d'être des véhicules essence, ce qui ne pourra que renforcer la consommation d'essence.

ii. Prix de l'essence :

Le coefficient correspondant à la variable explicative P_{ess} (le prix de l'essence) est négatif (= **-3497.008951**), ce qui signifie qu'une augmentation du prix de l'essence aura un effet négatif sur sa consommation.

iii. Taille du parc automobile :

Le coefficient correspondant à la variable explicative taille du parc automobile est positif (= **+0.871814**), qui signifie qu'une augmentation du parc automobile aura un effet positif sur la consommation d'essence. Cet effet s'explique par le fait que les consommateurs de ce carburant augmentent.

iv. Nombre de voyageurs utilisant le transport en commun :

Le coefficient correspondant à la variable explicative Population utilisant le transport en commun est négatif (= **-0.001544**), qui signifie qu'une augmentation de la population utilisant le transport en commun aura un effet négatif sur la consommation d'essence. Ce qui est en cohérence avec le signe attendu, puisqu'une augmentation du transport en commun réduit le recours à la voiture particulière plus spécialement à la voiture essence.

v. PIB/capita :

Le coefficient, correspondant à la variable explicative PIB/capita (le Produit Intérieur Brut par capita), est positif (= **-1.954356**), ceci signifie qu'une augmentation du PIB/capita, aura un effet négatif sur la consommation d'essence. Le signe attendu de l'impact de la variable PIB/capita sur la consommation d'essence serait plutôt positif puisque une augmentation des revenus entrainerait une augmentation du déplacement par voiture particulière, cependant le résultat qu'on obtient montre une relation négative entre revenu et consommation d'essence, ce qui pourrait interpréter par une diésélisation du parc automobile avec l'augmentation du PIB/capita.

b. Influences des variables explicatives sur la consommation du gasoil :

i. PIB/capita :

Le coefficient, correspondant à la variable explicative PIB/capita (le Produit Intérieur Brut par capita), est positif (= + **4.282817**), ceci signifie qu'une augmentation du PIB/capita, aura un effet positif sur la consommation du gasoil. Ce qui est attendu en raison de l'impact positif des revenus sur la demande de mobilité des marchandises et aussi des voyageurs entraînant une plus grande consommation du gasoil.

ii. Prix gasoil :

Le coefficient correspondant à la variable explicative P_{gas} (le prix du gasoil) est négatif (= **-178064.3**), ce qui signifie qu'une augmentation du prix du gasoil aura un effet négatif sur sa consommation. Ce qui est en conformité avec ce qui est attendu, puisque une augmentation des prix entraînerait une hausse du coût de transport des voyageurs et des marchandises avec un impact négatif sur la mobilité et la consommation du gasoil.

iii. Population active :

Le coefficient, correspondant à la variable explicative population active, est positif (= **+0.661593**), ceci signifie qu'une augmentation de la population active, aura un effet positif sur la consommation du gasoil. Cet effet s'explique par le fait qu'une augmentation de la taille de la population active s'accompagnerait d'une augmentation de son revenu qui aurait un impact positif et accroîtrait le besoin de déplacement des voyageurs et des marchandises.

iv. Population utilisant le transport en commun :

Le coefficient correspondant à la variable explicative Population utilisant le transport en commun est positif (= **+0.004730**), qui signifie qu'une augmentation de la population utilisant le transport en commun aura un effet positif sur cette consommation. Puisque un accroissement du transport en commun a un impact positif direct sur la consommation de gasoil (véhicules des transports en commun sont équipés de moteurs diesel).

Conclusion :

Il ressort de ce chapitre que :

- La consommation d'essence est naturellement influencée par les facteurs suivants: Taux de croissance du parc automobile, prix d'essence, la taille du parc automobile, la population utilisant le transport en commun et le PIB/capita.
- La consommation du gasoil est influencée par les facteurs suivants: PIB/capita, prix du gasoil, la population active et la population utilisant le transport en commun.

Ces influences ont un impact positif ou négatif sur ces deux consommations comme on l'a vu précédemment.

Une fois que les deux modèles construits, il s'agira de faire des prévisions sur les variables endogènes qui sont la consommation d'essence et du gasoil. Pour cela, nous commencerons par faire des prévisions sur les variables explicatives définies ci-dessus, ensuite, nous injectons les prévisions obtenues dans les modèles des deux consommations.

Chapitre III : Prévision autoprojective de la consommation d'énergie

Introduction :

La prise de décision représente un moment crucial dans la vie des entreprises. Aussi, une attention de plus en plus importante est-elle accordée à l'amélioration de son processus.

L'un des aspects fondamentaux de cette amélioration consiste à distinguer les différents éléments qui composent le processus de prise de décision et d'agir sur chacun d'eux afin de ramener au plus bas les risques d'erreur. Dans ce cadre, la prévision est identifiée comme l'un des éléments clés sur lequel repose ce processus.

C'est porter un jugement sur les  v nements ou évolutions possibles à venir en utilisant comme outils le passé et le présent. Afin d'anticiper sur le futur (court terme, moyen terme ou à long terme).

La prévision de la consommation est définie comme la fonction permettant d'estimer la consommation future pour les biens et les services offerts par l'entreprise, pour que l'entreprise pourra planifier et adapter ses capacité à ses activités future en fonction de l'estimation de la consommation établie, cette prévision sera établie soit mathématiquement (données historiques), soit intuitivement (connaissance du marché), soit en combinant les deux méthodes. **(WIK)**

La prévision de la consommation permet de :

- Etablir les capacités de production requises pour ajuster l'offre à la demande
- Choisir les technologies appropriées pour répondre à l'offre
- Orienter la politique et les stratégies de gestion des stocks
- Déterminer les meilleures stratégies de production
- Planifier les besoins et l'utilisation des différents équipements
- Planifier les besoins en main d'œuvre.

Ce chapitre a pour objectif de projeter les variables endogènes, pour ce faire nous procéderons par la projection des variables exogène puis les injectées dans les modèles retenus dans le chapitre 2. Ce chapitre sera composé de deux sections. La première illustrera les méthodes de prévisions afin de choisir la méthode la mieux adaptée à chaque variable explicative. La deuxième section consistera à faire des prévisions sur la consommation des carburants à l'horizon 2015.

Section I : Méthodes de prédiction.

I. Les méthodes de prévisions :

Pour répondre aux diverses situations où des prévisions sont nécessaires, un certain nombre de méthodes ou techniques a été développé. Nous pouvons identifier des classes de méthodes de prédiction suivant la *figure III.1*.

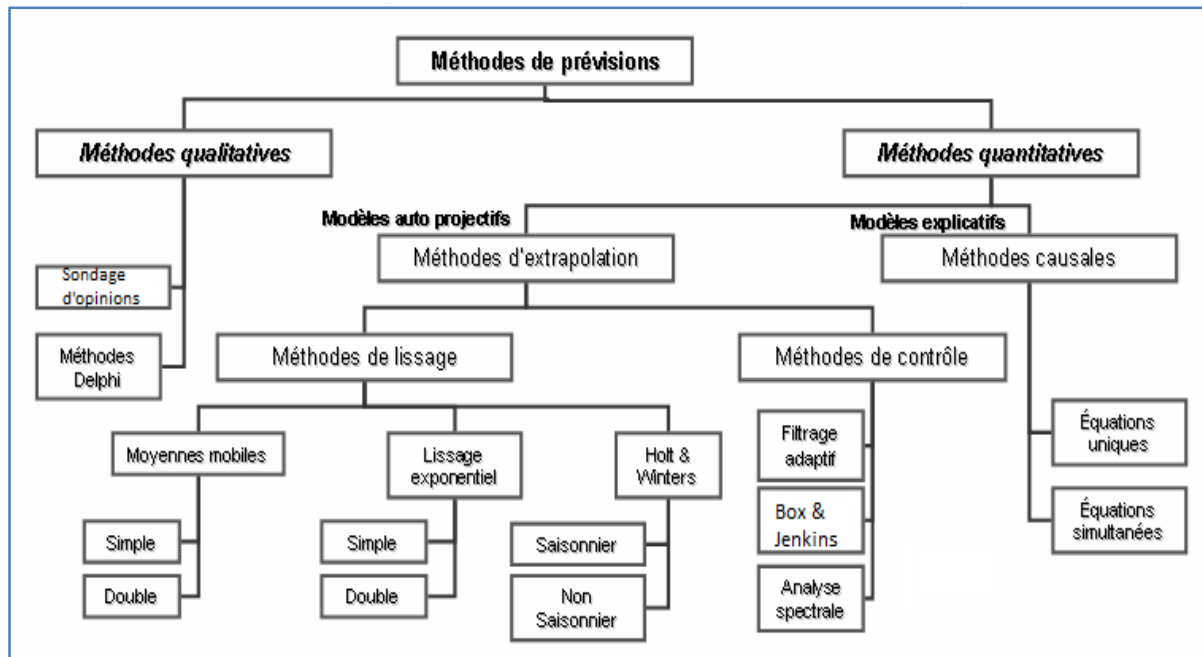


Figure III. 1 : Les méthodes de prévisions (BOURBONNAIS, 02)

Il existe principalement deux types d'analyses en termes de prédiction, les méthodes qualitatives et les méthodes quantitatives.

1. Méthodes Qualitatives :

Les méthodes qualitatives sont essentiellement basées sur l'opinion, la comparaison et le jugement.

a. Les sondages d'opinions : (BRUNET, 97)

Les sondages d'opinions consistent à réaliser un questionnaire qui sera présenté auprès d'un échantillon d'individus afin d'en déduire une estimation de la répartition de l'opinion de l'ensemble de la population.

Cette méthode fournit des informations précieuses car elles sont issues d'un contact direct avec les clients, cependant elles risquent d'être fauss es par le manque de subjectivité des personnes interrogées.

b. La méthode Delphi : (DEL)

La méthode Delphi consiste à organiser la consultation anonyme ou non d'un panel d'experts, soumis à des vagues successives de questionnement et fait appel entre autre à leur jugement intuitif et leurs connaissances dans le but d'établir des prévisions sur des questions pour lesquelles il n'existe pas de réponse absolue.

Les avantages de la méthode Delphi est la rapidité pour obtenir un consensus de la part de l'ensemble des participants et la facilité de mise en œuvre même avec des participants géographiquement éloignés.

En revanche cette méthodologie ne répond qu'à des questions à un seul paramètre et ne gère absolument pas les impacts inattendus liés à cette question.

2. Méthodes quantitatives :

Les méthodes quantitatives reposent généralement sur l'extrapolation de la demande dans le temps via l'utilisation de données de consommation passées et présentes.

Pour comprendre ces méthodes, il est nécessaire de présenter les caractéristiques des séries chronologiques (cf. annexe 3).

a. Lissage par Moyenne-Mobile (simple et double) (RADIC, 93)

La moyenne mobile constitue l'un des indicateurs de suivi de tendance par excellence. Il fait parti de la famille des filtres, et permet d'extraire de la série brute, une série lissée ne prenant en compte que le mouvement majeur, en éliminant les fluctuations non significatives encore appelées bruit.

Les propriétés du lissage par moyenne mobiles sont :

- La suppression de la composante saisonnière,
- L'atténuation de la composante résiduelle,
- La conservation de la tendance.

Il existe deux types de lissage par moyenne mobile :

- Lissage par moyenne mobile simple
- Lissage par moyenne mobile double

i. Lissage par Moyenne-Mobile simple :

Principe:

  partir d'un ensemble de valeurs observées, on calcule leur moyenne et on utilise la moyenne comme pr evision de la prochaine période.

Cette moyenne est dite *mobile* parce qu'elle est recalculée de façon continue, en utilisant à chaque calcul un sous-ensemble d'éléments dans lequel un nouvel élément remplace le plus ancien ou s'ajoute au sous-ensemble.

Formules mathématiques:

$$P_{t+1} = (\sum_{i=t-N+1}^t x_i) / N$$

- $\left\{ \begin{array}{l} P_t \text{ est la pr evision pour la période } t, \\ x_t \text{ est la valeur réelle pour la période } t, \\ N \text{ est observations considérées (ordre de la moyenne mobile).} \end{array} \right.$

Observations:

Il est également facile de voir que l'effet de lissage augmente quand N augmente, car on procède dans ce cas à un ajustement beaucoup plus faible d'une pr evision à l'autre.

Limite:

A partir de l'équation précédente on remarque que cette méthode donne un poids égal à chacune des «N» dernières valeurs de la série, et un poids égal à zéro aux valeurs observées avant.

D'autre part pour calculer la moyenne mobile, il faut disposer des valeurs des «N» dernières observations.

ii. Lissage par Moyenne-Mobile double :

Principe:

La m ethode des moyennes mobiles doubles calcule au d epart un jeu de moyennes mobiles simples et calcule ensuite une seconde moyenne mobile bas ee sur les valeurs de la premi ere moyenne mobile simple

Formules math ematiques:

$$S'_t = (\sum_{i=t-N+1}^t x_i) / N$$

- X_t est la valeur r eelle de la p eriode t ,
- S'_t est la pr evision pour la p eriode ' t ' par une moyenne mobile sur X_t ,
- N est le nombre de valeurs incluses dans la moyenne.

$$S''_t = (\sum_{i=t-N+1}^t S'_i) / N$$

- S''_t est la pr evision pour la p eriode ' t ' par une moyenne mobile sur S'_t ,

- On a :

$$\begin{cases} - a_t = 2 S'_t - S''_t, \\ - b_t = 2(S'_t - S''_t) / (N-1) \end{cases}$$

- O u :

$$\begin{cases} a_t : \text{Coefficient de la moyenne mobile double,} \\ b_t : \text{La constante de la moyenne mobile double} \end{cases}$$

$$S_{t+h} = a_t + h * b_t$$

- S_{t+h} : la pr evision à l'horizon « h »;

Limite :

Il faut qu'on ait à disposition $2N$ relevés de donn ees, ou deux fois le nombre exigé par le lissage simple .Il est clair que cette n ecessit  de stockage de donn ees important. On a recours alors à d'autres m ethodes de lissage notamment le lissage exponentiel qui suit.

b. Lissages exponentiels (simple et double) :

Les méthodes de lissages exponentiels constituent un outil permettant de réaliser des prévisions à partir de l'observation d'une série temporelle. Ces méthodes étant relativement basiques et simples de mise en œuvre, elles sont souvent utilisées dans l'industrie, notamment lorsque le nombre de prévisions à réaliser est important.

Nous présentons trois types de lissage exponentiel :

- le lissage exponentiel simple qui consiste à ajuster localement à la série temporelle une constante,
- le lissage exponentiel double qui ajuste quant à lui une droite,
- le lissage exponentiel de Holt-Winters qui considère des fonctions plus complexes (polynomiales, périodiques...).

i. Lissage exponentiel simple :

Principe :

Le lissage exponentiel applique le plus grand poids à l'observation la plus récente, et des poids décroissants aux valeurs plus anciennes. Cette décroissance de l'influence est de type exponentiel de là vient le nom de la technique.

Dans le principe, le lissage exponentiel fonctionne d'une manière analogue aux moyennes mobiles, par « lissage » des observations historiques, en vue d'éliminer leur contenu aléatoire. Le procédé mathématique permettant de réaliser ce lissage, cependant, est quelque peu différent de celui qu'on utilise dans les moyennes mobiles.

Formules mathématiques :

$$S_{t+1} = S_t + (1-\beta) (x_t - S_t)$$

Nous avons une prévision qui pondère l'observation la plus récente par le coefficient β et la prévision la plus récente par le coefficient $1-\beta$. On remarque immédiatement qu'elle élimine un des problèmes associés aux moyennes mobiles.

Développant la dernière formule en substituant la valeur S_t nous avons :

$$\begin{aligned} S_{t+1} &= \beta * x_t + (1-\beta) S_t \\ S_{t+1} &= \beta * x_t + (1-\beta) * (\beta x_{t-1} + (1-\beta) S_{t-1}) \\ S_{t+1} &= \beta * x_t + \beta(1-\beta) * x_{t-1} + (1-\beta)^2 * S_{t-1} \end{aligned}$$

En poussant plus loin la substitution, on obtient la relation générale :

$$S_{t+1} = \beta^* x_t + \beta(1-\beta)^* x_{t-1} + \beta(1-\beta)^2 * x_{t-2} + \beta(1-\beta)^3 * x_{t-3} + \dots$$

$$S_{t+1} = \beta \sum_{j=0}^{n-1} (1-\beta)^j x_{t-j}$$

$$S_{t+1} = S_t + \beta^*(x_t - S_t)$$

La méthode n'est pas bonne en présence de tendance, de composante saisonnière ou de fluctuations de hautes fréquences. En pratique le lissage exponentiel simple est assez peu utilisé. Il est évident que quand :

- β est proche de 1, la nouvelle prévision contient un réajustement substantiel tenant compte d'une erreur dans la prévision précédente, la prévision est souple c'est à dire influencée par les observations récentes.
- β est proche de zéro, la nouvelle prévision ne contient qu'un faible ajustement résultant de l'erreur dans l'ancienne prévision c'est des prévisions qui tiennent compte du passé lointain. Elles sont rigides et peu sensibles aux variations conjoncturelles.

Limite :

- Il n'y a pas de règles idéales pour déterminer la pondération appropriée
- Ces deux méthodes ne s'adaptent qu'aux données dont la loi sous-jacente est horizontale c'est-à-dire que pour des prévisions à court terme

ii. Lissage exponentiel double :

Le lissage exponentiel double fonctionne de la même façon que les moyennes mobiles doubles, sans souffrir de ces deux limitations. Le concept de base implicitement le contenu dans le lissage exponentiel double est tout à fait analogue à celui des moyennes mobiles doubles.

L'application du lissage exponentiel simple à une série chronologique comportant une loi de tendance donne des résultats systématiquement inférieurs à la tendance modifiée.

Donc, on utilise le lissage exponentiel double quand il y a une tendance.

Formules mathématiques :

Avec les mêmes notations mathématiques que celles utilisées pour la discussion des moyennes mobiles doubles, nous pouvons résumer les étapes du lissage exponentiel double.

Lissage exponentiel simple $S'_t = \beta x_{t-1} + (1-\beta) * S'_{t-1}$

Lissage exponentiel double $S''_t = \beta S'_t + (1-\beta) * S''_{t-1}$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Valeur de a} \\ \text{Valeur de b} \end{array} \right\} \begin{array}{l} a_t = 2 * S'_t - S''_t \\ b_t = \frac{\beta}{1-\beta} * (S'_t - S''_t) \end{array} \quad S_{t+m} = a_t + b_t * m$$

β : la constante du lissage exponentiel,
 m : le décalage de la prévision dans le futur, exprimé en nombre de périodes.

Limite :

Le lissage exponentiel double ne prend pas en considération la saisonnalité.

iii. Méthode de Holt-Winters :

Il existe des modèles ou on a des séries avec tendance et composante saisonnière. Dans ce cas Le modèle le plus approprié est celui de Holt et Winter car il est le seul à prendre en compte simultanément la composante saisonnière ainsi que celle de tendance.

Formules mathématiques :

$$\hat{Y}_{t+h}(h) = (S_t + h \times T_t) \times I_{t+2h-s}$$

Avec :

$$S_t = \alpha \times \left(\frac{Y_t}{I_{t-s}} \right) + (1-\alpha) \times (S_{t-1} + T_{t-1}), S_t: \text{Le niveau de la tendance}$$

$$T_t = \beta \times (S_t - S_{t-1}) + (1-\beta) \times T_{t-1}, T_t: \text{La pente de la tendance}$$

$$I_t = \gamma \times \left(\frac{Y_t}{S_t} \right) + (1-\gamma) \times I_{t-s}, I_t: \text{La composante saisonnière.}$$

Choix des valeurs initiales :

Initiation de la tendance : $T_{0s}=0$,

Initiation de la moyenne lissée : $S_{0s}=\bar{Y}$,

Initiation de la saisonnalité : $I_t = \frac{Y_t}{\bar{Y}} \quad t=1,s$

c. Techniques de contrôle : (MELARD, 08)

Distribution des données aléatoires, applicables aussi   n'importe quel type de chronique. On distingue :

i. Filtrage adaptatif :

Chacune des techniques exposées précédemment est fondée sur l'idée qu'on peut faire une prévision en utilisant une somme pondérée des observations passées. Sous la forme la plus générale, cette somme peut s'écrire :

$$S_{t+1} = \left(\sum_{i=t}^N w_i x_{t-i+1} \right)$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{t+1} = \text{prévision pour la période } t+1, \\ w_i = \text{le poids associé à l'observation } i, \\ x_i = \text{valeur observée à la période } i, \\ N = \text{nombre de pondération.} \end{array} \right.$$

On voit immédiatement que cette méthode consiste simplement en une règle, ou un ensemble de règles, décrivant la manière de déterminer les w_i .

La méthode de prévision à base de filtrage adaptatif est simplement une approche différente pour déterminer la pondération appropriée. Cependant, cette méthode cherche à déterminer la meilleure pondération.

Elle indique le moyen de régler les poids après calcul de l'erreur de prévision.

Sur le plan du principe ce procédé de réglage peut être exposé de la façon suivante : pour avoir une bonne prévision , nous souhaitons minimiser le carré moyen de l'erreur sur plusieurs prévisions . Les poids seront donc déterminés pour minimiser le carré moyen de l'erreur .

- Le filtrage adaptatif comble à coup sur une lacune dans les prévisions existantes, car il est capable de traiter toute une gamme de lois fondamentales dans une série chronologique.

- En raison de son efficacité, de sa simplicité de conception, de son attrait, il a gagné une large audience, car il comble les avantages du lissage exponentiel et de la méthode Box Jenkins, bien plus complexe

ii. Technique Box – Jenkins : (MONFORT, 78)

Box et Jenkins (1970) ont proposé une technique de prédiction pour une série univariée laquelle est fondée sur la notion du processus ARIMA. Cette technique possède plusieurs étapes: identification, estimation, vérification et validation ensuite la prédiction.

La figure suivante résume les différentes étapes de cette méthodologie :

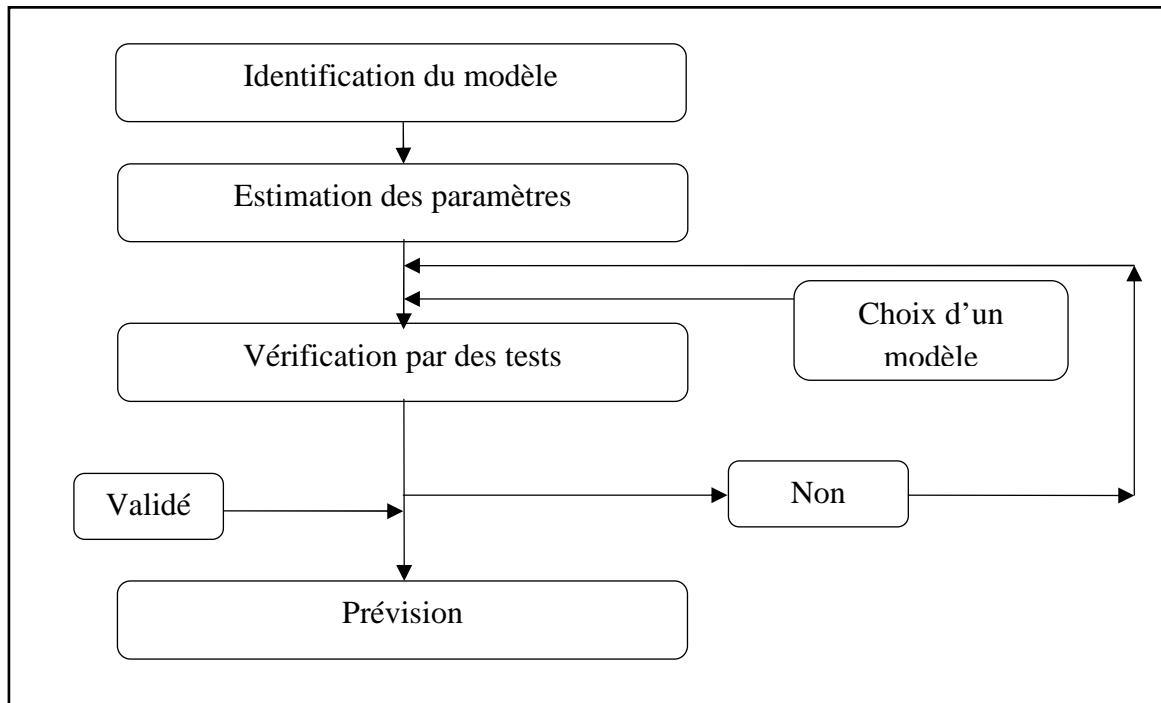


Figure III.2 : représentation des étapes de la méthode Box & Jenkins (MONFORT, 78)

La première étape consiste à identifier le modèle ARIMA (p,d,q) qui pourrait engendrer la série Y_t . Elle consiste, d'abord à tester la série grâce au test de Dickey-Fuller pour tester la stationnarité, dans le cas où elle est non stationnaire, on doit différencier la série afin de la rendre stationnaire (le nombre de différenciations détermine l'ordre d'intégration: d, et ensuite d'identifier le modèle ARMA(p,q) de la série transformée avec l'aide du corrélogramme simple et du corrélogramme partiel. Le graphique des coefficients d'autocorrélation (corrélogramme) et d'autocorrélation partielle (corrélogramme partiel) donnent les informations sur l'ordre du modèle ARMA.

La deuxième étape consiste à estimer le modèle ARIMA en utilisant une méthode non linéaire (moindres carrés non-linéaires ou maximum de vraisemblance). Ces méthodes sont appliquées en utilisant les degrés p , d et q trouvés dans l'étape d'identification, on prend le modèle celui avec R^2 max.

La troisième étape consiste à vérifier si le modèle estimé reproduit le modèle qui a engendré les données. Pour cela les résidus obtenus à partir du modèle estimé sont utilisés pour vérifier s'ils se comportent comme des erreurs bruit blanc à l'aide d'un test "portemanteau" (test global qui permet de tester l'hypothèse d'indépendance des résidus). Le test le plus usuel est le test proposé par Box-Pierce.

Si le modèle vérifie ces tests, alors on retient ce modèle et on procède à la prédiction, sinon on revient à l'étape 2.

Evidemment, comme chaque façon d'aborder un problème se traduira par une pondération différente, on peut s'attendre à obtenir, avec ces méthodes des résultats différents en matière de précision. On voit immédiatement que chacune de ces méthodes consiste simplement en une règle, ou un ensemble de règles, décrivant la manière de déterminer les w_i .

3. Tableau récapitulatif des méthodes de prédiction :

Signification des abréviations utilisées dans le tableau suivant :

- MMS : moyen mobile simple,
- MMD : moyen mobile double,
- LES : lissage exponentiel simple,
- LED : lissage exponentiel double,
- HW : Holt Winters,
- FA : filtrage adaptatif,
- BJ : Box & Jenkins.

	Tendance	Saisonnalité	Changement de structure
MMS	NON	NON	NON
MMD	OUI	NON	NON
LES	NON	NON	OUI
LED	OUI	NON	OUI
HW	OUI	OUI	OUI
FA	Applicable pour des séries quelconques		
BJ	Applicable pour des séries quelconques		

Tableau III. 1: Caractéristiques des méthodes de prévisions

D'après le tableau récapitulatif, nous retenons deux méthodes:

- Filtrage adaptatif,
- Box & Jenkins.

Mais due à la vitesse de convergence faible du filtrage adaptatif, cette méthode est exclue de notre choix.

Donc pour la projection des variables explicatives, nous utiliserons la méthodologie Box & Jenkins.

Section II : Application de la m ethodologie Box & Jenkins pour les variables explicatives :

Remarque :

Dans cette étude, nous disposons de donn ees annuelles, donc nos s eries chronologiques ne contiennent pas de saisonnalit e.

Nous proposons dans ce qui suit, d'appliquer la m ethodologie de Box & Jenkins pour chaque variable explicative retenue, ensuite nous injecterons les valeurs de pr evisions obtenues dans nos mod eles essence et gasoil afin de pr edire la consommation future de ces deux carburants.

I. Mise en œuvre de la m ethodologie Box & Jenkins sur les s eries:

La m ethodologie Box & Jenkins va être appliquée sur chacune des chroniques suivantes :

- La taille de la population utilisant le transport en commun POP_{tc} ;
- Le PIB,
- Prix gasoil,
- Prix essence,
- La taille du parc automobile,
- Le taux de croissance du parc automobile,
- La population active.

1. Etude de la s erie de la taille de la population utilisant le transport en commun (pop_{tc}):

a. Etude de la s erie brute POP_{tc} :

La s erie POP_{tc} repr esente l'évolution annuelle de la taille de la population qui utilise le transport en commun sur une p eriodes allant de 1980 à 2008.

La premi ere étape de cette étude consistera à l'analyse du graphe et du corr elogramme de la s erie.

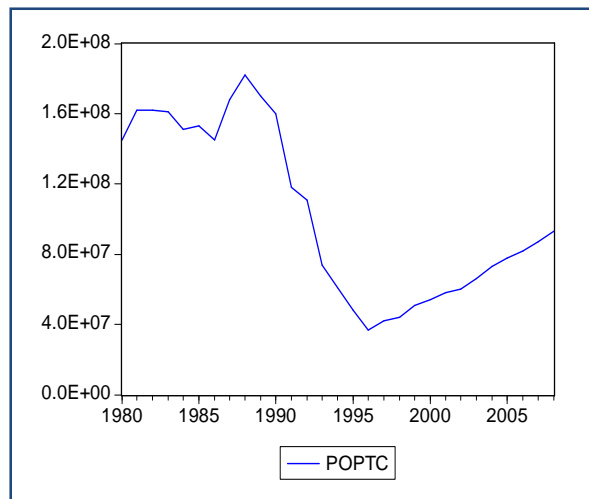


Figure III. 3 : Représentation graphique de la série Pop_{tc}

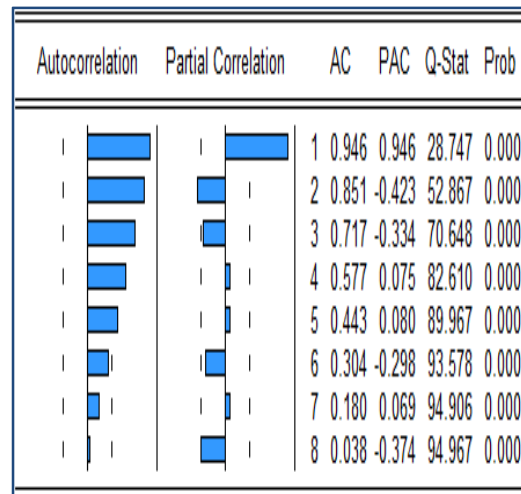


Figure III. 4 : Corrélogramme de la série la série POP_{tc}

D'après le graphique, la série est affectée d'une tendance, donc cette série est non stationnaire.

D'après le corrélogramme, les fonctions d'autocorrélation simple et partielle tendent lentement vers zéro, nous remarquons aussi de nombreux pics sortant de l'intervalle de confiance, ceci est une caractéristique d'une série non stationnaire, ceci coïncide avec l'analyse du graphe.

Il devient donc nécessaire de vérifier la non stationnarité de la série POP_{tc} en appliquant le test de Dickey-Fuller augmenté et d'identifier la nature du processus non stationnaire puis de le rendre stationnaire.

i. Test de Dickey-Fuller augmenté sur la série POP_{tc} :

Le test de Dickey- Fuller augmenté permet de mettre en évidence le caractère stationnaire ou non d'une chronique par la détermination d'une tendance. (BOURBONNAIS, 02)

Nous allons appliquer le Test de Dickey-Fuller augmenté sur la série POP_{tc} .

Pour ce faire, nous utiliserons le test programmé par le logiciel *EViews*. Le résultat est donné dans le *tableau III.2*

Modèles	T- calculé	Valeur critique de DF au seuil 1%	Comparaison entre les deux valeurs	Conclusion
Modèle 4	-0.171	-2.585	-0.171 > -2.585	Tendance non significativement
Modèle 5	-2.076	-3.494	-2.076 > -3.494	Constante non significativement
Modèle 6	-2.438	-4.049	-2.438 > -4.049	Série non stationnaire de type DS

Tableau III. 2 : Test de Dickey-Fuller augmenté sur la POP_{tc}

D'après le *Tableau III. 2* on accepte l'hypothèse H_0 d'existence d'une racine unitaire.

Nous remarquons aussi que le coefficient de la tendance ($@trend$) $\neq 0$ n'est pas significativement différent de zéro, la non stationnarité est de type DS.

La meilleure façon de rendre cette série stationnaire est de la différencier. La nouvelle série différenciée sera notée : $DPOP_{tc}$.

b. Etude de la série différenciée $DPOP_{tc}$:

La représentation graphique de la série différenciée $DPOP_{tc}$ est donnée par la *figure III.5*.

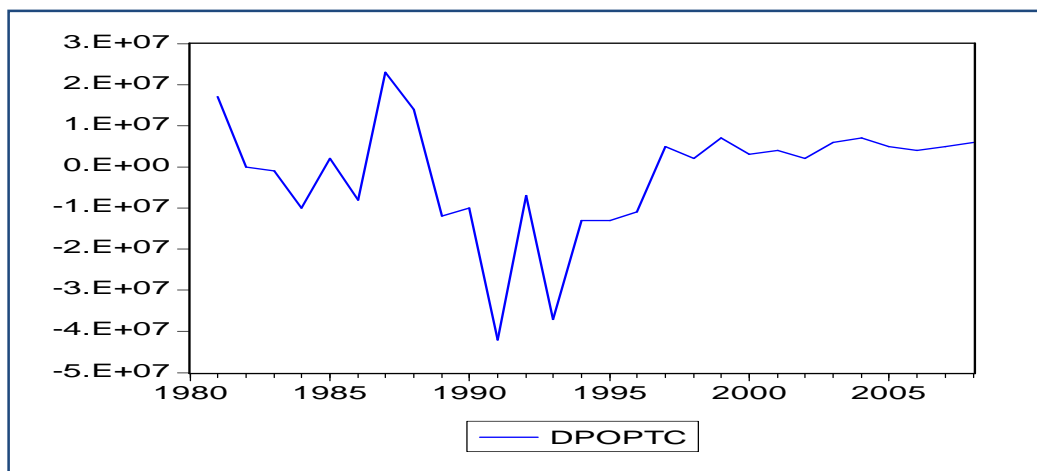


Figure III. 5 : Représentation graphique de $DPOP_{tc}$

Nous remarquons que l'effet de la tendance a été absorbé, la série semble être stationnaire, nous allons vérifier cela en appliquant le test de Dickey- Fuller augmenté à nouveau.

i. Test de Dickey-Fuller augmenté sur la série « DPOP_{tc} »:

Le test de Dickey Fuller appliqué à la série DPOP_{tc} a donné les résultats suivants (tableau III.3) :

Modèles	T- calculé	Valeur critique de DF au seuil 1%	Comparaison entre les deux valeurs	Conclusion
Modèle 4	-1.434	-2.675	-1.434 > -2.675	Tendance non significativement différente de zéro
Modèle 5	-1.454	-3.749	-1.454 > -3.749	Constante non significativement
Modèle 6	-1.721	-4.416	-1.721 > -4.416	Série non stationnaire de type DS

Tableau III. 3 : Test de Dickey-Fuller augmenté sur la DPOP_{tc}

D'après le *Tableau III. 3* on accepte l'hypothèse H_0 d'existence d'une racine unitaire.

Nous remarquons aussi que le coefficient de la tendance (@trend) $\neq 0$ n'est pas significativement différent de zéro, donc la non stationnarité est de type DS.

La meilleure façon de rendre cette série stationnaire est de la différencier une deuxième fois.

La nouvelle série sera notée : D2POP_{tc}.

c. Etude de la série différenciée D2POP_{tc}:

La représentation graphique de la série différenciée DPOP_{tc} est donnée par la *figure III.6*

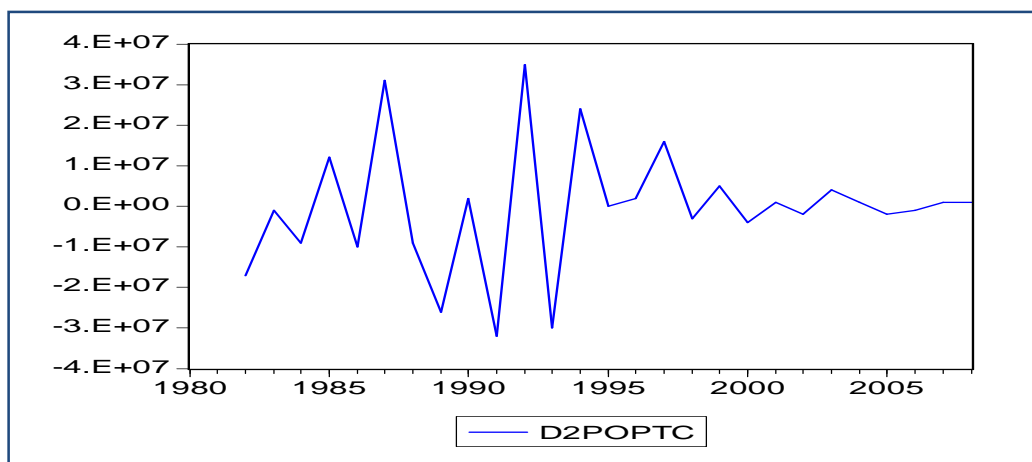


Figure III. 6 : Représentation graphique de D2POP_{tc}

Nous remarquons que l'effet de la tendance a été absorbé, la série semble être stationnaire, nous allons vérifier cela en appliquant le test de Dickey- Fuller augmenté de nouveau.

i. Test de Dickey-Fuller augmenté sur la série « D2POP_{tc} »:

Le test de Dickey Fuller appliqué à la série D2POP_{tc} a donné les résultats suivants (Tableau III.4) :

Modèles	T- calculé	Valeur critique de DFA au seuil 1%	Comparaison entre les deux valeurs	Conclusion
Modèle 4	-2.747	-2.675	-2.747 < -2.675	Tendance significativement différente de zéro
Modèle 5	-2.680	-3.766	-2.680 > -3.766	Constante non significativement
Modèle 6	-2.669	-4.441	-2.669 > -4.441	Série non stationnaire de type DS

Tableau III. 4 : Test de Dickey-Fuller augmenté sur la D2POP_{tc}

Pour le modèle 4 : T-calculé < Valeur critique de DFA au seuil 1% donc on retient le *modèle4* (On rejette l'hypothèse H₀ d'existence d'une racine unitaire).

Ce modèle est caractérisé par l'absence de la constante et de la tendance, ce qui implique la stationnarité du modèle. Donc notre modèle de prévision sera le modèle ARIMA (p, d, q).

Tel que : (p, q) seront défini grâce au corrélogramme du D2POP_{tc}, avec d=2 (puisque nous avons procédé à deux différenciation pour que la série soit stationnaire).

ii. Analyse du corrélogramme de D2POP_{tc} :

Cette analyse aura pour but de définir les paramètres (p,q) du modèle ARIMA, pour cela nous devons analyser les corrélogramme simple et partiel de D2POP_{tc}.

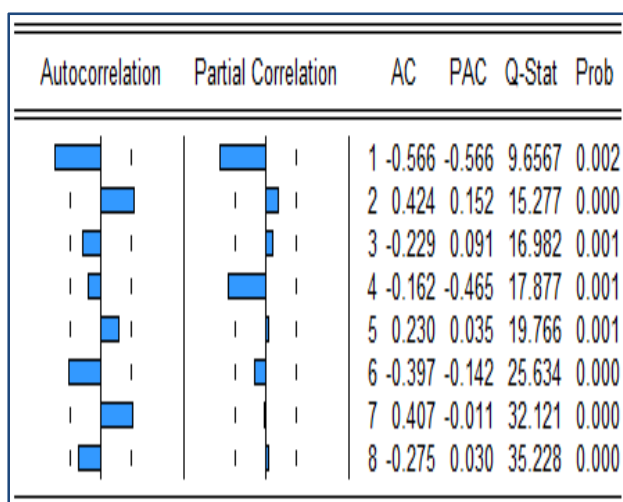


Figure III.7 : Corrélogramme de la série la série D2POP_{tc}

- D'après le corrélogramme simple de D2POP_{tc}, il y a quatre pics pour l'autocorrélation (1, 2, 6, 7), nous concluons que q= (1,2, 6, 7),
 - D'après le corrélogramme partiel de D2POP_{tc}, il y a deux pics pour l'autocorrélation (1,4), nous concluons que p= (1, 4).
- Donc, nous devons tester toutes les combinaisons possibles et retenir le modèle avec le meilleur taux de réalité 'R²'.

c. Choix du modèle :

Le tableau ci-dessus résume les caractéristiques obtenues par *Eviews* pour chaque modèle de prévision retenu pour la variable POP_{tc} .

Modèles	AR(1)	AR(4)	MA(1)	MA(2)	MA(6)	MA(7)	ARIMA(1,2,1)	ARIMA(1,2,2)
R^2	0.337	0.028	0.261	0.273	0.490	0.433	0.339	0.383
P	0.001	0.429	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.050

ARIMA(1,2,6)	ARIMA(1,2,7)	ARIMA(4,2,1)	ARIMA(4,2,2)	ARIMA(4,2,6)	ARIMA(4,2,7)
0.695	0.609	0.313	0.673	0.585	0.746
0.000	0.011	0.010	0.000	0.000	0.000

Tableau III. 5 : Caractéristique des modèles retenus pour $D2POP_{tc}$

Suivant les R^2 et les probabilités mentionnés dans le *tableau III.5* le modèle ARIMA (1, 2, 6) sera choisi pour représenter le processus.

En effet, le modèle ARIMA (1, 2, 6) est celui avec le R^2 maximum et sa probabilité est acceptée au seuil 1%. Donc on retient le modèle ARIMA (1, 2, 6).

d. Test sur les résidus :

Après avoir choisi le modèle le mieux adapté pour représenter la chronique, nous passerons à l'analyse des résidus. La représentation graphique de la série résiduelle, actuelle et estimée fournie directement par *EIEWS* est donnée par la *figure III.8*

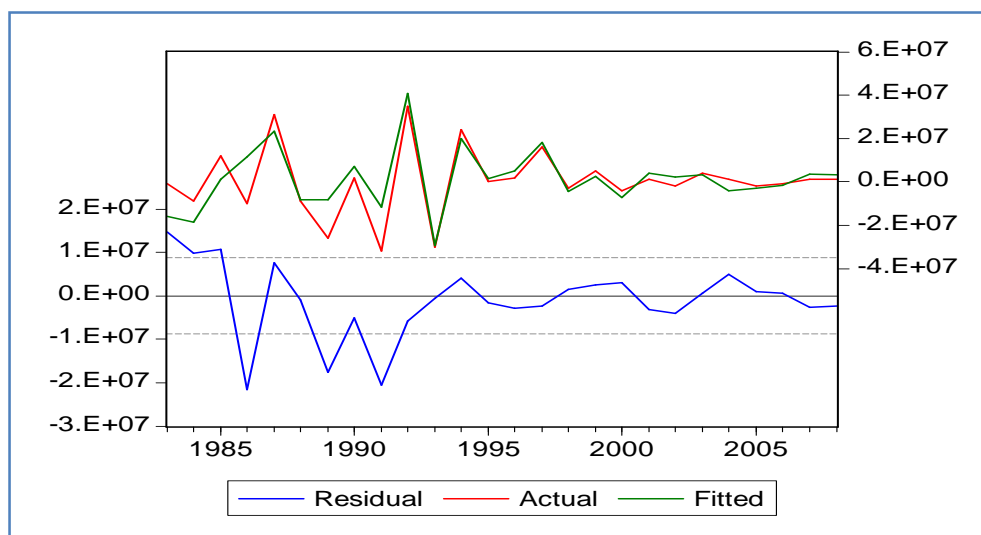


Figure III. 8 : Représentation graphique de la série résiduelle, actuelle et estimée de $D2POP_{tc}$

A partir de la représentation graphique de la série résiduelle de $D2POP_{tc}$, nous constatons que le graphe estimée est semblable à celui de la série réelle à quelques pics près, donc ce modèle explique la variation total de la variable dépendante ($R^2(D2Pop_{tc})= 0,695$).

Les résidus calculés à partir du modèle estimé jouent un rôle important dans cette dernière étape. En effet il s'agira avant tout, de vérifier que les résidus forment bien un bruit blanc.

Par la suite, il s'agira de vérifier que les résidus suivent une loi normale.

i. Analyse du corrélogramme des résidus du modèle ARIMA (1, 2, 6) :

Le corrélogramme du modèle ARIMA (1, 2, 6) est représenté par la *figure III.9* :

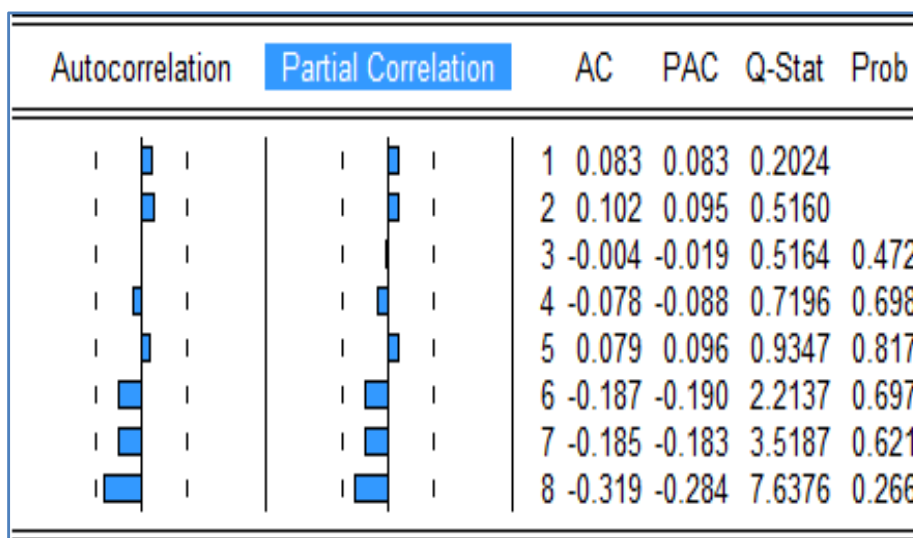


Figure III. 9 : Corrélogramme des résidus du modèle ARIMA (1, 2, 6)

L'analyse du corrélogramme des résidus, montre que tous les termes sont à l'intérieur de l'intervalle de confiance, les résidus forment donc un bruit blanc. Ceci est confirmé par la statistique de Ljung-Box (Q - stat) fournie directement par *EViews* qui est inférieure à la valeur théorique de $\chi^2(h)$ pour le retard h tel que $h= 8$. En effet, Q - stat (8) = 7.6376 inférieur à $\chi^2(8) = 20.90$ lue au seuil 0,01. Les résidus forment donc un bruit blanc.

ii. Test de normalité sur les résidus de ARIMA (1, 2, 6) :

L'histogramme de la distribution et les valeurs empiriques de Skewness et Kurtosis, de la statistique de Jarque- Bera sont donnés dans la *figure III.10* :

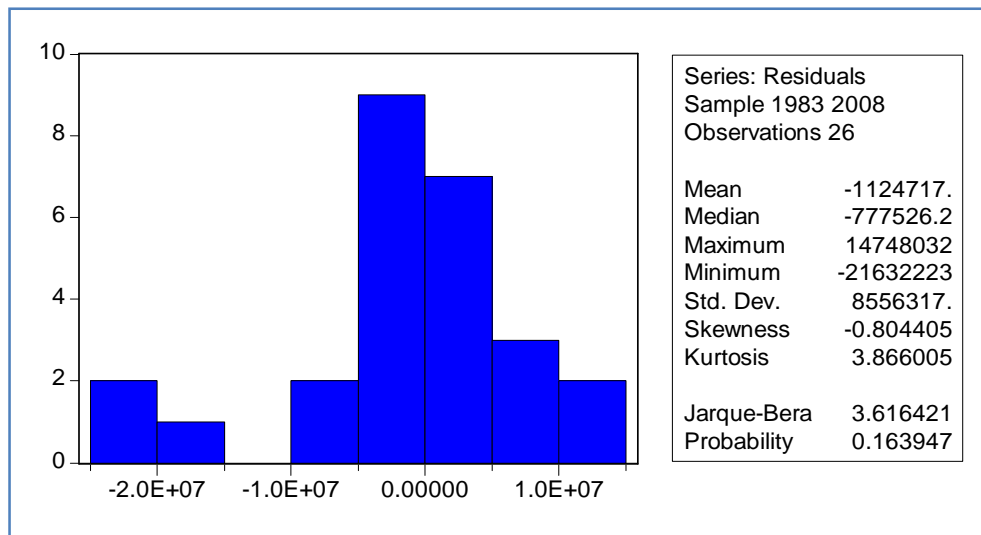


Figure III. 10 : Histogramme de la distribution des résidus du modèle ARIMA (1, 2, 6)

Le coefficient de Skewness (asymétrie) = -0,804405

Le coefficient de Kurtosis (aplatissement) = 3,866005

Nous construisons alors les statistiques centrées réduites correspondantes, que nous comparons à 2.36, cette valeur représente la valeur de la loi normale au seuil 1%, on obtient :

$$v_1 = (0,804405)^{1/2} / (6 / 27) = 0,1993 \quad \text{inférieure à } 2,36$$

$$v_2 = (3,866005 - 3) / (26 / 29) = 0,7764 \quad \text{inférieure à } 2,36$$

L'hypothèse de normalité est donc acceptée, ceci est confirmé par la statistique de Jarque-Berra, en effet : $JB = 3.616421$ inférieure à $\chi^2(2) = 9,210$

Nous pouvons alors conclure que les résidus forment bien un bruit blanc gaussien.

Le modèle ARIMA (1, 2, 6) est donc validé.

Une fois le modèle validé, on aborde la dernière phase qui est la prédiction.

2. Prédiction de POP_{tc} :

Avant de procéder à la prédiction, nous devons calculer les caractéristiques de validation du modèle pour connaître sa fiabilité.

a. Taux de réalité (qualité) du modèle ARIMA(1,2,6) : (BOUKABOUS, 08)

Un modèle dont les paramètres ont été estimés peut être utilisé afin de réaliser des prévisions. Avant de prévoir, il est indispensable d'estimer la qualité (taux de réalité) du modèle afin de le valider.

Pour cela, nous devons faire des prédictions et les comparées avec les valeurs d'apprentissage (données servant à élaborer le modèle de prévision) afin de connaître la précision de notre modèle.

On a :

$$ERMA = \frac{\sum_{t=1}^p \frac{(x_t - \hat{x}_t)^2}{x_t}}{P}$$

Avec :

P : Le nombre d'observations de prédictions.

x_t : Valeur d'apprentissage à l'instant 't'

\hat{x}_t : La prédiction à l'instant 't'

$$TR = (1 - ERMA) * 100$$

L'application de ces formules pour le nombre de voyageurs utilisant le transport en commun donne :

$$ERMA = 4,39\% \quad TR (pop_{tc}) = 95,61\% \quad R^2 = 98,7\%$$

La représentation graphique de la série réelle et des prédictions fournie par le modèle ARIMA (1, 2, 6) par EXCEL est donnée par la *figure III.11*

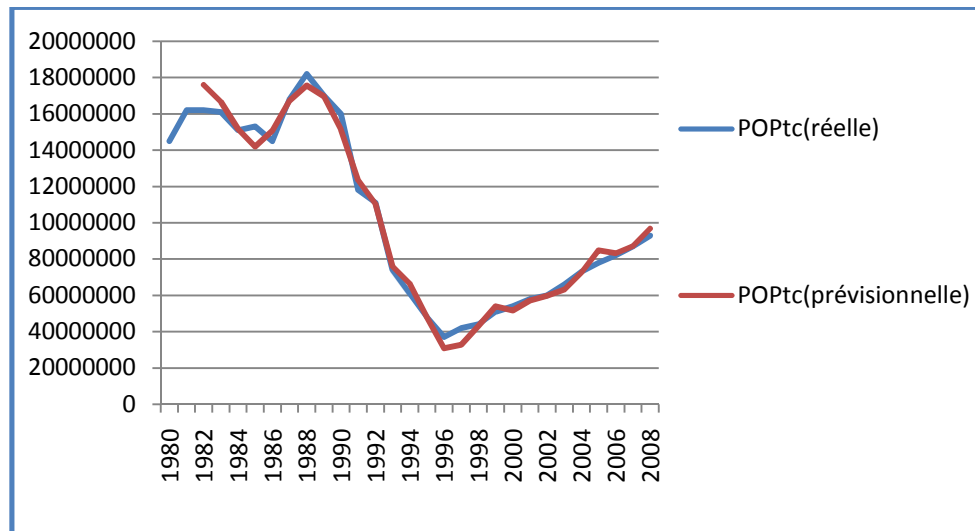


Figure III. 11 : évolution de la population utilisant le transport en commun réelle et prévue

D'après le graphique nous constatons que la courbe prévisionnelle est semblable à la courbe réelle, ce qui justifie le taux de réalité de 98,7%.

Une fois le modèle validé, nous aborderons la phase prévisionnelle.

b. La prédiction de POP_{tc} à l'horizon:

Les valeurs prévues du nombre de voyageurs qui utilise le Transport en Commun POP_{tc} fournies par *EVIIEWS* sur une période de 7 ans sont résumées dans le *tableau III.6* et par le graphique de la *figure III. 12* fournie par Excel :

Année	Prévisions
2009	103597001
2010	117123985
2011	139803595
2012	163912116
2013	195128651
2014	229959426
2015	269878017

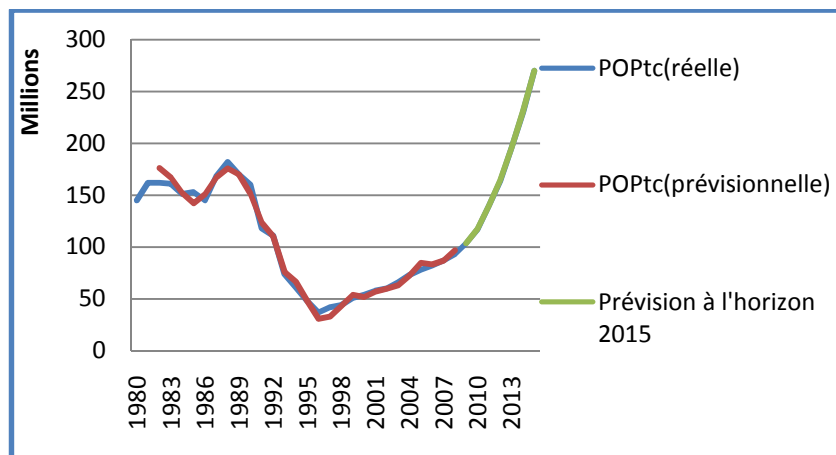


Tableau III. 6 : La prédiction de la POP_{tc}

Figure III. 12 : La prédiction de la POP_{tc}

La *figure III.12* montre que pour les 7 prochaines années (2009, 2015) il est attendu que la nombre de voyageurs utilisant le transport en commun POP_{tc} progresse.

En effet, la population transportée par les transports en commun va enregistrer un taux de croissance positif pour atteindre le niveau prévisionnel 270 millions à l'horizon 2015.

3. Prévisions des variables explicatives :

La prédiction de la taille de la population utilisant le transport en commun étant établie, nous aborderons le même travail pour la prédiction des autres variables explicatives restante. Nous effectuerons un tableau qui résume les modèles retenus et leurs caractéristiques.

	PIB/capita	P _{gas}	P _{ess}	PARC	T _{cr}	POP _{act}
Modèle retenue	ARIMA (4,3 ,0)	ARIMA (5,3 ,2)	ARIMA (1,2 ,3)	ARIMA (0,2 ,0)	ARIMA (1,1, 2)	ARIMA (1,3, 1)
R²	99,90%	100%	99,50%	99,80%	96,3%	100%
Taux de réalité	95,42%	94,33%	87,66%	99,17%	79,80%	99,70%

Tableau III. 7 : Les prévisions des variables explicatives

a. La prédiction du PIB/capita:

Les valeurs prévues du PIB/capita fournies par *EVIIEWS* sur une période de 7 ans sont résumées dans le *tableau III.8* et par le graphique de la *figure III. 13* fournie par Excel :

Année	Prévisions
2009	363837,36
2010	423590,52
2011	472357,98
2012	523375,60
2013	593385,33
2014	665712,63
2015	746275,43

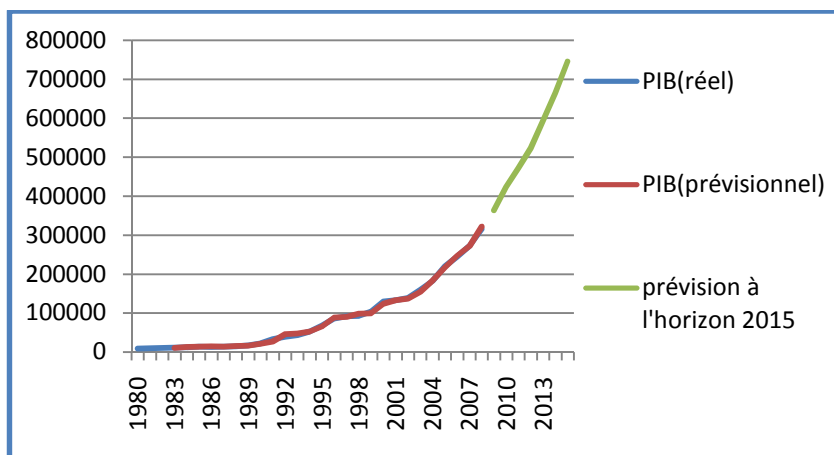


Tableau III. 8 : La prédiction du PIB/capita

Figure III. 13 : La prédiction du PIB/capita

La *figure III.13* montre que pour les 7 prochaines années (2009, 2015) il est attendu que le PIB/capita progresse.

En effet, le PIB/capita va enregistrer un taux de croissance positif pour atteindre le niveau prévisionnel 746 milles da à l'horizon de 2015.

b. La prédiction du prix gasoil (P_{gas}):

Les valeurs prévues du prix de gasoil P_{gas} fournies par *EVIIEWS* sur une période de 7 ans sont résumées dans le *tableau III.9* et par le graphique de la *figure III. 14* fournie par Excel :

Année	Prévisions
2009	13,72
2010	13,79
2011	13,92
2012	14,13
2013	14,47
2014	14,93
2015	15,57

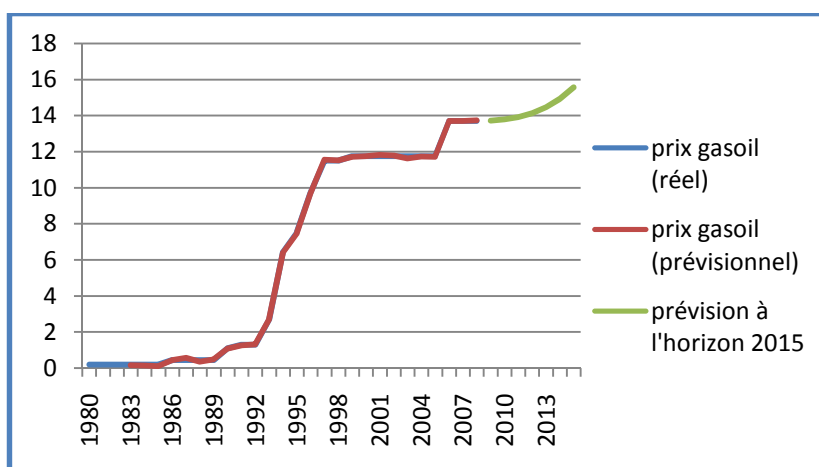


Tableau III. 9 : La prédiction du P_{gas}

Figure III. 14 : La prédiction du P_{gas}

La figure III.14 montre que pour les 7 prochaines années (2009, 2015) il est attendu que le P_{gas} progresse.

En effet, le P_{gas} va enregistrer un taux de croissance positif pour atteindre le niveau prévisionnel 15,57da à l'horizon de 2015.

c. La prédiction du P_{ess} :

Les valeurs prévues du prix d'essence P_{ess} fournies par *EVIIEWS* sur une période de 7 ans sont résumées dans le *tableau III.10* et par le graphique de la *figure III. 15* fournie par Excel :

Année	Prévisions
2009	21,29
2010	21,43
2011	21,45
2012	21,43
2013	21,36
2014	21,23
2015	21,04

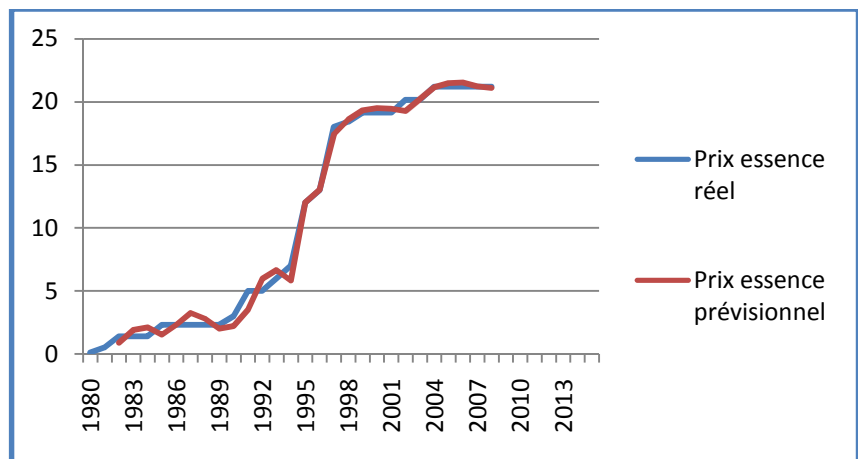


Tableau III. 10 : La prédiction du P_{ess}

Figure III. 15 : La prédiction du P_{ess}

La figure III.15 montre que pour les 7 prochaines années (2009, 2015) il est attendu que le P_{ess} reste stable sur toute cette période.

En effet, le P_{ess} va enregistrer une stabilité de 21,2da à l'horizon de 2015.

d. La prédiction de la taille du parc automobile (PARC):

Les valeurs prévues de la taille du parc automobile PARC fournies par *EVIIEWS* sur une période de 7 ans sont résumées dans le *tableau III.11* et par le graphique de la *figure III. 16* fournie par Excel :

Année	Prévisions
2009	3912803
2010	4095318
2011	4278275
2012	4461675
2013	4645518
2014	4829803
2015	5014531

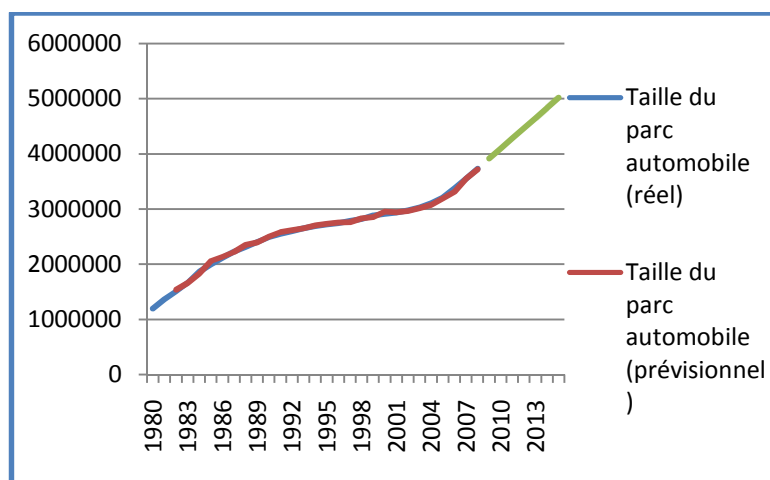


Tableau III. 11 : La prévision du PARC

Figure III. 16 : La prévision du PARC

La figure III.16 montre que pour les 7 prochaines années (2009, 2015) il est attendu que le PARC progresse.

En effet, le PARC va enregistrer un taux de croissance positif pour atteindre le niveau prévisionnel 5M de véhicules à l'horizon 2015.

e. La prévision du Tcr:

Les valeurs prévues du taux de croissance parc automobile Tcr fournies par *EVIIEWS* sur une période de 7 ans sont résumées dans le *tableau III.12* et par le graphique de la *figure III. 17* fournie par Excel :

Année	Prévisions
2009	0,070
2010	0,080
2011	0,092
2012	0,103
2013	0,118
2014	0,131
2015	0,148

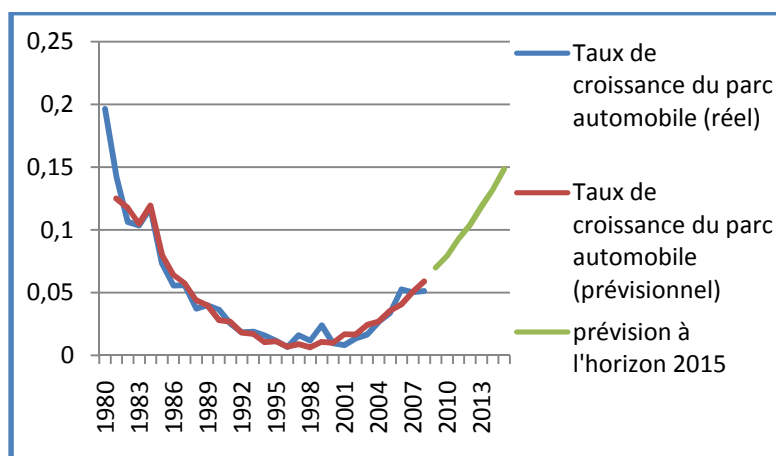


Tableau III. 12 : La prévision du Tcr

Figure III. 17 : La prévision du Tcr

La figure III.17 montre que pour les 7 prochaines années (2009, 2015) il est attendu que le Tcr reste stable sur toute cette période.

En effet, le Tcr augmentera à la valeur de 14,8% à l'horizon de 2015.

f. La prédiction de la taille de la population active (POP_{act}):

Les valeurs prévues de la taille de la population active POP_{act} fournies par *EVIIEWS* sur une période de 7 ans sont résumées dans le *tableau III.131* et par le graphique de la *figure III. 18* fournie par Excel :

Année	Prévisions
2009	13912883
2010	14368599
2011	14843727
2012	15339534
2013	15858021
2014	16401128
2015	16970942

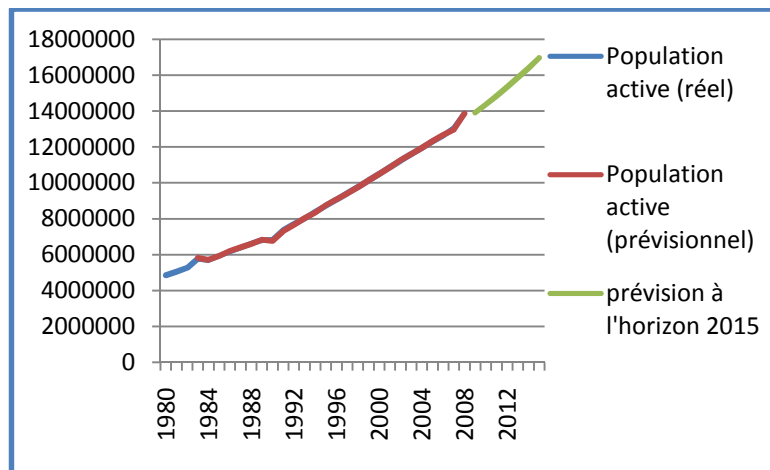


Tableau III. 13 : La prédiction du POP_{act}

Figure III. 18 : La prédiction du POP_{act}

La *figure III.18* montre que pour les 7 prochaines années (2009, 2015) il est attendu que le POP_{act} progresse.

En effet, le POP_{act} va enregistrer un taux de croissance positif pour atteindre le niveau prévisionnel 16,97M de travailleurs à l'horizon 2015.

2. La prédiction de la consommation du gasoil et d'essence :

Les prévisions des variables explicatives sont résumées dans le *tableau III. 14*:

	POP _{tc}	PIB	P _{gas}	P _{ess}	PARC	Tcr	POP _{act}
2009	103597001	363837,36	13,72	21,29	3912803,74	0,06985	13912882,82
2010	117123985	423590,52	13,79	21,43	4095318,22	0,07930	14368598,69
2011	139803595	472357,98	13,92	21,45	4278275,44	0,09250	14843726,71
2012	163912116	523375,60	14,13	21,43	4461675,41	0,10381	15339534,43
2013	195128651	593385,33	14,47	21,36	4645518,11	0,11873	15858021,66
2014	229959426	665712,63	14,93	21,23	4829803,56	0,13190	16401128,01
2015	269878017	746275,43	15,57	21,04	5014531,74	0,14854	16970942,53

Tableau III. 14 : Tableau récapitulatif des Prévisions des variables explicatives

Ces valeurs de prédiction obtenues sont déterminées sur la base des tendances passées. Après avoir déterminé ces valeurs, nous allons les injectées dans nos modèles (essence, gasoil), dans le but de prévoir la consommation de ces carburants.

a. Pour le modèle essence :

$$C_{ess} = 369680,5 + 244662,8 * Tcr - 35885,62 * P_{ess} + 0,871814 * Parc - 0,001544 * Pop_{act} - 1,954356 * PIB$$

Ce modèle possède un $R^2=97,9\%$ et un taux de réalité = 97,83% pour un risque $\alpha = 1\%$, donc ce modèle est fiable, ainsi nous pouvons l'appliquer.

Les prévisions de la consommation d'essence C_{ess} fournies par le modèle sur une période de 7 ans sont résumées dans le *tableau III.15* et par le graphique de la *figure III. 19* fournie par Excel :

Année	Prévisions
2009	2162980,929
2010	2181723,075
2011	2213413,281
2012	2239858,643
2013	2221275,373
2014	2194693,345
2015	2147548,719

Tableau III. 15 : La prévision de C_{ess}

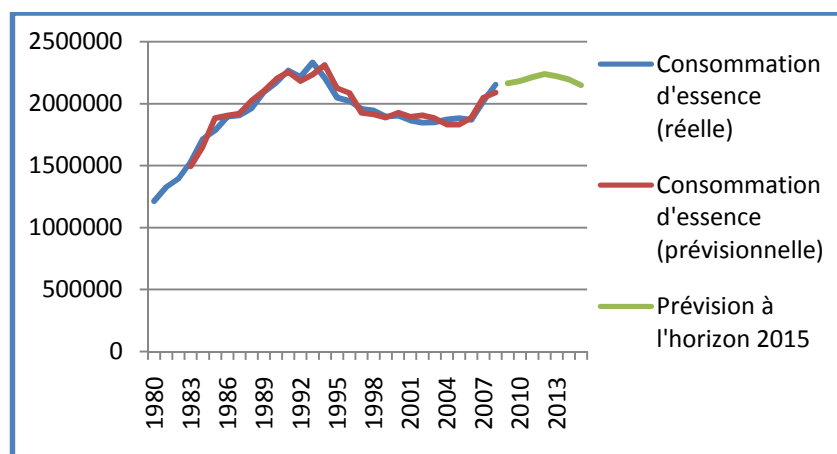


Figure III. 19 : La prévision de C_{ess}

La *figure III.19* montre que pour les 4 prochaines années (2009, 2012) il est attendu que la consommation d'essence progresse (taux de croissance positif) pour atteindre le niveau prévisionnel 2,24M tonnes. Alors que durant la période 2012 à 2015, nous constatons une légère diminution de la consommation d'essence.

b. Pour le modèle gasoil :

$$C_{gas} = -1805347 + 4,282817 * PIB - 178064,3 * P_{gas} + 0,661593 * Pop_{ac} + 0,004730 * POP_{tc}$$

Ce modèle possède un $R^2=98,3\%$ et un taux de réalité = 97,13%, donc ce modèle est fiable, ainsi nous pouvons l'appliquer.

Les prévisions de la consommation d'essence C_{ess} fournies par le modèle sur une période de 7 ans sont résumées dans le *tableau III.16* et par le graphique de la *figure III. 20* fournie par Excel :

Année	Prévisions
2009	7004539,333
2010	7613467,745
2011	8220797,420
2012	8843959,269
2013	9573938,001
2014	10325857,940
2015	11122732,750

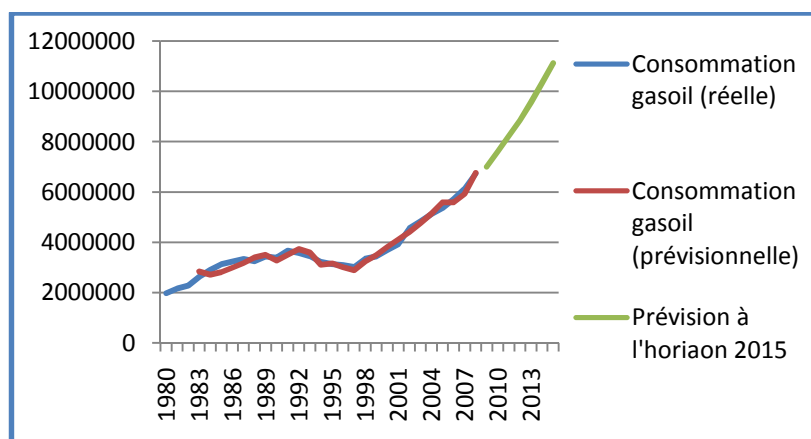


Tableau III. 16 : La prévision de C_{gas}

Figure III. 20 : La prévision de C_{gas}

La figure III.20 montre que pour les 7 prochaines années (2009, 2015) il est attendu que la consommation du gasoil progresse fortement (taux de croissance positif) pour atteindre le niveau prévisionnel 11,12M tonnes à l'horizon 2015.

II. Comparaison entre la méthode causale et la méthode auto-projective pour les deux modèles :

1. Pour le modèle essence :

L'application de la méthodologie Box & Jenkins fournit que le modèle retenu pour la prévision de la consommation de l'essence est le modèle ARIMA (1, 2, 3) possédant un $R^2=88,9\%$ et un taux de réalité = 97,25%.

Alors que le modèle causale possède un $R^2=97,9\%$ et un taux de réalité = 97,83%

2. Pour le modèle gasoil :

L'application de la méthodologie Box & Jenkins fournit que le modèle retenu pour la prévision de la consommation de gasoil est le modèle ARIMA (6, 3, 2) possédant un $R^2=97,9\%$ et un taux de réalité = 96,62%.

Alors que le modèle causale possède un $R^2=98,3\%$ et un taux de réalité = 97,13%, les deux modèles sont assez proches à epsilon près.

Nous déduisons que le modèle causale est plus fiable que le modèle issu de Box & Jenkins, ceci dû à la prise en considération de l'historique de plusieurs variables explicatives pour le modèle causale, alors que la méthode de Box & Jenkins (méthode autoprojective) ne prend en considération que l'historique de la variable à expliquée.

Conclusion :

Lors de l'application de la méthodologie Box & Jenkins sur les variables explicatives, on constate que les prévisions sont acceptées avec des critères de validation marquants, ainsi que les résultats obtenus sont acceptés avec de fort taux de réalité.

L'anticipation sur la consommation d'essence nous révèle que cette consommation évoluera avec un taux de croissance faible à l'horizon 2012 (de 0,97% annuel) qui sera justifié par la croissance du parc automobile essence ainsi que la faible augmentation de son prix (0,27% annuel). Ensuite à l'horizon 2015, elle connaîtra une diminution de l'ordre de 1,37% par rapport à 2012, ceci est justifié par une diminution de l'utilisation des véhicules essence causé par la croissance de l'utilisation du transport en commun, et l'augmentation du PIB/capita qui orientera les consommateurs vers des carburants à meilleur rendements qualité et prix.

Alors que l'anticipation sur la consommation du gasoil à l'horizon de 2015 dévoile une forte augmentation de cette consommation avec un taux de 9,29% annuel, nous justifions cette augmentation par son prix relativement faible par rapport au prix de marché et la qualité de son rendement par rapport aux autres carburants disponible. Aussi par la forte croissance économique (augmentation du PIB/capita de 19,25% annuel).

Ces résultats ne reflètent pas la réalité du futur. Ils ne reflètent qu'un scénario possible (scénario tendanciel) du futur.

Dans cette optique, nous procéderons à la méthode des scénarios afin de simuler la consommation des carburants pour les différents futurs probables.

Chapitre IV : Simulation de la consommation d'énergie avec différents scénarios

Introduction :

« Sur une route bien connue, le conducteur d'une charrette qui se déplace au pas, la nuit, n'a besoin, pour éclairer sa route, que d'une mauvaise lanterne. Par contre, l'automobile qui parcourt à vive allure une région inconnue doit être munie de phares puissants. Rouler vite sans rien voir serait proprement une folie. » BERGER Gaston. « Sciences humaines et prévision ». La Revue des Deux Mondes, n°3, 1957.

Les méthodes de prospective offrent des outils précis pour penser au prolongement de la tendance actuelle dans l'avenir ou pour envisager les hypothèses d'évolution, ou encore pour planifier l'action.

Faire de la prospective consiste à explorer quels sont les futurs possibles en germe dans la situation actuelle, pour aider à la détermination des futurs souhaitables et à l'identification des moyens à mettre en œuvre pour les atteindre.

Le développement de la prospective tient essentiellement à une double prise de conscience : en tant que système dynamique, le monde change rapidement et de nouvelles structures apparaissent sans cesse. Ces patterns de changement sont en partie connaissables. Par cette connaissance, l'homme peut agir sur le système pour l'orienter et maîtriser la vitesse du changement. Encore faut-il que par un travail prospectif soient identifiés les futurs possibles et parmi ceux-ci, les futurs souhaitables. Alors que la planification ne reposait que sur l'extrapolation des tendances à l'œuvre dans le présent et le passé, « non seulement la prospective doit inventer des solutions, mais elle doit d'abord découvrir et anticiper les problèmes auxquels les solutions peuvent être trouvées et appliquées ». Elle doit penser la nouveauté et « donner accès à l'impensable » en s'appuyant sur des méthodes et des techniques rigoureuses étayées par un appareil théorique et méthodologique approprié : l'approche systémique et la méthode des scénarios.

Pour notre étude, le choix s'est porté sur la méthode des scénarios, qui a été jugé convenable en raison de la complexité du secteur énergétique et du transport, du nombre assez élevé de variables qui l'influent ; du degré d'incertitude qui le caractérise, et aussi du fait que des évolutions extrêmes qui pourraient avoir lieu par rapport à l'horizon de l'étude (2020).

Ce chapitre sera composé en deux sections :

La première section consistera à définir la méthode des scénarios ainsi que la méthodologie de son application.

Dans la deuxième section, nous appliquerons cette méthode pour notre étude, dans le but de prédire l'impact des scénarios retenus sur la consommation des deux carburants.

Section I : La démarche de la méthode des scénarios.

Introduction :

Dépassant la notion de prévision, la méthode de construction de scénarios ou scenario planning s'est révélée particulièrement féconde pour développer des visions pertinentes de l'avenir et pour construire des stratégies dans les entreprises. La finalité des scénarios n'est pas d'aboutir à une description du futur, mais à de meilleures décisions stratégiques. C'est le résultat qui compte, c'est-à-dire la performance à long terme de l'entreprise, sa capacité à s'adapter et à survivre. **(BUIGUES, 85)**

La méthode des scénarios vise à construire des représentations des futurs possibles, ainsi que les cheminements qui y conduisent. La méthode des scénarios a pris sa cohérence en tant que méthode de stratégie au lendemain de la seconde guerre mondiale. **(BUIGUES, 85)**

Dans le contexte des recherches scientifiques abondamment financées par l'armée américaine : L'US Air force cherchait à analyser de manière systémique et exhaustive tous les mouvements et toutes les ripostes de l'ennemi et d'imaginer les réponses appropriées en explorant l'éventail complet des options stratégiques.

En pratique il n'y a pas une méthode des scénarios mais une multitude de manières de construire des scénarios (plus ou moins simplistes, plus ou moins sophistiqués).

Toutefois, un certain consensus paraît s'être dégagé pour n'attribuer le qualificatif de la méthode des scénarios qu'à une démarche comprenant un certain nombre d'étapes bien précises (analyse de système, rétrospective, stratégie d'acteurs, élaboration des scénarios) qui s'enchaînent logiquement comme nous allons le montrer dans le chapitre suivant.

I. Définition de la méthode des scénarios : (HATEM, 93)

Les scénarios peuvent être compris de deux manières : dans un cas il s'agit d'un simple moyen pour stimuler l'imagination et la réflexion autour d'un problème déterminé ; dans l'autre cas, il s'agit d'un instrument réflexif, critique et rétroactif de stimulation et d'expérimentation d'un système social qui s'approche des méthodes scientifiques. « C'est une démarche synthétique qui, d'une part, stimule, étape par étape et d'une manière plausible et cohérente, une suite d'évènements conduisant un système à une situation future, et qui, d'autre part, présente une image d'ensemble de celle-ci.

Elle se fonde sur des analyses synchroniques et diachroniques ; les premières stimulent l'état du système à un moment donné et donc orientées par la nécessité d'une description cohérente, tandis que les secondes, se penchent sur l'enchaînement des événements et sont amenées à mettre l'accent sur la causalité et les interrelations qui les lient ». On distingue alors les scénarios exploratoires qui partant d'une situation présente décrivent la série d'événements qui conduiront à un futur possible, des scénarios d'anticipation qui partant d'un futur possible et souhaitable tentent de trouver le chemin pour y parvenir. Seuls ces derniers seraient réellement prospectifs dans la mesure où ils tentent de modéliser un futur conforme aux valeurs et aux objectifs du système considéré.

II. Rôle des scénarios : (HATEM, 93) (GODET, 96)

L'utilisation des scénarios dans les travaux prospectifs est si répandue qu'une équivalence semble s'être établie entre les deux (2) termes. Or cette équivalence ne va pas entièrement de soi. On peut imaginer des travaux prospectifs, par exemple en matière technologique, qui ne débouchent pas nécessairement sur l'élaboration de scénarios, mais sur une analyse des tendances en cours des ruptures potentielles. On peut au contraire citer des scénarios qui ne s'inscrivent pas nécessairement dans le cadre d'une démarche prospective formalisée, et ne satisfont pas aux quatre critères évoqués par M. Godet : pertinence, cohérence, vraisemblance, transparence.

L'affinité entre scénarios et prospective tient largement au fait que les premiers peuvent efficacement contribuer à servir les objectifs de la seconde. La prospective, dans la mesure où elle a pour but de structurer la vision de l'avenir, a en effet besoin d'un instrument de représentation suffisamment puissant pour marquer durablement l'esprit du lecteur. Les scénarios se révèlent dans ce contexte comme un bon instrument de communication, en permettant de mieux visualiser les séquences logiques d'événements possibles. P. Schwartz défend la même idée lorsqu'il définit les scénarios comme « Des mythes de futur », destinés à orienter la perception du décideur en lui proposant une ou plusieurs grilles d'interprétation de la réalité.

III. Conditions des scénarios : (HATEM, 93)

Pour construire convenablement des scénarios, deux conditions essentielles, d'ailleurs dictées par le bon sens, sont nécessaires.

1^{ère} condition :

Il faut que la phase de construction de base, outre une bonne compréhension du fonctionnement du système, ait débouché sur l'élaboration de dimensions d'incertitudes pertinentes.

Cela signifie que ces dimensions d'incertitude ne doivent être ni trop nombreuses (car la combinatoire conduit rapidement à un nombre très élevé, donc inutilisable concrètement, de scénarios possibles), ni trop faible nombre (car dans ce cas, la représentation des avenir possibles devient trop pauvre). L'expérience suggère un nombre de dimensions d'incertitude un nombre de dimensions d'incertitude compris entre 4 et 6, selon les ambitions et les moyens de l'équipe prospective.

Il faut ensuite, pour chaque dimension d'incertitude retenue, envisager différentes hypothèses possibles ou évènements. On définira évènement comme une certaine forme de réalisation possible d'une dimension d'incertitude donnée. Chaque évènement est exclusif des autres relatifs à la même dimension d'incertitude, et l'on suppose que l'univers des possibles lié à une dimension donnée est décrit par l'ensemble des évènements pris en compte (en clair, parmi les évènements possibles associés à la même dimension d'incertitude, on suppose qu'un et seul se réalisera). Inutile d'insister sur l'importance d'un bon découpage des évènements possibles et sur la gravité d'un oubli important qui compromettrait la pertinence de toute la démarche ultérieure.

Du point de vue quantitatif, on dépasse rarement cinq évènements pour une dimension d'incertitude donnée, le minimum étant évidemment deux (faute de quoi, la dimension d'incertitude n'en sera plus une, et se transformera, dans notre vocabulaire, en Tendance lourde.

2^{ème} condition :

Elle est simple à exprimer, mais d'importance capitale. Elle consiste à fixer comme critère de l'utilité d'un travail prospectif sa capacité à éclairer et à orienter les décisions. Il ne suffit pas, en effet, de décrire, à l'aide des scénarios, les incertitudes les plus évidentes (par exemple,

pour l'étude inter futurs, une croissance forte ou faible de l'économie mondiale). Il faut également donner aux scénarios présentés un contenu suffisamment démonstratif pour qu'ils soient en mesure d'orienter significativement la représentation de l'avenir qu'aura le lecteur de ces travaux.

Ceci suppose que le groupe de prospective ait déjà à l'esprit, au moment du choix initial des scénarios, un certain nombre de conclusions ou d'idées maîtresses que ces scénarios permettront d'illustrer.

IV. Caractéristiques des scénarios : (HATEM, 93)

L'examen de la littérature existante montre que l'on englobe sous le terme générique de « scénarios » des travaux faisant appel à une large gamme de méthodes et de représentations de l'avenir. On peut suggérer en la matière une première classification à partir de quatre oppositions essentielles : backcasting/forecasting, variantes/scénarios synthétiques, scénarios sans surprise/contrastés, approche littéraire/formalisée. On insistera ici sur le premier point :

1. Backcasting/forecasting :

Pour construire un scénario, on peut en quelque sorte partir du début ou de la fin. Si l'on choisit d'examiner les cheminements possibles à partir d'une situation présente, sans idées préconçues sur le point d'arrivée, on fera du 'forecasting' ; si, au contraire, on part du point d'arrivé pour reconstituer à l'envers le cheminement qui le relie à la situation présente, on fera du 'backcasting'. Ces deux approches se différencient fortement par leurs éléments, leurs structures et leurs champs.

2. Approche littéraire/formalisée :

Cette opposition entre approches littéraire et formalisées présente des analogies avec la question de l'utilisation des modèles de simulation, sans toutefois la recouper entièrement. Aux deux bouts du spectre, on peut en effet citer des scénarios soit totalement littéraire (c'est-à-dire construits sans méthode explicite et sans utilisation de modèle de simulation), soit au contraire très formalisés (avec méthodes et modèles). Mais dans la plupart des cas, les distinctions sont moins tranchées : tel scénario, probabilisé à l'aide d'une méthode mathématique, n'utilisera pas les modèles ; tel autre, utilisant largement les résultats de modèles, reposera sur des combinaisons d'hypothèses non probabilisées, etc.

3. Variantes ou scénarios synthétiques :

Dans la plupart des cas, un travail prospectif conduit à l'élaboration de plusieurs scénarios. Cet ensemble de scénarios peut présenter des configurations variables, avec deux cas très distincts.

Dans certains travaux, un scénario dit « de référence » tient une place privilégiée. Il est en général construit autour des hypothèses les plus probables et/ou les plus conservatrices : poursuite des tendances économiques et des politiques passées, absence de bouleversement institutionnel majeur, pas de surprise technique, sociale ou environnementale. Les scénarios sont ensuite élaborés en « variante » de celui-ci, c'est-à-dire en modifiant une seule des ses hypothèses ou un petit nombre d'entre elles.

4. Scénarios 'sans surprise' et scénarios contrastés :

Enfin une dernière opposition peut être faite entre les scénarios dits 'sans surprise', c'est-à-dire ne supposant de rupture majeure dans aucun domaine, et ayant en général un degré de probabilité subjective assez élevé, et les scénarios dits 'contrastés', c'est-à-dire explorant les conséquences d'une rupture majeure, de probabilité éventuellement faible, mais dont l'impact est potentiellement important.

V. Types de scénarios : (GODET, 96)

Scénario : Ensemble formé par la description d'une situation future et du cheminement des événements qui permettent de passer de la situation origine à la situation future.

On distingue classiquement les scénarios possibles, c'est-à-dire tout ce que l'on peut imaginer, les scénarios réalisables, c'est-à-dire tout ce qui est possible compte tenu des contraintes, les scénarios souhaitables qui se trouvent quelque part dans le possible mais ne sont pas tous nécessairement tous réalisables. Ces scénarios peuvent être qualifiés suivant leur nature ou leur probabilité de référence, tendanciel, contrasté ou normatif.

1. Scénario tendanciel :

Le scénario tendanciel, qu'il soit probable ou non, est, en principe, celui qui correspond à l'extrapolation des tendances, à tous les instants où le choix s'impose.

Très souvent, le scénario le plus probable continue à être qualifié, même si, contrairement à ce que son nom laisserait supposer, il ne correspond pas à une extrapolation pure et simple des tendances. Certes, dans un passé révolu, alors que le monde changeait moins rapidement qu'aujourd'hui, le plus probable était effectivement la poursuite des tendances. Pour l'avenir, le plus probable semble plutôt devoir correspondre dans bien des cas à des ruptures profondes des tendances actuelles.

Actuellement, une certaine confusion du langage s'est installée ; nous proposons, quant à nous, d'appeler scénario de référence le scénario le plus probable qu'il soit tendanciel ou non.

2. Scénario contrasté :

Un scénario contrasté est l'extrapolation d'un thème volontairement extrême, détermination a priori d'une situation future. Alors le scénario tendanciel correspond à une démarche exploratoire d'une évolution vers une situation, à l'inverse, le scénario contrasté historique correspond à une démarche anticipative, imaginative, normative ; on se fixe un scénario de situation future en général très contrasté par rapport au présent et on s'interroge à rebours sur le cheminement, c'est-à-dire le scénario d'évolution, qui peut conduire.

La pratique a fait naître une autre définition du scénario contrasté répondant aussi à une attitude exploratoire parcourant une évolution pour aboutir à une situation. Dans ce cas, le scénario contrasté est défini comme un cheminement très probable, et c'est précisément sa nature, en général très contrastée, qui le rend probable.

C'est parmi les scénarios réalisables, dont la probabilité est non nulle, que l'on trouve les contrastés (peu probable) et le cône de développement où se trouvent les scénarios les plus probables. Les scénarios souhaitables, quant à eux, se trouvent quelque part dans le possible et ne sont pas tous nécessairement réalisables.

VI. Objectifs de la méthode des scénarios : (GODET, 96)

Cette démarche aboutit à la présentation de différentes histoires de futurs possibles construites à partir des mêmes ingrédients de départ. Elle est donc utile pour illustrer les différentes voies que peut emprunter le cours des événements et révéler les principaux choix stratégiques qui sont déterminants pour l'avenir. Elle constitue un puissant outil d'aide à la décision.

La méthode des scénarios est particulièrement adaptée pour clarifier quels sont les enjeux majeurs et les leviers d'actions dans des situations complexes dont l'avenir apparaît difficile à cerner, notamment à cause du nombre et des interactions des facteurs et des acteurs impliqués. De ce point de vue, la prospective apparaît particulièrement adaptée pour débroussailler les futurs possibles.

VII. Les étapes de la méthode : (GODET, 96)

La méthode des scénarios comprend trois grandes phases : la construction de la base et l'élaboration des scénarios et choix des actions stratégiques.

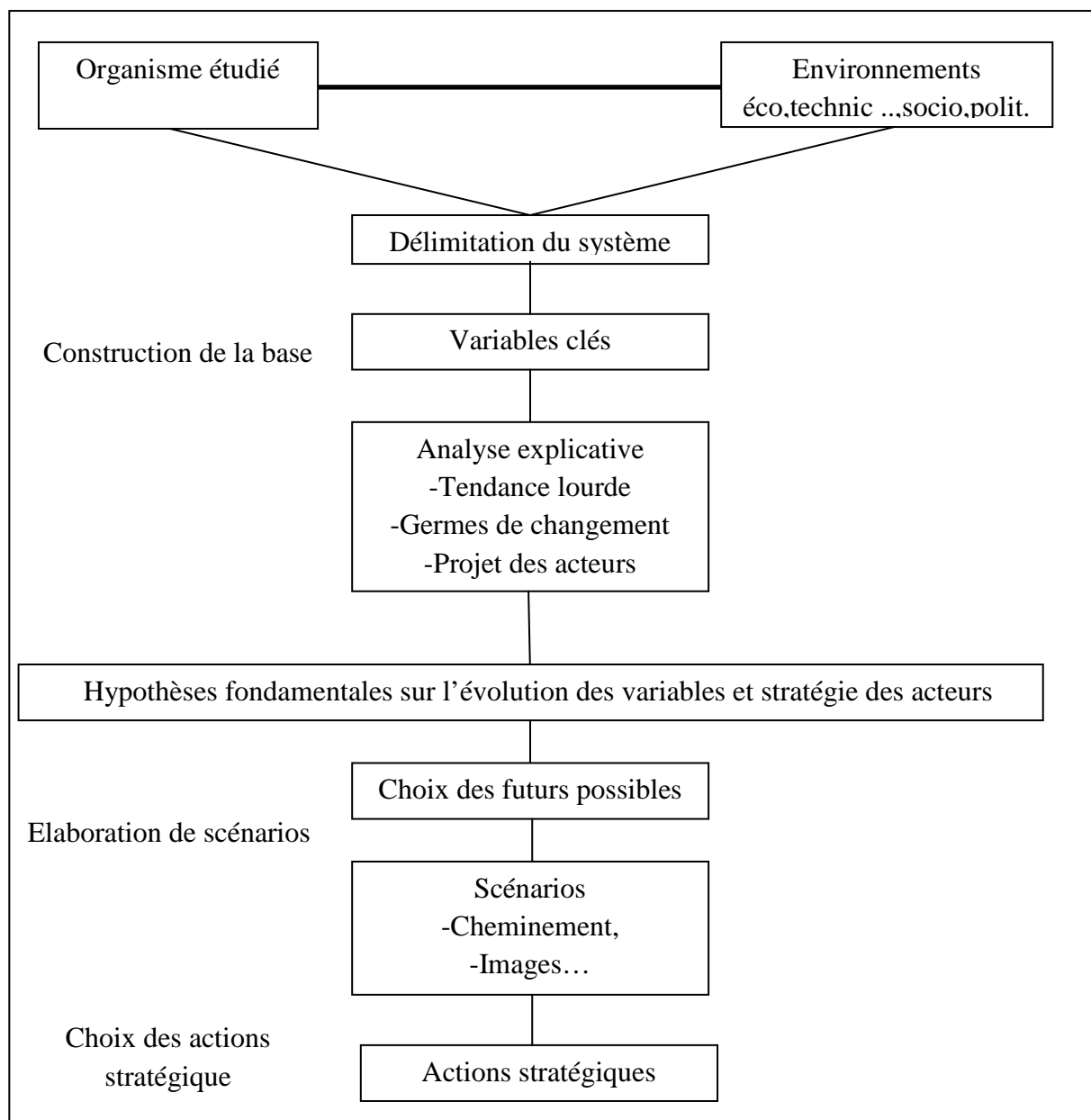


Figure IV.1 : Représentation des étapes de la méthode des scénarios (GODET, 96)

1. La construction de la base :

La première phase de la méthode des scénarios vise à construire la base c'est-à-dire une image de l'état actuel du système constitué par le phénomène étudié et son environnement à partir de laquelle l'étude prospective pourra se développer.

Cette image doit être :

- Détaillée et approfondie sur les plans quantitatif et qualitatif,
- Globale (économique, technologique, politique, sociologique, écologique ...),
- Dynamique, mettant en évidence les tendances passées et les faits porteurs d'avenir,
- Explicative des mécanismes d'évolution du système.

La construction de la base comprend trois étapes :

- Délimitation du système constitué par le phénomène étudié et son environnement général (politique, économique, technologique, etc.),
- Détermination des variables clés,
- Rétrospective et stratégie des acteurs.

a. Délimitation du système :

La délimitation du système étudié constitue une phase très importante. En effet, il convient de ne pas exclure a priori du champ de l'étude les éléments techniques, économiques et politiques qui sont actuellement sans influence sur le phénomène étudié, mais qui pourraient à long terme infléchir de façon accentuée son évolution. A l'inverse, on doit éviter de tomber dans l'écueil qui consisterait à faire pour chaque étude une prospective mondiale.

Délimiter le système consiste à dresser une liste la plus complète possibles des variables à prendre en considération, quantifiables ou non, afin d'avoir une vision globale aussi exhaustive que possible du système que constituent le phénomène étudié et son environnement explicatif. On parvient ainsi à une définition assez précise de ce système. Pour aboutir à ce résultat on fait appel à un certain nombre de méthodes comme par exemple : entretien avec les spécialistes, brainstorming, constitution de check-lists, etc.

On établit ainsi la liste des variables qui paraissent caractériser le système et on les répartit en deux groupes :

- Les variables internes caractérisant le phénomène étudié,
- Les variables externes caractérisant l'environnement explicatif général du phénomène étudié dans ces aspects démographiques, politiques, économiques, industriels, agricoles, technologiques, sociaux ...

Cette méthode permet d'établir une première liste de variables et d'identifier les enjeux du futur (dimensions d'incertitude).

b. La recherche des variables clés du système :

La recherche des variables clés du système et de ses paramètres les plus sensibles passe par l'examen des effets directs et indirects des variables d'environnement général (variables externes) sur les variables caractérisant le phénomène étudié (variables internes). C'est ici qu'intervient la méthode d'analyse structurelle.

On voit que l'analyse structurelle met en évidence une hiérarchie des variables (influentes et dépendantes). La mise en avant de certaines variables confirme des intuitions premières et peut mener, pour d'autres variables, des questions que l'on ne se serait pas posées autrement. La typologie des variables (explicatives, relais, résultats, autonomes) permet de mieux comprendre la structuration du système.

L'analyse explicative porte sur les groupes de variables essentielles tels qu'ils ont été notamment mis en évidence par l'analyse structurelle, elle comprend une rétrospective et une analyse des acteurs.

c. La rétrospective :

La rétrospective évite de privilégier exagérément la situation actuelle dont l'étude peut être biaisée par des facteurs conjoncturels. Elle a pour objet de dégager les mécanismes et les acteurs déterminants de l'évolution passée du système. Elle vise également à mettre en évidence les invariants du système et ses tendances lourdes.

L'analyse de la situation actuelle permet de repérer les germes de changement dans l'évolution des variables essentielles ainsi que les stratégies des acteurs qui sont à l'origine de cette évolution. A ce titre, cette analyse ne prend pas en considération les seules informations

quantifiées ou quantifiables, mais également toutes les données qualitatives : données économiques, facteurs sociologiques, facteurs politiques, écologiques... Cette analyse aboutit, à la fin de la base, à la construction du tableau stratégie des acteurs. En effet, c'est la confrontation des projets des acteurs et l'évolution des rapports de force qui en résultera qui détermineront l'avenir. Ce tableau constitue la synthèse de l'analyse de l'évolution passée et de la situation actuelle. Il met en évidence les enjeux du futur, le positionnement de chaque acteur par rapport aux objectifs stratégiques, leurs rapports de force ... le tout analysé ensuite avec la méthode MACTOR.

Résultats de la construction de la base :

Dès ce stade de l'étude, des résultats importants sont déjà atteints :

- Le système étudié est limité aux éléments pertinents ;
- Le système est structuré et éventuellement découpé en sous-système ;
- L'évolution passée et l'état actuel du système sont expliqués (interprétés) ;
- Les facteurs d'évolution ou de stabilité du système sont mis en évidence ;
- Les projets des acteurs sont repérés dans un tableau stratégique ;
- Les acteurs sont positionnés par rapport aux objectifs stratégiques ;
- Les tactiques d'alliances et de conflits possibles sont évaluées ;
- Les questions clés pour l'avenir sont identifiées.

2. Elaboration des scénarios :

Comment va-t-on construire les scénarios proprement dits ?

En combinant entre elles les différentes dimensions d'incertitude. Plus précisément, on définira la matrice d'un scénario comme la combinaison de plusieurs événements dont chacun correspond à l'une des dimensions d'incertitude retenues.

La difficulté, à cette étape, tient évidemment à la diversité des combinaisons envisageables. Le choix définitif des scénarios peut alors se faire, soit par une méthode intuitive (en fait la plus utilisée), soit par une méthode plus formalisée de génération automatique de scénarios.

a. La méthode intuitive :

On construit à la main une batterie de scénarios en utilisant la palette des événements élémentaires pris en compte. Tout l'art consiste alors à bâtir à l'aide de ces scénarios une

vision de l'avenir qui soit à la fois objective (en ce sens qu'aucune incertitude essentielle n'est oubliée) et démonstrative (en ce sens qu'elle insiste particulièrement sur certains risques ou certaines alternatives stratégiques que le prospectiviste souhaite mettre en évidence).

b. La génération automatique de scénarios :

Cette méthode suppose que l'on présente chacune des dimensions d'incertitude sous forme d'évènements élémentaire (c'est-à-dire qui peuvent ou non se réaliser).

Si l'on dispose de N dimensions d'incertitude, le nombre de scénarios envisageables est alors 2^N . On peut alors évaluer la probabilité de réalisation de chacun des scénarios possibles à condition de disposer des probabilités simples des différents événements envisagés ainsi que de leurs probabilités conditionnelles les uns par rapport aux autres. La méthode SMIC permet d'arriver à ce résultat et de dresser ainsi la liste des scénarios par ordre de probabilité décroissante.

On verra cependant que cette méthode de génération automatique, si elle peut constituer une source d'information précieuse, en particulier pour éliminer les scénarios improbables parce qu'incohérents, ne dispense pas, dans la pratique, d'une approche plus intuitive. Le choix définitif des scénarios étudiés reste un art qui échappe à un déterminisme probabiliste trop rigide.

c. L'écriture des scénarios :

Phase précédente ayant permis de dégager la structure générale d'un certain nombre de scénarios dont il faut décrire de manière détaillé leur déroulement, c'est-à-dire les cheminements qui conduisent de la situation présente à l'état finale (ou image finale) du système. On insistera à ce stade sur quelques points importants.

- L'ensemble de la démarche décrite précédemment doit constituer un guide pour la réflexion prospective, et non pas un carcan dans lequel cette réflexion serait enfermée et stérilisée. Plus concrètement, il peut apparaître, au moment de l'écriture du scénario, que certaines hypothèses et/ou incertitudes importantes n'ont pas été parfaitement prises en compte au moment de la construction de sa matrice. Le prospectiviste est alors libre d'enrichir et de compléter son approche initiale par ces éléments supplémentaires, à condition bien entendu de ne pas totalement dénaturer son travail préparatoire.

- L'utilisation d'outils de projection et/ou de prévision quantifiés reprend son utilité à cette phase de la démarche prospective. Un bon scénario, pour être opérationnel, doit dans la plupart des cas être quantifié selon une batterie d'indicateurs commun à l'ensemble des scénarios envisagés, de manière à permettre au lecteur de disposer d'éléments de comparaison objectifs et cohérents. Il serait donc tout à fait vain d'opposer l'approche prospective à l'utilisation de modèles de prévision et de simulation, comme s'il s'agissait de deux disciplines rivales. Au contraire, ces deux pratiques s'épaulent mutuellement.

3. Quantification des scénarios et modèles de prévision :

Les dangers de la quantification abusive (quantifier revient toujours à privilégier ce qui est quantifiable au détriment de ce qui ne l'est pas) ne doivent pas conduire à rejeter les chiffres mais seulement à les utiliser avec précaution.

Les résultats chiffrés de modèles de prévision classiques sont indispensables pour apprécier les conséquences des scénarios. Un modèle de prévision ne vaut que par ses hypothèses (économiques, politiques ...) et la prospective a précisément pour objet de dessiner la toile de fond, les jeux d'hypothèses qui assureront au modèle sa validité, c'est-à-dire sa cohérence avec une réalité future. Cette complémentarité entre prospective et prévisions donne naissance à une nouvelle prévision. L'apport de la prospective permet ainsi de répondre aux trois besoins fondamentaux de la prévision :

- a) Le besoin d'explication : la détermination des variables essentielles connues ou cachées améliore la sélection d'indicateurs ;
- b) Le besoin d'hypothèses : la construction des scénarios, c'est-à-dire, de jeux d'hypothèses cohérents et probables sur les variables explicatives assure au modèle de prévision sa validité.
- c) Le besoin de quantification : la prévision par scénarios permet de chiffrer les résultats et les conséquences de la prospective, tout en tenant compte du non quantifiable.

Lorsque l'on cherche à expliquer la variable Y par un modèle de type $Y=f(X_i)$, l'apport de la prospective est de fournir sous forme de scénarios des jeux d'hypothèses probables et cohérents sur les variables explicatives X_i et sur la fonction f . C'est dans le cadre de ces hypothèses que s'applique un modèle de prévision permettant de déterminer l'estimation correspondante pour Y .

Cette nouvelle prévision opère la synthèse entre la prospective et la prévision, deux approches complémentaires ; elle intègre éventuellement les règles et les contraintes des techniques économétriques dans le cadre cohérent des scénarios0

La distinction entre prévision et prospective mériterait ainsi d'être plus souvent opérée par les chercheurs. Une prévision ne vaut que ce que valent les hypothèses sous-jacentes. Le plus souvent plusieurs jeux d'hypothèses cohérents (scénarios) peuvent être considérés comme assez probables. On ne devrait donc pas publier une prévision sans donner des indicateurs de la probabilité estimée du scénario correspondant.

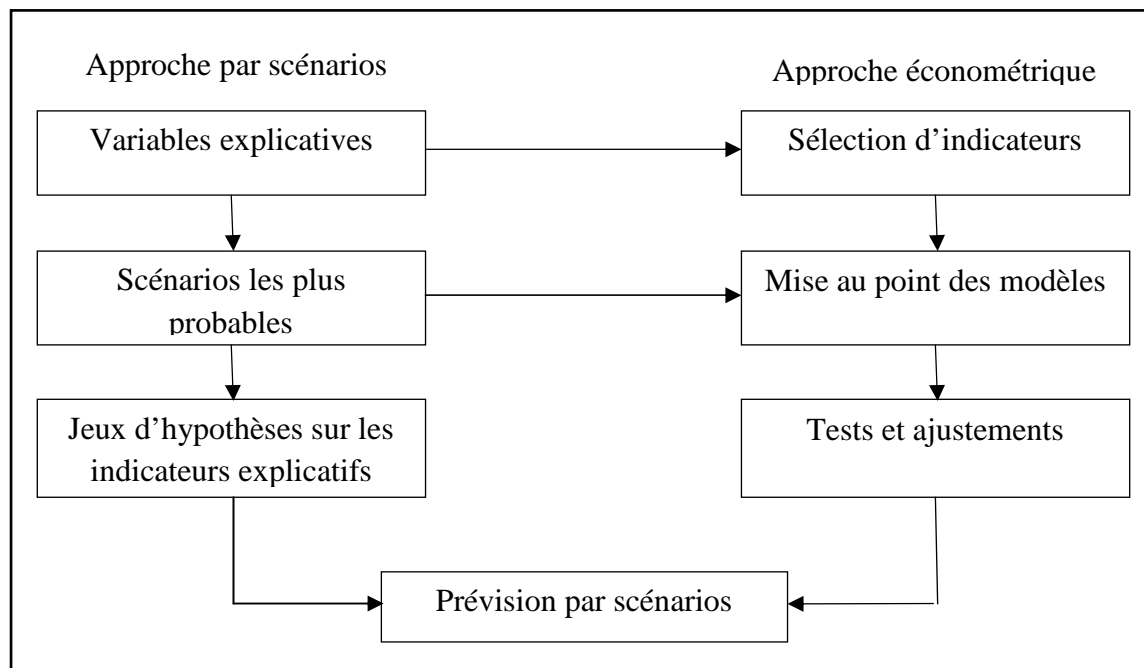


Figure IV.2 : Schéma représentant l'équivalence entre l'approche par scénarios et l'approche économétrique. (HATEM, 93)

Encore faut-il préciser qu'il serait dangereux de limiter la réflexion au scénario considéré comme le plus probable, car bien souvent ce dernier n'est en réalité que le moins improbable. On notera que certains scénarios peuvent correspondre à des ruptures de tendances. Ces scénarios de rupture s'inscrivent hors du champ des projections et sont moins aisément chiffrables par les méthodes classiques de prévisions.

Si la quantification des scénarios par les modèles de prévision est nécessaire pour l'utilité des scénarios, elle est aussi précieuse pour vérifier leur cohérence ne serait-ce qu'au travers des relations d'équilibre comptable auxquelles on ne peut se soustraire.

Conclusion :

La méthode des scénarios est au cœur de la démarche prospective, car elle répond techniquement à la question centrale de cette discipline ; dresser un panorama cohérent des futurs possibles.

De même, on se contente le plus souvent de présenter des images insistant sur des tendances lourdes, des ruptures ou des événements-clés, sans toujours préciser les cheminements.

Après avoir illustré la méthode des scénarios, nous passons à son application pour notre problématique.

Section 2 : Application de la méthode des scénarios

Remarque :

L'application de cette méthode ne pourra pas être suivie à la lettre, vu le manque d'entretiens avec des experts lors du choix des variables clés et des acteurs, aussi lors de l'anticipation de leurs futures possibles. Nous ferons face à ces contraintes à travers des analyses économiques et d'application de méthodes économétriques.

I. L'horizon temporel : (BUIGUES, 85)

L'horizon temporel doit être déterminé suivant deux principes :

- Il ne doit pas être si rapproché que des ruptures importantes, autres qu'accidentelles, soient inenvisageables.
- Il ne doit pas être si éloigné que tout semble possible et que les dynamiques en présence soient de fait d'un poids négligeable pour l'avenir.

Il faut donc choisir un horizon qui permet de croire que la situation ne sera pas totalement différente de ce qu'elle est aujourd'hui, qu'elle ne sera pas non plus exactement identique.

L'horizon temporel de l'étude doit s'inscrire dans la philosophie générale d'une démarche de prospective qui est d'éclairer les prises de décision. Il convient donc de considérer un horizon auquel les décisions prises dans un avenir proche peuvent trouver des traductions sur le terrain.

L'horizon classique d'études de prospective énergétique est souvent de 15 ou de 20 ans.

Dans notre étude, on se limite à l'horizon 2020, qui n'est pas un horizon lointain, puisqu'on s'inscrit plus dans une démarche basée sur l'hypothèse de stabilité structurelle de l'environnement socio-économique. Ceci nous permet de répercuter dans le futur, les comportements observés et les relations estimées entre les différentes variables du système.

II. Objectif de l'étude :

L'objectif de cette étude est d'analyser les scénarios d'évolution possibles pour la consommation des carburants (essence, gasoil) à l'horizon 2020, sur la base des différents

variables déterminantes de cette consommation. Ce qui aidera à la prise de décision pour la rationalisation de la consommation des carburants dans l'activité du transport.

III. Application de la méthode des scénarios :

La méthode des scénarios comprend trois grandes étapes :

1. Construction de la base :

On définira la base comme l'image de l'état actuel du système, aussi complète, globale et explicative que possible. La construction de la base comprend trois étapes :

- Délimitation du système,
- Détermination des variables clés,
- Rétrospective et stratégie des acteurs.

a. Délimitation du système :

Cette phase consiste à dresser une liste la plus complète possible des variables à prendre en considération. Ces variables ont été identifiées et interprétées dans le « chapitre 2 » résultant de la segmentation du marché. Ces variables sont :

- Prix des carburants (essence, GPLc, gasoil),
- Taille et taux de croissance du parc automobile,
- La taille de la population et la population active,
- PIB/capita,
- Masse salariale,
- Distance moyenne parcourue,
- Nombre de voyageurs utilisant le transport en commun,
- Taille des marchandises transportées (en tonne),
- Taille des routes nationales.

Cette méthode permet d'établir une première liste de variables qu'on prend en considération dans notre étude.

b. Détermination des variables clés :

Dans cette phase, nous déterminerons les variables clés du système et de ses paramètres les plus sensibles par l'examen des effets d'environnement général (variables externes) sur les variables caractérisant le phénomène étudié (variables internes). C'est ici qu'intervient la méthode d'analyse structurelle.

Cette méthode repose sur des avis d'experts qui détermineront les influences des variables externes sur la variable interne, et en concluant les variables clés.

Vu le manque d'avis d'experts dans notre étude, nous utiliserons un indicateur économétrique afin de déterminer ces variables clés, pour cela notre choix s'est porté sur le coefficient d'ajustement (R^2) des variables externes sur la variable interne en validant par un T-test en vue de déterminer ces variables clés.

Ces variables clés ont été déterminées dans le « chapitre 2 » lors de la construction des modèles des deux consommations (essence, gasoil), ces variables sont :

Modèle essence :

- Taux croissance du parc automobile,
- Prix de l'essence,
- Taille du parc automobile,
- Taille de la population utilisant le transport en commun,
- PIB/capita.

Modèle gasoil :

- PIB/capita
- Prix du gasoil,
- Taille de la population active,
- Taille de la population utilisant le transport en commun.

c. Rétrospective et stratégie :

L'analyse rétrospective permet de comprendre l'évolution de la consommation d'énergie due à l'activité de transport et de ses différents déterminants. Cette analyse permet entre autres d'identifier les acteurs ayant joué un rôle dans cette évolution.

L'analyse rétrospective révèle que la consommation de gasoil et la consommation d'essence ont connu une augmentation continue, due à l'augmentation de la mobilité des voyageurs et des marchandises au niveau national ; sauf pour la période allant de 1991 à 1996, qui a été caractérisée par la crise économique et aussi par l'augmentation des prix des carburants.

Etant donné l'objectif de rationaliser ces deux consommations, on s'intéresse plus particulièrement aux acteurs suivants, qui contribuent significativement à l'atteinte de cet objectif :

- Nombre de voyageurs utilisant le transport en commun : l'augmentation de cet acteur aura un effet négatif sur la circulation des véhicules, ainsi elle diminuera la consommation des carburants,
- Prix des carburants : La réaction de la consommation des carburants aux prix ne pourrait pas être confirmée avec certitude à travers l'analyse de l'évolution historique de ces deux variables. En effet, il est fort probable que la baisse de la consommation constatée pendant les années 90 soit plus due à la conjoncture économique difficile qu'à l'augmentation des prix, qui est un ajustement monétaire en période de crise, On pourrait tout de même considérer les prix comme acteur important qui pourrait être un levier futur dans la rationalisation de la consommation de carburants.
- PIB/capita : lors de la crise économique (chute du PIB/capita), nous observons une diminution de la consommation des carburants.

Dans cette application, nous adopterons une stratégie basée sur la projection des acteurs selon les tendances observées du passé et de la situation actuelle (scénario de référence), ce scénario supposera une continuité des politiques. Ce scénario est développé dans le « chapitre 3 », ensuite, nous supposerons différentes politiques futures probables des acteurs afin d'illustrer leurs impacts sur la consommation des carburants. Ces scénarios aideront à la prise de décisions futures dans le but de rationaliser ces deux consommations.

Une fois que les variables clés et la stratégie des acteurs du système sont identifiées, on procèdera à la construction des scénarios.

2. Elaboration des scénarios :

Il s'agit de décrire le cheminement conduisant de la situation actuelle aux images finales retenues des scénarios.

Le choix de la méthode élaborée pour la construction des scénarios est la méthode intuitive, il découle de la simplicité de la méthode intuitive par rapport à celle de la génération automatique des scénarios. Les images finales retenues sont :

- Augmentation des prix des carburants : cette action s'explique par les prix bas des carburants en Algérie, ainsi nous souhaiterons analyser l'impact d'une augmentation des prix sur la consommation des carburants, pour cela nous ferons deux hypothèses sur cette augmentation, afin de se rapprocher du prix réel des carburants estimé entre 40 et 50da/L (sur la base d'un prix de pétrole autour de 70\$/baril):
 - 1) Augmentation des prix de 50 % (prix en 2020 de 31,8da/L pour l'essence et de 20,55da/L pour le gasoil),
 - 2) Augmentation des prix de 100%. (prix en 2020 de 42,2da/L pour l'essence et de 27,4da/L pour le gasoil)
- Augmentation de la population utilisant le transport en commun : cette augmentation aura bien lieu avec l'utilisation du tramway et du métro et d'autres projets. Vu les investissements consacré dans ce secteur comme :
 - Réalisation du métro d'Alger,
 - Réalisation des tramways d'Alger, Constantine, Oran, Ouargla, Mostaganem, Batna, Sétif, et de Sidi-Bel-Abbès,
 - Ainsi des investissements dans le mode ferroviaire comme : nouvelle voie, doublement de voie etc.

Dans cette optique nous ferons deux hypothèses sur cette augmentation :

- 1) Augmentation de l'utilisation du transport en commun de 25%,
 - 2) Augmentation de l'utilisation du transport en commun de 50%.
- Augmentation du PIB : la revue de l'énergie « Quelle prospective de référence pour l'Afrique du nord ? » dont le but est d'anticiper sur l'évolution future de l'économie Algérienne, révèle que l'évolution du PIB à l'horizon de 2020 connaîtra une augmentation de 40%, vu la pertinence et l'immobilisation d'experts pour la réalisation de cette étude, nous pouvons nous référer à cette dernière lors de la construction des scénarios.

Lors de l'application de ces dimensions d'incertitude, la détermination des autres variables clés se fera par des régressions simples entre les acteurs et ces variables (ce qui compensera l'avis des experts) pour chaque scénario retenu.

Donc les scénarios retenus sont :

- Scénario A : Augmentations de 50% des prix et 40% du PIB,
- Scénario B : Augmentations de 100% des prix et 40% du PIB,
- Scénario C : Augmentations de 25% de l'utilisant du transport en commun et 40% du PIB,
- Scénario D : Augmentations de 50% de l'utilisant du transport en commun et 40% du PIB.

3. Quantification des scénarios et modèles de prévisions :

Dans cette étape, nous procéderons d'abord au cheminement des acteurs, nous supposons qu'ils évoluent linéairement jusqu'à la valeur anticipée. En ce qui concerne les variables clés, nous déterminerons leurs évolutions par des régressions simples avec les acteurs du scénario. Après avoir déterminé ces variables, nous les injecterons dans nos modèles pour connaître la consommation des carburants (essence, gasoil) à l'horizon 2020.

a. Les scénarios concernant l'augmentation des prix :

i. Pour le modèle essence :

Nous commencerons par l'identification des modèles de régressions des variables clés avec les acteurs retenus, les tableaux ci-dessous illustrent les modèles obtenus et leurs taux de réalité.

Prix essence et PIB		
Variabiles	Modèles	R ²
Parc	$36763,46 * P_{ess} + 2,86 * PIB + 2042599,54$	93,57%
Tcr	$\frac{Parc(t) - Parc(t - 1)}{Parc(t - 1)}$	93,57%
POP _{tc}	$1891472 * P_{ess} + 193,96 * PIB - 8746489,14$	98,67%

Tableau IV.1 : Régressions simples des acteurs avec les variables clés pour les scénarios (essence) A et B

Nous constatons que le taux de réalité des modèles dépasse 90% pour chaque variable clé, donc nous pouvons utiliser ces régressions pour déterminer les valeurs des variables clés.

Pour les scénarios A et B ($P_{ess} + 50\%$ ou $P_{ess} + 100\%$ et $PIB + 40\%$), les valeurs des variables clés sont déterminées à partir des régressions réalisées (cf. *Tableau 5.1 et 5.5 annexe 5*).

La *figure IV.3* nous montre les variations en pourcentage des variables clés du scénario A et B résultantes des régressions précédentes.

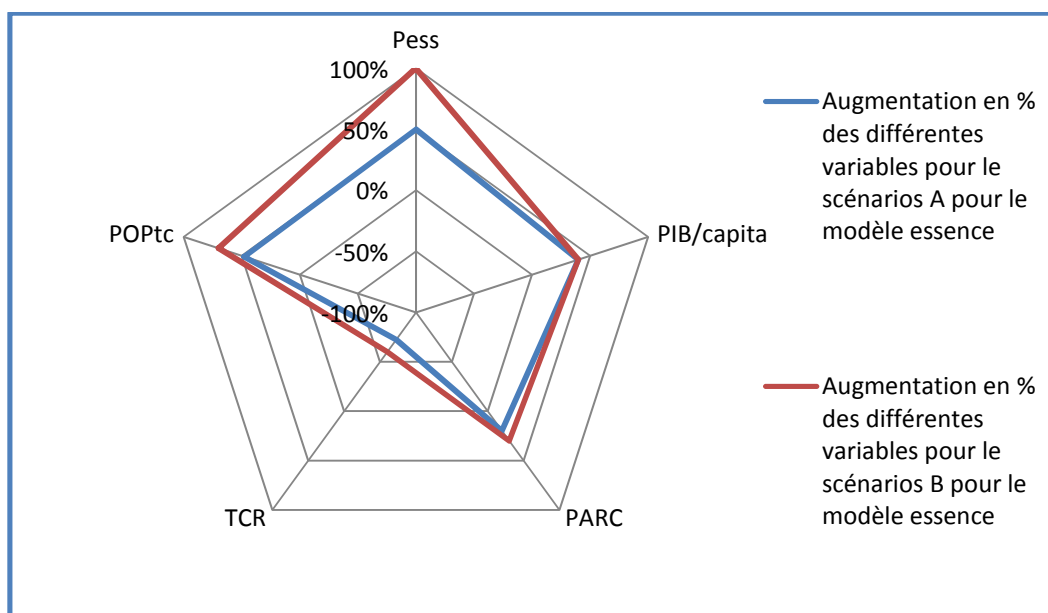


Figure IV.3 : Evolution des variables clés pour le scénario A et B pour le modèle essence en pourcentage

L'impact de la stratégie des acteurs pour le scénario A et B sur les variables clés à l'horizon 2020, indique :

- Une augmentation du nombre de voyageurs utilisant le transport en commun : nous justifions cette augmentation de 48% et de 70% pour les scénarios A et B respectivement, par la réalisation de plusieurs projets et par l'évolution des transports en commun à cet horizon. Nous remarquons aussi que l'augmentation du scénario B est supérieure à celle du scénario A, nous justifions cette supériorité par l'élévation du prix de l'essence, qui orientera les consommateurs vers des moyens de transports plus économiques.
- Une augmentation du parc automobile : nous constatons une augmentation de 20% et de 30% pour les scénarios A et B respectivement, ces augmentations sont attendues avec l'augmentation du PIB/capita de 40%. Nous notons aussi que l'augmentation du parc pour le scénario B est supérieure à celle de A, ce qui est incohérent avec l'accroissement du prix de l'essence, ce résultat est justifié par la proportionnalité du parc avec le prix de l'essence dans le passé.
- Une diminution du taux de croissances du parc automobile : cette diminution est de 72% et 60%(respectivement scénarios A et B) par rapport à 2008, ceci s'explique par l'augmentation du prix et par l'immensité du parc automobile à cet horizon.

Remarque :

Nous remarquons que la taille du parc automobile et son taux de croissance est plus élevé pour le scénario B par rapport au scénario A, ce qui est incohérent avec l'augmentation de prix. Ces résultats sont justifiés par l'application de modèles économétriques qui se base sur la situation passé et actuelle pour évaluer la situation future, puisque la taille du parc est proportionnelle au prix et que le taux de croissance du parc est inversement proportionnel au prix de l'essence durant la période 1980 à 2008.

Après avoir interprété les valeurs futures des variables clés à l'horizon 2020 pour les scénarios A et B appliqués au modèle essence, nous injecterons ces valeurs dans le modèle essence pour obtenir les prévisions de chaque scénario (cf. *Tableau 5.2 et 5.6 annexe 5*) afin de connaître l'évolution de cette consommation à cet horizon.

Le graphique suivant représente la consommation d'essence des scénarios A et B :

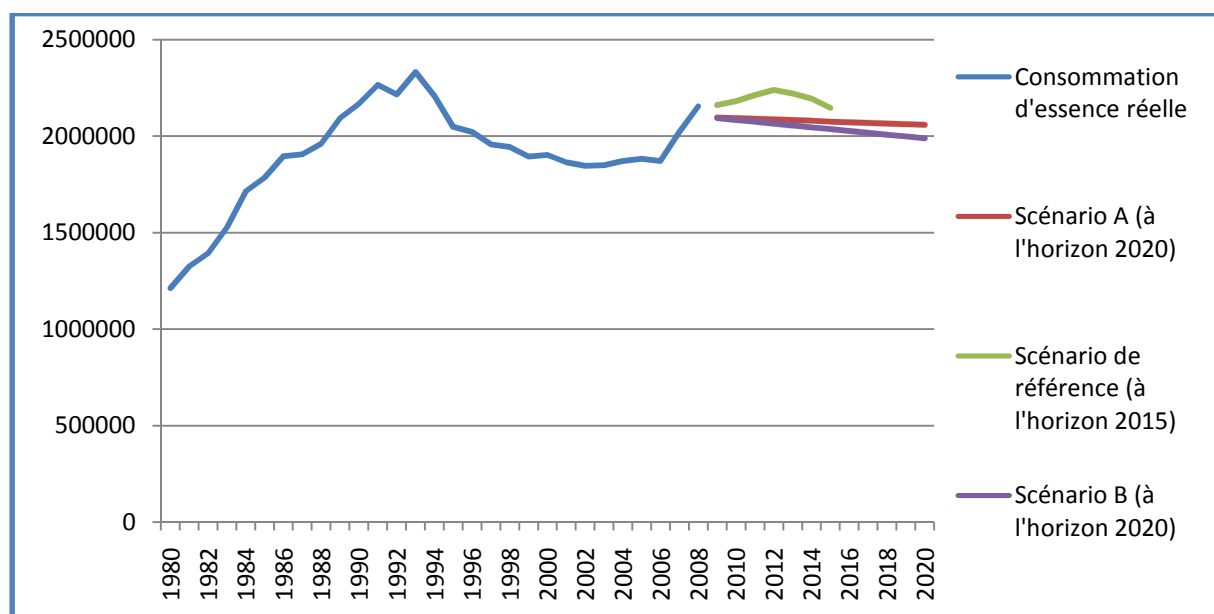


Figure IV.4 : Evolution de la consommation d'essence pour les scénarios A et B

Nous remarquons que les consommations diminuent à un taux de 0,37% et de 0,64% annuel lors de l'augmentation du prix d'essence de 50% et 100% respectivement.

Nous constatons aussi que ces deux consommations sont inférieures à celle du scénario de référence qui est parfaitement logique avec l'augmentation des prix.

Nous interprétons ces diminutions par la réduction de l'utilisation des véhicules essence causée par l'augmentation de son prix, celle-ci est justifiée par l'orientation des

consommateurs vers d'autres moyens de transports plus économiques comme les transports en commun, et par l'orientation des consommateurs vers d'autres carburants plus économiques.

ii. Pour le modèle gasoil :

Nous commencerons par l'identification des modèles de régressions des variables clés avec les acteurs retenus, les tableaux ci-dessous illustrent les modèles obtenus et leurs taux de réalité.

Prix gasoil et PIB		
Variabiles	Modèles	R ²
POP _{act}	215464,90*P _{ess} +16,62*PIB+5635743,99	96,32%
POP _{tc}	1052795*P _{ess} +220,96*PIB+8348908,13	95,98%

Tableau IV.2 : Régressions simples des acteurs avec les variables clés pour les scénarios (gasoil) A et B

Nous constatons que le taux de réalité des modèles dépasse 90% pour chaque variable clé.

Pour les scénarios A et B (P_{gas} +50% ou P_{gas} +100% et PIB +40%), les valeurs des variables clés sont déterminées à partir des régressions réalisées (cf. *Tableau 5.3 et 5.7 annexe 5*).

La figure IV. et la figure IV. nous montrent les variations en pourcentage des variables clés du scénario A et B respectivement appliqués pour le modèle gasoil à l'horizon 2020.

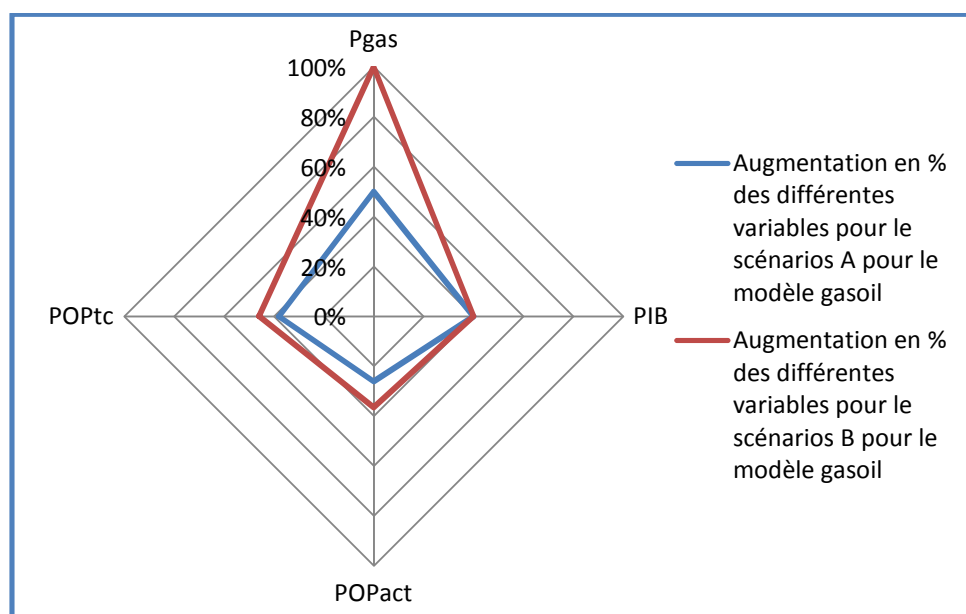


Figure IV.5 : Evolution des variables clés pour le scénario A et B pour le modèle gasoil en pourcentage

D'après la *figure IV.5* l'impact de l'augmentation de 50% et de 100% du prix de gasoil avec +40% du PIB/capita révèle :

- Une augmentation de la population active : cette augmentation est de l'ordre de 26% et de 36,5% pour les scénarios A et B respectivement à l'horizon 2020. Ceci s'explique par la création d'emploi avec l'évolution économique. La supériorité de la population active du scénario B par rapport au scénario A est due à la proportionnalité de cette variable avec le prix de gasoil dans le modèle de régression. Nous justifions ce résultat par une création d'emploi plus importante pour une augmentation de 100% du prix de gasoil.
- Une augmentation du nombre de voyageurs utilisant le transport en commun : cette augmentation est de 38% dans le scénario A et de 46% dans le scénario B. Ces taux sont faibles par rapport à l'augmentation de prix de l'essence. Donc nous concluons que malgré l'augmentation du prix de gasoil, les consommateurs continuent de l'utiliser.

Après avoir interprété les valeurs futures des variables clés à l'horizon 2020 pour les scénarios A et B appliqués au modèle gasoil, nous injecterons ces valeurs dans le modèle gasoil essence pour obtenir les prévisions de chaque scénario (cf. *Tableau 5.4 et 5.8 annexe 5*) afin de connaître l'évolution de cette consommation à cet horizon.

Le graphique suivant représente la consommation du gasoil des scénarios A et B :

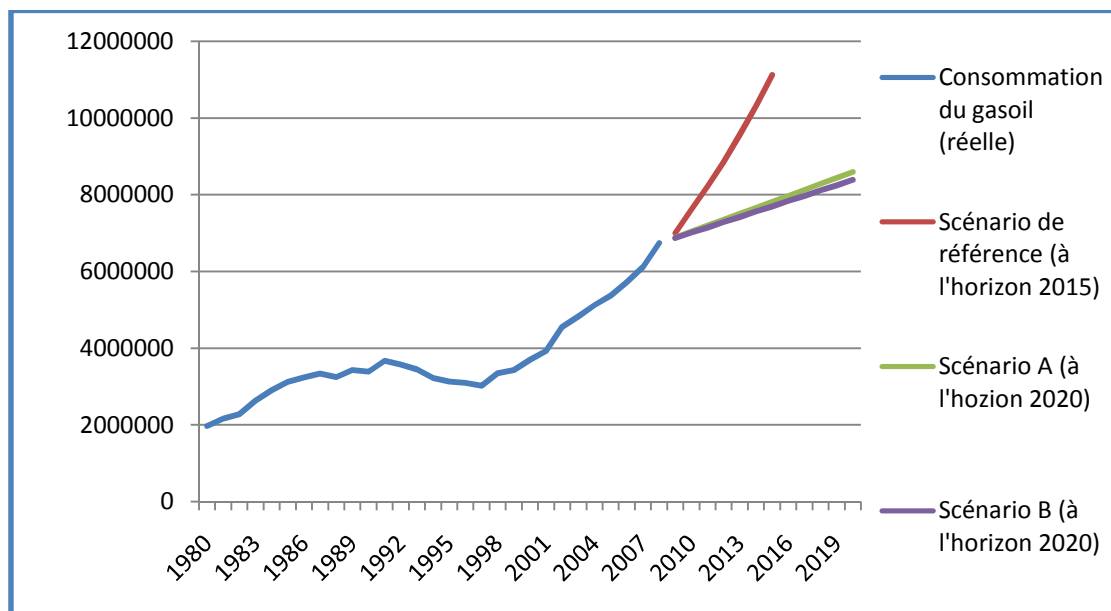


Figure IV.6 : Evolution de la consommation de gasoil pour les scénarios A et B

Malgré l'augmentation du prix du gasoil de 50% et de 100%, nous remarquons que sa consommation augmente à un taux de 2,30% et de 2,04% annuel respectivement, ces augmentations sont largement inférieures à celle du scénario de référence (+9,24%), nous remarquons aussi que les consommations des scénarios A et B sont similaires. Nous pouvons

conclure qu'une augmentation de 50% ou de 100% aurait un impact de même ordre sur la consommation du gasoil.

Nous interprétons les augmentations de la consommation malgré l'augmentation du prix de gasoil par l'inexistence d'autre alternative au gasoil pour plusieurs de ses usages (transports de marchandises, transports en commun de voyageurs ou les véhicules utilisés sont essentiellement de motorisation gasoil).

b. Les scénarios concernant l'augmentation de l'utilisation du transport en commun :

L'utilisation du transport en commun en Algérie a évolué selon plusieurs structures durant la période 1980 à 2008, le graphe qui suit met en évidence ces changements de structure.

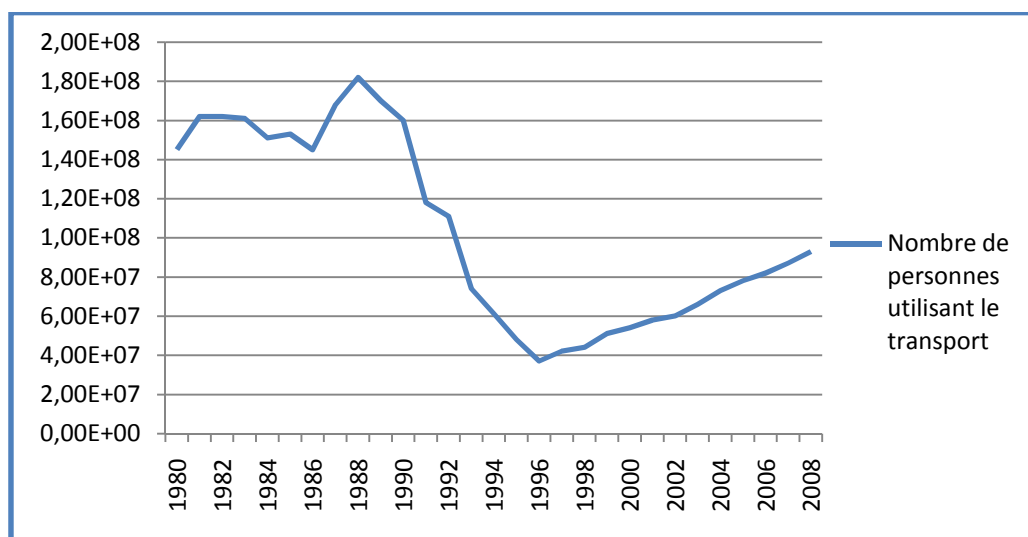


Figure IV. 7 : Représentation de l'utilisation du transport en commun (ONS).

D'après la *figure IV.7*, on constate que l'évolution de l'utilisation du transport en commun se fait selon trois structures.

- De 1980 à 1990 : l'utilisation du transport en commun se fait avec des variations autour d'une moyenne (1,60 E+08), ceci est justifiée par une instabilité du marché.
- De 1991 à 1996 : on constate une diminution de l'utilisation des transports en commun, ceci est dû à la crise économique qui a entraîné une baisse des activités du transport.
- De 1996 à 2008 : on remarque une forte augmentation de l'utilisation du transport, dû aux investissements consacrés à ce secteur.

Lors de la détermination des variables clés par régression, un redressement de la chronique prend en considération seulement la période 1996 à 2008, vu que cette période reflète la réalité actuelle.

Après avoir redressé la chronique, par l'identification des modèles de régressions des variables clés avec les acteurs retenus, les tableaux ci-dessous illustrent les modèles obtenus et leurs taux de réalité.

Utilisation du transport en commun et PIB/capita		
Variabes	Modèles	R ²
Parc	$-0,00381*POP_{tc}+4,88789*PIB+1822907,701$	97,76%
Tcr	$\frac{Parc(t) - Parc(t - 1)}{Parc(t - 1)}$	97,76%
P _{ess}	$3,59^E(-7)*POP_{tc}-6,27^E(-5)*PIB+7,74064$	94,96%
P _{gas}	$2,77^E(-8)*POP_{tc}+5,99^E(-6)*PIB+9,21175$	92,30%
POP _{act}	$0,08356*POP_{tc}-0,52192*PIB+6265596,600$	99,16%

Tableau IV. 3 : Régressions simples des acteurs avec les variables clés pour les scénarios C et D

Nous constatons que le taux de réalité des modèles dépasse 90% pour chaque variable clé.

Pour les scénarios C et D, les valeurs des variables clés sont déterminées à partir des régressions réalisées (cf. Tableau 5.9 et 5.11 annexe 5).

La figure IV.8 montre les variations en pourcentage des variables clés des scénarios C et D à l'horizon 2020.

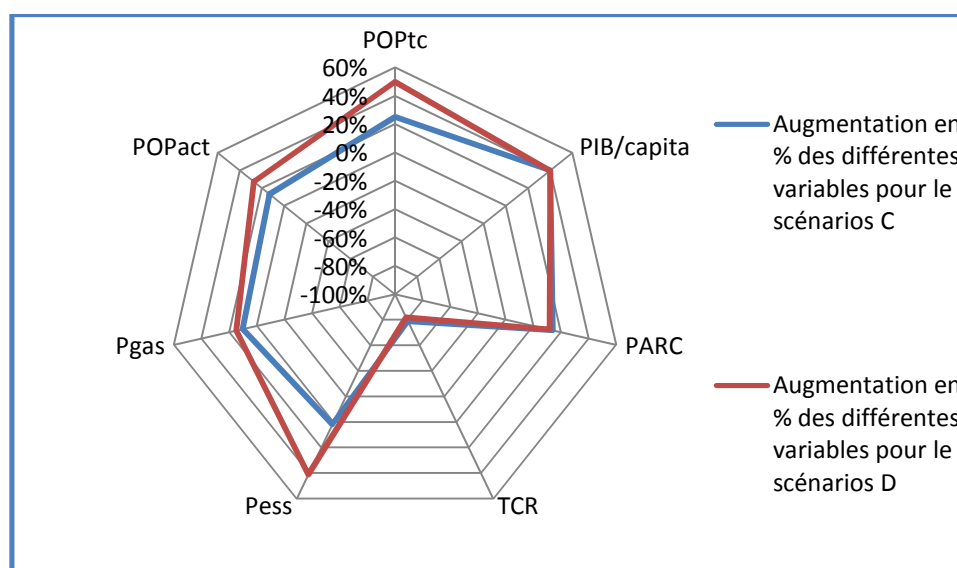


Figure IV.8 : Evolution des variables clés pour les scénarios C et D en pourcentage.

D'après la *figure IV.8* l'impact de l'augmentation de POP_{tc} de 25% et de 50% avec +40% du PIB/capita indique :

- Une augmentation du parc automobile : cette augmentation est de l'ordre de 14,20% et de 11,80% pour les scénarios A et B respectivement. Nous remarquons que ces taux sont faibles par rapport aux scénarios précédents. Nous justifions ces faibles taux par la diminution de véhicules causée par la diversité des transports en commun. Nous remarquons que le parc automobile est inversement proportionnel à l'augmentation du nombre de voyageurs des transports en communs.
- Une diminution du taux de croissance du parc automobile : nous remarquons que les taux de diminution sont de 79% et 82% pour les scénarios A et B respectivement par rapport à l'année 2008. Ceci s'explique par la non nécessité de véhicule particulier avec l'augmentation des transports en commun. Nous constatons que la diminution pour le scénario D est supérieure à celle du scénario C. Donc, le taux de croissance du parc automobile est proportionnel à l'augmentation des transports en commun.
- Une augmentation de prix des carburants : cette augmentation est le résultat de l'augmentation de la POP_{tc} et du PIB/capita par régressions (suivant les tendances du passé). Ce résultat mettra en œuvre une rationalisation de la consommation des carburants avec la présence de l'augmentation des moyens de transports en commun.
- Une augmentation de la population active : celle-ci est de 13,20% et de 27,60% pour les scénarios A et B respectivement à cet horizon. Ces augmentations s'expliquent par l'augmentation de la richesse économique à cet horizon. Nous déduisons aussi que la population active est proportionnelle à l'utilisation du transport en commun. Ceci du fait que les déplacements seront plus accessibles ainsi la population pourra travailler dans des zones lointaines.

i. Consommation de l'essence pour les scénarios C et D :

Après avoir interprété les résultats obtenus lors des régressions, nous allons injecter ces valeurs dans le modèles essence pour obtenir les prévisions de chaque consommation (voir tableau 5.10 et 5.14, annexe 5) afin de connaître l'évolution de cette consommation à cet horizon pour les scénarios C et D.

Le graphique suivant représente la consommation d'essence des scénarios C et D :

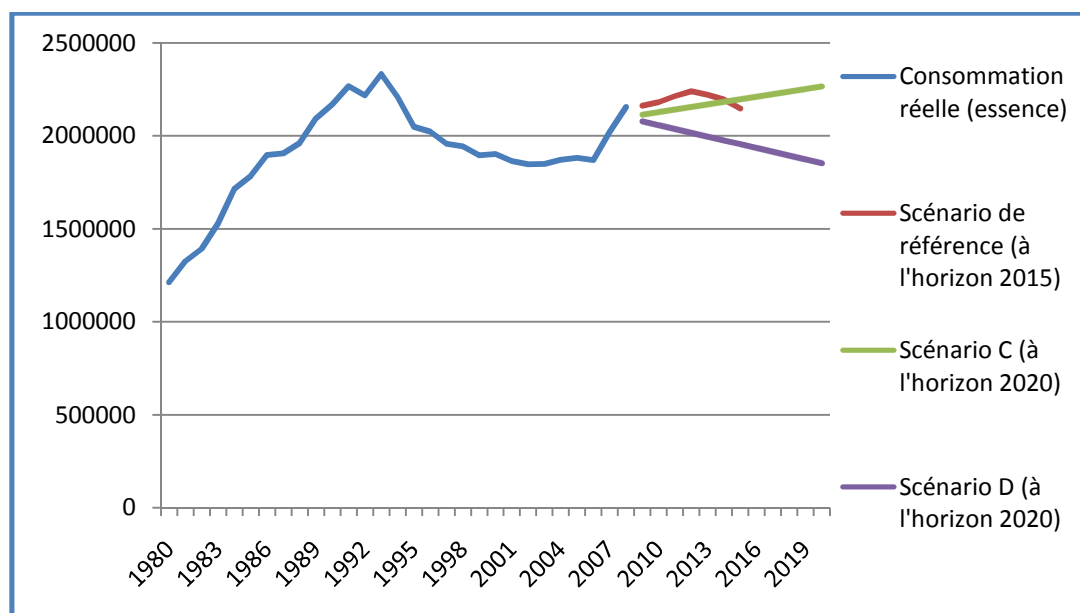


Figure IV.9: Evolution de la consommation d'essence pour les scénarios C et D

Malgré l'augmentation de l'utilisation du transport en commun de 25%, nous observons une faible augmentation de la consommation d'essence (0,42% annuel). Nous justifions cette augmentation par le prix faible de l'essence à cet horizon et l'augmentation du PIB/capita.

Nous constatons également que la consommation du scénario C dépasse celle du scénario de référence à partir de 2015. Ce dépassement résulte de la supériorité du prix de l'essence du scénario de référence.

Nous interprétons cette augmentation par la faiblesse du prix de l'essence dans ce scénario, aussi par le confort de l'utilisation du véhicule particulier par rapport au transport en commun.

Alors qu'avec l'augmentation de l'utilisation du transport de 50%, nous observons une forte diminution de la consommation d'essence de l'ordre de 1,17% annuel.

Nous interprétons cette diminution par l'abandon par les citoyens de leurs propres véhicules au profit du transport en commun et aussi par le prix élevé de l'essence dans ce scénario.

ii. Consommation de gasoil pour les scénarios C et D :

Après avoir interprété les résultats obtenus lors des régressions, nous allons injecter ces valeurs dans le modèles gasoil pour obtenir les prévisions de chaque consommation (voir tableau 5.12 et 5.16, annexe 5) afin de connaître l'évolution de cette consommation à cet horizon pour les scénarios C et D.

Le graphique suivant représente la consommation du gasoil des scénarios C et D :

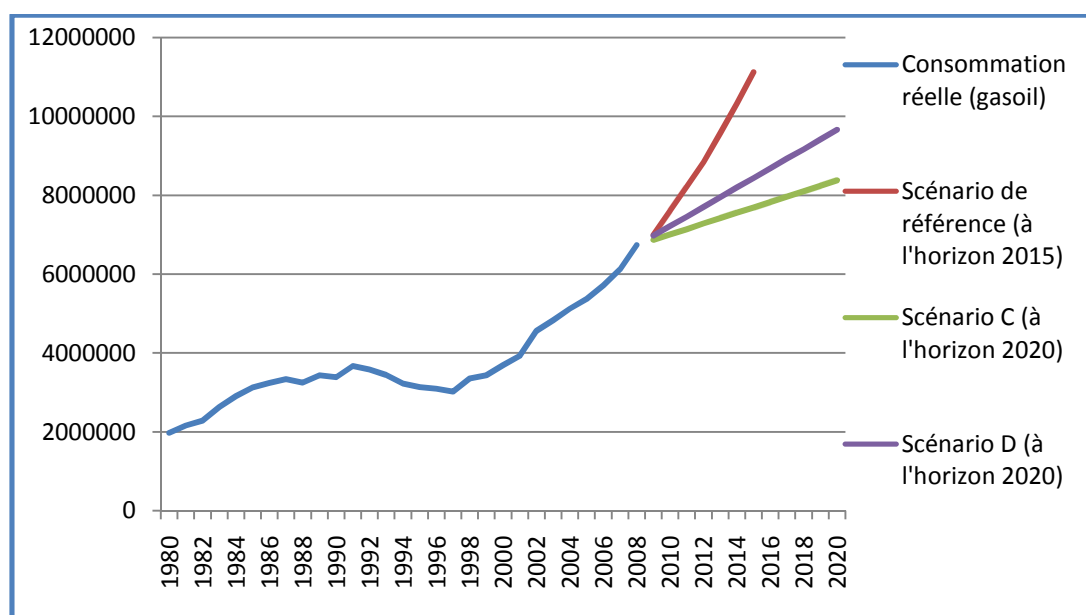


Figure IV.10: Evolution de la consommation de gasoil pour les scénarios C et D

Malgré l'augmentation de l'utilisation du transport en commun de 25% et de 50%, nous remarquons que sa consommation augmente à un taux de 1,83% et de 3,61% annuel respectivement. Ces augmentations sont inférieures à celle du scénario de référence (+9,24%).

Nous interprétons les augmentations de la consommation malgré l'augmentation de l'utilisation du transport en commun par l'utilisation du gasoil par les transports en commun.

Conclusion :

L'application de la méthode des scénarios nous a permis de dégager une première liste des variables influant la consommation des carburants, puis de détecter les variables clés du système, ensuite grâce à l'analyse de la situation passé et l'état actuel, la détermination des acteurs (variables motrices) de notre phénomène.

La réalisation des scénarios a été faite de sorte de à faire apparaitre des éléments d'analyse dans le but de prendre les bonnes décisions futures.

L'application des prévisions pour les scénarios nous révèle :

- L'augmentation du prix d'essence de 50% à l'horizon 2020 causera une faible diminution de la consommation de ce carburant (une faible pente) de taux 0,37% annuel, alors qu'une augmentation de 100% du prix à l'horizon 2020 aura un effet négatif sur cette

consommation, soit une diminution d'un taux de 0,64% annuel.

- Malgré l'augmentation du prix de gasoil de 50% nous remarquons une augmentation de la consommation de ce carburant, celle-ci est largement inférieure à celle du scénario de référence, alors que la consommation pour une augmentation de 100% est relativement proche à celle d'une augmentation de 50% du prix du gasoil. Nous justifions ces augmentations par l'inexistence de carburant concurrent au gasoil dans le marché.
- Malgré l'augmentation de la population utilisant le transport en commun de 25%, la consommation d'essence augmente faiblement, ceci due à une faible augmentation du prix d'essence dans ce scénario et l'augmentation du PIB de 40%. Alors que l'augmentation de la population de l'utilisation du transport en commun de 50% causera une diminution de la consommation d'essence d'un taux de 1,17% ceci est justifiée par le désintéressement des consommateurs de leurs propre véhicules essence causé par la forte augmentation de prix d'essence, ainsi la diversité et l'immensité du réseau des transports en commun.
- Malgré l'augmentation de l'utilisation du transport en commun de 25% ou de 50%, nous constatons une augmentation de la consommation du gasoil. Nous traduisons cette augmentation par l'utilisation du gasoil dans les transports en commun puisque notre modèle n'intègre pas le changement technologique, ainsi l'inexistence d'un carburant concurrent pour le gasoil.

Conclusion générale

L'énergie revêt une importance considérable dans la stratégie de développement économique en Algérie, puisque l'énergie est à la fois nécessaire pour satisfaire les besoins nationaux, mais aussi pour tirer les revenus nécessaires au financement de l'économie à travers l'exportation des hydrocarbures. Dans ce contexte, il est utile de tracer l'évolution possible de l'approvisionnement énergétique du pays dans les différents secteurs socio économiques, afin d'anticiper les changements qui pourraient intervenir et les défis que l'Algérie devrait relever face aux contraintes de ressources d'hydrocarbures qu'elle pourrait subir.

La rationalisation de la consommation énergétique s'avère un axe important, dont le potentiel devrait être évalué en Algérie, puisque cette rationalisation permet à la fois de réaliser des économies de ressources, et surtout de limiter les gaspillages constatés aujourd'hui. Il est clair qu'une consommation non responsable entraînerait le déclin de nos ressources et le recours à l'importation à des prix élevés, dans un contexte de raréfaction des réserves mondiales d'hydrocarbures. On peut noter d'ailleurs, que la majorité des pays du monde ont compris l'utilité d'économiser une énergie de plus en plus précieuse et ont adopté de ce fait des politiques de rationalisation et d'efficacité énergétique.

A travers cette étude, nous avons tenté de comprendre l'évolution de la consommation des carburants pétroliers dans le secteur des transports, un secteur qui est pertinent à analyser en raison du potentiel de rationalisation qu'il recèle.

La première étape de notre étude consiste à identifier les principales variables déterminantes de la consommation des carburants dans les transports et plus précisément de la consommation de l'essence et du gasoil, et de tester leur pouvoir explicatif à travers l'application d'un modèle de régression linéaire multiple.

Deux modèles distincts ont été réalisés, un modèle pour la consommation de gasoil et un autre pour la consommation d'essence.

Conclusion générale

Les principales variables explicatives intégrées dans le modèle de consommation d'essence ont permis de tirer certaines conclusions explicitées ci dessous:

- Taux de croissance du parc automobile : Cette variable, ayant un pouvoir explicatif dans la consommation d'essence, traduirait le fait que les nouveaux véhicules acquis soient notamment des véhicules de motorisation Essence, ce qui reflète l'équipement important de la classe moyenne en véhicules neufs. En effet, cette classe achèterait plutôt des véhicules de moyenne gamme qui sont le plus souvent de motorisation Essence.
- Prix de l'essence : Cette variable s'avère pertinente puisqu'elle encourage ou décourage la consommation de ce dernier,
- Taille du parc automobile : Cette variable implique que le potentiel de consommation d'essence est d'autant plus important que le parc est important,
- Le nombre de voyageurs utilisant le transport en commun : Cette variable prend en compte les déplacements par les moyens de transport collectifs, elle s'avère une variable pertinente dans notre modèle essence puisque l'utilisation du transport en commun réduirait le recours à la voiture particulière, et corollairement la consommation du carburant Essence,
- PIB/capita : cette variable économique exprime la richesse économique, ou plus exactement le revenu par tête qui conditionnerait la demande de mobilité des personnes.

Par ailleurs les variables explicatives influant significativement la consommation du gasoil d'après le modèle élaboré sont :

- Le nombre de voyageurs utilisant le transport en commun : Cette variable prend en compte les déplacements par les moyens de transport collectifs, elle s'avère une variable pertinente dans le modèle gasoil. On pourrait constater que bien que l'utilisation des moyens de transport en commun entrainerait une augmentation de la consommation de gasoil, qui est le principal carburant consommé par ces moyens, cette consommation reste moins importante comparativement à celle des véhicules particuliers. En effet, le transport en commun est un transport de masse.
- Population active : c'est une variable qui prend en compte les personnes actives qui se déplacent et qui ont des revenus pour le faire,

Conclusion générale

- PIB/capita : cette variable économique exprime la richesse économique de la population,
- Prix gasoil : cette variable s'avère pertinente puisqu'elle encourage ou décourage la consommation de ce dernier,

La seconde étape a permis d'effectuer les prévisions des différentes variables explicatives. Ces prévisions ont été réalisées en utilisant la méthode de Box & Jenkins à travers des modèles de types ARIMA (p, d, q) pour chacune des variables explicatives. Les résultats obtenus ont permis de prévoir la consommation des carburants à l'horizon 2015. La consommation d'essence devrait augmenter de 0,97% annuellement jusqu'en 2012, puis elle diminuera à un taux de 1,37% et atteindra 2,15M tonnes environ, et que la consommation du gasoil atteindra 11,1M tonnes environ à l'horizon 2015, marquant un taux de croissance moyen de 9,29% annuel. Nous noterons que les prévisions sur les variables explicatives prennent en compte les facteurs de tendance historique et ne peuvent pas anticiper les décisions futures dans notre système.

Pour la dernière étape, et dans le but d'anticiper la consommation des carburants pétroliers dans les transports, nous avons supposé différents futures probables qui seraient conditionnés par des actions de politique énergétique visant à la rationalisation de l'énergie dans ce secteur. Nous avons adopté donc une méthode prospective « la méthode des scénarios », qui nous a permis de détecter les acteurs de notre système, et d'élaborer différents scénarios comportant des images finales probables. Cette étape nous révèle que l'augmentation du prix de l'essence permet de rationaliser significativement sa consommation. Cet effet, est moins évident pour le gasoil, qui connaîtrait malgré une augmentation des prix une tendance croissante. Cela pourrait s'expliquer par l'absence d'alternatives au gasoil dans le transport de marchandises et dans le transport en commun des voyageurs.

Ce travail fournit donc une base de réflexion sur les déterminants de la consommation des carburants et le potentiel de leurs évolutions sur la base des informations antérieures ainsi que sur la base des actions futures probables. Ces actions pourraient être issues d'une politique de libéralisation des prix ou de taxation des gasoils (l'alignement des prix de gasoil sur les autres carburants par des taxes : taxation des émissions de CO₂, promotion de carburants alternatifs au détriment des produits pétroliers, etc.), ou une politique de renforcement et d'encouragement du transport en commun, notamment dans les zones urbaines.

BIBLIOGRAPHIE

Les références

- **Ouvrages et documents :**

(**ARPUE, 2007**) 2007, Consommation énergétique finale en Algérie APRUE.

(**AIKAPACCHI, 03**) AIKAPACCHI B., 2003, Cours sur la régression multiple, Centre Interuniversitaire de calcul de Grenoble, France,

(**BOURBONNAIS, 98**)BOURBONNAIS R., 1998, Prévision des ventes, Edition DUNOD, Paris,

(**BOURBONNAIS, 02**) BOURBONNAIS R., 2002, Econométrie, Edition DUNOD, Paris.

(**BOUKABOUS, 08**) BOUKABOUS A., 2008, Cours d'économétrie, Département du Génie Industriel, Ecole Nationale Polytechnique (ENP), Alger.

(**BRUNET, 97**) S.BRUNET, 1997, Cours de méthodologie qualitative.

(**BUIGUES, 85**) P.A.BUIGUES., M.G.HILL, 1985, Prospective et compétitivité

(**CADORETI, 09**) CADORET I. C BENJAMIN. F MARTIN. N HERRARD., 2009, Econométrie appliqué, 2^{ème} Edition Groupe DE BOECK, Bruxelles.

(**FAUVEAU, 05**) Thèse doctorat FAUVEAU A, 2005: Construction d'un système expert en économétrie application à la demande d'énergie. Université de Paris.

(**FOUCART, 04**)FOUCART T., 2004, Colinéarité et régression linéaire, Université Pierre et Marie Curie, Paris.

(**GODET, 96**) GODET Michel, *De l'anticipation à l'action*, 1996, Dunod.

(**HATEM, 93**) F.HATEM., La prospective, 1993, ECONOMICA.

(**HAMDANI 10**) S.A.HAMDANI., 2010, Analyse de l'efficacité énergétique du système de transport en Algérie. Communication pour la conférence du WEC (World Energy Council).

(JOHNSON, 99) JOHNSTON J. et DINARDO J., 1999, Méthodes Econométriques, Edition ECONOMICA, Paris.

(KALIKA, 02) KALIKA M., HELFER J. et ORSONI J., 2002, Management stratégie et organisation, 4^{ième} édition VUIBERT, Paris.

(LANTZ, 03) LANTZ F., 2003, La modélisation des marchés de pétrole et des produits pétroliers, Distribuer par IFP (Institut Français du Pétrole), Paris.

(MELARD, 08) G MELARD., 2008, Méthodes de prévisions à court terme, ELIPSE.

(MONFORT, 78) MONFORT A, 1978, Approche de Box & Jenkins et approche économétrique temporelle, INSEE.

(PIERRE, 04) Université de Pierre et Marie Curie (UPM), 2004, Cours sur la régression, Paris.

(RADIC, 93) J-C RADIC., Filtrage et lissage statistique optimale, 1993, ENSA.

(SH, 08) Sonatrach, Rapport annuel 2007, 2008, Edition Sonatrach.

(VON SACHS, 98) Rainer VON SACHS & Sébastien Van Bellegem, 1998, Séries chronologiques Institut de statistique Université catholique de Louvain Voie du Roman Pays, 20 B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium]

- **Revues :**

(BENABDALLAH, 06) BENABDALLAH, 2006 Document interne des transports, communication sur la situation actuelle des ports de commerce en Algérie.

(BENABDALLAH, 07) Texte BENABDALLAH, 2007, le développement des infrastructures en Algérie,

(BILAN MEM, 08) Ministère de l'Énergie et des Mines, Evolution rétrospective du bilan énergétique national 1980-2008.

(BOUSBIA, 06) M. BOUSBIA, 2006, la facilitation du transport international et du passage portuaire en Méditerranée.

(**CHABANE, 03**) CHABANE L, 2003, Tendances du trafic, politique de transport et plans dans la méditerranée occidentale.

- **Sitographie :**

(**DEL**) Méthode Delphi http://erwan.neau.free.fr/toolboxmethode_delphi.htm

(**MEM**) Ministère de l'Énergie et des Mines <http://www.mem-algeria.org/fr/index.htm>

(**NAFTAL**) www.naftal.dz

(**NAFTEC**) www.naftec-dz.com

(**ONS**) Office Nationale des Statistiques www.ons.dz

(**SH**) Sonatrach www.sonatrach-dz.com

(**WIK**) www.wikipédia.org

- **Consultations :**

(**FAUVEAU, 05**) Thèse doctorat FAUVEAU A, 2005 : Construction d'un système expert en économétrie application à la demande d'énergie. Université de Paris.

(**HAMDANI 10**) S.A.HAMDANI., 2010, Analyse de l'efficacité énergétique du système de transport en Algérie. Communication pour la conférence du WEC (World Energy Council).

(**HALLAL, 03**) N.HALLAL, 2003, Magistère: «Prospective sur le prix du pétrole à l'horizon 2030 par la méthode Delphi»,

(**KETTAL, 2007**) A. KETTAL et L. OUIS, 2007, Modélisation et prévision. Moyen terme de la consommation nationale du GPL carburant 2007-2011, mémoire de projet de fin d'études, Département du Génie Industriel, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2006.

(**MED 06**) Medenergie, avril 2006.

(**NAF 03**) Naftec info 01 juillet 2003.

(**OIL**) Oil product 'centre for global energy studies', Tome 3.

(**PRO 02**) Avant projet de loi relative aux hydrocarbures, Sep 2002.

(**SON 08**) Rapport annuel de Sonatrach, décembre 2007.

Les annexes

Annexe 1 : Données de l'étude

Années	PIB/capita en DA	Consommation essence (tonnes)	Consommation gasoil (tonnes)	Taille total du parc automobile	Taux de croissance annuel du parc automobile	Parc automobile (gasoil)	Parc automobile (essence)
1980	8706,1	1212970	1974127	1196381	0,196381		
1981	9940,2	1326221	2161911	1366056	0,14182355		
1982	10438,7	1393504	2284736	1511506	0,106474405		
1983	11390,3	1528789	2635585	1667853	0,103437896		
1984	12454,8	1715085	2906280	1863257	0,117159006		
1985	13337,5	1784843	3127540	1999576	0,073161673		
1986	13173	1897157	3236904	2110601	0,055524271		
1987	13514,2	1907341	3337156	2228544	0,05588124		
1988	14620,4	1962230	3246494	2311667	0,037299241		
1989	17290,5	2093969	3435207	2404333	0,040086223		
1990	22156	2169015	3390503	2491771	0,036366843		
1991	33620,6	2267384	3673728	2554662	0,025239478		
1992	40908,1	2217840	3577702	2601439	0,018310446		
1993	44237,6	2333354	3446211	2650662	0,018921451		
1994	54095,3	2209085	3225275	2692427	0,015756441		
1995	71453,8	2049359	3131433	2724160	0,011786021		
1996	89968,1	2022983	3097795	2742306	0,006661136		
1997	95719,3	1958481	3023384	2786257	0,016027023		
1998	95926,1	1944393	3351496	2818681	0,011637117	680773	2047751
1999	108066	1895698,212	3434132	2886064	0,023905862	779237	2106827
2000	135570,6	1903944,41	3697428	2914272	0,009773865	760522	2059370
2001	136892,8	1864496	3929919	2938252	0,00822847	776937	2066345
2002	144234,9	1847650	4560486	2977857	0,013479103	792894	2089283
2003	164918,4	1850061	4833707	3027445	0,016652244	833193	2097515
2004	190084,6	1872343	5124643	3107526	0,026451678	874576	2134413
2005	229886,6	1882836	5370000	3211052	0,033314605	926912	2183879
2006	254239,3	1871115,85	5720000	3379537	0,052470343	1033368	2265898
2007	275935,2	2021972	6126459	3549103	0,050174329	1157494	2391108
2008	317825,2	2155839	6740000	3730732	0,05117603	1301248	2572596

Tableau 1.1 : Données historiques des données 1980-2008

Annexe 1

Années	Prix de l'essence	Prix du gasoil	Prix du GPLc	Population (en milliers)	Population active	Nombre de personnes utilisant le transport	Masse salariale (milliers de Dinars)
1980	0,1	0,2	0	18666	4853160	1,45E+08	57.10000
1981	0,5	0,2	0	19262	5046644	1,62E+08	65.80000
1982	1,39	0,2	0	19883	5268995	1,62E+08	76.90000
1983	1,39	0,2	0	20522	5779374	1,61E+08	88.60000
1984	1,39	0,2	0	21185	5698765	1,51E+08	94.20000
1985	2,3	0,2	0	21863	5946736	1,53E+08	103.0000
1986	2,3	0,45	0	22512	6168288	1,45E+08	120.1000
1987	2,3	0,45	0	23139	6386364	1,68E+08	125.7000
1988	2,3	0,45	0	23783	6611674	1,82E+08	137.5000
1989	2,3	0,45	0	24409	6810111	1,70E+08	152.2000
1990	3	1,1	1,1	25022	6810111	1,60E+08	180.0000
1991	5	1,3	1,3	25643	7359541	1,18E+08	255.5000
1992	5	1,3	1,3	26271	7697403	1,11E+08	341.3000
1993	6	2,7	2,7	26894	8014412	74000000	412.5000
1994	7	6,45	4	27496	8386280	61000000	469.9000
1995	12	7,5	4,8	28060	8726660	48000000	568.8000
1996	13	9,7	5	28566	9055422	37000000	667.2000
1997	18	11,5	7	29045	9410580	42000000	772.1000
1998	18,4	11,5	7,2	29507	9766817	44000000	794.6000
1999	19,15	11,75	7,2	29965	10128170	51000000	847.6000
2000	19,15	11,75	7,2	30416	10493520	54000000	884.6000
2001	19,15	11,75	7,2	30879	10869408	58000000	972.4000
2002	20,15	11,75	7,2	31357	11229408	60000000	1047.300
2003	20,15	11,75	7,2	31848	11585645	66000000	1116.500
2004	21,2	11,75	7,2	32364	11950645	73000000	1244.600
2005	21,2	11,75	7,2	32600	12300651	78000000	1349.600
2006	21,2	13,7	9	33200	12629413	82000000	1429.600
2007	21,2	13,7	9	33800	13054622	87000000	1534,5
2008	21,2	13,7	9	34230	13870796	93000000	1648,3

Tableau 1.2 : Données historiques des données 1980-2008

Annexe 2 : Guide Eviews



EViews est un logiciel d'économétrie moderne et convivial offrant toutes les fonctions nécessaires en analyse financière, prévision macro-économique et simulation

Le logiciel est équipé notamment de techniques d'estimation d'équations pour séries chronologiques et tableaux croisés, d'évaluation de modèles, de prévision et simulation stochastique et enfin de la gestion de bases de données.

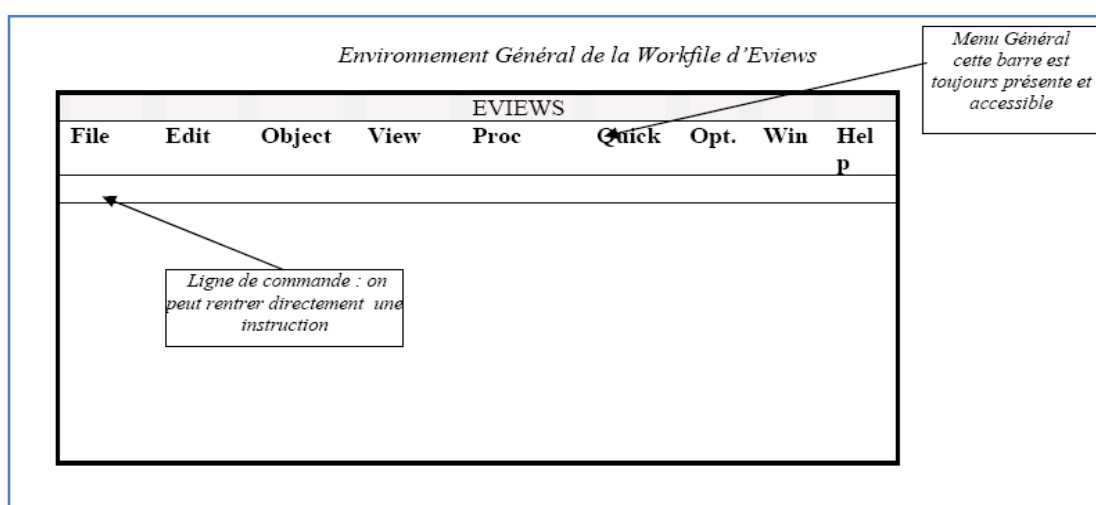


Figure 2.1 : L'environnement de l'espace de travail (Workfile) de Eviews 5

1. Création d'un espace de travail (Workfile) :

La première étape pour l'étude de séries chronologiques consiste à créer un espace de travail (*WORKFILE*) par `<file> <new-workfile>`, c'est-à-dire un espace d'accueil pour les séries statistiques (mensuelles, semestrielles, annuelles, sans dates ...) et les résultats de calcul.

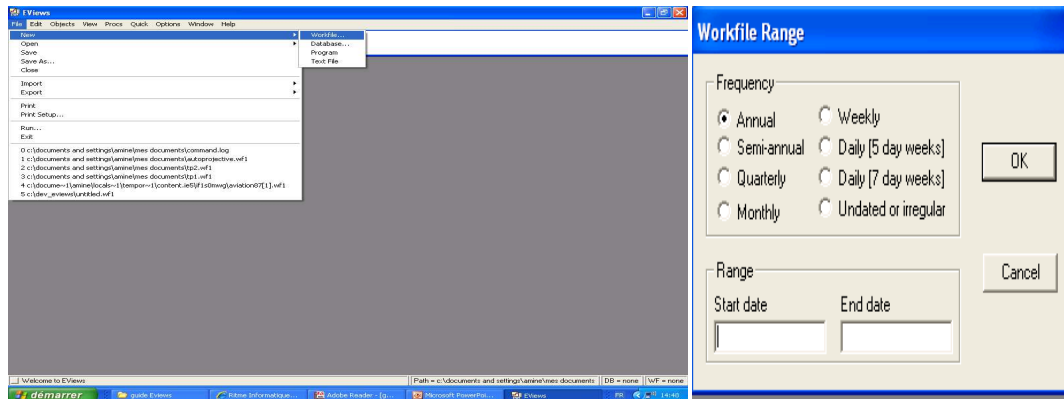


Figure 2.2 : Création d'un Workfile

2. Introduire des données statistiques :

Créer des séries :

<Objects> <new-objects> *series* puis donner un nom pour la série

(Fenêtre à droite). Ensuite sélectionner, dans la *workfile*, le ou les noms des séries à rentrer.

Rentrer les données

Cliquer sur *edit +/-* (dans la *Spreadsheet*) et après la saisie, quitter par fermeture de la fenêtre et revenir à la *workfile*. Pour vérifier la saisie, dans la *workfile* sélectionner les noms des séries.

Sauvegarder et donner un nom à la Workfile

Menu général : <File> <SaveAs> Donner un nom au fichier, les données sont maintenant sauvegardées.

Modifier les données d'une ou plusieurs séries

Sélectionner la ou les séries puis double cliquer puis <edit +/->.

Si la série est en représentation graphique ou sur d'autres fonctions (corrélation, statistiques, etc.)

sélectionner <View> puis <Spreadsheet> puis <edit +/->.

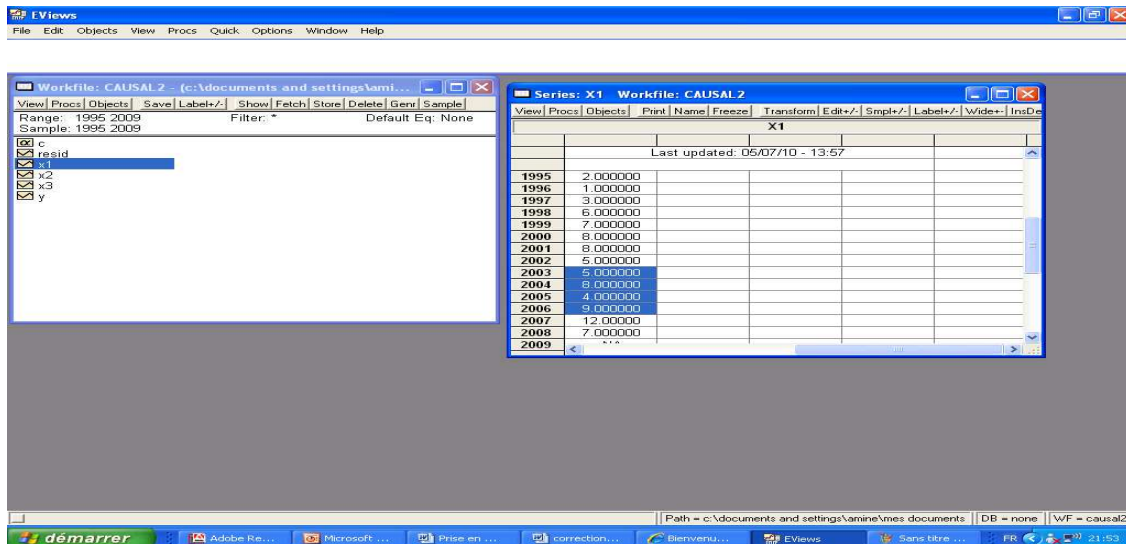


Figure 2.3 : Modification d'une série

3. Faire un graphique :

Après avoir ouvert votre *workfile* en sélectionnant *File* *Open* *Workfile* (Nom du Workfile), employez la commande PLOT suivie du nom de la série dont vous désirez obtenir le graphique.

Vous pouvez également utiliser à partir de la barre D'outils de votre *workfile* *View / Show ?* (*Nom de la ou des séries*) ; dans ce cas, la ou les séries demandées apparaissent sous forme de tableau qui est un objet (que vous pouvez sauvegarder). Dans la barre d'outils de cet objet sélectionnez *View ? Graph ? type de graphique que vous voulez faire*.

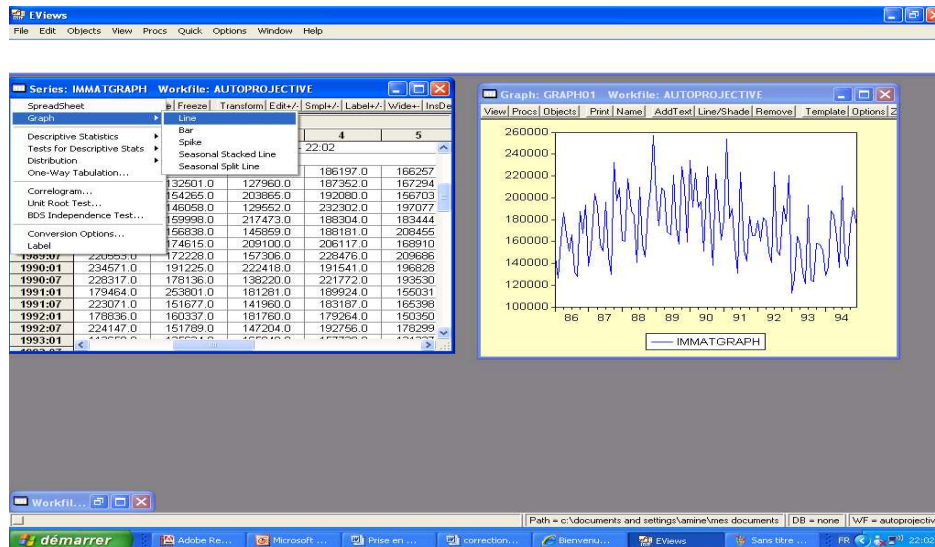


Figure 2.4 : Elaboration d'un graphique

4. Etablir une régression selon la méthode des moindres carrés ordinaires

Après avoir ouvert votre workfile, tapez dans la ligne de commande située en-dessous du menu principal :

LS Nom de la variable expliquée C Noms des variables explicatives séparés par un espace.

Par exemple, si l'on régresse la consommation sur le revenu en ayant créé auparavant les séries CONSOMMATION et REVENU, il faut écrire l'instruction

LS CONSOMMATION C REVENU

Et le tableau suivant (fenêtre de résultats) apparaît (le C représente la constante) :

Equation: UNTITLED Workfile: CAUSAL 1

View Procs Objects Print Name Freeze Estimate Forecast Stats Resids

Dependent Variable: BENEFICE
 Method: Least Squares
 Date: 05/04/10 Time: 00:17
 Sample: 1 10
 Included observations: 10

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-10.16643	2.549165	-3.988141	0.0053
DEPENDSES_PUB	4.220398	0.412790	10.22409	0.0000
INVESTISSEMENT_...	0.367613	0.084701	4.340116	0.0034

R-squared	5	0.938699	Mean dependent var	11.00000	11
Adjusted R-squared	6	0.921184	S.D. dependent var	6.699917	12
S.E. of regression	7	1.880944	Akaike info criterion	4.344750	13
Sum squared resid	8	24.76566	Schwarz criterion	4.435525	14
Log likelihood	9	-18.72375	F-statistic	53.59520	15
Durbin-Watson stat	10	2.017770	Prob(F-statistic)	0.000057	16

Figure 2.5 : Méthode des moindres carrés ordinaires

1 : coefficients estimés $\hat{\beta}_k$

2 : estimateurs des écart-types des coefficients estimés (Std. Error) $s(\hat{\beta}_k)$

3 : valeur du t de Student calculé $t_{\beta_k} = \frac{\hat{\beta}_k}{s(\hat{\beta}_k)}$

4 : probabilité critique (p -value) du test de nullité des coefficients. Pour un risque de 5%, si $\text{prob} < 0.05$, on rejette l'hypothèse H_0 de nullité du coefficient associé.

5 : coefficient de détermination (R^2)

6 : coefficient de détermination ajusté (\bar{R}^2)

7 : estimateur de l'écart-type des résidus de la régression (Standard Error of regression) $\hat{\sigma}$

8 : somme des carrés des résidus

9 : log vraisemblance

10 : statistique de Durbin-Watson

11 : moyenne de la variable dépendante

12 : écart-type de la variable dépendante

13 : critère d'Akaike

14 : critère de Schwarz

15 : valeur du Fisher empirique

16 : probabilité critique du Fisher empirique utilisée pour tester la nullité conjointe des coefficients.

Comme vous l'observez, ce tableau vous donne les principales valeurs caractéristiques d'une régression. Le menu de la fenêtre équation, dans laquelle figure la régression, vous permet d'accéder à différents aspects de la régression effectuée. Par exemple, si vous cliquez sur le bouton *Resids* de ce menu, vous obtenez un graphique des résidus (perturbations).

5. Tester des restrictions sur les coefficients :

Le test de restrictions sur les coefficients (test de WALD) est utilisé lorsqu'on veut affirmer ou infirmer des hypothèses sur les coefficients par exemple on test $C(2) > 1$

Dans la fenêtre de résultats aller a « View » / « coefficient tests » / « wald – coefficient restrictions » et entrer la ou les restrictions sur les coefficients.

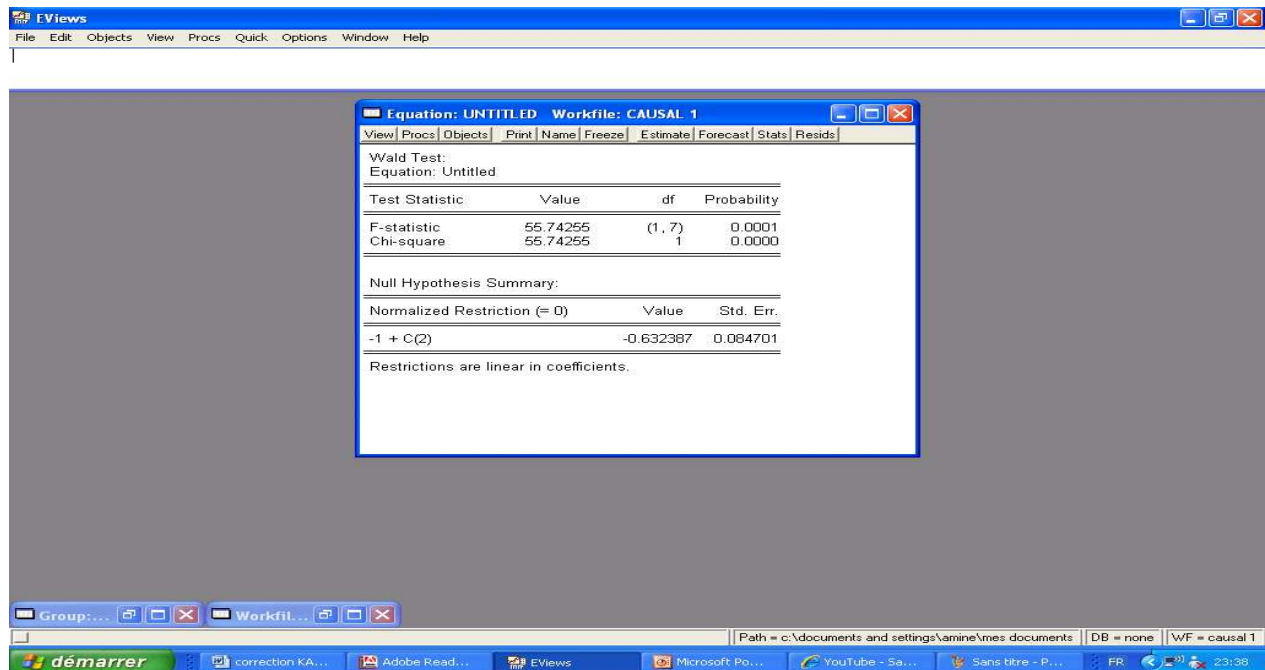


Figure 2.6: Test de Wald

Remarque :

Si la probabilité > 0.01 Alors l'hypothèse sur la restriction est acceptée au risque 1%

6. Test sur les résidus:

Tester l'autocorrélation des erreurs :

Autocorrélation d'ordre 1 (test de Durbin Watson) :

La statistique de Durbin Watson est donnée dans la fenêtre des résultats de l'estimation et il suffit d'utiliser la table de Durbin Watson pour déterminer si il y'a ou pas autocorrélation d'ordre **Autocorrélation d'ordre supérieur a 1** ☹️ **test de Ljung & Box**

Pour effectuer le test de Ljung & Box dans le tableau de résultats « View » / « residual tests » / « correlogram- Q –statistics »

On obtiendra le Correlogram des résidus

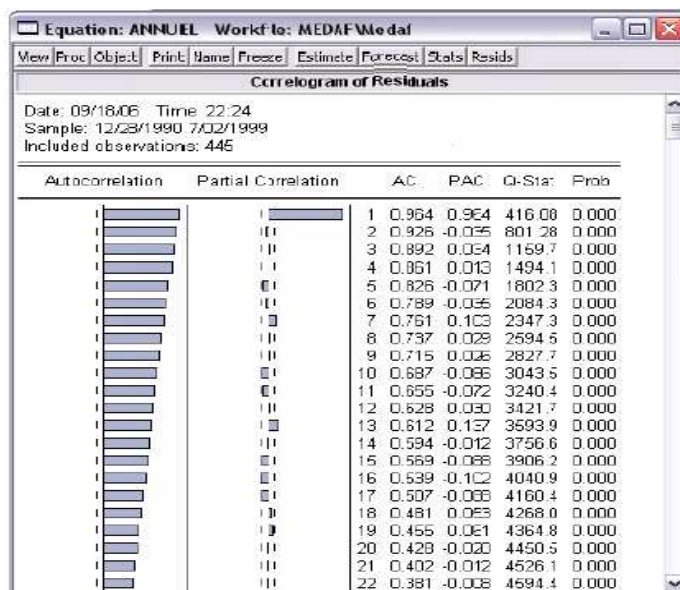
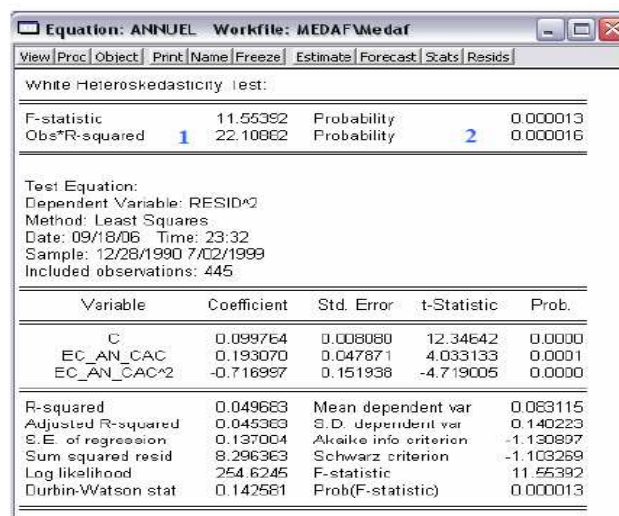


Figure 2.7 : Test d'autocorrélation

Il faudra étudier les graphiques de AC et PAC pour déterminer le type d'autocorrélation

Tester l'hétéroscédasticité des erreurs :

Pour tester l'hétéroscédasticité toujours dans le tableau de résultats aller a « View » / « Residual test » / « hétéroskédasticity (cross terms) »



1 : statistique de White : $W = N \cdot R^2$ avec N le nombre d'observations

2 : probabilité critique (dans l'exemple, Prob < 0.05 donc l'hypothèse d'homoscédasticité des erreurs est rejetée)

Validation du modèle :

Test de normalité (est ce que le bruit blanc est gaussien ou pas)

Dans le tableau de résultats du modèle aller a View / residual tests / Histogram Normality

Test

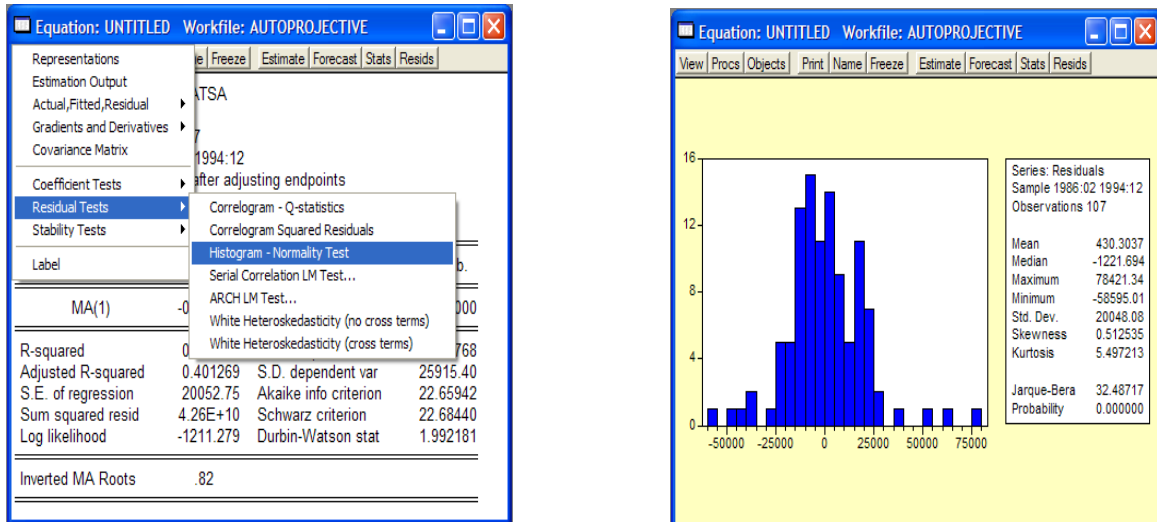


Figure 2.8 : Test de normalité

$$S = \frac{N}{6} S_K + \frac{N}{24} (Ku - 3)^2 \text{ suit une loi de Khi deux}$$

Avec : N : nombre d'observation

Sk : le coefficient de Skewness

Ku : le coefficient de Kurtoisis

La statistique de Jarques Bera $< S$ au seuil de 5% Par conséquent on accepte l'hypothèse de normalité des résidus => modèle est validé

7. Enlever la saisonnalité

Pour enlever la saisonnalité a une série aller a Procs > Seasonal ajustement > Moving average methods

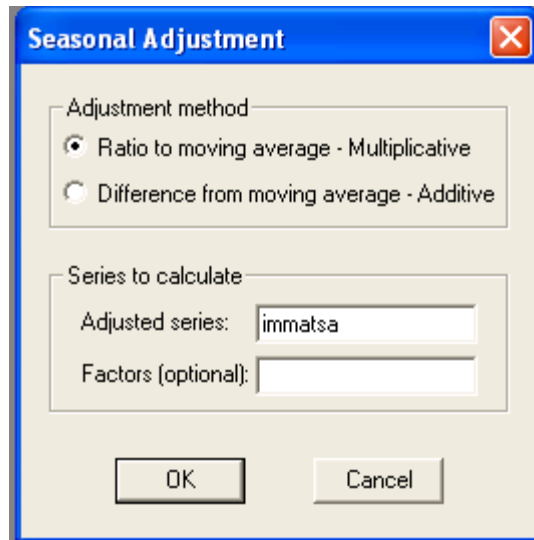


Figure 2.9 : Ajustement de la saisonnalité

8. Etude de la stationnarité dans la série dessaisonné (Test de Dickey Fuller) :

Pour cela on ouvre la série et on clique sur « view »/« test »/« unit root »

Trois modèles seront estimés (none, intercept, trend and intercept) afin de déterminer si la cause de non stationnarité de la série est de type déterministe ou stochastique

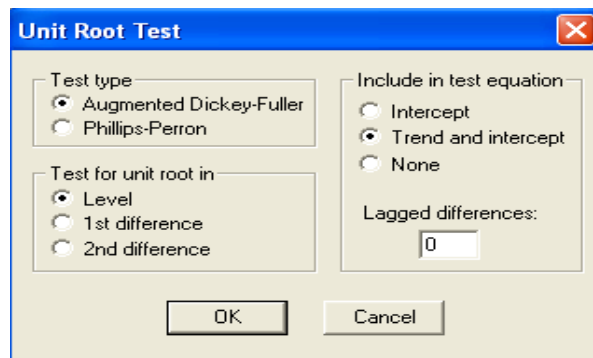


Figure 2.10 : Test de Dickey-Fuller

9. Faire une prévision:

Pour calculer la prévision, il faut d'abord modifier l'horizon et le nombre d'observations de l'échantillon, c'est-à-dire respectivement *Modifier* les *Range* et *Sample* dans le *Workfile*.

<Procs> <Expand range> permet d'augmenter l'espace de travail en rajoutant des années supplémentaires ou bien double cliquer directement dans <Range>. <Procs> <Sample> permet de modifier la taille de l'échantillon ou bien double cliquer dans <Sample>.

Aller dans la série REV et rajouter les valeurs prévues pour la variable explicative. Revenir

dans l'équation.

<Forecast> permet de réaliser la prévision de consommation à partir du modèle estimé par les MCO.

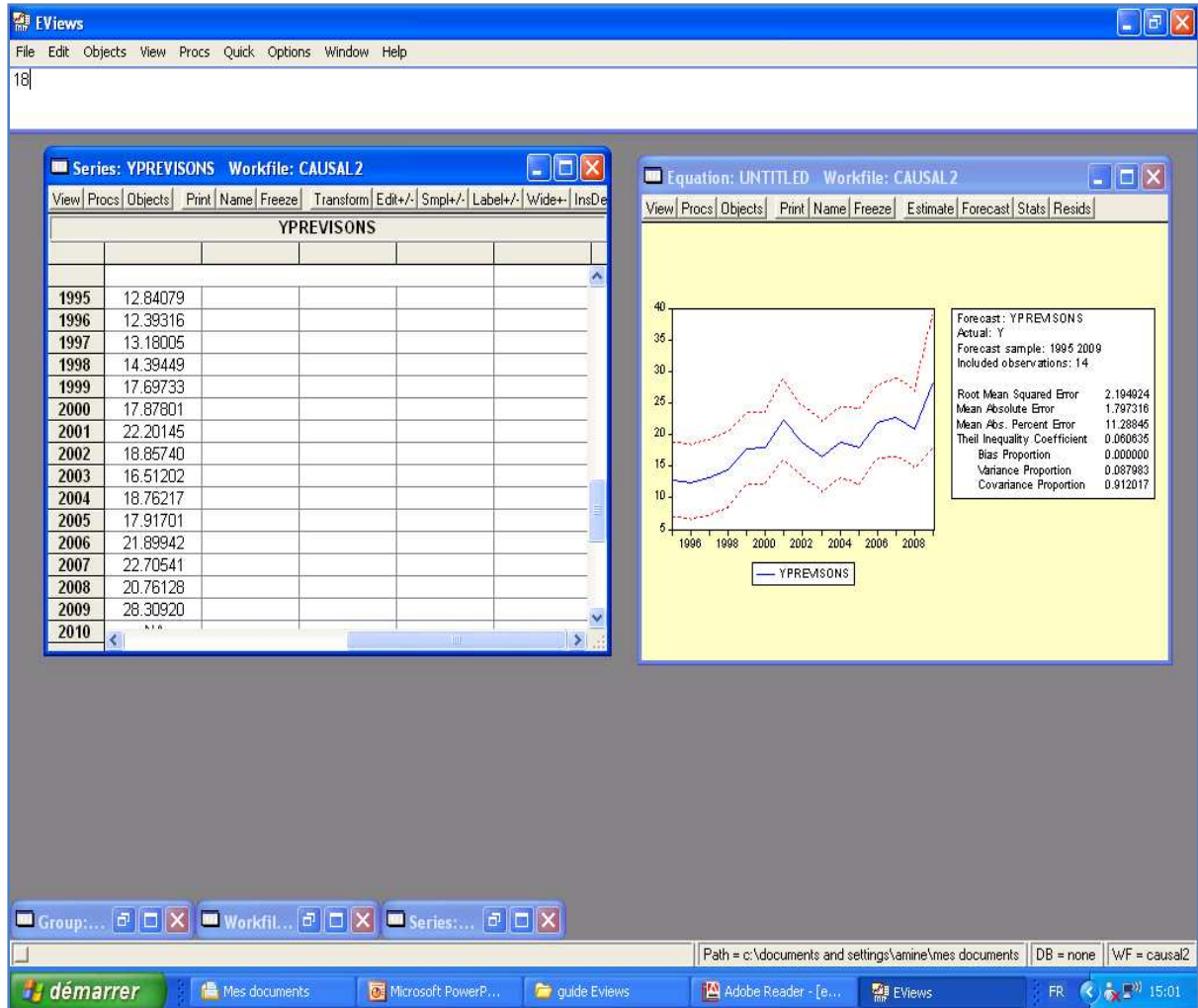


Figure 2.11 : Prévision avec Eviews

Annexe 3

1. Régression pas à pas pour le modèle simple pour la consommation d'essence :

1^{ère} étape :

Variables explicatives	R^2	T-test	Variables retenues
P_{ess}	0.061	Pour Tcr : t-statistic=7 $\geq t$ -tabulée=2.896	Tcr
P_{gas}	0.053		
P_{gdlc}	0.072		
Ms	0.069		
Pop	0.0260		
Pop _{act}	0.147		
Pop _{tc}	0.133		
Tcr	0.645		
Parc	0.438		
Pib	0.056		

Tableau 2.1 : 1^{ère} étape de la régression pas à pas

D'après les 10 régressions effectuées, on remarque que la meilleure régression est celle qui correspond à la variable explicative Tcr (taux de croissance du parc automobile), car c'est celle qui représente le meilleur taux de R^2 .

D'après le T- Test donné dans le tableau II.2, la variable Tcr est significativement différente de zéro. La 1^{ère} variable retenue est donc la variable « Tcr »

Nous passons à la deuxième étape pour la sélection de la 2^{ème} variable explicative.

2^{ème} étape :

Variables explicatives	R^2	T-test	Variables retenues
Tcr, P_{ess}	0.708	Pour Tcr : t-statistic=7.6 $\geq t$ -tabulée=2.998	Tcr
Tcr, P_{gas}	0.702		
Tcr, P_{gdlc}	0.684		
Tcr,Ms	0.658		
Tcr,Pop	0.653		
Tcr,Pop _{act}	0.0654	Pour P_{ess} : t-statistic=6.38 $\geq t$ -tabulée=2.998	P_{ess}
Tcr,Pop _{tc}	0.693		
Tcr,Parc	0.654		
Tcr,Pib	0.648		

Tableau2.2 : 2^{ème} étape de la régression pas à pas

D'après les 9 régressions effectuées, on remarque que la meilleure régression est celle qui correspond aux variables explicatives :Tcr, P_{ess} car c'est celle qui présente le meilleur taux de réalité R^2 , taux supérieur à celui du modèle retenu à l'étape précédente.

D'après le T- Test (le tableau II.3), les variables Tcr et P_{ess} sont significativement différentes de zéro. Dans cette étape, les variables retenues sont donc : Tcr, et P_{ess} .

3^{ème} étape :

Variables explicatives	R^2	T-test	Variables retenues
P_{ess}, Tcr, P_{gas}	0.709	Pour Tcr :	Tcr
P_{ess}, Tcr, P_{gplc}	0.777	t-statistic=6.48 $\geq t$ -tabulée=3.143	
P_{ess}, Tcr, Ms	0.857	Pour P_{ess} :	P_{ess},
P_{ess}, Tcr, Pop	0.917	t-statistic=10.88 $\geq t$ -tabulée=3.143	
P_{ess}, Tcr, Pop_{act}	0.864	Pour parc :	Parc
P_{ess}, Tcr, Pop_{tc}	0.714	t-statistic=9.73 $\geq t$ -tabulée=3.143	
$P_{ess}, Tcr, Parc$	0.939		
P_{ess}, Tcr, Pib	0.8543		

Tableau 2.3 : 3^{ème} étape de la régression pas à pas

Nous remarquons que la meilleure régression est celle qui correspond aux variables explicatives : Tcr, P_{ess} et Parc car c'est celle qui présente le meilleur taux de réalité R^2 , ce dernier est supérieur au taux de réalité du modèle retenu à l'étape précédente. $R^2 = 0.939$

Les variables Tcr, P_{ess} et Parc sont significativement différentes de zéro. Ceci est illustré par le T- Test donné dans le tableau II.4. Les variables retenues sont donc : Tcr, P_{ess} et Parc.

4^{ème} étape :

Variables explicatives	R^2	T-test	Variables retenues
P_{ess}, Tcr, P_{gas}	0.939	Pour Tcr :	Tcr
P_{ess}, Tcr, P_{gplc}	0.946	t-statistic=5.73 $\geq t$ -tabulée=3.65	
P_{ess}, Tcr, Ms	0.952	Pour P_{ess} :	P_{ess},
P_{ess}, Tcr, Pop	0.939	t-statistic=13.46 $\geq t$ -tabulée=3.65	
P_{ess}, Tcr, Pop_{act}	0.953	Pour parc :	Parc
P_{ess}, Tcr, Pop_{tc}	0.967	t-statistic=13.80 $\geq t$ -tabulée=3.65	
P_{ess}, Tcr, Pib	0.962	Pour pop_{tc} : t-statistic=5.59 $\geq t$ -tabulée=3.65	

Tableau 2.4 : 4^{ème} étape de la régression pas à pas

La meilleure régression est celle qui correspond aux variables explicatives: T_{cr} , P_{ess} , $Parc$ et Pop_{tc} , car c'est celle qui présente le meilleur taux de réalité R^2 , taux supérieur au R^2 du modèle retenu à l'étape précédente. Avec : $R^2 = 0.967$

D'après le T- Test qui apparaît dans le tableau II.5, les variables T_{cr} , P_{ess} , $Parc$ et Pop_{tc} sont significativement différentes de zéro. Les variables retenues sont donc : T_{cr} , P_{ess} , $Parc$ et Pop_{tc} .

5^{ème} étape :

Variabes explicatives	R^2	T-test	Variabes retenues
$Pop_{tc}, P_{ess}, T_{cr}, P_{gas}$	0.976	Pour T_{cr} : t-statistic=4.35 $\geq t$ -tabulée=3.74	T_{cr} P_{ess} $Parc$ Pop_{tc} Pib
$Pop_{tc}, P_{ess}, T_{cr}, P_{gplc}$	0.969	Pour P_{ess} : t-statistic=8.92 $\geq t$ -tabulée=3.74	
$Pop_{tc}, P_{ess}, T_{cr}, Ms$	0.978	Pour $parc$: t-statistic=10.65 $\geq t$ -tabulée=3.74	
$Pop_{tc}, P_{ess}, T_{cr}, Pop$	0.970	Pour pop_{tc} : t-statistic=4.29 $\geq t$ -tabulée=3.74	
$Pop_{tc}, P_{ess}, T_{cr}, Pop_{act}$	0.976	Pour pib : t-statistic=3.84 $\geq t$ -tabulée=3.74	
$Pop_{tc}, P_{ess}, T_{cr}, Pib$	0.979		

Tableau2.5 : 5^{ème} étape de la régression pas à pas

La meilleure régression est celle qui correspond aux variables explicatives: **T_{cr}** , **P_{ess}** , **$Parc$** , **Pop_{tc}** et **pib** , car c'est celle qui présente le meilleur taux de réalité R^2 , taux supérieur au R^2 du modèle retenu à l'étape précédente. Avec : $R^2 = 0.967$

D'après le T- Test qui apparaît dans le tableau II.5, les **T_{cr}** , **P_{ess}** , **$Parc$** , **Pop_{tc}** et **pib** sont significativement différentes de zéro. Les variables retenues sont donc : **T_{cr}** , **P_{ess}** , **$Parc$** , **Pop_{tc}** et **pib** .

6^{ème} étape :

Variables explicatives	R ²	T-test	Variables retenues
Pib,Pop_{tc},P_{ess},Tcr,P_{gas}	0.985	Pour Tcr : t-statistic=2.17 ≤t-tabulée=5.54	
Pib,Pop_{tc},P_{ess},Tcr,P_{gplc}	0.980	Pour P _{ess} : t-statistic=3.46 ≤t-tabulée=3.74	Tcr
Pib,Pop_{tc},P_{ess},Tcr,Ms	0.979	Pour parc : t-statistic=2.75 ≤t-tabulée=3.74	P_{ess}
Pib,Pop_{tc},P_{ess},Tcr,Pop	0.979	Pour pop _{tc} : t-statistic=3.17 ≤t-tabulée=3.74	Parc
Pib,Pop_{tc},P_{ess},Tcr,Pop_{act}	0.978	Pour pib : t-statistic=3.81 ≤t-tabulée=3.74	Pop_{tc}
		Pour P _{gas} : t-statistic=3.81 ≤t-tabulée=3.74	Pib

Tableau2.6 : 6^{ème} étape de la régression pas à pas

D'après les 5 régressions effectuées, la nouvelle variable explicative intégrée dans chaque modèle n'est jamais significative. En effet, d'après le T- Test, illustré dans le *Tableau II.6*, les variables P_{gas}, P_{gplc}, POP, pop_{act}, Ms sont non significativement différentes de zéro. Nous remarquons que pour chaque variable, nous avons : T- Statistic ≤ t- tabulée. La procédure est donc arrêtée.

En conclusion, les variables retenues pour expliquer au mieux la consommation d'essence sont :

- Le PIB ;
- La taille de la population utilisant le transport en commun (POP_{tc}) ;
- Le taux de croissance du parc automobile (Tcr) ;
- La taille du parc automobile (Parc).
- Et le prix de l'essence (P_{ess}).

2. Régression pas à pas sur le modèle logarithmique pour le modèle essence :

1^{ère} étape :

Variabiles explicatives	R^2	T-test	Variabiles retenues
P_{ess}	0.389	Pour Parc : t-statistic=6.242 \geq t-tabulée=2.896	Parc
P_{gas}	0.249		
Ms	0.267		
Pop	0.361		
Pop_{act}	0.247		
Pop_{tc}	0.123		
Tcr	0.422		
Parc	0.590		
Pib	0.200		

Tableau2.7 : 1^{ère} étape de la régression pas à pas

D'après les 9 régressions effectuées, on remarque que la meilleure régression est celle qui correspond à la variable explicative **Parc**, car c'est celle qui présente le meilleur taux de réalité R^2 . $R^2=0.590$

D'après le T- Test donné dans le *Tableau II.7*, la variable **Parc** est significativement différente de zéro, donc la 1^{ère} variable retenue est la variable «**Parc**».

2^{ème} étape :

Variabiles explicatives	R^2	T-test	Variabiles retenues
Parc,P_{ess}	0.684	Pour Parc : t-statistic=17.159 \geq t-tabulée=2.998	Parc
Parc,P_{gas}	0.734		
Parc,Ms	0.843		
Parc,Pop	0.878	Pour Pop _{act} : t-statistic=12.175 \geq t-tabulée=2.998	Pop_{act}
Parc,Pop_{act}	0.938		
Parc,Pop_{tc}	0.621		
Parc,Tcr	0.618		
Parc,Pib	0.883		

Tableau2.8 : 2^{ème} étape de la régression pas à pas

D'après les 9 régressions effectuées, on remarque que la meilleure régression est celle qui correspond aux variables explicatives : Parc, Pop_{act} car c'est celle qui présente le meilleur taux de réalité R^2 , taux supérieur à celui du modèle retenu à l'étape précédente.

D'après le T- Test (*le tableau II.8*), les variables Parc et Pop_{act} sont significativement différentes de zéro. Dans cette étape, les variables retenues sont donc : Parc et Pop_{act}.

3^{ème} étape :

Variables explicatives	R ²	T-test	Variables retenues
Pop _{act} , Parc, P _{ess}	0.941	Pour Parc :	Parc Pop _{act}
Pop _{act} , Parc, P _{gas}	0.947	t-statistic=18.93 ≥t-tabulée=3.143	
Pop _{act} , Parc, Ms	0.952	Pour pop _{act} :	
Pop _{act} , Parc, Pop	0.947	t-statistic=7.62 ≥t-tabulée=3.143	
Pop _{act} , Parc, Pop _{tc}	0.945	Pour Ms :	
Pop _{act} , Parc, Tcr	0.945	t-statistic=2.73	
Pop _{act} , Parc, Pib	0.950	≤t-tabulée=3.143	

Tableau2.9 : 3^{ème} étape de la régression pas à pas

D'après les 7 régressions effectuées, la nouvelle variable explicative intégrée dans chaque modèle n'est jamais significative. En effet, d'après le T- Test, illustré dans le *Tableau II.9*, les variables P_{ess}, P_{gasoil}, Ms, Pop, Pop_{tc}, Tcr et Pib sont non significativement différentes de zéro. On remarque que pour la variable Ms:

t- Statistic ≤ t- tabulée. La procédure est donc arrêtée.

En conclusion, les variables retenues pour expliquer au mieux la consommation d'essence sont :

- Parc,
- Pop_{act}.

3. Régression pas à pas pour le modèle simple pour la consommation du gasoil :

1^{ère} étape :

Variables explicatives	R ²	T-test	Variables retenues
P _{ess}	0.558	Pour Pib : t-statistic=12.64 ≥t-tabulée=2.896	Pib
P _{gas}	0.505		
P _{gdlc}	0.551		
Ms	0.786		
Pop	0.713		
Pop _{act}	0.792		
Pop _{tc}	0.142		
Tcr	0.162		
Parc	0.756		
Pib	0.855		

Tableau2.10 : 1^{ère} étape de la régression pas à pas

D'après les 10 régressions effectuées, on remarque que la meilleure régression est celle qui correspond à la variable explicative Pib, car c'est celle qui représente le meilleur taux de R^2 . D'après le T- Test donné dans le tableau II.10, la variable Pib est significativement différente de zéro. La 1ère variable retenue est donc la variable « Pib ».

2^{ème} étape :

Variables explicatives	R^2	T-test	Variables retenues
Pib, P _{ess}	0.882	Pour Pib : t-statistic=10.47 ≥t-tabulée=2.998	Pib
Pib, P _{gas}	0.905		
Pib, P _{gnlc}	0.896	Pour P _{gas} : t-statistic=3.70 ≥t-tabulée=2.998	P _{gas}
Pib, Ms	0.869		
Pib, Pop	0.857		
Pib, Pop _{act}	0.855		
Pib, Pop _{tc}	0.891		
Pib, Tcr	0.863		
Pib, parc	0.877		

Tableau2.11 : 2^{ème} étape de la régression pas à pas

D'après les 9 régressions effectuées, on remarque que la meilleure régression est celle qui correspond aux variables explicatives : Pib, P_{gas} car c'est celle qui présente le meilleur taux de réalité R^2 , taux supérieur à celui du modèle retenu à l'étape précédente.

D'après le T- Test (le tableau II.11), les variables Pib et P_{gas} sont significativement différentes de zéro. Dans cette étape, les variables retenues sont donc : Pib, et P_{gas}.

3^{ème} étape :

Variables explicatives	R^2	T-test	Variables retenues
P _{gas} , Pib, P _{ess}	0.924	Pour Pib : t-statistic=5.14 ≥t-tabulée=3.143	Pib
P _{gas} , Pib, P _{gplc}	0.909		
P _{gas} , Pib, Ms	0.939	Pour P _{gas} : t-statistic=11.62 ≥t-tabulée=3.143	P _{gas}
P _{gas} , Pib, Pop	0.972		
P _{gas} , Pib, Pop _{act}	0.977	Pour Pop _{act} : t-statistic=8.95 ≥t-tabulée=3.143	Pop _{act}
P _{gas} , Pib, Pop _{tc}	0.905		
P _{gas} , Pib, Tcr	0.965		
P _{gas} , Pib, parc	0.971		

Tableau2.12 : 3^{ème} étape de la régression pas à pas

Nous remarquons là aussi, que la meilleure régression est celle qui correspond aux variables explicatives : P_{ib} , P_{gas} et Pop_{act} car c'est celle qui présente le meilleur taux de réalité R^2 , ce dernier est supérieur au taux de réalité du modèle retenu à l'étape précédente. $R^2 = 0.977$

Les variables P_{ib} , P_{gas} et Pop_{act} sont significativement différentes de zéro. Ceci est illustré par le T- Test donné dans le *Tableau II.12*. Les variables retenues sont donc : P_{ib} , P_{gas} et Pop_{act} .

4^{ème} étape :

Variables explicatives	R^2	T-test	Variables retenues
$Pop_{act}, P_{gas}, P_{ib}, P_{ess}$	0.977	Pour P_{ib} : t-statistic=3.69	
$Pop_{act}, P_{gas}, P_{ib}, P_{gplc}$	0.978	\geq t-tabulée=3.65	
$Pop_{act}, P_{gas}, P_{ib}, Ms$	0.979	Pour P_{gas} : t-statistic=7.19	
$Pop_{act}, P_{gas}, P_{ib}, Pop$	0.977	\geq t-tabulée=3.65	
$Pop_{act}, P_{gas}, P_{ib}, Pop_{tc}$	0.983	Pour Pop_{act} : t-statistic=10.53	
$Pop_{act}, P_{gas}, P_{ib}, Tcr$	0.977	\geq t-tabulée=3.65	
$Pop_{act}, P_{gas}, P_{ib}, parc$	0.979	Pour Pop_{act} : t-statistic=3.84	
		\geq t-tabulée=3.65	Pop_{tc}

Tableau2.13 : 4^{ème} étape de la régression pas à pas

La meilleure régression est celle qui correspond aux variables explicatives: P_{ib} , P_{gas} , Pop_{act} et Pop_{tc} , car c'est celle qui présente le meilleur taux de réalité R^2 , taux supérieur au R^2 du modèle retenu à l'étape précédente. Avec : $R^2 = 0.983$.

D'après le T- Test qui apparaît dans le *Tableau II.13*, les variables P_{ib} , P_{gas} , Pop_{act} et Pop_{tc} sont significativement différentes de zéro. Les variables retenues sont donc : P_{ib} , P_{gas} , Pop_{act} et Pop_{tc} .

5^{ème} étape :

Variables explicatives	R ²	T-test	Variables retenues
Pop_{act}, P_{gas}, Pib, P_{ess}	0.983	Pour Pib : t-statistic=3.65 ≤t-tabulée=3.74	
Pop_{act}, P_{gas}, Pib, P_{gplc}	0.983	Pour P _{gas} : t-statistic=2.67 ≤t-tabulée=3.74	Pib
Pop_{act}, P_{gas}, Pib, Ms	0.983	Pour Pop _{act} : t-statistic=3.07 ≤t-tabulée=3.74	P_{gas}
Pop_{act}, P_{gas}, Pib, Pop	0.984	Pour Pop _{act} : t-statistic=3.26 ≤t-tabulée=3.74	Pop_{act}
Pop_{act}, P_{gas}, Pib, Tcr	0.983	Pour Parc : t-statistic=2.24 ≤t-tabulée=3.74	Pop_{tc}
Pop_{act}, P_{gas}, Pib, parc	0.986		

Tableau 2.14 : 5^{ème} étape de la régression pas à pas 1

D'après les 6 régressions effectuées, la nouvelle variable explicative intégrée dans chaque modèle n'est jamais significative. En effet, d'après le T- Test, illustré dans le *Tableau II.14*, les variables P_{ess}, P_{gplc}, Ms, Pop, Tcr, parc sont non significativement différentes de zéro. Nous remarquons que pour chaque variable, nous avons: t- Statistic ≤ t- tabulée. La procédure est donc arrêtée.

En conclusion, les variables retenues pour expliquer au mieux la consommation d'essence sont :

- Le PIB ;
- Le prix du gasoil (P_{gas}) ;
- La population active (Pop_{act}) ;
- La population utilisant le transport en commun (Pop_{tc}).

4. Régression pas à pas sur le modèle logarithmique pour le gasoil :

1^{ère} étape :

Variables explicatives	R^2	T-test	Variables retenues
P_{ess}	0.607	Pour Parc : t-statistic=9.67 \geq t-tabulée=2.896	Parc
P_{gas}	0.502		
Ms	0.669		
Pop	0.751		
Pop_{act}	0.774		
Pop_{tc}	0.105		
Tcr	0.103		
Parc	0.776		
Pib	0.690		

Tableau 2.15 : 1^{ère} étape de la régression pas à pas

D'après les 9 régressions effectuées, on remarque que la meilleure régression est celle qui correspond à la variable explicative **Parc**, car c'est celle qui présente le meilleur taux de réalité R^2 . $R^2=0.776$

D'après le T- Test donné dans le *Tableau II.15*, la variable **Parc** est significativement différente de zéro, donc la 1^{ère} variable retenue est la variable «**Parc**».

2^{ème} étape :

Variables explicatives	R^2	T-test	Variables retenues
Parc,P_{ess}	0.800	Pour Parc : t-statistic=16.71 \geq t-tabulée=2.998	Parc
Parc,P_{gas}	0.797		
Parc,Ms	0.776		
Parc,Pop	0.780	Pour Tcr : t-statistic=7.11 \geq t-tabulée=2.998	Tcr
Parc,Pop_{act}	0.803		
Parc,Pop_{tc}	0.867		
Parc,Tcr	0.924		
Parc,Pib	0.785		

Tableau2.16 : 2^{ème} étape de la régression pas à pas

D'après les 8 régressions effectuées, on remarque que la meilleure régression est celle qui correspond aux variables explicatives : Parc, Tcr car c'est celle qui présente le meilleur taux de réalité R^2 , taux supérieur à celui du modèle retenu à l'étape précédente.

D'après le T- Test (*le tableau II.16*), les variables Parc et Tcr sont significativement différentes de zéro. Dans cette étape, les variables retenues sont donc : Parc et Tcr.

3^{ème} étape :

Variables explicatives	R ²	T-test	Variables retenues
Tcr,Parc,P_{ess}	0.924	Pour Parc :	Parc
Tcr,Parc,P_{gas}	0.924	t-statistic=6.20	
Tcr,Parc,Ms	0.928	≥t-tabulée=3.143	
Tcr,Parc,Pop	0.933	Pour Tcr :	
Tcr,Parc,Pop_{act}	0.936	t-statistic=7.26	
Tcr,Parc,Pop_{tc}	0.927	≥t-tabulée=3.143	
Tcr,Parc,Pib	0.931	Pour Ms :	
		t-statistic=2.26	Tcr
		≤t-tabulée=3.143	

Tableau 2.17 : 3^{ème} étape de la régression pas à pas

D'après les 7 régressions effectuées, la nouvelle variable explicative intégrée dans chaque modèle n'est jamais significative. En effet, d'après le T- Test, illustré dans le tableau II.17, les variables P_{ess}, P_{gasoil}, Ms, Pop, Pop_{act}, Pop_{tc} et Pib sont non significativement différentes de zéro. On remarque que pour la variable Ms:

t- Statistic ≤ t- tabulée. La procédure est donc arrêtée.

En conclusion, les variables retenues pour expliquer au mieux la consommation d'essence sont :

- Parc,
- Tcr.

Annexe 4 : Série chronologique

I. Etude des séries chronologiques (VON SACHS, 98)

L'étude des séries chronologiques ou temporelles correspond à l'analyse statistique d'observations régulièrement espacées dans le temps, dans le but de représenter des phénomènes aléatoires. Le modèle obtenu sera par la suite utilisé, selon les objectifs recherchés comme la prévision ou le contrôle. Sur ce fait, nous commencerons par une présentation sommaire des techniques d'analyse des séries chronologiques puis nous illustrerons quelques définitions de base qui nous permettront par la suite de présenter les différentes classes de modèle susceptibles de modéliser une série chronologique (AR, MA, ARMA). Nous étudierons par la suite les caractéristiques statistiques en terme de stationnarité des séries temporelles en présentant les différents tests, le test de Dickey- Fuller entre autres.

II. Définitions et concepts de base

1. Série chronologique

Une série chronologique ou encore chronique est un ensemble d'observations d'un processus aléatoire $\{X_t, t \in T\}$ se réalisant en un instant spécifié $t \in T$.

- Une série chronologique est dite discrète si l'ensemble des instants d'observations est discret (dénombrable)
- Une série chronologique est dite continue si l'ensemble des instants d'observations est continu (non dénombrable)

2. Stationnarité

Avant le traitement d'une série chronologique, il convient d'en étudier les caractéristiques stochastiques. Si ses caractéristiques, c'est-à-dire son espérance et sa variance se trouvent modifiées dans le temps, la série chronologique est considérée comme non stationnaire.

On dit que cette suite est stationnaire en moyenne lorsque la moyenne de chacune des variables de la suite est identique :

$$E(X_t) = E(X_0) \quad \forall t = 0; 1; 2 \dots$$

De même, cette suite est stationnaire en variance lorsque

$$\text{Var}(X_t) = \text{Var}(X_0) \quad \forall t = 0; 1; 2 \dots$$

Dans le cas d'un processus stochastique invariant, la série temporelle est alors stationnaire.

• **Processus faiblement stationnaire (stationnarité 2ème ordre)**

Un processus $\{ X_t \in T \}$, est dit stationnaire au second ordre, ou stationnaire au sens faible, ou stationnaire d'ordre deux si les trois conditions suivantes sont satisfaites :

- $E(X_t^2) < \infty, t \in T,$
- $E(X_t) = m$, indépendant de t . ($t \in T$)
- $(t, h) \in T^2, \text{Cov}(X_t, X_{t+h}) = E[(X_{t+h} - m)(X_t - m)] = \gamma(h)$ indépendant de t .

- ❖ La première condition $E(X_t) < \infty$ exprime la stationnarité en moyenne de la suite,
- ❖ La seconde condition $E(X_t) = m$ assure que la variance de chaque variable reste finie,
- ❖ Enfin, la troisième condition, $\gamma(h)$ indépendant de t , porte sur les moments d'ordre deux résumés par la fonction d'autocovariance. Cette condition implique que ces moments doivent être indépendants de la date considérée et ne doivent dépendre uniquement que de l'ordre des retards. Autrement dit la fonction d'autocovariance du processus X_t doit être indépendante du temps.

3. Fonction d'autocorrélation simple et fonction d'autocorrélation partielle

a. Fonction d'autocorrélation simple [BOU 02] [JON 99]

La fonction d'autocorrélation d'un processus $\{X_t, t \in T\}$ de moyenne $E(X_t) = m$, noté ρ_k Où ρ_k est définie par : définie par : $\rho_k = \gamma(k) / \gamma(0)$, quelque soit $k \in T$

Elle mesure la corrélation de la série avec elle-même décalée de k périodes : On a :

- $\rho(k) \in [-1, 1]$ et $\rho(0) = 1$

- $\gamma(\kappa)$ désigne la fonction d'autocovariance tel que :

$$\gamma(\kappa) = E[(X_t - m)(X_{t-\kappa} - m)]$$

$\gamma(0)$ désigne la fonction de variance.

- Les fonctions $\rho(k)$ et $\gamma(k)$ sont symétriques : $\rho(k) = \rho(-k)$ et $\gamma(k) = \gamma(-k)$

Remarque :

La représentation graphique de $\rho(k)$ est appelée : *corrélogramme*.

b. Fonction d'autocorrélation partielle [BOU 02]

Nous pouvons définir la fonction d'autocorrélation partielle (*FAP*) de retard k comme étant le coefficient de corrélation partielle entre Y_t et Y_{t-k} , c'est-à-dire comme étant la corrélation entre Y_t et Y_{t-k} , l'influence des autres variables décalées de k périodes ($Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-k+1}$) ayant été retirée.

c. Les opérateurs linéaires

A. L'opérateur Retard

On aura souvent à considérer une variable en fonction de son passé. Il est donc commode de définir un opérateur qui transforme une variable X_t en sa valeur passée. C'est l'opérateur retard désigné par la lettre B et tel que: $B(X_t) = X_{t-1}$ et $B^k(X_t) = X_{t-k}$

B. L'opérateur d'avance (forward) :

$$F X_t = X_{t+1}; F^n X_t = X_{t+n}$$

C. L'opérateur de différence ordinaire :

L'opérateur de différence ordinaire noté ∇ associé au processus $\{X_t, t \in T\}$ tel que : $\forall t \in T$

$$\nabla X_t = X_t - X_{t-1} = X_t - (B X_t) = (1 - B) X_t$$

Et par construction, nous obtiendrons l'opérateur de la $d^{\text{ième}}$ différence noté ∇^d tel que :

$$\nabla^d X_t = (1 - B)^d X_t$$

D. L'opérateur de différence saisonnier :

L'opérateur de différence saisonnier d'ordre s , noté : ${}_s\nabla$ associé au processus

$$\{X_t \in T\} \text{ tel que } \forall t \in T : \nabla_s X_t = (1 - B^s) X_t$$

Et par construction, nous obtiendrons l'opérateur de la $s^{\text{ième}}$ différence d'ordre s , noté : ∇s^d

Tel que : $\forall t \in T : \nabla s^d X_t = (1 - B^s)^d X_t$

4. Composantes d'une série chronologique :

On peut distinguer quatre composantes principales pour une série chronologique :

a. Composante tendancielle :

La tendance matérialise l'évolution d'une chronique sur le long terme. Si l'on veut une estimation générale de la tendance on peut par exemple mentalement se baser sur l'écart en pourcentage entre la première valeur de la période observée et la dernière afin d'avoir une approximation de la tendance générale de l'évolution d'une chronique sur une période donnée.

b. Composante cyclique :

Le cycle détermine l'évolution de la chronique sur le moyen terme, par rapport à l'activité économique ou sectorielle. Les composantes tendanciennes et saisonnières sont souvent les plus visibles sur une série de données chronologiques, cependant si on parvient à en faire abstraction, la caractéristique qui subsiste dans une série chronologique suffisamment longue est une série de fluctuations irrégulières. Parfois ces fluctuations ont des amplitudes et fréquences régulières (on peut alors parler de cycles) généralement sur des périodes relativement longues, de l'ordre de plusieurs années, mais souvent il s'agit de phénomènes irréguliers.

c. Composante saisonnière :

La saisonnalité permet de faire ressortir l'ensemble des variations périodiques influencées par le temps (saisons, mois, jours, ...)

La méthodologie de détermination de la saisonnalité de l'échantillon de données observé, est basée sur plusieurs étapes :

- L'estimation de la tendance via la méthode des moyennes mobiles d'ordre 12 (sur l'année)

- Le calcul des écarts par rapport à la série observée
- La moyenne par mois des différents écarts observés sur plusieurs années. (Une fois additionnées sur l'année, la somme de ces moyennes doit être égale à 0)
- Le calcul de saisonnalité (série CVS) est alors la différence entre la série brute et le coefficient de saisonnalité du mois considéré précédemment calculé.

d. Composante résiduelle :

La composante aléatoire permet de mettre en évidence l'ensemble des variations qui ne sont pas influencées par des facteurs identifiés.

Elle est dite résiduelle s'il est possible de trouver une loi de reproduction de cette composante via des outils mathématique.

La composante est dite aléatoire si elle ne répond à aucune loi mathématique.

Pour déterminer s'il s'agit d'une composante aléatoire ou résiduelle, on pourra utiliser les méthodes d'autocorrélation (ou corrélogramme).

5. Modélisation des séries chronologiques :

L'objectif de la modélisation est de construire des modèles permettant de décrire le comportement d'une chronique, et de ce fait résoudre les problèmes liés à la prévision. Je vais présenter une famille de processus aléatoires qui sont censés recouvrir une gamme très large d'évolution possible de séries chronologiques.

6. Modèle autorégressif AR (p)

Formulation

Dans le processus autorégressif d'ordre p, l'observation Y_t est générée par une moyenne pondérée des observations passées jusqu'à la $p^{\text{ième}}$ période sous la forme suivante :

$$\begin{aligned}AR(1) : X_t &= \Phi_1 X_{t-1} + \varepsilon_t \\AR(2) : X_t &= \Phi_1 X_{t-1} + \Phi_2 X_{t-2} + \varepsilon_t \\&\vdots \\AR(p) : X_t &= \Phi_1 X_{t-1} + \Phi_2 X_{t-2} + \dots + \Phi_p X_{t-p} + \varepsilon_t\end{aligned}$$

Donc, un processus autorégressif d'ordre p s'écrit sous la forme suivante :

$$X_t = \Phi_1 X_{t-1} + \Phi_2 X_{t-2} + \dots + \Phi_p X_{t-p} + \varepsilon_t$$

$$X_t - \Phi_1 X_{t-1} - \Phi_2 X_{t-2} - \dots - \Phi_p X_{t-p} = \varepsilon_t$$

Où :

- Les Φ_i sont des réels positifs ou négatifs à déterminer.
- ε_t est un bruit blanc de variance σ^2 .

Remarque :

Ce modèle apparaît comme un modèle de régression multiple où l'on explique les valeurs de la série chronologique aux instants : $t-1$, $t-2$, $t-p$, et c'est la raison pour laquelle nous l'appelons autorégressif d'ordre p .

Notion de causalité (stationnarité) :

Définition

Un modèle de série chronologique de la forme :

$$X_t = g(X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-p}; \varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \dots, \varepsilon_{t-q})$$

(Où ε_t est un bruit blanc) est dit causal si et seulement si on peut examiner le processus stochastique X_t sous forme d'une combinaison linéaire (finie ou infinie) convergente du présent et du passé d'un bruit blanc ε_t

Théorème :

Le modèle autorégressif est causal si et seulement si les racines de la fonction caractéristique $\Phi(B) = 0$ sont en valeur absolue supérieures à 1, c'est-à-dire : $|z| > 1$.

7. Modèle MA (q) (moving average : moyenne mobile)

Formulation

Dans le processus de moyenne mobile d'ordre q , chaque observation Y_t est générée par une moyenne pondérée d'aléas jusqu'à la $q^{\text{ième}}$ période.

Un processus stationnaire $\{X_t, t \in T\}$ satisfait une représentation moyenne mobile d'ordre q , noté MA (q), s'il est solution de l'équation aux différences stochastiques suivante :

$$X_t = \varepsilon_t - \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j}$$

Où : Les θ_j sont des réels positifs ou négatifs à déterminer

ε_t est un bruit blanc de variance σ^2

En introduisant l'opérateur au retard on obtient :

$$X_t = \Theta(B)\varepsilon_t \quad \text{où } \Theta(B) = -\sum_{j=0}^q \theta_j B^j ; \theta_0 = -1 ; \theta_j \in \mathfrak{R}, \forall j \in \mathfrak{R} \text{ et } \forall j < q ; \theta_q \in \mathfrak{R}^*$$

Avec :

$\Theta(B)$: Le polynôme de moyenne mobile de degré q (q représente le plus grand retard utilisé)

Dans ce processus, tout comme dans le modèle auto régressif AR, les aléas sont supposés être engendrés par un processus de type bruit blanc.

Nous pouvons interpréter le modèle MA comme étant représentatif d'une série chronologique fluctuant autour de sa moyenne de manière aléatoire d'où le terme 'moyenne mobile'.

Il est à noter qu'il y a équivalence entre un processus MA (1) et un processus AR d'ordre p infini : MA (1) = AR (∞).

Notion de causalité

D'après la définition de causalité, un modèle moyenne mobile d'ordre fini est toujours causal car c'est une combinaison linéaire finie du processus stationnaire $\{\varepsilon_t, t \in T\}$

8. Modèle mixte ARMA (mélange du processus AR et MA)

Formulation

Les modèles ARMA sont donc représentatifs d'un processus généré par une combinaison de ses valeurs passées et des erreurs passées. Ils sont définis par l'équation :

$$X_t - \sum_{j=1}^p \Phi_j X_{t-j} = \varepsilon_t - \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j}$$

Où encore :

$$\Phi(B) X_t = \Theta(B) \varepsilon_t$$

Avec :

- $\Phi_p \neq 0, \theta_q \neq 0$.
- Les polynômes Φ et Θ d'ordre respectif p et q n'ont pas de racines communes
- ε_t est à bruit blanc.

Donc on peut noter AR (p) par ARMA ($p, 0$) et MA (q) par ARMA ($0, q$)

Conditions de causalité

Le modèle ARMA (p, q) défini par : $\Phi(B) X_t = \Theta(B) \varepsilon_t$ est causal si et seulement si les racines du polynôme Φ sont de modules strictement supérieures à 1 c'est-à-dire : $|z| > 1$

III. Séries non stationnaires

Les séries économiques présentent souvent des réalisations non stationnaires. Elles admettent une moyenne et une variance qui varient au cours du temps. La non stationnarité peut être détectée graphiquement par la présence d'une *tendance*, d'une *saisonnalité*, ou d'une modification dans la structure de la série, c'est pourquoi, on analysera les graphes de la fonction d'autocorrélation.

Mais cela reste insuffisant, et pour avoir une certitude, il est nécessaire d'appliquer les tests pour confirmer ou infirmer les déductions de l'analyse des graphes de la série et des corrélogrammes.

La plupart des résultats et des méthodes utilisées dans l'analyse des séries temporelles repose sur la notion de stationnarité du second ordre, ce qui nous mène à appliquer à la chronique non stationnaire certaines transformations (différence ordinaire, différence saisonnière, ...) que nous allons présenter ci-dessous :

1. Analyse de la tendance

La non stationnarité d'un processus aléatoire dépend du moment du premier ordre (espérance mathématique) et de celui du second ordre (variance et covariance du processus), qui doivent être indépendants du temps. Dans le cas contraire, le processus aléatoire est dit non stationnaire.

On analyse les cas de non stationnarité à partir de deux types de processus :

- Les processus de type TS qui représentent la non stationnarité de type *déterministe*.
- Les processus de type DS qui représentent la non stationnarité de type *aléatoire (stochastique)*

a. Le processus de type TS (Trend Stationary)

Les processus TS sont des processus non stationnaires de type déterministe qui s'écrivent sous la forme : $X_t = f_t + \varepsilon_t$

Où :

- ❖ f_t : fonction polynomiale qui dépend du temps qui peut être linéaire ou non linéaire.
- ❖ ε_t : processus stationnaire.

Les étapes de la méthode utilisée pour le rendre stationnaire sont :

- ➔ Estimer les coefficients \hat{a}_0 et \hat{a}_1 par la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO).
- ➔ Retrancher de X_t la valeur estimée $\hat{a}_0 + \hat{a}_1 t$

b. Le processus de type DS (Differency Stationary)

Les processus DS sont des processus que l'on peut rendre stationnaires en utilisant le filtre aux différences d'ordre d (d supérieur ou égal à 1) il s'écrit alors : $(1 - B)^d X_t = \beta + \varepsilon_t$

Où:

- B : opérateur décalage.
- d : l'ordre du filtre aux différences.
- ε_t : processus stationnaire.

Ces processus sont souvent représentés en utilisant le filtre aux différences premières ($d = 1$). Le processus est dit alors processus du 1^{er} ordre.

Il s'écrit: $(1 - B) X_t = \beta + \varepsilon_t \Leftrightarrow X_t = X_{t-1} + \beta + \varepsilon_t$

L'introduction de la constante B dans le processus DS permet de définir deux processus différents :

▲ $B = 0$:

Le processus DS est dit sans dérive, il s'écrit alors : $X_t = X_{t-1} + \varepsilon_t$

Ce processus porte le nom de modèle de marche au hasard ou de marche aléatoire.

▲ $B \neq 0$:

Le processus porte alors le nom de processus DS avec dérive, il s'écrit alors : $X_t = X_{t-1} + \beta + \varepsilon_t$

2. Test de racine unitaire

Ces tests permettent de rechercher l'existence d'une racine unitaire dans les processus qui ont généré la série chronologique en permettant de déterminer le type de la non stationnarité qui peut être déterministe (de type TS) que l'on peut le rendre stationnaire par régression sur une tendance déterministe, ou stochastique (de type DS) que l'on peut les rendre stationnaires en utilisant un filtre au différence à l'ordre d . Il existe un grand nombre de tests de racine unitaire, les tests les plus utilisés sont ceux de Dickey-Fuller (1979) .

a. Le test de Dickey- Fuller simple

Les modèles servant de base à la construction de ce test sont au nombre de trois.

[1] : Modèle sans constante ni tendance déterministe : $X_t = \rho X_{t-1} + \varepsilon_t$

[2] : Modèle avec constante et sans tendance déterministe : $X_t = c + \rho X_{t-1} + \varepsilon_t$

[3] : Modèle avec constante et avec tendance déterministe : $X_t = c + bt + \rho X_{t-1} + \varepsilon_t$

Où ε_t est supposé être un bruit blanc.

L'hypothèse du test est formulée comme suit :

$$\begin{cases} H_0 : \rho = 1 \\ H_1 : |\rho| < 1 \end{cases}$$

En s'inspirant du modèle 1 : $X_t = \rho X_{t-1} + \varepsilon_t$ (1)

Et en retranchant X_{t-1} à chaque membre de l'équation (1), on obtient :

$$X_t - X_{t-1} = \rho X_{t-1} - X_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$X_t - X_{t-1} = (\rho - 1) X_{t-1} + \varepsilon_t$$

En pratique, en supposant : $\Phi = (\rho - 1)$ on estime les modèles suivants :

$$\text{Modèle 4 : } \Delta X_t = \Phi X_{t-1} + \sum_{j=1}^p \Phi_j \Delta X_{t-j} + \varepsilon_t$$

$$\text{Modèle 5 : } \Delta X_t = \Phi X_{t-1} + \sum_{j=1}^p \Phi_j \Delta X_{t-j} + \varepsilon_t + c$$

$$\text{Modèle 6 : } \Delta X_t = \Phi X_{t-1} + \sum_{j=1}^p \Phi_j \Delta X_{t-j} + \varepsilon_t + c + bt$$

Ce qui revient à dire que le test de racine unitaire repose sur le test de l'hypothèse nulle :

$\Phi = 0$ (non stationnaire) contre l'hypothèse alternative : $|\Phi| \neq 0$ (stationnaire)

Et donc le système d'hypothèse devient :

$$\begin{cases} H_0 : \Phi = 0 \\ H_0 : |\Phi| \neq 0 \end{cases}$$

❖ **Principes du test de Dickey-Fuller :**

Sous l'hypothèse H_0 , le processus X_t n'est pas stationnaire quelque soit le modèle retenu. Dickey et Fuller ont étudié la distribution asymptotique de l'estimateur du paramètre ρ sous l'hypothèse H_0 à l'aide des simulations de Monte-Carlo, ils ont tabulé les valeurs critiques pour des échantillons de tailles différentes. Soit la t-statistique notée $(t_{\hat{\Phi}})$ tel que :

$$t_{\hat{\Phi}} = \frac{\hat{\Phi} - 1}{\sigma_{\hat{\Phi}}^2}$$

On la compare alors avec la valeur critique t tabulée :

si $t_{\phi} \geq t_{tabulé}$ on accepte l'hypothèse H_0 , il existe une racine unitaire, d'où le processus est non stationnaire.

Sinon on rejette l'hypothèse.

Remarque :

- Les principaux logiciels d'analyse de séries temporelles calculent automatiquement les valeurs critiques $(t_{\hat{\phi}})$
- Ces tests révèlent l'existence d'une racine unitaire (une non stationnarité) mais restent insuffisants pour faire la différence entre les processus TS et DS, c'est ainsi qu'on adopte un algorithme en trois étapes.

❖ *Enoncé de l'algorithme du test de Dickey Fuller:*

Avant d'énoncer l'algorithme, il est important de préciser que :

- On dit que la tendance est significativement différente de 0, si et seulement si *et seulement si* $t\text{-statistique} > \text{valeur critique}$ lue dans la table de Dickey Fuller Alors la tendance existe, sinon elle est dite non significativement différente de zéro.
- On dit que la constante est non significativement différente de 0, *si et seulement si* $t\text{statistique} < \text{valeur critique}$ lue dans la table de Dickey- Fuller sinon elle est dite significativement différente de zéro.

Etape 1 :

Dans cette étape on estime le modèle [3] et on teste la signification de la tendance déterministe.

- Si la tendance n'est pas significativement différente de zéro (t - statistique de la tendance est inférieure aux valeurs critiques de la tendance tabulées par Dickey-Fuller), on passe à l'étape 2.
- Si la tendance est significativement différente de zéro, on teste l'hypothèse nulle de racine unitaire en comparant : $() \square t$ aux valeurs tabulées par Dickey fuller.

Si on accepte H_0 alors X_t est non stationnaire de type DS.

Si on rejette H_0 alors X_t est non stationnaire de type TS.

Etape 2 :

On estime le modèle [2] et on teste la signification de la constante.

- Si la constante n'est pas significative on passe à l'étape 3.
- Si la constante est significative, on teste l'hypothèse de racine unitaire.

Si H_0 est acceptée, donc X_t est non stationnaire de type DS.

Si H_0 n'est pas acceptée alors X_t est stationnaire.

Etape 3 :

On estime dans ce cas le modèle [1] et on teste l'hypothèse nulle de racine unitaire.

Si H_0 est acceptée alors le processus X_t est non stationnaire de type DS

Si H_0 est rejetée alors le processus X_t est stationnaire.

b. Test de Dickey-Fuller Augmenté (ADF)

Dans les modèles précédents, utilisés par les tests de Dickey- Fuller simples, le processus ε_t est par hypothèse un bruit blanc. Or il n'y a aucune raison pour que à priori, l'erreur soit non corrélée. On appelle tests de Dickey Fuller augmentés (ADF, 1981) la prise en compte de cette hypothèse. Le test découle de manière similaire aux tests DF simples, seules les tables statistiques diffèrent.

Remarque

Les principaux logiciels d'analyse de séries temporelles calculent automatiquement les valeurs critiques et la valeur de p .

3. Extension du modèle ARMA : (Le modèle ARIMA (p, d, q))

Il convient de stationnariser une série par passage aux différences selon l'ordre d'intégration d (c'est-à-dire le nombre de fois qu'il faut différencier la série pour la rendre stationnaire).

Il est donc naturel de considérer la classe des processus dont la différence d'un certain ordre satisfait une représentation ARMA.

Si on note $\nabla^d X_t$ la différence d'ordre d de X_t c'est-à-dire : $\nabla^d X_t = (1 - B)^d X_t$

On va s'intéresser au processus X_t satisfaisant : $\Phi(B)\nabla^d X_t = \Theta(B)\varepsilon_t$

Un processus X_t est un modèle « autorégressif moyenne mobile intégré » d'ordre (p, d, q)

ARIMA (p, d, q) s'il vérifie une équation de type : $\Phi(B)(1-B)^d = \Theta(B)\varepsilon_t$; pour tout $t \geq 0$

Avec :

- $\Phi(B)$: Polynôme autorégressif dont les racines sont de module supérieur à 1

$$\Phi(B) = 1 - \Phi_1 B - \Phi_2 B^2 - \dots - \Phi_p B^p \quad \text{ou } \Phi_p \neq 0$$

- $\Theta(B)$: Polynôme moyenne mobile dont les racines sont de module supérieur à 1

$$\Theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \quad \text{ou } \theta_q \neq 0$$

- Ces deux polynômes n'ont aucunes racines communes.

- Les coefficients réels : $\Phi_i, i = 1, \dots, p$ et $\theta_j, j = 1, \dots, q$ sont fixés.

- ε_t : processus stationnaire

Remarque :

La famille *ARIMA* désigne parfois la classe de tous les modèles stationnaires et non stationnaires, en convenant que les *ARIMA* $(p, 0, q)$ sont des *ARMA* (p, q)

Annexe 5 : Valeurs des variables clés et de la consommation d'essence et de gasoil pour les différents scénarios

1. Scénario A : Augmentation des prix de 50% et +40% du PIB/capita :

a. Modèle essence :

Le tableau suivant illustre les valeurs des variables clés du modèle essence durant 2009 à 2020 :

Année	Prix essence	PIB	Parc automobile	Taux de croissance du parc automobile	Population utilisant le transport en commun
2009	22,08	328419,37	3793375,406	0,0167912	96719404,14
2010	22,96	339013,54	3856018,811	0,0165139	100438808,3
2011	23,85	349607,72	3919029,88	0,016341	104177129,1
2012	24,73	360201,89	3981673,285	0,0159844	107896533,2
2013	25,61	370796,06	4044316,691	0,0157329	111615937,4
2014	26,5	381390,24	4107327,759	0,0155802	115354258,1
2015	27,38	391984,41	4169971,165	0,0152516	119073662,3
2016	28,26	402578,58	4232614,57	0,0150225	122793066,4
2017	29,15	413172,76	4295625,639	0,014887	126531387,2
2018	30,03	423766,96	4358269,13	0,0145831	130250797,2
2019	30,91	434361,1	4420912,45	0,0143734	133970195,5
2020	31,8	444955,28	4483923,519	0,014253	137708516,3

Tableau 5.1 : Valeurs des variables clés pour le scénario A pour le modèle essence

Après la détermination des valeurs futures des variables clés, nous les injecterons dans notre modèle essence. Les valeurs obtenues sont résumées dans le tableau suivant :

Année	Consommation d'essence	Année	Consommation d'essence
2009	2097368,848	2015	2076376,152
2010	2093887,519	2016	2072906,608
2011	2090364,172	2017	2069392,426
2012	2086863,451	2018	2065904,583
2013	2083388,435	2019	2062439,795
2014	2079870,018	2020	2058929,28

Tableau 5.2 : Consommation d'essence pour le scénario A

b. Modèle gasoil :

Les valeurs obtenues après régression des variables avec les acteurs à l'horizon 2020 sont résumées dans le tableau suivant :

Année	Prix gasoil	PIB	Population active	Population utilisant le transport en commun
2009	14,27	328419,37	14169717,03	95941019,09
2010	14,84	339013,54	14468638,07	98882038,18
2011	15,41	349607,72	14767559,27	101823059,5
2012	15,98	360201,89	15066480,3	104764078,6
2013	16,55	370796,06	15365401,33	107705097,7
2014	17,12	381390,24	15664322,53	110646119
2015	17,69	391984,41	15963243,57	113587138,1
2016	18,26	402578,58	16262164,6	116528157,2
2017	18,84	413172,76	16563240,45	119479706,4
2018	19,4	423766,96	16860007,33	122410204,2
2019	19,98	434361,1	17161082,51	125361744,6
2020	20,55	444955,28	17460003,71	128302765,9

Tableau 5.3: Valeurs des variables clés pour le scénario A pour le modèle gasoil

Après la détermination des valeurs futures des variables clés, nous les injecterons dans notre modèle gasoil. Les valeurs obtenues sont résumées dans le tableau suivant :

Année	Consommation du gasoil	Année	Consommation du gasoil
2009	6888622,121	2015	7821930,391
2010	7044173,445	2016	7977481,715
2011	7199724,932	2017	8132727,857
2012	7355276,256	2018	8288585,016
2013	7510827,58	2019	8443830,505
2014	7666379,067	2020	8599381,992

Tableau 5.4: Consommation de gasoil pour le scénario A

2. Scénario B : Augmentation des prix de 100% et +40% du PIB/capita :

a. Modèle essence :

Le tableau suivant illustre les valeurs des variables clés du modèle essence durant 2009 à 2020 :

Année	Prix essence	PIB	Parc automobile	Taux de croissance du parc automobile	Population utilisant le transport en commun
2009	22,96	328419,37	3825727,25	0,0254629	98383899,5
2010	24,73	339013,54	3921090,135	0,0249267	103786713,7
2011	26,5	349607,72	4016453,049	0,0243205	109189529,9
2012	28,26	360201,89	4111448,299	0,0236515	114573429,4
2013	30,03	370796,06	4206811,184	0,0231945	119976243,6
2014	31,8	381390,24	4302174,097	0,0226687	125379059,7
2015	33,56	391984,41	4397169,348	0,0220808	130762959,2
2016	35,33	402578,58	4492532,233	0,0216873	136165773,5
2017	37,1	413172,76	4587895,146	0,021227	141568589,6
2018	38,86	423766,96	4682890,482	0,0207056	146952494,9
2019	40,63	434361,1	4778253,281	0,0203641	152355303,3
2020	42,4	444955,28	4873616,195	0,0199577	157758119,5

Tableau 5.5 : Valeurs des variables clés pour le scénario B pour le modèle essence

Après la détermination des valeurs futures des variables clés, nous les injecterons dans notre modèle essence. Les valeurs obtenues sont résumées dans le tableau suivant :

Année	Consommation d'essence	Année	Consommation d'essence
2009	2093545,959	2015	2036300,137
2010	2083989,205	2016	2026778,308
2011	2074415,313	2017	2017240,105
2012	2064893,615	2018	2007754,538
2013	2055356,217	2019	1998245,39
2014	2045802,006	2020	1988720,388

Tableau 5.6 : Consommation d'essence pour le scénario B

b. Modèle gasoil :

Les valeurs obtenues après régression des variables avec les acteurs à l’horizon 2020 sont résumées dans le tableau suivant :

Année	Prix gasoil	PIB	Population active	Population utilisant le transport en commun
2009	14,84	328419,37	14292532	96541112
2010	15,98	339013,54	14714268	1E+08
2011	17,12	349607,72	15136004	1,04E+08
2012	18,26	360201,89	15557740	1,07E+08
2013	19,4	370796,06	15979476	1,11E+08
2014	20,55	381390,24	16403367	1,14E+08
2015	21,69	391984,41	16825103	1,18E+08
2016	22,83	402578,58	17246839	1,21E+08
2017	23,97	413172,76	17668575	1,25E+08
2018	25,11	423766,96	18090312	1,28E+08
2019	26,26	434361,1	18514202	1,32E+08
2020	27,4	444955,28	18935938	1,36E+08

Tableau 5.7: Valeurs des variables clés pour le scénario B pour le modèle gasoil

Après la détermination des valeurs futures des variables clés, nous les injecterons dans notre modèle gasoil. Les valeurs obtenues sont résumées dans le tableau suivant :

Année	Consommation du gasoil	Année	Consommation du gasoil
2009	6871217,451	2015	7699792,351
2010	7009364,104	2016	7837939,004
2011	7147510,92	2017	7976085,821
2012	7285657,573	2018	8114232,964
2013	7423804,227	2019	8252073,782
2014	7561645,698	2020	8390220,598

Tableau 5.8: Consommation de gasoil pour le scénario B

3. Scénario C : Augmentation de l'utilisation du transport en commun de 25% et +40% du PIB/capita :

a. Modèle essence :

Le tableau suivant illustre les valeurs des variables clés du modèle essence durant 2009 à 2020 :

Année	Population utilisant le transport en commun	PIB	Parc automobile	Prix essence	Taux de croissance
2009	94937500	328419,37	3,78E+06	21,231308	0,0128259
2010	96875000	339013,54	3,82E+06	21,262616	0,0125115
2011	98812500	349607,72	3,86E+06	21,293923	0,0119015
2012	100750000	360201,89	3,91E+06	21,325232	0,0117615
2013	102687500	370796,06	3,95E+06	21,35654	0,0116248
2014	104625000	381390,24	4,00E+06	21,387847	0,0114912
2015	106562500	391984,41	4,04E+06	21,419155	0,0113607
2016	108500000	402578,58	4,09E+06	21,450463	0,011233
2017	110437500	413172,76	4,13E+06	21,48177	0,0111083
2018	112375000	423766,96	4,17E+06	21,513077	0,0109863
2019	114312500	434361,1	4,22E+06	21,544387	0,0108668
2020	116250000	444955,28	4,26E+06	21,575694	0,01075

Tableau 5.9 : Valeurs des variables clés pour le scénario C pour le modèle essence

Après la détermination des valeurs futures des variables clés, nous les injecterons dans notre modèle essence. Les valeurs obtenues sont résumées dans le tableau suivant :

Année	Consommation d'essence	Année	Consommation d'essence
2009	2113702,024	2015	2196682,692
2010	2127514,943	2016	2210541,314
2011	2141255,592	2017	2224400,679
2012	2155111,186	2018	2238260,808
2013	2168967,579	2019	2252121,29
2014	2182824,79	2020	2265982,611

Tableau 5.10 : Consommation d'essence pour le scénario C

b. Modèle gasoil :

Les valeurs obtenues après régression des variables avec les acteurs à l’horizon 2020 sont résumées dans le tableau suivant :

Année	Population utilisant le transport en commun	PIB	Population active	Prix gasoil
2009	94937500	328419,37	1,40E+07	13,8171
2010	96875000	339013,54	1,42E+07	13,9342
2011	98812500	349607,72	1,43E+07	14,0513
2012	100750000	360201,89	1,45E+07	14,1685
2013	102687500	370796,06	1,47E+07	14,2856
2014	104625000	381390,24	1,48E+07	14,4027
2015	106562500	391984,41	1,50E+07	14,5198
2016	108500000	402578,58	1,51E+07	14,6370
2017	110437500	413172,76	1,53E+07	14,7541
2018	112375000	423766,96	1,54E+07	14,8712
2019	114312500	434361,1	1,56E+07	14,9884
2020	116250000	444955,28	1,57E+07	15,1055

Tableau 5.11: Valeurs des variables clés pour le scénario C pour le modèle gasoil

Après la détermination des valeurs futures des variables clés, nous les injecterons dans notre modèle gasoil. Les valeurs obtenues sont résumées dans le tableau suivant :

Année	Consommation du gasoil	Année	Consommation du gasoil
2009	6,87E+06	2015	7,69E+06
2010	7,01E+06	2016	7,83E+06
2011	7,14E+06	2017	7,97E+06
2012	7,28E+06	2018	8,10E+06
2013	7,42E+06	2019	8,24E+06
2014	7,56E+06	2020	8,38E+06

Tableau 5.12: Consommation de gasoil pour le scénario C

4. Scénario D : Augmentation de l'utilisation du transport en commun de 50% et +40% du PIB/capita :

a. Modèle essence :

Le tableau suivant illustre les valeurs des variables clés du modèle essence durant 2009 à 2020 :

Année	Population utilisant le transport en commun	PIB	Parc automobile	Prix essence	Taux de croissance
2009	96875000	328419,37	3,77E+06	21,926871	0,0106936
2010	100750000	339013,54	3,80E+06	22,653741	0,0104314
2011	104625000	349607,72	3,84E+06	23,380611	0,0099228
2012	108500000	360201,89	3,88E+06	24,107482	0,0098253
2013	112375000	370796,06	3,92E+06	24,834352	0,0097297
2014	116250000	381390,24	3,95E+06	25,561222	0,009636
2015	120125000	391984,41	3,99E+06	26,288093	0,009544
2016	124000000	402578,58	4,03E+06	27,014963	0,0094538
2017	127875000	413172,76	4,06E+06	27,741833	0,0093653
2018	131750000	423766,96	4,10E+06	28,468702	0,0092784
2019	135625000	434361,1	4,14E+06	29,195574	0,009193
2020	139500000	444955,28	4,17E+06	29,922444	0,0091093

Tableau 5.13 : Valeurs des variables clés pour le scénario D pour le modèle essence

Après la détermination des valeurs futures des variables clés, nous les injecterons dans notre modèle essence. Les valeurs obtenues sont résumées dans le tableau suivant :

Année	Consommation d'essence	Année	Consommation d'essence
2009	2078792,503	2015	1955523,531
2010	2058230,397	2016	1935003,488
2011	2037608,045	2017	1914483,906
2012	2017086,22	2018	1893964,82
2013	1996564,862	2019	1873445,828
2014	1976044,004	2020	1852927,428

Tableau 5.14 : Consommation d'essence pour le scénario D

b. Modèle gasoil :

Les valeurs obtenues après régression des variables avec les acteurs à l’horizon 2020 sont résumées dans le tableau suivant :

Année	Population utilisant le transport en commun	PIB	Population active	Prix gasoil
2009	94937500	328419,37	1,42E+07	13,8707
2010	96875000	339013,54	1,45E+07	14,0415
2011	98812500	349607,72	1,48E+07	14,2123
2012	100750000	360201,89	1,51E+07	14,3831
2013	102687500	370796,06	1,55E+07	14,5539
2014	104625000	381390,24	1,58E+07	14,7247
2015	106562500	391984,41	1,61E+07	14,8955
2016	108500000	402578,58	1,64E+07	15,0663
2017	110437500	413172,76	1,67E+07	15,2371
2018	112375000	423766,96	1,71E+07	15,4079
2019	114312500	434361,1	1,74E+07	15,5787
2020	116250000	444955,28	1,77E+07	15,7495

Tableau 5.15: Valeurs des variables clés pour le scénario D pour le modèle gasoil

Après la détermination des valeurs futures des variables clés, nous les injecterons dans notre modèle gasoil. Les valeurs obtenues sont résumées dans le tableau suivant :

Année	Consommation du gasoil	Année	Consommation du gasoil
2009	6,98E+06	2015	8,44E+06
2010	7,22E+06	2016	8,68E+06
2011	7,46E+06	2017	8,93E+06
2012	7,71E+06	2018	9,17E+06
2013	7,95E+06	2019	9,42E+06
2014	8,20E+06	2020	9,66E+06

Tableau 5.16: Consommation de gasoil pour le scénario D