



**HAL**  
open science

# Rationalisation de la consommation d'énergie et qualité de développement durable : étude de la relation consommation d'énergie - croissance économique (cas de la Tunisie)

Hanene Bettaieb

► **To cite this version:**

Hanene Bettaieb. Rationalisation de la consommation d'énergie et qualité de développement durable : étude de la relation consommation d'énergie - croissance économique (cas de la Tunisie). Economies et finances. Université Paris Saclay (COMUE); Université de Sousse (Tunisie). Faculté des sciences économiques et de gestion, 2015. Français. NNT : 2015SACLV005 . tel-01919645

**HAL Id: tel-01919645**

**<https://theses.hal.science/tel-01919645>**

Submitted on 12 Nov 2018

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

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



Université Paris-Saclay

Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines

Université de Sousse Faculté des sciences économiques et de gestion

ECOLE DOCTORALE SHS – SCIENCES DE L’HOMME ET DE LA SOCIETE

ECOLE DOCTORALE ECONOMIE-GESTION DE SOUSSE

Centre de Recherche en Economie-écologique, Eco-innovation et ingénierie du Développement Soutenable – REEDS – Equipe d’accueil 4456 à l’UVSQ

Laboratoire de recherche en Management de l’Innovation et Développement Durable (LAMIDED)

**THESE DE DOCTORAT**

**DE L’UNIVERSITE DE VERSAILLES SAINT –QUENTIN-EN-YVELINES**

**Spécialité : Sciences Economiques**

---

**Rationalisation de la consommation d’énergie et qualité du développement durable : Etude de la relation consommation d’énergie – croissance économique (cas de la Tunisie)**

---

**Directeurs de thèse :**

**Sylvie FAUCHEUX : Professeur en sciences économiques au CNAM (France)**

**Jalleledine BEN REJEB : Professeur à l’Institut Supérieur de Gestion de Sousse (Tunisie)**

**Septembre 2015**

# Table des matières

Dédicaces.....	8
Remerciements .....	9
Liste des acronymes et abréviations .....	10
Liste des encadrés .....	11
Liste des figures.....	12
Liste des tableaux.....	14
Résumé.....	16
Abstract .....	17
Introduction générale.....	18
<b>PARTIE 1 : ENERGIE &amp; ECONOMIE .....</b>	<b>30</b>
1. Chapitre 1 : contexte énergétique tunisien.....	31
1.1. Introduction.....	31
1.2. Principales caractéristiques de la demande énergétique en Tunisie .....	31
1.2.1. Consommation d'énergie primaire .....	33
1.2.2. Consommation d'énergie finale .....	37
1.2.3. Consommation d'électricité .....	39
1.2.4. Politique énergétique tunisienne.....	44
1.2.4.1. Historique de la politique énergétique tunisienne .....	44
1.2.4.2. Politique de Maîtrise de l'énergie en Tunisie.....	45
1.3. Consommation d'énergie et croissance économique .....	51
1.3.1. Elasticité revenu et prix de la consommation d'énergie .....	54
1.3.2. Intensité énergétique .....	55
1.3.3. Méthodes économétriques .....	59
1.3.4. Méthodes technico-économiques : L'approche MEDEE .....	61
1.3.5. Méthode de scénario .....	62
1.4. Conclusion .....	63
2. Chapitre 2 : Etude EMPIRIQUE de la relation Consommation d'Énergie et Croissance Économique.....	64
2.1. Introduction.....	64
2.2. Revue de littérature .....	65
2.3. Stratégie économétrique.....	68
2.3.1. Etude de la stationnarité.....	70
2.3.1.1. Définition.....	71

2.3.1.2.	Tests de racine unitaire en absence de rupture.....	72
2.3.1.3.	Tests de racine unitaire en présence de ruptures.....	76
2.3.2.	Cointégration.....	80
2.3.2.1.	Notion de cointégration.....	80
2.3.2.2.	Test de cointégration de Johansen (1988).....	81
2.3.2.3.	Tests de cointégration avec changements structurels.....	86
2.3.3.	Modèle à correction d'erreur (ECM).....	91
2.3.3.1.	Raisons d'utilisation des modèles à correction d'erreur.....	91
2.3.3.2.	Présentation des modèles à correction d'erreur.....	92
2.3.4.	Causalité.....	93
2.3.4.1.	Définition de la causalité.....	93
2.3.4.2.	Mesures de la causalité.....	94
2.3.4.3.	Test de non causalité.....	94
2.4.	Estimation et Analyse des résultats empiriques.....	96
2.4.1.	Données.....	97
2.4.1.1.	Consommation d'énergie (CE).....	97
2.4.1.2.	PIB réel (PIBR).....	98
2.4.1.3.	Température (TEMP).....	98
2.4.1.4.	Prix de pétrole.....	99
2.4.2.	Etude de la stationnarité.....	100
2.4.3.	Test de cointégration.....	107
2.4.3.1.	Cointégration sans changement structurel.....	108
2.4.3.2.	Cointégration avec changement structurel.....	108
2.4.4.	Causalité et analyse impulsionnelle.....	112
2.4.5.	Prévision de long terme de la consommation d'énergie.....	116
2.5.	Conclusion.....	118
PARTIE 2 : ENERGIE, ECONOMIE ET ENVIRONNEMENT.....		121
3.	Chapitre 3 : Relation entre Emissions de CO <sub>2</sub> , croissance économique et consommation d'énergie.....	123
3.1.	Introduction.....	123
3.2.	Contexte Environnemental Tunisien.....	124
3.2.1.	Evolution des émissions des GES par source.....	124
3.2.1.1.	Emissions de GES dues à la combustion énergétique.....	125
3.2.1.2.	Emissions de GES dues aux émissions fugitives.....	126

3.2.2.	Emissions de GES dues à l'énergie par gaz.....	127
3.2.2.1.	Emissions de CO2 .....	128
3.2.2.2.	Emissions de CH4 .....	129
3.2.2.3.	Emissions de N2O.....	130
3.3.	Politique environnementale.....	131
3.3.1.	Politique environnementale internationale.....	131
3.3.1.1.	Conférence de Rio de Janeiro.....	131
3.3.1.2.	Conférence des parties (COP) .....	132
3.3.1.3.	Protocole de Kyoto.....	133
3.3.1.4.	Protocole de Montréal .....	134
3.3.2.	Politique environnementale tunisienne.....	135
3.3.2.1.	Système des études d'impact sur l'environnement.....	136
3.3.2.2.	Institutions environnementales et cadre réglementaire .....	137
3.3.2.3.	Stratégie Nationale sur le Changement Climatique.....	139
3.4.	Relation entre Environnement, Economie et énergie.....	140
3.4.1.	Courbe Environnement de Kuznets (EKC) .....	141
3.4.2.	Intensité carbone .....	142
3.4.3.	Identité de Kaya.....	144
3.4.3.1.	Effet de croissance de la population sur l'environnement .....	145
3.4.3.2.	Effet du développement économique sur l'environnement.....	145
3.4.3.3.	Effet de la technologie sur l'environnement.....	146
3.5.	Conclusion .....	146
4.	Chapitre 4 : Etude empirique de la relation entre environnement et économie .....	148
4.1.	Introduction.....	148
4.2.	Révue de littérature .....	149
4.3.	STRATEGIE ECONOMETRIQUE.....	150
4.3.1.	Tests de Racine Unitaire (Unit Root Test) .....	150
4.3.1.1.	Test DF et ADF .....	150
4.3.2.	Test de cointégration d'Engle et Granger (cas univarié) .....	156
4.3.2.1.	Etape 1 : estimation de la relation c'est à dire le vecteur cointégrant $(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$ ...	156
4.3.2.2.	Etape 2 : estimation du modèle à correction d'erreur.....	157
4.3.3.	Spécification du modèle .....	158
4.4.	Analyse des résultats empiriques.....	158
4.4.1.	Données.....	158

4.4.1.1.	Emissions de CO2 (CO2) .....	159
4.4.1.2.	Indice de saleté énergétique (ISE).....	159
4.4.1.3.	Intensité énergétique :.....	160
4.4.1.1.	Production par tête .....	161
4.4.1.2.	Population active.....	162
4.4.2.	Ordre d'intégration.....	163
4.4.1.	Test de cointégration.....	164
4.4.2.	Le modèle à correction d'erreur.....	166
4.4.3.	Perspectives des émissions de GES en Tunisie.....	167
4.5.	Conclusion .....	170
Partie 3 : Etude comportementale qualitative d'un échantillon d'étudiants et d'enseignants face à la consommation de l'énergie et à la protection de l'environnement .....		171
5.	Chapitre 5 : Formulation du questionnaire, identification de l'échantillon et déroulement de l'enquête .....	173
5.1.	Introduction.....	173
5.2.	DEVELEPOMMENT DURABLE ET Responsabilité sociale .....	174
5.2.1.	Limites des politiques énergétiques et environnementales tunisiennes.....	174
5.2.2.	RSE et RSA.....	175
5.2.3.	Politique tunisienne de Sensibilisation.....	177
5.2.3.1.	Instauration du dialogue par branche.....	178
5.2.3.2.	Installation des "experts relais" de dialogue et de promotion .....	179
5.2.3.3.	Ateliers de concertation .....	179
5.2.3.4.	Organisation de rencontres de haut niveau.....	180
5.2.3.5.	La complémentarité des instruments d'intervention .....	180
5.2.3.6.	Journées de sensibilisation, d'information et de formation .....	181
5.3.	déroulement de l'enquête sur le comportement des étudiants et des enseignants face à la consommation d'énergie et la protection de l'environnement .....	181
5.3.1.	Enquêtes antérieures .....	182
5.3.2.	Objectifs.....	183
5.3.3.	Choix de l'échantillon .....	185
5.3.4.	Elaboration du questionnaire.....	189
5.3.5.	Collecte des données.....	192
5.3.6.	Saisie & Codification .....	195
5.4.	Grille d'évaluation .....	195
5.5.	Conclusion .....	199

6.	Chapitre 6 : Analyse empirique et résultats de l'enquête sur le comportement du consommateur face à la consommation d'énergie et à la protection de l'environnement .....	200
6.1.	Introduction.....	200
6.2.	Analyse et interprétation des réponses collectées .....	201
6.2.1.	Analyse du comportement des étudiants et enseignants par domaine d'usage....	201
6.2.1.1.	DU1 Eclairage : .....	201
6.2.1.2.	DU2 Appareils en veille : .....	201
6.2.1.3.	DU3 Chauffe-eau : .....	202
6.2.1.4.	DU4 Electroménagers.....	203
6.2.1.5.	DU 5 Chauffage.....	207
6.2.1.6.	DU 6 Climatisation.....	208
6.2.1.7.	DU 7 Cuisson :.....	209
6.2.1.8.	DU 8 Bâtiment : construction & rénovation.....	210
6.2.1.9.	DU9 Transport : .....	211
6.2.1.10.	DU 10 Energies renouvelables .....	214
6.2.1.11.	DU 11 Environnement .....	214
6.2.1.12.	DU 12 Outils de sensibilisation.....	218
6.2.2.	Préconisations pour quelques domaines d'usage.....	219
6.2.2.1.	DU1 Eclairage : .....	219
6.2.2.2.	DU 9 Transport .....	220
6.2.2.3.	DU 10 Energies renouvelables .....	224
6.2.2.4.	DU 11 Environnement.....	225
6.2.2.5.	DU 12 Outils de sensibilisation (communication, information et formation).....	225
6.3.	Application : Estimation du modèle LOGIT.....	227
6.3.1.	Méthodologie Econométrique Qualitative.....	227
6.3.1.1.	Limites des MCO dans un cadre du modèle à variable qualitative dépendante.	227
6.3.1.2.	Modèle à probabilité linéaire : .....	228
6.3.1.3.	Modèle de variable qualitative dichotomique : .....	230
6.3.1.4.	Effets marginaux et Elasticités : .....	233
6.3.2.	Application sur le comportement de l'individu à l'égard du développement durable	234
6.3.2.1.	Modèle dichotomique : .....	234
6.3.2.2.	Interprétation des résultats de l'estimation .....	234
6.4.	Conclusion .....	236
	Conclusion Générale.....	238

Bibliographie.....	247
Annexe.....	256
7. Annexe 1.....	256
7.1. Test de racine unitaire.....	256
7.1.1. Test de racine unitaire des variables en niveau (LCE, LPIBR, LPRIX et LTEMP) .....	256
7.1.2. Test de racine unitaire des variables en différence (dLCE, dLPIBR, dLPRIX et dLTEMP) 271	
7.2. Test de cointégration de Johansen.....	287
7.3. VECM : .....	289
7.4. Test de causalité au sens de granger.....	290
7.5. Décomposition de la variance .....	290
8. Annexe 2.....	292
8.1. Test de racine unitaire : NG-Perron.....	292
8.2. Test ADF (Séries en différence) .....	294
8.3. Cointégration Engle et Granger.....	295
8.3.1. Etape 1:.....	295
8.3.2. Etape 2: Test ADF sur les résidus (ECT) .....	296
8.4. ECM :.....	296
9. Annexe 3.....	298
9.1. Echantillonnage stratifié et systématique.....	298
9.2. Questionnaire.....	303
9.3. Collecte des données :.....	326
9.4. Saisie des données collectées .....	327
9.5. Estimation Logit.....	346
Glossaire.....	348

# Dédicaces

A l'âme de mon cher papa **Mohamed Mouldi** et à ma chère mama  
**Omkalthoum** qui m'ont encouragé pour terminer cette thèse,

A ma grand-mère **Maimouna**,

A celui que j'aime beaucoup, mon fiancé **Abderaouf BEN AMOR**

A mon frère **Ahmed** et sa femme **Nourhen**,

A ma sœur **Fédia** et son mari **Ramzi**,

A mon beau-père **Ahmed** et ma belle mère **Rékaya**,

A toutes les membres des familles **BETTAIEB** et **KHALFALLAH**,

A tous mes **ami(e)s**.

# Remerciements

Je tiens à présenter mes vifs remerciements à tous ceux qui m'ont aidé à effectuer ce présent travail et en premier lieu mes deux directeurs de thèse **Madame Sylvie FAUCHEUX** et **Monsieur Jaleddine BEN REJEB** qui m'ont accordé tous les conseils et toutes les explications dont j'avais besoin.

Je remercie également, les membres de jury qui ont accepté d'évaluer ce présent travail de recherche.

Je désire également témoigner toute ma reconnaissance aux membres du Centre de Recherche en Economie-écologique, Eco-innovation et ingénierie du Développement Soutenable – REEDS en particulier à son directeur Monsieur Martin O'CONNOR et aux membres du Laboratoire de recherche en Management de l'Innovation et Développement Durable – LAMIDED.

Je remercie enfin toutes les personnes que je n'ai pas citées qui m'ont encouragé et aidé de près ou de loin à élaborer cette thèse et surtout à mener à bien l'étude de terrain.

*Hanène...*

# Liste des acronymes et abréviations

**AIE** : Agence Internationale de l'Energie

**ANME** : Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie

**ktep** : kilo tonne équivalent pétrole (1000 tep)

**Mtep** : Million de tonnes équivalent pétrole

**PIB** : Produit Intérieur Brut

**ONE** : Observatoire Nationale de l'Energie

**STEG** : Société Tunisienne d'Electricité et de Gaz

**GTZ** : Agence de coopération technique allemande

**AHK Tunesien** : Chambre Tuniso-Allemande de l'Industrie et du Commerce

**ETAP** : Entreprise tunisienne d'activités pétrolières

**STIR** : la Société Tunisienne des Industries de Raffinage

**ANER** : Agence Nationale des Energies Renouvelables

**URE** : Utilisation Rationnelle d'Energie

**INSEE** : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

**PST** : Projet Solaire Tunisien

**TECO2** : Tonne Equivalent CO2

**GES** : Gaz à Effet de Serre

**GIEC** : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

**OMM** : Organisation Météorologique Mondiale

**CCNUCC** : Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

**UE** : Union Européenne

**CFC** : Chlorofluorocarbures

**RSA** : Responsabilité

# Liste des encadrés

**Encadré 1 :** Plan Solaire Tunisien (PST)

**Encadré 2 :** Gaz à Effet de Serre (GES)

# Liste des figures

- Fig.1** Evolution du bilan énergétique
- Fig.2** Ressources et demande énergétique
- Fig.3** Consommation d'énergie primaire par forme d'énergie
- Fig.4** Structure de la consommation d'énergie primaire par produit (2002)
- Fig.5** Consommation d'énergie finale par secteur
- Fig.6** Evolution de la demande électrique 1990-2012
- Fig.7** Evolution du taux d'électrification rurale
- Fig.8** Structure sectorielle de la consommation d'électricité en 2009
- Fig.9** courbe de charge de la journée de pointe
- Fig.10** Solaire thermique
- Fig.11** Production d'électricité à partir des énergies renouvelables
- Fig.12** Subvention de l'Etat
- Fig.13** Evolution de la consommation d'énergie primaire et la croissance économique :  
Découplage
- Fig.14** Evolution de l'intensité énergétique primaire en Tunisie
- Fig.15** Comparaison internationale Intensité énergétique primaire (2008)
- Fig.16** Stratégie économétrique
- Fig.17** Evolution de la Consommation d'Energie
- Fig.18** Evolution de PIBR
- Fig.19** Evolution de la Temperature
- Fig.20** Evolution du Prix de Pétrole
- Fig.21** Etude graphique de la cointégration
- Fig.22** Response to CholeskeyOne S.D Innovations
- Fig.23** Emissions totales de GES dues à l'énergie
- Fig.24** Emissions de GES dues à l'énergie par source
- Fig.25** Emissions des GES dues à la combustion par secteur
- Fig.26** Emissions GES dues à l'énergie par gaz
- Fig.27** Evolution des émissions de CO2 par secteur (1990-2003)
- Fig.28** Emissions de N2O dues à l'énergie par secteur
- Fig.29** Emissions de GES évitées provenant de maîtrise de l'énergie
- Fig.30** La Courbe Environnementale de Kuznets (EKC)

- Fig.31** Evolution de l'intensité en carbone en Tunisie
- Fig.32** Evolution des émissions de CO2
- Fig.33** Evolution de l'Indice de Saleté Energétique (ISE)
- Fig.34** Evolution de l'Intensité Energétique
- Fig.35** Evolution de la production par tête
- Fig.36** Evolution de la POPA
- Fig.37** Fonctions de réponse impulsionnelle 2010-2030
- Fig.38** Concertation de l'ensemble des acteurs
- Fig.39** Etapes de réalisation d'une enquête
- Fig.40** Evolution du parc des LBC
- Fig.41** Carte Tunisie : Trajet parcouru
- Fig.42** Range vélos à ISSAT Gabès

# Liste des tableaux

- Tableau 1** : Evolution des ressources d'énergie primaire en ktep (1980-2002)
- Tableau 2** : Evolution de la consommation d'énergie finale par secteur en ktep (1980-2004)
- Tableau 3** : Nombre d'abonnés de la STEG en 2001
- Tableau 4** : Consommation nette d'électricité par secteur entre 1990 et 2009 (GWh)
- Tableau 5** : Test de racine unitaire ADF (Séries en niveau)
- Tableau 6** : Test de racine unitaire PP (Séries en niveau)
- Tableau 7** : Test de racine unitaire KPSS (Séries en niveau)
- Tableau 8** : Test de racine unitaire ADF (Séries en différence)
- Tableau 9** : Test de racine unitaire PP (Séries en différence)
- Tableau 10** : Test de racine unitaire KPSS (Séries en différence)
- Tableau 11** : Test de Zivot et Andrews (Séries en niveau)
- Tableau 12** : Test de Zivot et Andrews (Séries en différence)
- Tableau 13** : Test de cointégration de Johansen
- Tableau 14** : Test de stabilité des paramètres de Hansen
- Tableau 15** : Test de Gregory et Hansen
- Tableau 16** : Détermination du nombre de retard du modèle VAR
- Tableau 17** : Test de causalité au sens de Granger
- Tableau 18** : La prévision de la consommation d'énergie
- Tableau 19** : L'évolution des émissions GES dues à l'énergie par source (1980-2008)
- Tableau 20** : Emissions totales du CH<sub>4</sub> par source et par secteur (1980-2008)
- Tableau 21** : Evolution de l'intensité en CO<sub>2</sub> d'origine énergétique
- Tableau 22** : Test de racine unitaire
- Tableau 23** : Décomposition des émissions de GES 1971-2004
- Tableau 24**: Echantillonnage Université Sfax
- Tableau 25** : Echantillon par université (taille, poids et raison) N=362029 et n=385
- Tableau 26** : Grille d'évaluation pour le sous domaine DU 4.1 Etiquette Energétique (DU 4 Appareils Electroménagers)
- Tableau 27** : Grille d'évaluation de la conscience globale pour tous les DU
- Tableau 28** : DU2 Appareils en veille
- Tableau 29** : DU 4.1 Etiquette Energétique

**Tableau 30** : DU 4.2 Lave-linge  
**Tableau 31** : DU 4.3 Sèche-linge  
**Tableau 32** : DU 4.4 Fer à repasser  
**Tableau 33** : DU 4.5 Lave-vaisselle  
**Tableau 34** : DU 4.6 Réfrigérateur  
**Tableau 35** : DU 5 Chauffage  
**Tableau 36** : DU 6 Climatisation  
**Tableau 37** : DU 7 Cuisson  
**Tableau 38** : DU 8 Bâtiment : construction & rénovation  
**Tableau 39** : DU 9 Transport  
**Tableau 40** : DU 10 Energies Renouvelables  
**Tableau 41** : DU 11 Environnement  
**Tableau 42** : DU 12 Outils de sensibilisation  
**Tableau 43** : Réseau de vélos : Avis des individus  
**Tableau 44** : Réseau de vélos : Avis des individus  
**Tableau 45** : Préconisations : outils de sensibilisation  
**Tableau 46**: Résultats de l'estimation Logit  
**Tableau 47**: Odds ratio

# Résumé

Etudier la relation entre la consommation d'énergie, la croissance économique et l'environnement s'avère désormais crucial dans les processus politiques. Or, la question qui se pose est la suivante : A quoi sert de proposer des actions, des stratégies et des politiques qui ne sont pas pratiquées par le consommateur ? Pour y répondre, notre réflexion s'est articulée en trois axes au sein de cette thèse en commençant par étudier la relation entre la consommation énergétique et la croissance économique en prenant en compte le prix de pétrole, en premier lieu. Ensuite, nous avons étudié cette relation mais cette fois en intégrant le côté environnemental, via les émissions de CO<sub>2</sub> dues à la consommation d'énergie, qui suivait le rythme imposé par l'accélération de la croissance économique. D'où, l'intérêt des politiques énergétiques et environnementales visant à réduire la demande d'énergie et à protéger l'environnement. Le citoyen, comme un acteur de responsabilité sociale des acteurs (RSA), doit avoir une prise de conscience du développement durable via plusieurs actions telles que d'une part l'éducation et la formation et d'autre part la mise en disposition de l'information au public des enfants, aux jeunes et aux adultes. Or, la non prise de conscience entraîne une mauvaise compréhension des programmes d'actions et donc une mauvaise pratique. Autrement dit, la réussite de ces actions en Tunisie nécessite une prise de conscience conjuguée et implique la participation d'autres acteurs. Pour ces raisons, la dernière partie a été consacrée à l'étude de la prise de conscience chez les étudiants et les enseignants. D'après les résultats, les étudiants et les enseignants sont peu (voire pas du tout parfois) informés des pratiques de maîtrise de l'énergie et de protection de l'environnement. C'est pourquoi, la mise en place des programmes de formation et de sensibilisation s'avère nécessaire au sein des établissements universitaires et de tous les établissements d'éducation, et les acteurs de RSA en général. Néanmoins, ces acteurs ne doivent pas agir par obligation mais plutôt ils doivent être convaincus de l'intérêt stratégique des politiques énergétiques et environnementales du pays.

Mots clés : Consommation d'énergie, croissance économique, émissions de CO<sub>2</sub>, cointégration, comportement consommateur, enquête.

# Abstract

Studying the relationship between energy consumption, economic growth and environment is crucial in the process of the proposal of policies. Hence, the following question arises: What purpose does it serve to propose actions, strategies and policies which are not adopted by the consumers? To provide an answer, our reflection will be articulated in three axes within this thesis, beginning by studying the relation between energy consumption and economic growth by taking into account the oil prices in the first axis. Afterwards, we will go back to studying this relationship, but this time by integrating the environmental dimension. We will do this by focusing on CO<sub>2</sub> emissions released as a result of the energy consumption which follows the acceleration of economic growth, and from which the interest of the energy and environmental policies -to reduce the energy demand and to protect the environment- originates. The citizen, as the performer of actor social responsibility (ASR), has to develop an awareness of sustainable development through means such as education on the one hand and should make the information available to children, youth and adults on the other. Hence, the lack of awareness leads to a dysfunctional understanding of action plans and therefore to misguided practices. In other words, the success of these actions in Tunisia requires awareness coupled with the cooperation of other actors. For these reasons, the last part was dedicated to the study of the consciousness of the students and teachers. According to the results, teachers and students are little (often not at all) informed about energy control and environmental protection practices. So, the implementation of the training and awareness raising programs is considered necessary within universities and all the educational establishments, and the actors of ASR in general. Nevertheless, these actors should not act by obligation but rather by conviction of the strategic interest of energy and environmental policies of the country.

Key words: Energy consumption, economic growth, CO<sub>2</sub> emissions, co-integration, consumer behavior, survey.

# Introduction générale

Selon le cinquième rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) sur les changements climatiques et leurs évolutions futures, la température de surface sera probablement supérieure à 1,5°C à la fin du 21<sup>ème</sup> siècle par rapport à la période 1850-1990. La synthèse de ce rapport, publiée le 2 Novembre 2014, a fourni une vision intégrée du changement climatique. Ainsi, l'augmentation de la température moyenne du globe de 1,4° à 5,8°C résulte de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre (GES). Depuis le début de l'ère industrielle, on observe une augmentation continue de la teneur en gaz carbonique, en méthane et d'autres gaz. Cette augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, selon le troisième rapport du GIEC, est à l'origine de l'aggravation du phénomène de l'effet de serre au niveau de la planète qui lui-même engendrait l'augmentation de la température moyenne. Le suivant rapport de GIEC a parlé de la responsabilité de l'activité humaine dans le sens où le problème de réchauffement planétaire est devenu une menace réelle qui affecte le développement socio-économique en provoquant des cycles hydrologiques plus vigoureux tels que la sécheresse et les inondations, une augmentation des précipitations, des effets sur la santé, etc. En effet, les principales sources de ces émissions sont la combustion des énergies fossiles, le déboisement, la combustion de la biomasse, les engrais agricoles et les déchets. Toutefois, l'énergie constitue la source d'émission la plus importante en contribuant à plus de 60% dans les émissions de GES mondialement. Les principaux GES sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), l'azote, le méthane, les hydrofluocarbures (HFC), etc. Le CO<sub>2</sub> provient de la combustion des énergies fossiles et de la biomasse et il est responsable lui seul de 60% des GES. Pour ces raisons, la lutte contre le changement climatique est devenue un défi mondial qui exige un effort collectif de la communauté internationale en diminuant les émissions de GES. Ainsi, diminuer ces dernières nécessite la substitution des énergies fossiles par les énergies renouvelables dont leur usage reste coûteux devant un objectif primordial pour les pays est d'atteindre une croissance économique élevée. Les contraintes sont diverses parmi lesquelles : assurer une croissance soutenue et stable afin d'endiguer le chômage, et améliorer le niveau de vie qui risque d'entraîner une augmentation de la consommation de l'énergie et par conséquent celle de l'émission du CO<sub>2</sub>

également. Autrement, il s'agit pour chaque pays de garantir un développement durable qui prend en considération les changements climatiques plus particulièrement des émissions de GES. Pour ce faire et vu les menaces globales sur l'environnement, la communauté internationale à agir pour signer des multiples conventions et pour organiser des conférences afin de lutter contre le changement climatique et ses impacts sur l'environnement. Partant de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) de Rio en 1992 qui invite les pays développés à prendre des mesures pour réduire les émissions jusqu'au protocole de Kyoto où les gouvernements ont agréé l'utilisation des instruments économiques pour mettre en œuvre leurs actions, et ils sont amenés à concevoir des politiques environnementales. Une des répercussions de la CCNUCC est que les pays ratifiant cette convention se réunissent chaque année dans une ville hôte pour la conférence des parties (COP) afin de trouver comment réduire les émissions des GES. En 1995, la première COP s'est déroulée à Berlin où les Etats participants ont renforcé les engagements des pays développés ainsi que les politiques permettant l'atténuation des émissions pour toutes les parties. En 1997 et à Kyoto au Japon, la COP-3 s'est organisée et a donné lieu à l'adoption du protocole de Kyoto. Il s'agit d'un accord réglementaire international fixant des objectifs quantitatifs en matière de réduction des GES pour les pays industrialisés. Il s'agit bien du protocole de Kyoto qui a fixé un objectif précis et collectif pour les 35 pays industrialisés pour réduire de 5,2% leurs émissions entre 2008 et 2012, par rapport au niveau des émissions de 1990. En 2009, la 15<sup>ème</sup> édition de la COP, les participants ont suivi l'écriture de Kyoto et ils se sont discutés à propos du problème de seuil fixé de quotas des émissions pour les pays en développement ainsi qu'au financement. Ce Sommet de Copenhague a été terminé sans aucun accord après quinze jours de négociations. Suite à cet échec, les prochaines conférences se sont déroulées sans enthousiasme et dans une relative paralysie. C'est en décembre 2014 que la 20<sup>ème</sup> COP à Lima a abouti à un accord constituant une base du travail pour préparer à la COP 21 à Paris. C'est prochainement en décembre 2015 que se déroulera cette conférence qui tentera une suite du protocole de Kyoto pour parvenir un accord international permettant d'établir les modalités de contrôle des différents engagements et leur caractère contraignant ou pas et de poser la question de l'aide aux pays en voie de développement. Dans le cadre des préparatifs à la COP21, plusieurs conférences mondiales et nationales s'organisent dans le but d'arriver à répondre à la question comment limiter le réchauffement climatique à 2°C en 2100. Une de ces conférences

était le sommet G7 en Juin 2015, organisé en Allemagne et qui s'est terminé par un accord sur le climat. Dans la perspective de la conférence de Paris, deux pays pionniers ont annoncé leur contribution à la lutte contre le changement climatique dont la première initiative a été de la part du Gabon suivi du Maroc. C'était le 2 Juin 2015 que le Maroc s'est engagé à réduire ses émissions de GES d'au moins 13% d'ici 2030 par rapport à celles de 2010 en consacrant 10 milliards de dollars pour financer son engagement climatique. Suite à cette déclaration et comme le Maroc a eu le premier rang parmi les pays en développement selon le classement des « performances des politiques climatiques »<sup>1</sup> en 2015, la France a sollicité le Maroc pour jouer le rôle du guide au niveau africain puisqu'il est considéré comme un exemple pour les pays en développement en matière des politiques de développement durable (énergies renouvelables, politique environnementale). D'ailleurs, le Maroc organisera la COP 22 en 2016. Ainsi, les pays africains ont commencé à s'engager dans les initiatives de lutte contre le changement climatique. En ce qui concerne la Tunisie, pays de nord Afrique et voisin du Maroc, le gouvernement a déclaré aussi son engagement dans le cadre de la COP 21. Elle a promis de baisser son intensité carbone de 41% en 2030 par rapport à 2010 en s'appuyant essentiellement sur le secteur énergétique. Sa contribution se focalisait sur l'énergie puisque durant toute la journée et partout, on ne peut pas éviter l'usage de l'énergie pour réaliser nos travaux et satisfaire nos besoins. En effet, la consommation d'énergie augmentait en fonction des besoins humains d'une façon croissante et accélérée. Ceci nécessite une utilisation fréquente d'énergies fossiles (charbon, pétrole) entraînant l'augmentation de l'effet de serre qui peut perturber l'équilibre de la planète (fonte de la banquise et des glaciers, élévation du niveau d'océans,...). Certes, ce problème est loin d'être considéré comme un problème purement énergétique, mais c'est un problème plutôt économique, environnemental et social. Le défi est donc comment assurer un progrès économique et technique avec le rythme actuel tout en tenant compte simultanément de trois aspects : socio-économique, environnemental et énergétique. Malgré les lourdes contraintes financières et environnementales des modes de production et de consommation d'énergie, l'énergie reste un élément indispensable au développement des pays. Parmi les risques liés à la production et la consommation d'énergie, on peut citer la pollution des eaux, les

---

<sup>1</sup> Etabli chaque année par Climate Action Network

émissions et les déchets radioactifs résultant d'énergie nucléaire, la pollution de l'air, l'aggravation de l'effet de serre, etc.

Historiquement, une relation étroite existe entre croissance économique et consommation d'énergie, du fait que la croissance économique engendrait inévitablement une croissance concomitante des besoins en énergie ; le contenu énergétique de l'économie reflétait assez bien le niveau de développement atteint. Toutefois, la croissance du PIB et celle de la consommation d'énergie sont plus ou moins proportionnelles, en fonction des étapes de développement d'un pays. Cette situation explique bien la pénétration de l'analyse du risque à l'étude des problèmes énergétiques. Les implications pour la croissance, le développement et l'environnement peuvent être appréhendées en termes de risques socioéconomiques et environnementaux, générés par la consommation d'énergie. A cause de cette importante consommation d'énergie le problème de l'accumulation dans l'atmosphère des gaz à effet de serre entraînait des changements de climat dont les conséquences peuvent être catastrophiques, à l'horizon de quelques décennies. Les émissions de ces gaz dues aux activités humaines font croître leur concentration dans l'atmosphère et la principale contribution à l'augmentation de l'effet de serre provient des émissions de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) liées aux activités de production et de consommation d'énergie<sup>2</sup>.

En Tunisie, l'enregistrement d'un accroissement significatif de la consommation d'énergie résulte de l'amélioration du niveau de vie de sa population alors qu'elle enregistre par ailleurs une régression des ses ressources pétrolières donnant lieu à un déficit de la balance énergétique. L'augmentation de cette consommation d'énergie repose sur la combustion des énergies fossiles en provoquant une augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Cette augmentation de la concentration des GES engendre par conséquent une élévation de la température moyenne du globe de 1,4° à 5,8°C. Ce problème du réchauffement planétaire affecte le développement socio-économique en provoquant la sécheresse et les inondations ce qui entraîne aussi des mauvais impacts sur la santé. En effet, le CO<sub>2</sub> d'origine énergétique, incluant les émissions liées à la production d'énergie et aux transports, constitue une part importante des émissions de gaz à effet de serre (GES) en Tunisie. Sa part a même augmenté entre 1990 et 2005 en partie du fait du développement des transports. Cette hausse de l'importance relative du CO<sub>2</sub> d'origine énergétique dans

---

<sup>2</sup> ANME, Septembre 2005, Tome IV.

l'ensemble des gaz à effet de serre montre l'enjeu de nouvelles mesures contraintes sur les émissions de CO<sub>2</sub> par les autorités. Tous les secteurs économiques sont concernés : l'énergie fossile est utilisée pour la production d'électricité et de chaleur, pour les transports, dans les installations de combustion industrielles etc. La Tunisie a pris conscience de la gravité de cette situation et a signé la Convention cadre des Nations Unies relative aux changements climatiques, et ce, lors du sommet de la Terre à Rio en 1992, ratifiée en juillet 1993. La Tunisie a adhéré, bien entendu, au Protocole de Kyoto dès 2002 avant même son entrée en vigueur en février 2005. Il est utile de savoir aussi que la première communication nationale relative aux changements climatiques a été élaborée en novembre 2001 alors que l'inventaire national sur les gaz à effet de serre et de leurs sources pour les deux années de référence (1994 et 1997) et pour le secteur de l'énergie pour l'année de référence 2000, a été réalisé avec succès. En août 2004, en vertu de la nouvelle loi de maîtrise de l'énergie, l'Agence Nationale de Maîtrise de l'Energie (ANME) se donne comme tâche d'élaborer un inventaire des émissions de gaz à effet de serre dues à la consommation de l'énergie et d'analyser les indicateurs de maîtrise de l'énergie. Et grâce à sa politique énergétique, la Tunisie est considérée comme un pays en vue d'être de plus en plus efficace en terme d'utilisation rationnelle d'énergie en substituant le pétrole par le gaz naturel puisque la Tunisie se bénéficie des redevances de transit du gazoduc transméditerranéen qui amène le gaz de l'Algérie vers l'Italie en passant par le territoire tunisien sur approximativement 370 kilomètres. En général, si la croissance économique augmente c'est grâce à un développement économique important qui nécessite une consommation d'énergie de plus en plus élevée. Lorsque la consommation d'énergie, essentiellement du pétrole, s'accroît dans ce cas l'augmentation du prix de pétrole cause une croissance économique moins élevée. En fait, jusqu'à la crise de 1973, les prix de l'énergie n'ont jamais été retenus comme variable explicative du niveau de la consommation d'énergie en raison de leur stabilité (souvent leur diminution). Mais, après 1973, les bouleversements subis par les prix de l'énergie sont dus à la surprenante croissance de la demande mondiale d'énergie et la limitation des ressources et des réserves énergétiques. Ces bouleversements ont conduit à la prise en considération des prix de pétrole au sein de secteur énergétique qui ne peut pas être isolé de l'ensemble de l'économie.

Durant ces deux dernières décennies, les problèmes environnementaux renforçaient l'élaboration d'une stratégie permettant d'assurer un développement

durable et propre du secteur énergétique à travers la réduction des coûts économiques et sociaux liés à la production et la consommation d'énergie. Ce nouveau mode de développement durable a été défini au rapport Brundtland, 1987 comme « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». Donc, le concept développement durable, depuis la scène internationale à l'occasion du Sommet de la terre à Rio en 1992 puis à Johannesburg en 2002, associe trois piliers à savoir le développement économique, le progrès social et la protection de l'environnement. D'où le défi est de faire face au développement des besoins économiques de long terme en protégeant l'environnement et les ressources naturelles. Ces trois piliers s'appuient sur des principes fondamentaux notamment la précaution, la responsabilité, l'économie, la bonne gestion, la participation et la solidarité. Assurer un développement durable avec ces piliers nécessite l'élaboration des nouvelles stratégies et politiques de développement durable sur le plan régional et national. La stratégie méditerranéenne du développement durable a été proposée lors de la douzième réunion des Parties contractantes à la Convention de Barcelona (Monaco, membre 2001) par les 21 pays de la Méditerranée et la Communauté Européenne. Cette initiative a été approuvée lors de la deuxième conférence euro-méditerranéenne des Ministres de l'environnement (Athènes, Juillet 2002). Cette stratégie s'articule autour de quatre objectifs et sept domaines d'actions prioritaires. Elle vise à promouvoir le développement économique en valorisant les atouts méditerranés, à réduire les disparités sociales en réalisant les objectifs du Millénaire pour le développement et renforcer les identités culturelles, à changer les modes de production et de consommation non viables et assurer une gestion viable des ressources naturelles, et améliorer la gouvernance à l'échelle locale, nationale et régionale. Concernant les domaines d'actions prioritaires, on a la gestion intégrée des ressources et des demandes en eau, la gestion la plus rationnelle de l'énergie, l'utilisation accrue des sources d'énergie renouvelables et l'adaptation en les atténuant aux efforts du changement climatique, la mobilité viable grâce à une gestion appropriée des transports, le tourisme viable, secteur économique porteur, le développement agricole rural viable, et la gestion viable de la mer du littoral et des ressources marines. En France, la stratégie nationale de développement durable 2003-2008 actualisée en 2006 afin de la mettre en cohérence avec la stratégie européenne (SEDD), a été mise à jour en Juillet 2010 pour la période 2010-2013. Elle vise à atteindre une économie verte et équitable. En Tunisie, la politique d'efficacité énergétique fait partie de la politique

de développement durable. En effet, le domaine énergétique provoque des changements dans l'environnement physique, social et économique à court et à long terme pour affecter même les prochaines générations. Aussi, la politique de maîtrise de l'énergie en Tunisie est un élément principal de développement durable en raison de sa relation avec le développement économique et social et la protection de l'environnement. Ce ci nécessite une solidarité et une participation des tous les acteurs avec précaution et responsabilité afin d'assurer la bonne gestion des ressources énergétiques et la rationalisation de leur utilisation. C'est pour cette raison que la Tunisie s'est engagée depuis près de vingt ans dans cette politique. L'évolution de son bilan énergétique vers une situation de dépendance extérieure croissante, comme son engagement dans la lutte contre le changement climatique la conduisent aujourd'hui à renforcer cette politique. Cette dernière définit un ensemble cohérent de moyens et de pratiques nécessaires pour faire face à la nouvelle situation énergétique et environnementale internationale. Réellement, la politique de maîtrise de l'énergie et de promotion des énergies renouvelables constituait un changement d'échelle par rapport aux années précédentes avec des objectifs d'économie d'énergie assignés à 1,25 million de tep permettant d'éviter des subventions de l'état d'un montant de 220 Millions de Dinars entre Juin 2005 et Juin 2008. Cette politique de DD est déclinée sur le plan national principalement par l'ANME. En collaboration avec le ministère de l'Industrie, de l'Energie et des Petites et Moyennes Entreprises en Tunisie, l'ANME offre des séminaires portant sur les principales questions du secteur de l'énergie. Ces séminaires mettent l'accent sur l'examen des problèmes qui se posent aux gouvernements et les mesures permettant à améliorer l'efficacité énergétique tout en protégeant l'environnement. Ils visent à renforcer la conscience de l'importance de la rationalisation de la consommation de l'énergie, la promotion des énergies renouvelables et la substitution de l'énergie par l'octroi de subventions. Afin de répondre de façon cohérente à la demande du Gouvernement, l'ANME a réalisé en 2006 deux études stratégiques complémentaires : « La Stratégie de Développement des Energies Renouvelables en Tunisie » et « La Stratégie de Développement de l'Utilisation Rationnelle de l'Energie en Tunisie ».

En s'attachant à acquérir les technologies les plus performantes et à susciter les pratiques énergétiques les plus efficaces, pour chaque secteur et pour chaque usage, l'utilisation rationnelle de l'énergie représente aujourd'hui une composante importante de la politique énergétique du pays. L'ANME doit

conduire à une amélioration de l'efficacité énergétique du pays, qui se traduit par une réduction de l'énergie consommée pour un service rendu ou un niveau d'activité donnée. L'amélioration de l'efficacité énergétique ne doit aucunement affecter la qualité du service recherché, ni infléchir la croissance économique, elle induit au contraire une amélioration du service rendu et une consolidation de la croissance économique. Plus précisément, l'efficacité énergétique se traduit par une croissance de la demande d'énergie plus faible que celle de la croissance économique, et par une réduction de la dépendance énergétique, par rapport à une situation de référence.

Durant la décennie 1990, ni l'impact de la politique d'utilisation rationnelle de l'énergie, ni la baisse structurelle de l'intensité énergétique de l'économie tunisienne, ni le doublement du gazoduc Algéro-Italien, ni l'entrée en exploitation du gisement de gaz de Miskar, n'ont pu empêcher l'enregistrement du déficit dans le paysage énergétique tunisien. En effet, la consommation d'énergie en Tunisie a progressivement entamé un processus de découplage par rapport à la croissance économique qui engendrait inévitablement une croissance concomitante des besoins d'énergie. Toutefois, les croissances du PIB et de la consommation d'énergie sont plus ou moins proportionnelles, en fonction des étapes de développement d'un pays puisque le contenu énergétique de l'économie reflétait assez bien le niveau de développement atteint. Ainsi, le contexte tunisien est influencé par deux contraintes, d'un côté une contrainte physique représentée par un déficit énergétique des ressources face à la demande (un solde déficitaire de 1,6 Mtep soit 19% de la demande en 2012<sup>3</sup>), et d'un autre côté une contrainte économique représentée par la subvention de l'état dans ce domaine qui se lève à 10% du budget de l'état en 2012. « Parce qu'elle se fonde sur une appréciation de l'évolution des comportements des différents consommateurs d'énergie, l'étude des actions de maîtrise de la demande d'énergie permet d'interroger plus avant la capacité des politiques publiques à prendre en compte le comportement des bénéficiaires/usagers auxquelles elles s'adressent »<sup>4</sup>. L'amélioration du niveau du citoyen en Tunisie a engendré un accroissement significatif de la consommation d'énergie devant une régression des ressources pétrolières donnant lieu à un déficit énergétique. Or cette

---

<sup>3</sup> La Politique d'efficacité énergétique en Tunisie, Néjib OSMAN Directeur Etudes & Planification de l'ANME, 05 avril 2013, CONFERENCE ID4D L'efficacité énergétique : dynamiques dans les pays du Sud et réflexions sur la coopération Nord – Sud.

<sup>4</sup> DUJIN, A., G. POQUET, and B. MARESCA, *La maîtrise des consommations dans les domaines de l'eau et de l'énergie*. 2007, Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de Vie (CREDOC): Paris.

consommation présente des impacts négatifs sur l'environnement. De ce fait, l'instauration de bonnes pratiques et la prise de conscience des consommateurs d'énergie constitue une contribution appréciable à l'effort national de maîtrise de la consommation d'énergie. La maîtrise de l'énergie est un impératif de développement durable en raison de sa relation étroite avec le développement économique et social et la préservation de l'environnement, ce qui nécessite l'adhésion et la participation des différentes parties dans le cadre d'un partenariat consacrant le comportement responsable permettant la bonne gestion des ressources énergétiques et la rationalisation de leur utilisation. C'est en suivant des conseils pratiques que le consommateur parviendra à maîtriser l'énergie et à réduire la facture énergétique essentiellement à travers de petits gestes donnant lieu à des grands résultats.

Ainsi, il est crucial que tous les acteurs aient conscience des enjeux des différentes politiques, que ce soit en matière de maîtrise d'énergie ou du lutte contre le changement climatique. Le citoyen comme un acteur de responsabilité sociale des acteurs (RSA) doit avoir une prise de conscience du DD via plusieurs stratégies et politiques telles que l'éducation et la formation d'une part et la mise en disposition de l'information au public, aux enfants, aux jeunes et aux adultes. Donc, la question que se pose est de savoir quelles sont les actions qui peuvent agir sur le changement du comportement des acteurs afin de rendre le concept du DD ainsi que ses stratégies compréhensibles par tous les acteurs. Cette question est cruciale du fait de la non prise de conscience entraînant une mauvaise compréhension des programmes d'actions et donc une mauvaise pratique. Autrement dit, la réussite des politiques énergétiques et environnementales dans le monde entier et en particulier en Tunisie, nécessite une prise de conscience conjuguée à la participation d'autres acteurs. Et c'est dans ce cadre qu'apparaît notre contribution pour étudier cette conscience ainsi que les facteurs qui l'influent chez un échantillon bien déterminé via une enquête. L'objectif de cette enquête est d'étudier la conscience des utilisateurs vis-à-vis du problème énergétique et environnemental en Tunisie. C'est parce que nous nous intéressons, dans notre recherche, au milieu universitaire pour interroger les étudiants et les enseignants et par conséquent évaluer leur comportement dans ce domaine. Dans ce contexte, des enquêtes antérieures ont été publiées dont celle lancée par l'ANME en collaboration avec la coopération allemande (GIZ). Cette enquête a été menée sur les connaissances, les perceptions et les attitudes des tunisiens par rapport à la maîtrise de l'énergie. Une autre étude a été

élaborée par la banque mondiale au près des ménages repartis sur trois quartiers du Grand Tunis, un quartier d'une petite ville : Soliman, une zone rurale du Jbel Bargou et une dizaine de chefs d'entreprises gérant des PME à Tunis et Sfax. La STEG aussi marquait sa présence dans ce type d'études comportementales en lançant une enquête quinquennale. En effet, l'enquête résidentielle de 2005 sur la consommation de l'électricité en Tunisie a cherché à mieux connaître le comportement des utilisateurs de l'énergie afin de dégager les enseignements nécessaires.

Selon la ministre marocaine de l'environnement, Hakima El Haite, « Lima est la COP des négociations, Paris est celle des décisions mais la COP 22, prévue au Maroc, sera la conférence de l'action ». La Tunisie, comme pays de la rive sud Méditerranée devrait suivre cette stratégie pour se focaliser sur les actions surtout que son engagement à la COP 21 ne pourra être atteint qu'avec un financement d'environ 18 milliards de dollars.

C'est dans ce cadre qui s'inscrit cette thèse. Elle traite plus spécifiquement la question de la sensibilisation des consommateurs du problème du changement climatique qui est dû à au manque d'éducation, d'information et de formation dans le domaine énergétique et environnemental.

Ainsi, dans ce travail de recherche, nous nous intéressons aux différentes conséquences économiques et environnementales liées à la consommation d'énergie avant de passer à l'étude du comportement du consommateur face à ces conséquences afin de trouver les actions efficaces qui permettront de répondre à la question suivante :

*Comment répondre aux besoins économiques de long terme tout en respectant l'environnement et réduisant la consommation d'énergie ?*

Dans le but de proposer une réponse à cette question, nous prenons en considération dans cette thèse les récents progrès de la recherche économétrique dans l'étude des séries temporelles non stationnaires, qui ont permis de développer une nouvelle méthodologie autour des concepts clés de cointégration, de modèle à correction d'erreurs et de causalité. Si le concept de cointégration introduit par Granger (1981), Granger et Weiss (1983) puis Engel et Granger (1987) permet de préciser la réalité et la nature des divergences entre deux séries théoriquement liées entre elles et à modéliser le comportement des ces variables, le modèle à correction d'erreur permet d'en expliquer et d'en déduire le mécanisme. Pour mener à bien ce travail de recherche,

nous proposons d'utiliser une approche économétrique via, d'abord, la théorie de cointégration pour étudier la relation entre économie, énergie et environnement. En effet, durant les deux dernières décennies, pour examiner l'existence de relation d'équilibre de long terme la technique de la cointégration développée par Engle et Granger (1987) est utilisée dans beaucoup d'études. Si deux ou plusieurs variables sont cointégrées alors nous pouvons conclure qu'il y a une relation d'équilibre de long terme entre ces variables. Dans ce cas, en utilisant un modèle à correction d'erreur vectoriel (VECM), la procédure de maximum de vraisemblance de Johansen (1991) et Johansen et Juselius (1990) peut être appliquée pour tester le sens de causalité de Granger (1988). En absence de cointégration (absence de relation d'équilibre de long terme et du modèle à correction d'erreur) le test de causalité de Granger est appliqué dans un modèle autoregressif vectoriel (VAR) au lieu d'un VECM. Nous proposons, ensuite, une autre approche économétrique via le modèle qualitatif (le logit) pour étudier le comportement du consommateur face à la consommation d'énergie et la protection de l'environnement.

Pour ce faire, nous proposons de structurer la thèse en trois parties:

La première partie s'intéresse à la relation entre économie et énergie. Elle est constituée de deux chapitres. Au sein du premier chapitre, nous décrivons, dans un premier lieu, le contexte énergétique tunisien à travers les principales caractéristiques de la demande énergétique ainsi que les différentes politiques énergétiques menées par l'Etat tunisien. Ensuite, nous passons à l'étude de la relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique théoriquement en présentant les différentes méthodes utilisées dans ce contexte. Le deuxième chapitre est consacré à l'étude empirique de la relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique, tout en prenant en compte d'autres facteurs influant cette relation à savoir le prix de pétrole en utilisant la cointégration avec changement structurel.

La deuxième partie se focalise sur le problème environnemental lié à l'énergie et son impact sur l'économie. Elle est constituée aussi de deux chapitres. D'abord, nous présentons les impacts environnementaux particulièrement dus à la consommation d'énergie et au développement économique dans les deux contextes mondial et national. Nous citons dans le même chapitre, les principales politiques et initiatives environnementales dans le monde et en Tunisie pour passer après à l'étude de la relation entre énergie, environnement et économie. Dans ce deuxième chapitre, nous utilisons la

cointégration pour étudier la relation entre consommation d'énergie, émissions de CO2 et croissance économique dans une même équation dans le cadre de l'identité de Kaya afin de prévoir la quantité des émissions de CO2 en fonction d'autres facteurs à savoir l'intensité énergétique, l'indice de saleté énergétique, la population active et le produit intérieur brut par tête.

La troisième partie constitue le fruit de deux premières parties. En effet, après estimation des calibres déterminant les relations d'équilibre de long terme entre consommation d'énergie, croissance économique et émissions de CO2, nous avons besoins des politiques qui permettent de réduire la consommation et par conséquent réduire les émissions. Ainsi, l'ANME a proposé plusieurs politiques. Cependant, ces politiques sont-elles réellement pratiquées ? Afin de répondre à cette question, nous proposons dans cette partie de lancer une enquête auprès des consommateurs dont l'objectif est d'évaluer la prise de conscience de ces politiques par les usagers. Donc, cette partie se compose de deux chapitres dont le premier est consacré à la description de différents éléments de l'enquête : objectifs, échantillonnage, questionnaire, données, etc. Ensuite, le deuxième chapitre regroupe les différents résultats de l'enquête ainsi qu'à leur interprétation et analyse. Enfin nous terminons cette partie par une estimation empirique de la conscience en fonction du genre, spécialité, statut et logement des enquêtés.

# PARTIE 1 : ENERGIE & ECONOMIE

Une certaine dépendance entre la consommation d'énergie et la croissance économique a été analysée à travers l'intensité énergétique qui n'est que le ratio entre la consommation d'énergie et le PIB. Cependant, nous pouvons dégager cette relation à travers d'autres méthodes, à savoir la théorie de cointégration, tout en introduisant d'autres facteurs influant cette relation, comme le prix du pétrole et le changement climatique. C'est dans ce cadre que s'inscrit cette première partie, notamment à l'étude de la relation entre la croissance économique et la consommation d'énergie, tout en prenant en compte le prix de pétrole. Ainsi, afin d'examiner cette relation, plusieurs types de méthodes (méthodes économétriques, méthodes technico-économiques, méthodes de scénarios,...) ont été utilisées que nous pouvons classer en deux grandes catégories, à savoir les méthodes de court terme (lissage exponentiel) et de long terme (technico-économiques, d'extrapolation). Pour notre cas, nous allons adopter une démarche de la prévision de la consommation d'énergie qui combine à la fois le court et le long terme, à travers la théorie de la cointégration qui permet de déterminer les tendances de long terme combinées à des ajustements de court terme à travers le modèle à correction d'erreur (ECM). En effet, la théorie de la cointégration permet de spécifier des relations stables à long terme, tout en analysant conjointement la dynamique de court terme des variables considérées via les modèles à correction d'erreur.

Pour répondre à l'ensemble des interrogations pré-illustrées, cette première partie sera organisée selon les lignes qui suivent : après une présentation du contexte énergétique tunisien dans le premier chapitre, dont nous illustrons un constat sur la structure de la consommation d'énergie en Tunisie afin de repérer les secteurs qui s'accaparent de la plus grande part de l'énergie disponible politique d'utilisation rationnelle de l'énergie, nous présentons dans un deuxième chapitre la méthodologie adoptée pour étudier la relation entre la consommation d'énergie et ses déterminants. Notre choix s'est porté sur la théorie de la cointégration avec changement structurel, puisque la période d'estimation (1971-2011) recouvre des événements importants au niveau de l'activité économique (contre-choc pétrolier de 1986, récession de 1993, guerre du Golfe,...). Nous présentons aussi dans ce deuxième chapitre les résultats des estimations ainsi que la prévision de la quantité d'énergie consommée permettant d'établir l'équilibre de long terme.

# 1. CHAPITRE 1 : CONTEXTE ENERGETIQUE TUNISIEN

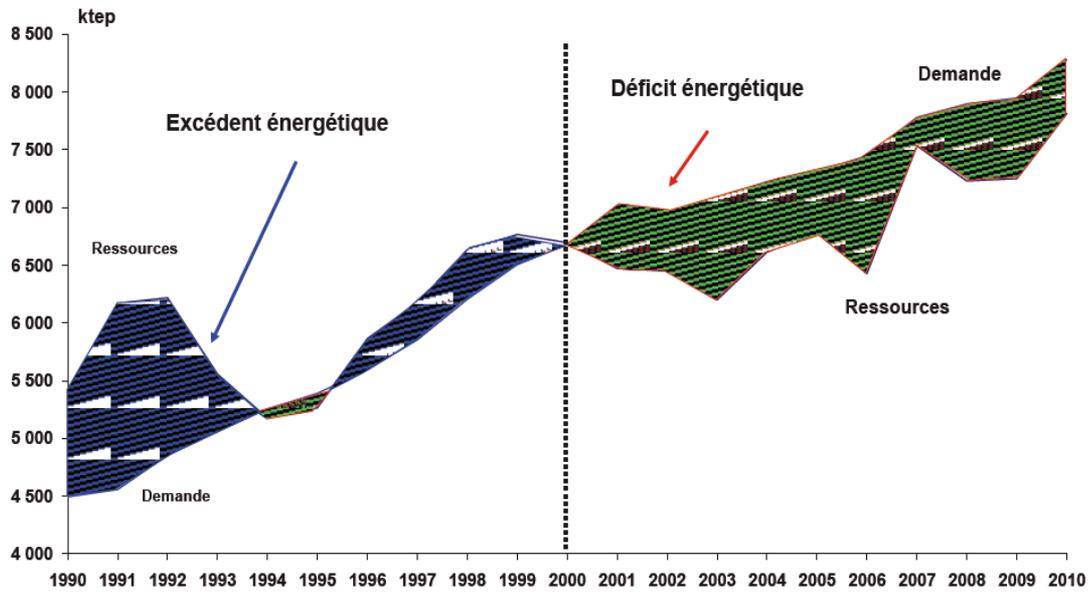
## 1.1. INTRODUCTION

Parmi les pays en développement et particulièrement ceux de la région méditerranéenne, la Tunisie a pris conscience depuis une vingtaine d'années que l'utilisation rationnelle de l'énergie constitue un vecteur d'efficacité énergétique jouant un rôle important dans le développement économique et social du pays. Les politiques d'efficacité énergétique mises en place dans les Etats membres de l'Union Européenne sont des combinaisons de programmes et d'instruments qui peuvent être classés en quelques grandes catégories tels que la mise en place d'institutions, législation et réglementation, taxation (taxe sur CO<sub>2</sub>), actions de communication et d'information, diffusion des techniques et méthodes, aides à la décision, aides à la recherche et développement, accords volontaires et aides à l'investissement (subventions, incitations fiscales, aides à l'achat d'appareils électroménagers ou de véhicules performants). Toutefois, les instruments présentés sont utilisés de manière différente d'un pays à un autre. Privilégiés par certains, négligés par d'autres, leur recours est fortement dépendant du contexte politique et économique, et des particularismes des pays considérés. Ainsi, si chacun de ces instruments peut concerner tous les secteurs économiques, ils seront utilisés prioritairement dans un secteur particulier. Dans le cas de la Tunisie et pour cibler ces secteurs, nous allons commencer par analyser la structure de la consommation d'énergie primaire car elle représente un ingrédient principal pour déterminer l'efficacité énergétique, puis nous nous intéresserons à l'analyse du lien entre la consommation d'énergie et la croissance économique ainsi que les différentes méthodes utilisées dans ce contexte.

## 1.2. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE LA DEMANDE ENERGETIQUE EN TUNISIE

L'évolution du bilan énergétique tunisien a connu un passage d'une situation énergétique favorable, caractérisée par une balance énergétique *largement excédentaire*, jusqu'au milieu des années 80, vers une situation d'équilibre au cours de la période 1994-2000 puis vers une situation *déficitaire* depuis 2001 comme le montre la figure 1 (Fig.1).

**Fig.1** Evolution du bilan énergétique

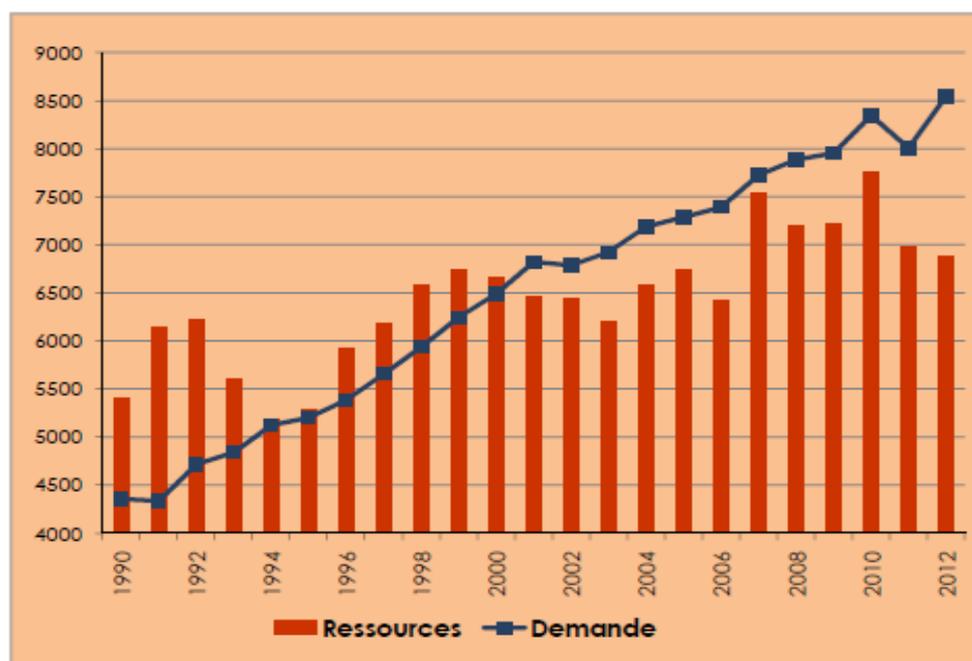


Source : ONE

En effet, en 1980, le secteur de l'énergie a joué un rôle prépondérant dans la croissance économique de la Tunisie en contribuant, à lui seul, à environ 13% du PIB du pays et 16% des exportations nationales. Cependant, depuis 1986, cette contribution n'a cessé de baisser pour qu'il représente moins de 5% du PIB du pays en 2001 et 6,4% en 2006. En fait, au cours de cette période, la balance énergétique est passée d'un solde excédentaire d'environ 2600 ktep en 1985 à une situation légèrement déficitaire en 2001 jusqu'à atteindre un solde déficitaire d'environ 460 ktep en 2010 et 1670 ktep en 2012 (Fig.2)<sup>5</sup>. La Tunisie est obligée dorénavant de faire face à l'importation d'une partie de ses besoins en énergie.

<sup>5</sup> Figure présentée lors du débat national sur l'énergie à Tunis le 27 Juin 2013 par le directeur général de l'énergie Mr Rachid Daly.

**Fig.2** Ressources et demande énergétique



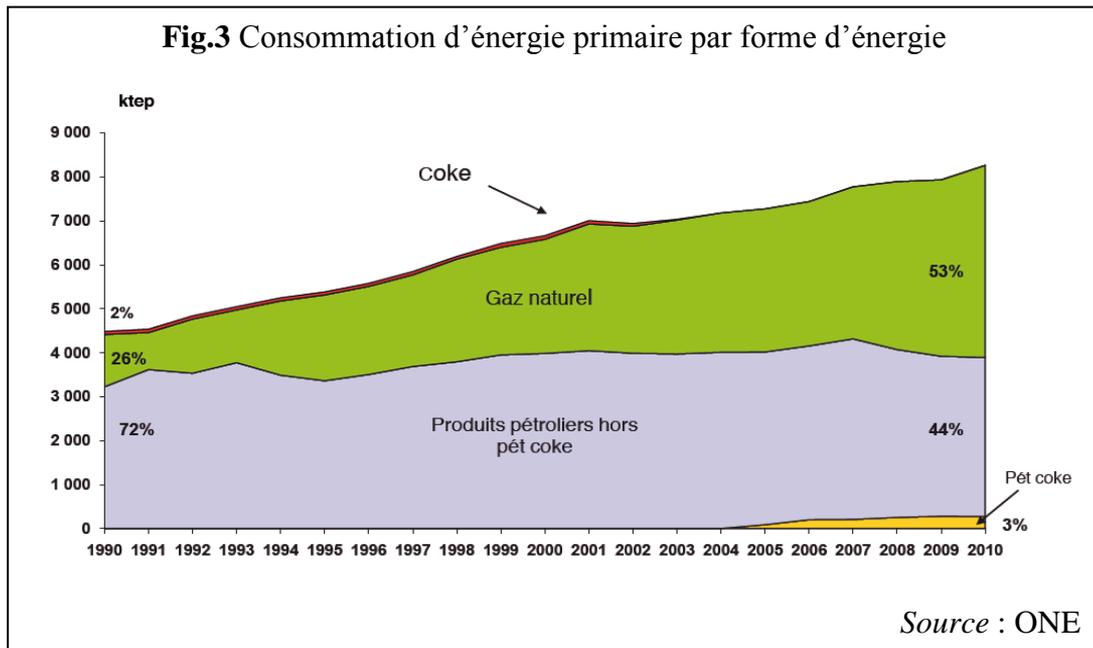
Source : Débat national sur l'énergie

Ainsi, la détérioration de la situation énergétique au cours de la période 1990-1994, est sous la conjonction de deux principaux facteurs :

- *Le déclin naturel de la production des hydrocarbures*: dû notamment à l'épuisement des principaux gisements pétroliers (El Borma et Ashtart).
- *L'accroissement rapide de la demande intérieure de produits énergétiques* : lié lui-même à une croissance économique soutenue.

### 1.2.1. Consommation d'énergie primaire

L'évolution de la consommation d'énergie primaire a été très soutenue entre 1970 et 1980, enregistrant un triplement puis s'est considérablement ralentie au début des années 80 puisqu'elle a augmenté à raison de 5% par an, passant de 3000 ktep en 1982 à 4700 ktep en 1992. La demande d'énergie primaire a atteint 6789 ktep en 2002, contre seulement environ 3000 ktep en 1980. Cet accroissement de cette demande n'a cessé d'augmenter pour enregistrer une consommation à l'ordre de 8000 ktep en 2010 (Fig.3).



La consommation de l'énergie primaire en Tunisie est dominée par la consommation du pétrole et du gaz naturel. Comme le montrent les deux figures, Fig.3 et Fig.4, la demande d'énergie primaire reste dominée par les produits pétroliers qui représentent environ 50% de la demande en 2002 et 41% pour le gaz naturel contre un faible pourcentage des énergies renouvelables de l'ordre seulement de 0,4 % (Fig.4). Cette demande est caractérisée aussi par une pénétration très rapide du gaz naturel durant les 20 dernières années pour qu'elle représente 53% et 55% de la demande respectivement en 2010 et 2012. En effet, la consommation primaire de gaz naturel est passée de 404 ktep en 1980, à 2 812 ktep en 2002, soit une croissance annuelle moyenne avoisinant les 10 % par an comme le Tableau 1 le démontre.

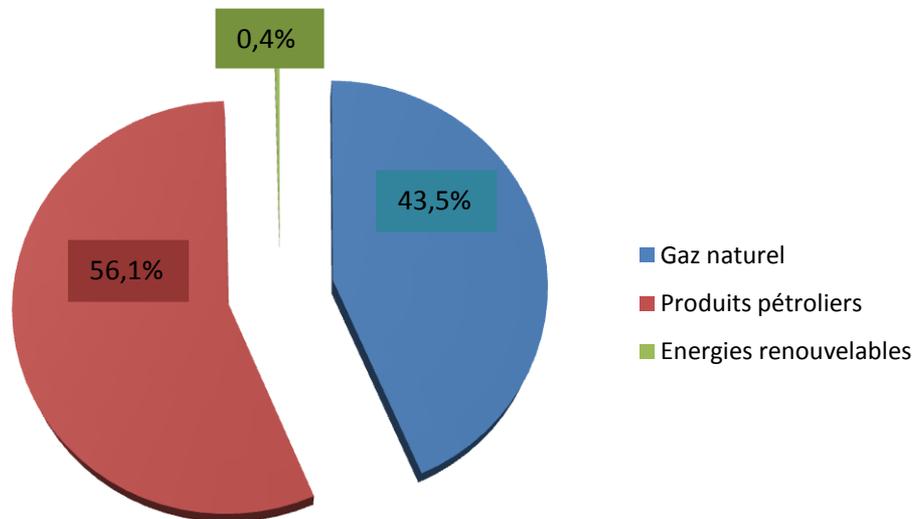
**Tableau 1** : Evolution des ressources d'énergie primaire en ktep (1980-2002)

	<b>PETROLE BRUT</b>	<b>GAZ NATUREL (Production+Redevances)</b>
<b>1980</b>	<b>5770</b>	<b>404</b>
<b>1981</b>	5530	451
<b>1982</b>	5265	489
<b>1983</b>	5661	564
<b>1984</b>	5617	745
<b>1985</b>	5535	841
<b>1986</b>	5373	785
<b>1987</b>	5110	851
<b>1988</b>	5024	794
<b>1989</b>	5040	849
<b>1990</b>	4615	784
<b>1991</b>	5292	856
<b>1992</b>	5302	903
<b>1993</b>	4745	796
<b>1994</b>	4462	704
<b>1995</b>	4326	931
<b>1996</b>	4264	1587
<b>1997</b>	3871	2294
<b>1998</b>	3976	2642
<b>1999</b>	4027	2718
<b>2000</b>	<b>3739</b>	<b>2933</b>

*Source Données : ANME*

Cette pénétration rapide traduit une politique volontariste de l'Etat visant à valoriser, d'une part, les redevances perçues sur le passage du gazoduc Algéro-italien et d'autre part, les gisements gaziers découverts et dont le plus important est celui de Miskar. Cette demande connaît une croissance soutenue dans les différents secteurs d'activités, notamment la production électrique avec le programme de nouvelles centrales à cycles combinés mais également l'industrie, le résidentiel et le tertiaire, suite aux programmes ambitieux de raccordement et de distribution. Donc, la plus grande partie du gaz naturel, soit environ 94,4% (STEG 2010), est destinée à la production d'électricité. En 2009 la production de gaz naturel en Tunisie se montait à environ 2258 ktep et la consommation à environ 4023 ktep (ANME 2009).

**Fig.4** Structure de la consommation d'énergie primaire par produit (2002)



Source : Données ANME

Les réserves de gaz naturel sont estimées à 2,8 trillions de pieds cubes dont les deux tiers sont situés en mer. En 2001, le pays produit 66 milliards de pieds cubes mais la demande intérieure est de 135 milliards de pieds cubes. Les importations de gaz s'élèvent donc à 1584 milliards dont 1051 à titre de redevances de transit du gazoduc transméditerranéen qui amène le gaz de l'Algérie vers l'Italie en passant par le territoire tunisien sur approximativement 370 kilomètres. Comme ce pipeline traverse son territoire, la Tunisie est dédommée à hauteur de 5% des importations en gaz, ce qui lui permet ainsi d'atténuer les effets induits par la montée des prix des ressources naturelles sur le marché mondial (GTZ 2009). Par ailleurs, la Tunisie dispose d'un solide réseau de gazoducs pour transporter du gaz et la construction d'un pipeline qui relierait la Libye et la Tunisie est prévue (AHK Tunesien 2011). En effet, les entreprises tunisiennes constituent 19% du marché de l'exploration et de la production du pays. L'ETAP gère les réserves nationales et agit en tant que partenaire principal dans presque toutes les activités d'exploration et de production car elle détient 51% de toutes les concessions. Mais ce sont les entreprises américaines qui dominent avec 38% du

marché, suivies par les entreprises européennes avec 19%, canadiennes avec 12% et asiatiques avec 10%.

Pour le pétrole, la Tunisie possède une réserve de 425 millions de tonnes et produit en moyenne 71000 barils par jour (2006). Récemment, de nouveaux gisements pétroliers ont été découverts (Adam, Hawa, Nour, Dalia, etc.) dans le bassin de Ghadamès (sud du pays) qui permettent de compenser le déclin naturel des gisements « historiques » d'El Borma exploités par Agip (ItalieE), ou d'Ashart, exploités par l'ETAP dans le golfe de Gabès. Ce gisement est le seul à avoir une réserve prouvée de plus de 100 millions de barils qui assureraient 75% de la production tunisienne mais reste insuffisant pour satisfaire la demande croissante (90000 barils par jour). En fait, La Tunisie dispose de solides infrastructures d'acheminement du pétrole ainsi que d'une raffinerie située à Bizerte qui est exploitée par la STIR et qui dispose d'un terminal pétrolier situé à l'avant du port de Bizerte (STIR 2011). La construction d'une raffinerie supplémentaire basée à Skhira est également prévue (Tunisia Today 2011)<sup>6</sup>. Le pétrole contribue à hauteur d'environ 5% à la production d'électricité. Les réserves en pétrole brut se sont amenuisées, passant de 1,7 milliards de barils entre 1980-1994 à 0,4 milliards de barils entre 1996-2008 (STEG 2010).

### **1.2.2. Consommation d'énergie finale**

En 2002, la demande d'énergie finale a été estimée à 5 398 ktep<sup>7</sup> hors biomasse et à 6 348 ktep en incluant la biomasse<sup>8</sup>. La répartition sectorielle de la demande en énergie finale (intégrant la biomasse<sup>9</sup>) montre l'existence de deux groupes de secteurs. Le premier groupe, constitué de l'Industrie, du Résidentiel et des Transports, se caractérise par leur poids important, avec respectivement 30%, 28% et 26% du bilan en énergie finale. Le second groupe, constitué du Tertiaire et de l'Agriculture, se caractérise par le poids faible avec respectivement 8% et 6% du bilan en énergie finale.

---

<sup>6</sup> Etude stratégique du Mix Énergétique pour la production d'électricité en Tunisie, Wuppertal/Tunis, Avril 2012, ALCOR Développeur d'avenir durable, pp 20-21.

<sup>7</sup> Bilan énergétique national de l'année 2002, Observatoire Nationale de l'Énergie/Ministère de l'Industrie et de l'Énergie, 2003.

<sup>8</sup> Analyse du bilan de bois énergie et identification d'un plan d'action, projection de l'offre et de la demande, SCET Tunisie/Scandiaconsult, 1998.

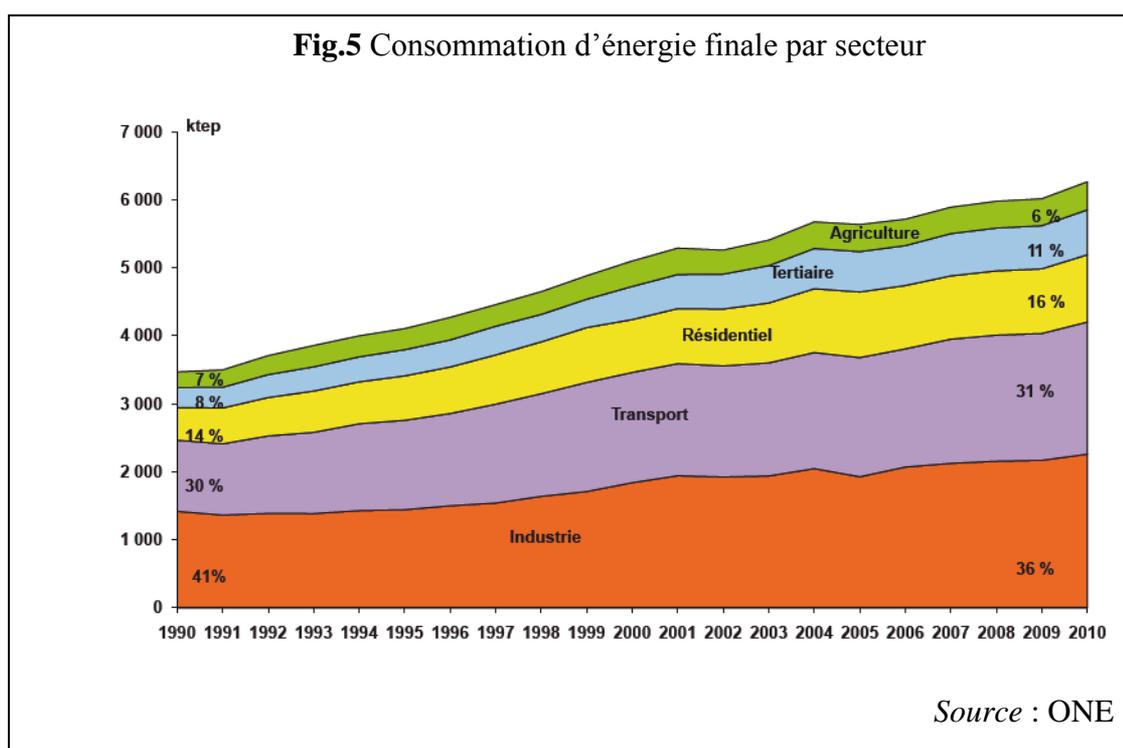
<sup>9</sup> La biomasse est consommée essentiellement par le secteur résidentiel (98%) et le tertiaire (2%).

**Tableau 2** : Evolution de la consommation d'énergie finale par secteur en ktep  
(1980-2004)

	Industrie	Transport	Résidentiel	Tertiaire	Agriculture
<b>1980</b>	<b>930</b>	828	255	181	119
<b>1985</b>	<b>1188</b>	947	370	249	176
<b>1990</b>	<b>1418</b>	1047	480	294	229
<b>1995</b>	<b>1442</b>	1314	653	385	310
<b>2000</b>	<b>1839</b>	1622	777	486	375
<b>2004</b>	<b>2044</b>	1706	938	592	390

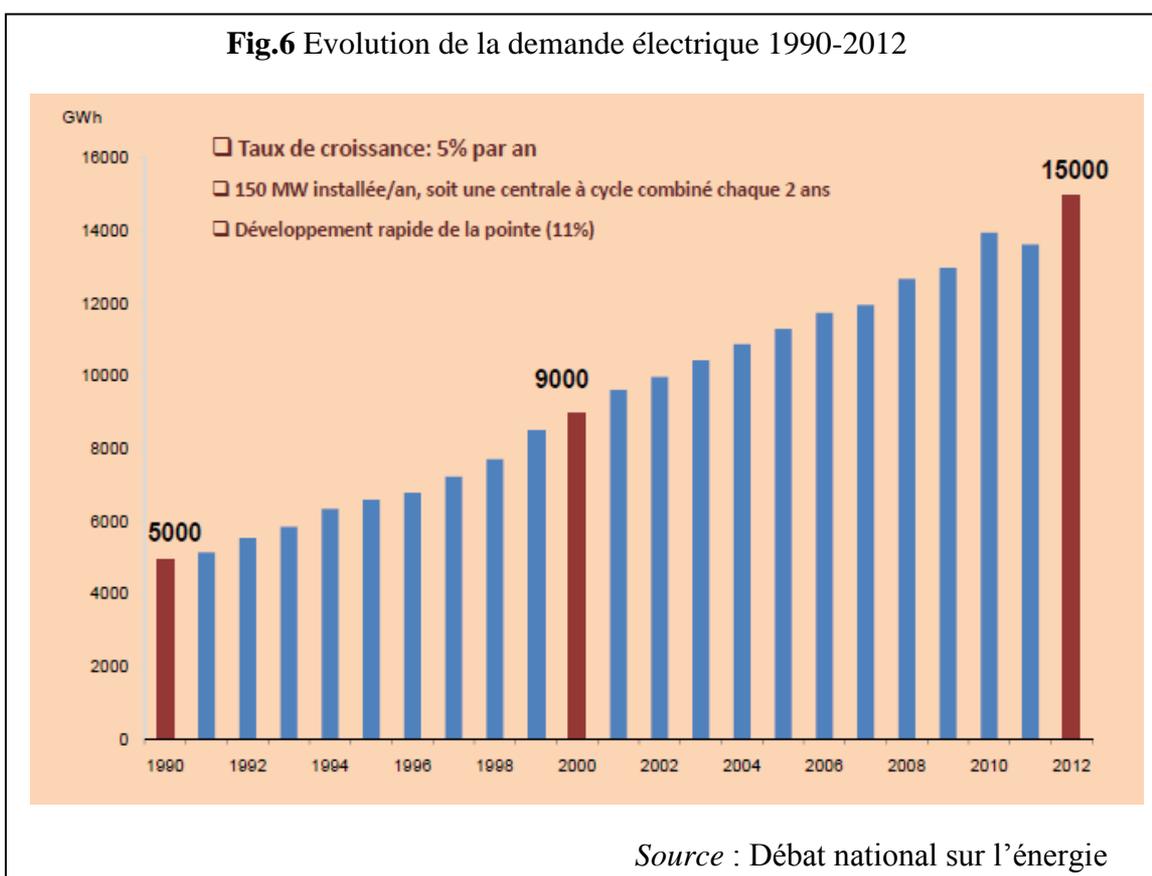
Source Données : ANME

Ainsi, comme le montrent le graphique ci-après (Fig.5) et le tableau 2, le secteur de l'industrie est le plus gros consommateur d'énergie, représentant 36% de la consommation totale d'énergie finale commercialisée en Tunisie en 2004 et dont les Industries Consommatrices d'Énergie accaparent 62% de la consommation d'énergie du secteur. Durant la même année et jusqu'à 2009, le secteur des transports est le deuxième secteur consommateur d'énergie avec 1,7 Mtep, soit 31% de la consommation finale d'énergie. La consommation d'énergie dans le résidentiel correspondrait à environ 16% de l'énergie totale consommée.



### 1.2.3. Consommation d'électricité

Pour le secteur de l'électricité, le marché tunisien est caractérisé par une structure de monopole où l'opérateur dominant est la STEG depuis 1962 de point de vue de la production, du transport et de la distribution. Quant à l'évolution de la demande électrique, la demande nationale a augmenté en moyenne de 6,5% par an durant la décennie 1990–2000 et de 4% durant les années 2000. Sur les 5 dernières années, le taux de croissance de la demande électrique est passé à moins de 4%. En fait, les ventes d'électricité de l'année 2002 ont atteint 9 078 GWh pour atteindre environ 15000 GWh en 2012 comme la montre la figure 6.



A la fin de l'année 2001, la STEG comptabilise environ 2,3 millions de clients connectés au réseau (Tableau 3).

**Tableau 3** : Nombre d'abonnés de la STEG en 2001

<b>Tension</b>	<b>Nombre de clients</b>
HAUTE	13
MOYENNE	11 909
BASSE	2 312 424
<b>Total</b>	<b>2 324 346</b>

Source : ANER<sup>10</sup>

La structure de la demande d'électricité selon le niveau de tension a évolué comme suit<sup>11</sup>:

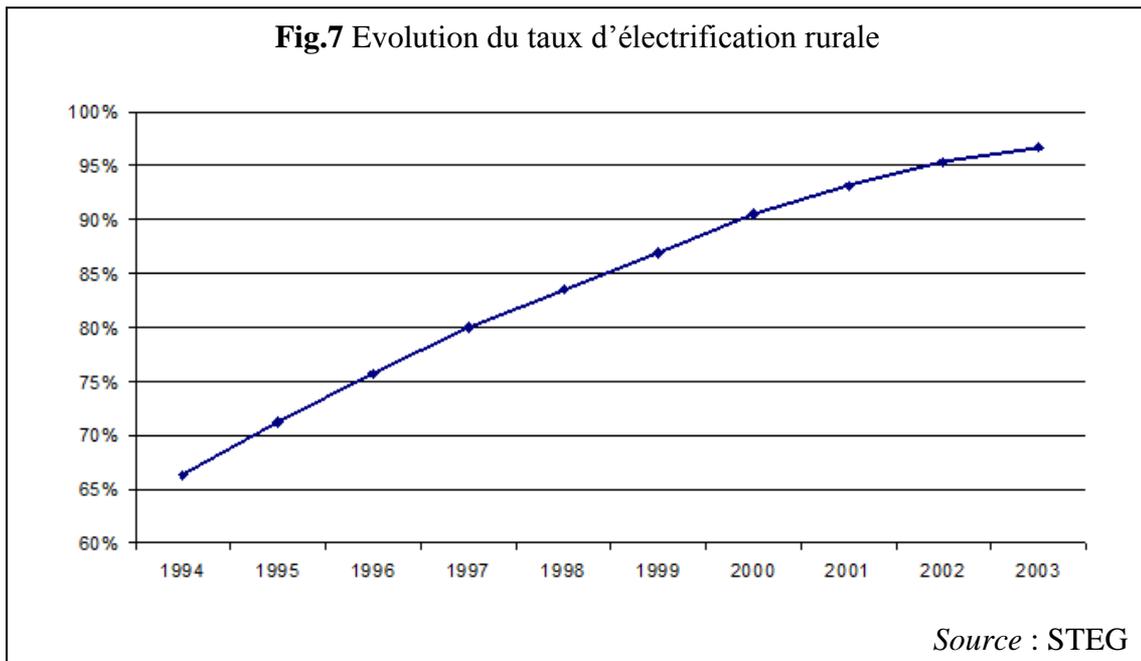
- La demande Haute Tension (HT) en augmentation de 3,5 % en moyenne par an, a perdu du poids au cours des 10 dernières années et représente 10% de la demande d'électricité en 2009 contre 12% en 1999
- La demande Moyenne Tension (MT), en augmentation de 5,1% en moyenne par an, a enregistré une stagnation de poids autour de 47% de la demande.
- La demande Basse Tension (BT), qui a évolué plus vite que les autres tarifs, avec une augmentation de 6,1% en moyenne par an, représente 43% de la demande en 2009, contre 40% en 1999.

La Tunisie a, depuis longtemps, poursuivi des objectifs très ambitieux en matière d'électrification du pays, y compris les zones les plus éloignées du réseau. En particulier, si le taux d'électrification atteignait déjà 100% en milieu urbain bien avant l'année 1990, des efforts importants ont été mis sur l'électrification rurale, qui a connu une progression spectaculaire au cours des années 1990.

Comme la montre la figure 6, le taux est passé de 66% en 1994 à plus de 95% en 2002.

<sup>10</sup> Etude stratégique pour le développement des EnRs en Tunisie, Bilan des réalisations, Rapport final, Alcor – Axenne, Juillet 2003.

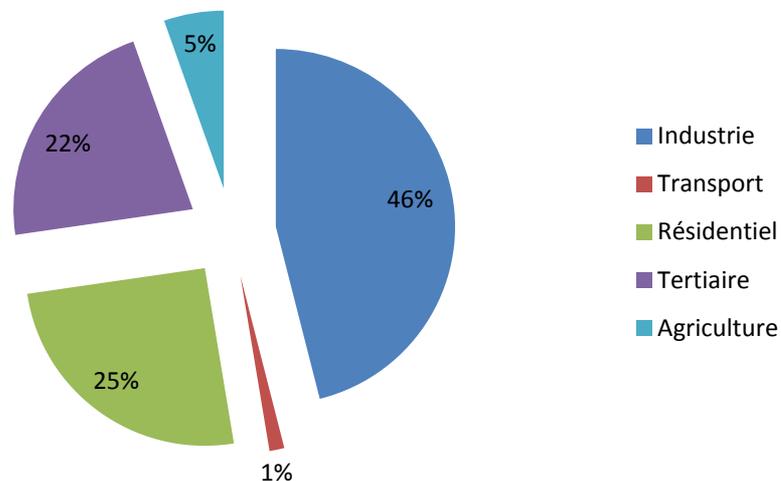
<sup>11</sup> Etude stratégique du Mix Energétique pour la production d'Electricité en Tunisie, Rapport final, Alcor - Wuppertal / Tunis, Avril 2012.



Du point de vue de la consommation d'électricité par secteur, l'industrie représente la part la plus importante de la consommation (46%) en 2010<sup>12</sup>, suivie des secteurs résidentiel et tertiaire (respectivement 25% et 22%). En effet, la consommation d'électricité en industrie a enregistré une évolution moyenne annuelle durant les dix dernières années de 4,2%, qui est tombée à 3,8% durant les 5 dernières années. En 2009, la demande nationale d'électricité des deux secteurs des services et résidentiel s'est élevée à environ 3,3 TWh pour chaque secteur, représentant respectivement 22% et 25% de la demande totale et en croissance de plus de 4,2% en moyenne par an au cours de la période décennale 2000-2009. Le secteur des transports, qui est à ce stade inclus dans le secteur des services, perd de son importance en raison de sa faible demande en électricité et du rythme assez lent du développement des lignes électrifiées en Tunisie.

<sup>12</sup> Bilan énergétique national de l'année 2002, Observatoire National de l'Énergie/Ministère de l'Industrie et de l'Énergie, 2003.

**Fig.8** Structure sectorielle de la consommation d'électricité en 2009



Source : Données STEG 2009

Le tableau suivant présente la répartition de la consommation durant les 20 dernières années selon les secteurs :

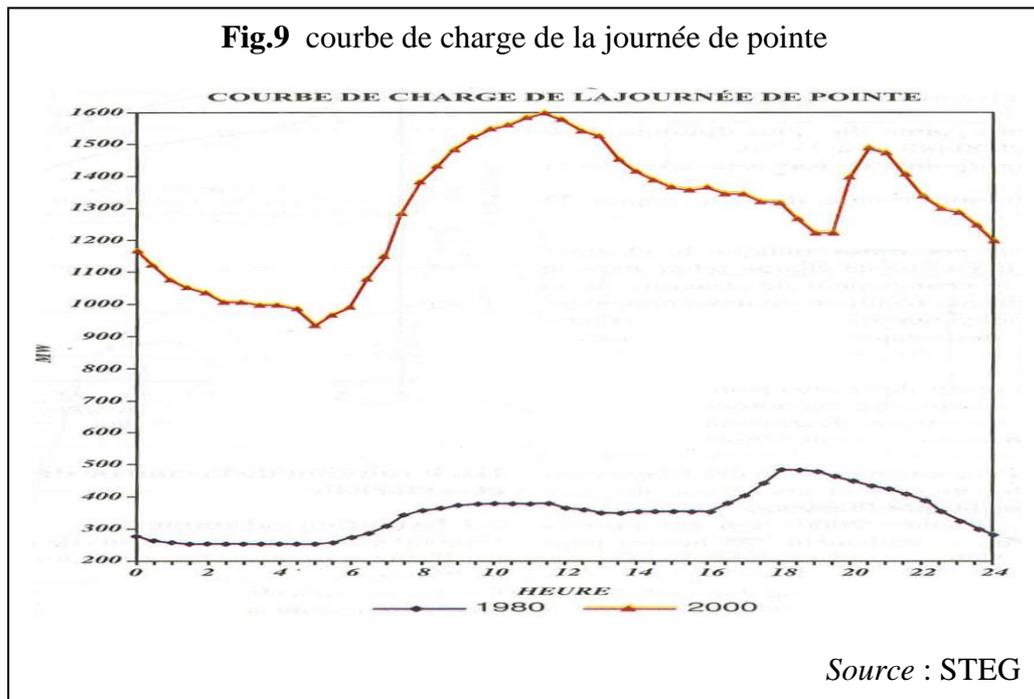
**Tableau 4** : Consommation nette d'électricité par secteur entre 1990 et 2009 (GWh)

	1990	1995	2000	2005	2009
<b>Industrie</b>	2 537	3 031	4 138	5 172	5 993
<b>Transport</b>	13	90	115	150	175
<b>Résidentiel</b>	1 084	1 664	2 274	2 846	3 291
<b>Tertiaire</b>	1 031	1 445	1 967	2 464	2 853
<b>Agriculture</b>	264	361	485	613	701
<b>Total</b>	<b>4 929</b>	<b>6 591</b>	<b>8 979</b>	<b>11 245</b>	<b>13 013</b>

Source : Statistiques rétrospectives d'électricité 1998-2008, Données STEG 2009.<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Etude stratégique du Mix Energétique pour la production d'Electricité en Tunisie, Rapport final, Alcor - Wuppertal / Tunis, Avril 2012.

La demande d'électricité peut être représentée par la courbe de charge qui illustre l'évolution de la puissance appelée au cours du temps. En effet, cette courbe reflète le rythme de vie. En regardant la courbe de charge électrique, une profonde transformation est enregistrée depuis 1980, comme la montre la figure suivante (Fig.9).



En particulier, la pointe annuelle est passée de 485 MW en 1980 à 1600 MW en 2000. En 1980, la pointe annuelle était enregistrée l'hiver entre 18 h et 20 h. En 2000, cette pointe s'est complètement déplacée en été entre 10 h et midi. En 2002, la pointe d'été a atteint 1835 MW et celle d'hiver 1615 MW, la nouvelle pointe est due essentiellement à l'usage accru de la climatisation pendant l'été. Cette pointe, en décalage de 34% par rapport au creux de la courbe de charge, implique des investissements en moyens de production peu rentables. En 2011, la charge maximale a atteint 3024 MW<sup>14</sup> et la courbe de charge de cette année montre une augmentation importante de la pointe matinale, une amélioration du creux de nuit et une baisse sensible de l'appel de charge en pointe soir. En fait, la fluctuation de cette pointe au

<sup>14</sup> NASRI, H., *La STEG: Un demi-siècle au service de la demande nationale d'électricité*, in *Revue de l'Electricité et du Gaz* REG. 2012.

milieu de la journée et en été à des températures supérieures à 35°C réside dans l'usage intensif des équipements frigorifiques pour la climatisation et la production du froid.

#### **1.2.4. Politique énergétique tunisienne**

Parmi les pays en développement, et particulièrement ceux de la région méditerranéenne, la Tunisie a été incontestablement un pays pionnier et avant-gardiste en matière d'initiation de politique d'efficacité énergétique. Pionnière car elle a mis en place, dès 1985, une politique volontariste d'utilisation rationnelle de l'énergie, anticipant donc largement l'occurrence du déficit énergétique qui était prévu pour le milieu des années 90. Avant-gardiste car la Tunisie, a, dès le départ, articulé sa politique d'efficacité énergétique, sur les trois piliers essentiels, sur lesquels toute politique novatrice doit nécessairement se baser.

##### **1.2.4.1. Historique de la politique énergétique tunisienne**

« Depuis le début des années 90, la Tunisie fait face à un accroissement soutenu de la demande d'énergie d'environ 5% par an. Cette évolution résulte de la croissance du secteur productif mais aussi du développement social et des nouvelles exigences des consommateurs induites par l'amélioration du niveau de vie des ménages, l'ouverture du pays sur l'extérieur et le renforcement des infrastructures. Pour répondre à cette demande, la Tunisie cherche à diversifier et à sécuriser ses approvisionnements sur le long terme, à réduire sa facture énergétique et à promouvoir l'utilisation rationnelle de l'énergie »<sup>15</sup>. Face à cette situation énergétique et afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre dans un contexte plus général, la Tunisie s'est décidée de s'intéresser à l'économie sobre en s'engageant dans une politique énergétique compatible avec le développement durable. Cette politique vise simultanément à satisfaire la demande énergétique au moindre coût, à améliorer le bilan énergétique et la balance des paiements, à permettre l'accès de l'énergie aux populations rurales des zones isolées et à réduire les émissions polluantes dues à la consommation d'énergie.

Historiquement, l'efficacité énergétique est devenue un objectif du gouvernement tunisien après les premières augmentations des prix du pétrole au milieu des années 70. Durant les années 60 et 80, la politique énergétique du pays a été marquée par le développement de l'offre et la mise en place d'une structure institutionnelle du secteur

---

<sup>15</sup> Tunisie Document de Stratégie pays 2007-2011, Département des opérations pays (Région Nord, ORNA), 2007, Banque Africaine de Développement.

de l'énergie à savoir la création de la STEG (électricité et gaz) et de l'ETAP (exploration et production des hydrocarbures). Au milieu des années 80, la prise de conscience d'un déficit énergétique conduisait l'Etat tunisien à l'intégration de la composante de la maîtrise de la demande d'énergie et la création de l'ANME. La décennie suivante, a été caractérisée par la mise en place de plusieurs réformes institutionnelles, l'entrée de l'investissement privé dans la production d'électricité et la forte pénétration du gaz naturel. Au cours des années 2000, la politique de maîtrise de l'énergie (efficacité énergétique et énergies renouvelables) a été déclenchée et elle est considérée comme l'un des piliers de la politique énergétique tunisienne.

#### 1.2.4.2. Politique de Maîtrise de l'énergie en Tunisie

La politique d'efficacité énergétique en Tunisie est considérée comme une politique de développement durable. En effet, le domaine énergétique provoque des changements dans l'environnement physique, social et économique à court et à long terme pour affecter même les prochaines générations. En effet, l'ANME, en collaboration avec le ministère de l'Industrie, de l'Energie et des Petites et Moyennes Entreprises en Tunisie, offre des séminaires portant sur les principales questions du secteur de l'énergie. Ces séminaires mettent l'accent sur l'examen des problèmes qui se posent aux gouvernements et les mesures permettant d'améliorer l'efficacité énergétique tout en protégeant l'environnement. Ces séminaires visent à renforcer la conscience de l'importance de la rationalisation de la consommation de l'énergie, la promotion des énergies renouvelables et la substitution de l'énergie par l'octroi de subventions. Afin de répondre de façon cohérente à la demande du Gouvernement, l'ANME a réalisé en 2006 deux études stratégiques complémentaires : « La Stratégie de Développement des Energies Renouvelables en Tunisie » et « La Stratégie de Développement de l'Utilisation Rationnelle de l'Energie en Tunisie ». C'est pour cette raison que la Tunisie s'est engagée depuis près de vingt ans dans cette politique. L'évolution de son bilan énergétique vers une situation de dépendance extérieure croissante, comme son engagement dans la lutte contre le changement climatique, la conduisent aujourd'hui à renforcer cette politique qui constituait un changement d'échelle par rapport aux années précédentes avec des objectifs d'économie d'énergie assignés à 1,25 million de tep permettant d'éviter des subventions de l'état d'un montant de 220 Millions de Dinars entre Juin 2005 et Juin 2008.

Cette politique énergétique visait le développement de l'efficacité énergétique représentée par l'utilisation rationnelle de l'énergie, la promotion des énergies renouvelables et l'encouragement à la substitution par des énergies plus propres et moins coûteuses (Développement du gaz naturel).

#### **a) Politiques et indicateurs de l'efficacité énergétique : URE**

La politique d'efficacité énergétique ou d'utilisation rationnelle de l'énergie, c'est l'ensemble des actions qui permettent la réduction des quantités d'énergie consommées pour la production d'une unité d'un produit ou d'un service et ce, tout en préservant la qualité. Ainsi, atteindre un niveau d'efficacité énergétique élevé est un défi pour tous les pays. Pour cela, les politiques d'efficacité énergétique changeaient d'une période à une autre. En effet, les politiques appliquées aujourd'hui ne sont plus les mêmes que celles appliquées juste après le choc pétrolier de 1973, puisque les pays ont tiré des enseignements de leurs expériences passées. A propos de la Tunisie, elle a pris conscience dès 1985 que l'utilisation rationnelle de l'énergie constitue un vecteur d'efficacité énergétique jouant un rôle important dans le développement économique et social du pays et donc dans son développement durable. Elle l'a mis en place depuis cette date. En 2004, l'industrie c'est le premier secteur consommateur d'énergie avec 2,8 millions de Tep par an soit, 36% de la consommation totale d'énergie finale ; c'est donc le secteur le plus énergivore. D'où la nécessité de mettre en place la politique d'efficacité énergétique dans ce secteur. L'objectif de cette stratégie est de rapprocher les performances de l'industrie tunisienne en termes d'efficacité énergétique des meilleures performances de l'industrie européenne, car avec l'ouverture du marché européen, la composante énergie est nécessaire pour l'amélioration de compétitivité de ce secteur et pour le développement d'une façon durable de l'efficacité énergétique dans ce secteur. En effet, les établissements dont « la consommation totale d'énergie dépasse un seuil fixé par un décret sont assujettis à un audit énergétique obligatoire et périodique effectué par les experts-auditeurs »<sup>16</sup>. En Tunisie, une liste d'à peu près 220 entreprises sont assujetties à l'audit énergétique. Ces Industries Grandes Consommatrices d'Energie (IGCE) consomment à elles seules 2 millions de tonnes soit

---

<sup>16</sup> Article 4, Loi n°2009-7 du 9 février 2009, modifiant et complétant la loi n°2004-72 du 2 août 2004, relative à la maîtrise de l'énergie : Loi et texte réglementaire. Ministère de l'Industrie et des Petites et Moyennes Entreprises.

près de 30% de la consommation nationale (7 millions de tonnes) jusqu'en Février 2007.

Outre l'audit énergétique c'est toute opération de diagnostic de la consommation d'énergie au sein de l'établissement à travers la réalisation de recherches, d'études et de contrôles visant à évaluer le niveau de performance énergétique de l'établissement, à analyser les causes des insuffisances et à proposer les actions correctives. L'efficacité énergétique dans le secteur industriel met l'accent sur le développement de la cogénération qui signifie la production de l'électricité plus la production de la chaleur pour les industriels.

Au niveau des autres secteurs, d'autres actions ont été prises afin d'accélérer la politique d'efficacité énergétique dont les plus importantes sont citées ci-après :

- La diffusion d'un parc de Lampes à Basse Consommation (LBC) : Le taux d'équipement des ménages en LBC est passé de 4% en 1999 à 26% en 2009.
- L'étiquetage des équipements électroménagers indiquant leur niveau de consommation (Certification des équipements électroménagers).
- La cogénération dans le secteur tertiaire.
- La réglementation thermique des bâtiments pour les bâtiments neufs et la rénovation thermique pour les bâtiments existants.
- Promotion des transports collectifs et diagnostic des moteurs des automobiles.
- Elaboration et actualisation de plans de déplacements urbains.

#### **b) Développement de la substitution énergétique : développement du gaz naturel**

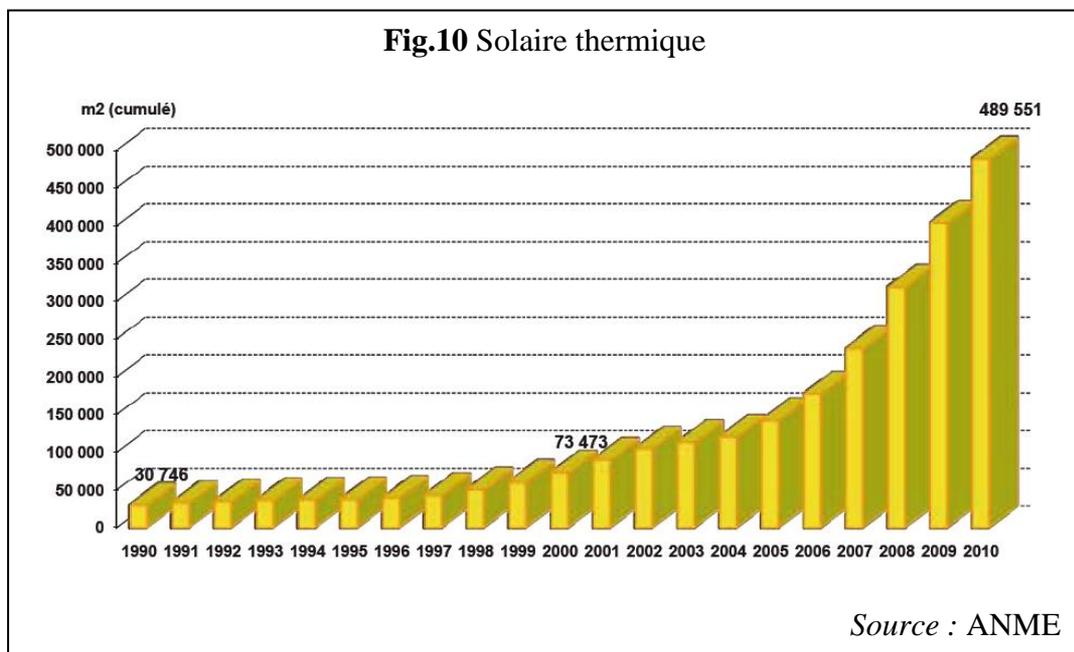
L'objectif de cette politique est de remplacer une forme d'énergie utilisée habituellement (le gasoil et le fuel) par une forme d'énergie (le gaz naturel) dont l'objectif est de gagner des avantages économiques, techniques et environnementaux. La principale orientation de cette action est d'assurer l'augmentation de la part du gaz naturel en tant qu'énergie locale à moindre coût.

#### **c) Promotion des énergies renouvelables**

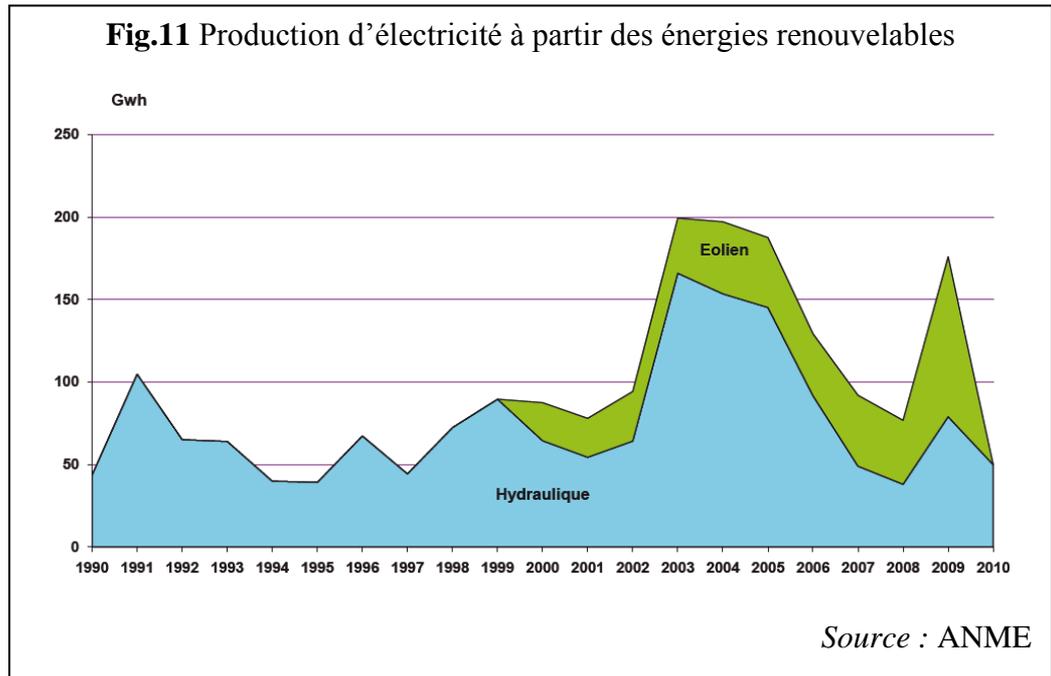
Cette politique cherche à assurer le développement et l'augmentation de la part des énergies renouvelables dans la consommation nationale d'énergie afin de réduire la dépendance énergétique de l'extérieur. Malgré les effets fournis depuis plus de deux

décennies dans ce domaine, la contribution des énergies renouvelables dans le bilan énergétique reste encore peu significative en représente 0,4 % de la consommation d'énergie primaire du pays en 2002 (Fig.4). Cependant, des chiffres clés doivent être illustrés à savoir : 11000 ménages ont installé un système photovoltaïque autonome et 65 stations de pompage utilisent l'énergie solaire en 2007. Ainsi, pour promouvoir les énergies renouvelables, les principales actions qui ont été réalisées sont :

- La diffusion des technologies utilisant les énergies renouvelables par la promotion de 70.000 systèmes photovoltaïques pour la production d'électricité dans le cadre de l'électrification de sites isolés, 1 Million de m<sup>2</sup> de capteurs solaires pour le chauffage de l'eau sanitaire (Voir Fig.10) et 300.000 foyers améliorés au bois pour la cuisson du pain.



- L'obligation de l'utilisation des chauffe-eau solaires dans les nouveaux bâtiments publics.
- L'optimisation de l'exploitation de l'énergie photovoltaïque dans les différents secteurs.
- Le développement de l'utilisation de l'énergie éolienne pour la production de l'électricité (Voir Fig.11).



- La mise en place de projets concrets d'encouragement à la diffusion des énergies renouvelables : projets de diffusion des chauffe-eau solaires et des systèmes photovoltaïques.
- Développement de l'électricité solaire dans le cadre du Plan solaire Tunisien, PST (voir Encadré 1<sup>17</sup>).

<sup>17</sup> République Tunisienne, Ministère de l'Industrie et de la Technologie, Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie, *Portefeuille de projets MDP du Plan Solaire Tunisien*, Juin 2011.

### **Encadré 1 : Plan Solaire Tunisien (PST)**

Le PST est une initiative rentrant dans le cadre du Plan Solaire Méditerranéen, lequel vise un développement accéléré des énergies renouvelables, des deux côtés de la Méditerranée, et une augmentation des échanges énergétiques, surtout d'origine renouvelable ; dans le sens sud-nord.

Le PST s'inscrit dans le cadre de la consolidation des acquis et des réalisations en matière de maîtrise de l'énergie. Il vise à relever deux principaux défis, à savoir l'approvisionnement énergétique du pays au moindre coût et la diversification des sources énergétiques.

En termes d'objectifs quantitatifs, le PST vise :

- Le renforcement de la maîtrise de la demande d'énergie avec une économie d'énergie de 24% en 2016 et de 40% en 2030.
- Le déploiement à grande échelle des énergies renouvelables, la part de l'électricité verte dans la capacité de production électrique devrait passer de 16% en 2016 à 40% en 2030.

A la fin de cette partie, il nous reste à signaler que la politique de maîtrise de l'énergie en Tunisie s'est traduite aussi par l'établissement des nouvelles lois et l'adoption de textes réglementaires dont les principaux sont :

- Loi n°2004-72 du 2 août 2004 : relative à la maîtrise de l'énergie visant le renforcement des actions existantes et le déclenchement de nouveaux programmes comme la cogénération, la certification des électroménagers, l'utilisation rationnelle de l'énergie dans l'éclairage public, etc.
- Loi n°2005-82 du 15 août 2005 : portant sur la création d'un « système de maîtrise de l'énergie » ayant pour but l'appui des actions visant la rationalisation de la consommation de l'énergie, la promotion des énergies renouvelables et la substitution de l'énergie. Ce système a évolué vers un Fonds National de la Maîtrise de l'Energie (FNME) faisant l'objet de la loi n°2005-106 du 19 décembre 2005. Ce fonds représente un appui financier aux actions de la ME et est géré par l'ANME.
- Loi n°2009-7 du 9 février 2009 : est venue pour compléter la loi n°2004-72 du 2 août 2004, en autorisant la production indépendante d'électricité à partir des énergies

renouvelables pour tout établissement ou groupe d'établissements et en fixant les conditions de transport de l'électricité et de la vente des excédents à la STEG.

Cette politique est aussi basée sur la création d'institutions organisant les activités de maîtrise de la consommation d'énergie. Ainsi, l'ANME est l'exemple le plus significatif qui a été créé en 1985 sous le nom Agence pour la Maîtrise de l'Energie (AME) et devenue Agence Nationale des Energies Renouvelables (ANER) en 1998 et depuis août 2004 sous le nom ANME. En effet, la principale tâche de cette institution est la mise en œuvre de la politique de l'Etat dans le domaine de la maîtrise de l'énergie sous la tutelle du Ministère de l'Industrie, de l'Energie et des Petites et Moyennes Entreprises.

### **1.3. CONSOMMATION D'ENERGIE ET CROISSANCE ECONOMIQUE**

Les premiers travaux introduisant la question énergétique dans l'analyse économique sont ceux de Stanley JEVONS dès 1865 où il a étudié l'impact de la limitation de la production de charbon sur le développement industriel au Royaume-Uni. Cependant, la théorie néoclassique n'a pas considéré l'énergie comme facteur de production puisqu'elle a supposé que les systèmes productifs n'englobent que les trois facteurs : le travail, le capital et la terre qui est disparue après et fut intégrée dans le facteur de production (capital). Pratiquement, c'est en 1967 et avec la publication du premier ouvrage de Y. MAINGUY<sup>18</sup> que l'analyse économique de l'énergie a été explicitement développée. Après le premier choc pétrolier, beaucoup d'études ont été enregistrées visant à étudier la relation causale entre la consommation d'énergie et la croissance économique. Kraft et Kraft (1978) ont mis en évidence l'existence d'une causalité unidirectionnelle entre le PIB et la consommation d'énergie aux Etats Unis sur la période 1947-1974 en utilisant la technique de Sims. Ce travail a été, par la suite, critiqué par Akarca et Long (1980) qui ont noté que la période considérée était instable puisqu'elle incluait le premier choc.<sup>19</sup>

L'énergie est considérée comme un élément crucial pour la consommation finale telle que l'éclairage, la climatisation, le refroidissement, le chauffage, la cuisson, le transport,... ou pour la production ou pour la consommation intermédiaire ; l'énergie est un complément aux autres facteurs de production tel que le capital et le travail.

---

<sup>18</sup> MAINGUY. Y, L'économie de l'énergie, Dunod (collection Finances et Economie), 1967.

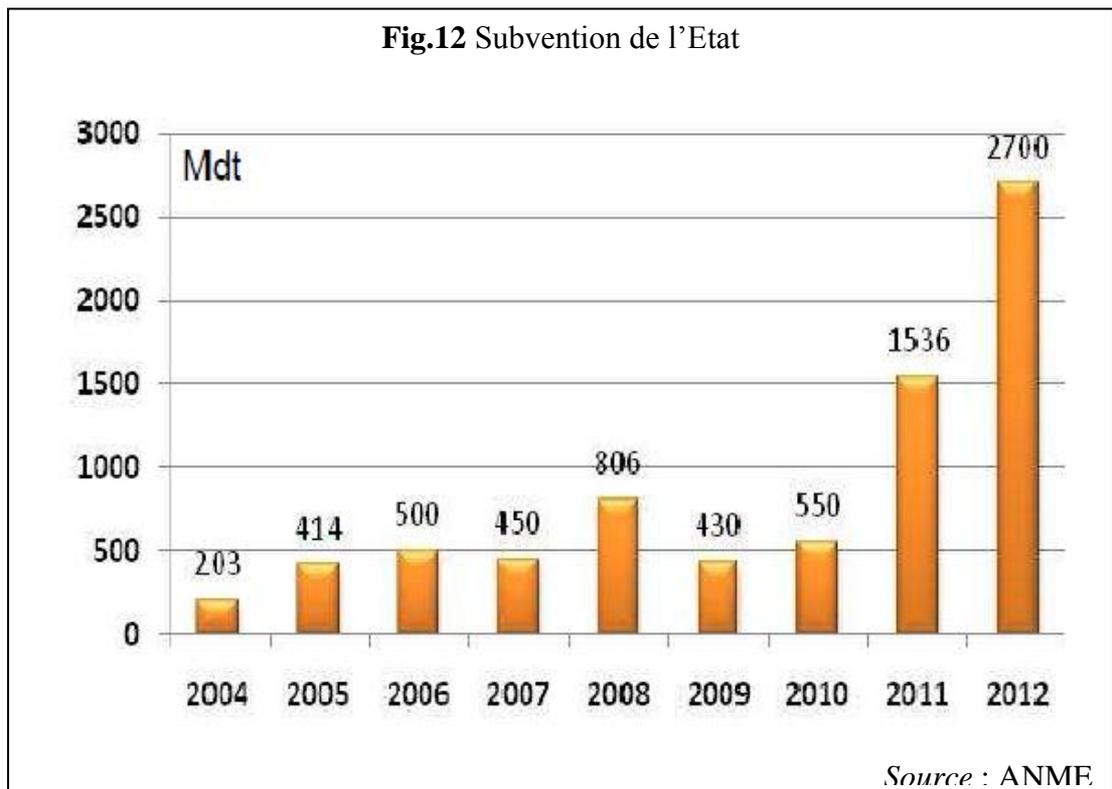
<sup>19</sup> La suite des études concernant la relation entre la croissance économique et la consommation d'énergie ont été citées dans la revue de la littérature de cette partie.

Donc, l'énergie est une composante principale du développement économique et social. Ainsi, le rôle de l'énergie dans l'accroissement de la croissance économique n'a pas besoin d'être démontré parce que la révolution industrielle n'aurait pas été possible sans les ressources énergétiques. Le philosophe Busquin (Commissaire européen) a considéré que l'utilisation d'énergie, comme les technologies d'information, est un bien vital de la société d'aujourd'hui<sup>20</sup>. Ainsi, l'augmentation du prix de pétrole peut influencer l'évolution de la croissance économique soit à la hausse soit à la baisse, selon la situation énergétique du chaque pays. En effet, les pays ayant suffisamment de ressources énergétiques, dans le cas d'une hausse des prix, ils peuvent garder le même niveau de croissance du PIB et même l'accélérer, puisque le secteur de l'énergie lui-même peut augmenter la croissance. En revanche, pour les pays ne disposant pas de ressources et qui souffrent du poids croissant des importations énergétiques, une augmentation du prix de pétrole va freiner leur croissance et même l'affecter à la baisse puisque les ressources nationales d'énergie ne couvrent plus la demande, et que cette dernière augmente à un rythme régulier et par conséquent le ratio importations énergétiques sur PIB enregistre une croissance continue en affectant la croissance économique.

Concernant la Tunisie, et comme un pays importateur net d'énergie (fossile), elle est caractérisée par une vulnérabilité forte de l'économie nationale face à la volatilité des prix internationaux de l'énergie. En effet, l'industrie demeure le premier consommateur d'énergie, même si sa part a baissé au cours des vingt dernières années, passant de 40,2% de la consommation totale en 1980 à 33,8% en 2004. Du ce fait, le coût de l'énergie (le prix) dans le coût de fabrication d'un produit devient un facteur déterminant de leur compétitivité. Ainsi, les pouvoirs publics sont amenés, pour sauvegarder l'activité industrielle, à pratiquer des prix de l'énergie inférieurs aux coûts réels de production ou d'importation. Les subventions publiques à l'énergie, qui sont de plus en plus lourdes, ont représenté 10% du budget de l'Etat en 2013 (Fig. 12). De telles politiques de subvention avaient un impact négatif sur la balance des paiements et sur le budget de l'Etat, en affectent de plus en plus la compétitivité de l'économie nationale. Pour cela, la politique énergétique du pays visant à réduire la consommation d'énergie représente un enjeu important pour l'économie nationale.

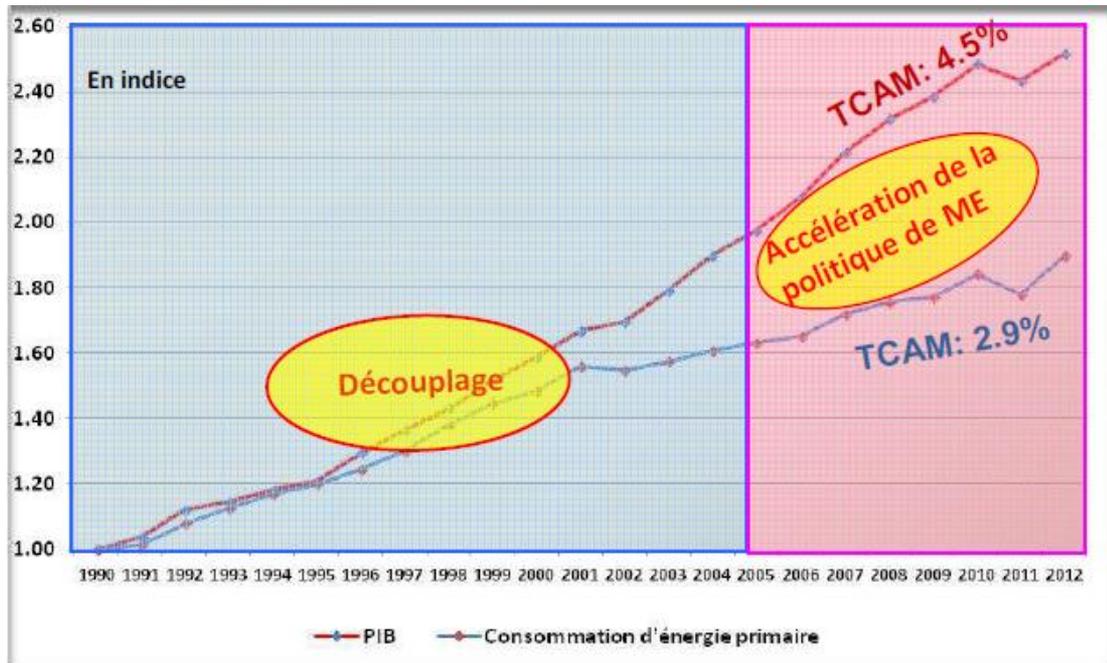
---

<sup>20</sup> Ambapour, S. and C. Massamba, Croissance économique et consommation d'énergie au Congo : une analyse en termes de causalité, Bureau d'applications des méthodes statistiques et informations, Décembre 2005.



La croissance économique tunisienne a évolué avec un TCAM 4,5 % contre une évolution de la consommation d'énergie primaire avec un TCAM 2,9 % en 2012. Comme le montre la Fig.13, cette évolution est caractérisée par un découplage de la croissance économique par rapport à la consommation d'énergie dû au développement rapide et ambitieux de la maîtrise de l'énergie.

**Fig.13** Evolution de la consommation d'énergie primaire et la croissance économique :  
Découplage



Source : ANME

L'étude de la relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique peut être faite via plusieurs instruments du point de vue de l'analyse économique et des techniques économétriques, à savoir l'élasticité, l'intensité énergétique, les fonctions de production et la cointégration.

### 1.3.1. Elasticité revenu et prix de la consommation d'énergie

Lorsqu'on étudie la relation qui existe entre la consommation d'énergie et les divers agrégats macroéconomiques (particulièrement le PIB), l'interprétation peut se faire en termes d'élasticité constante (Martin 1992), c'est-à-dire comment évolue la consommation d'énergie lorsque le niveau du PIB augmente.

Avant les années 70, la loi dite « d'élasticité unitaire » a laissé les spécialistes penser que la consommation d'énergie primaire et la croissance économique évoluaient au même rythme dans les pays développés. Cette élasticité<sup>21</sup> est le rapport entre la variation

<sup>21</sup> Il s'agit de l'élasticité produit : 
$$e_{pdt} = \frac{\frac{\Delta C}{C}}{\frac{\Delta PIB}{PIB}}$$

relative de la consommation d'énergie et celle de PIB durant une période de temps donnée. Selon Denis Babusiaux (2001), cette élasticité est souvent supérieure ou égale à 1 dans les pays en développement, ce qui signifie une croissance d'énergie plus proportionnelle à celle de l'activité économique, en revanche elle est inférieure à 1 et varie entre 0,85 à 0,9 dans les pays industrialisés en raison de la part croissante des activités tertiaires peu énergivores, dans le PIB et du progrès technique favorisant l'amélioration du rendement énergétique. On peut calculer aussi l'élasticité prix<sup>22</sup>, qui est le rapport entre la variation de la consommation d'énergie et celle du prix de l'énergie durant une période de temps donnée. Cette élasticité est en général très faible à court terme (moins d'un an), puisque le consommateur ne peut pas changer facilement ces équipements énergétiques<sup>23</sup>.

Ainsi, la relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique peut être interprétée aussi en termes de comparaison et d'explication des intensités énergétiques de l'activité économique.

### 1.3.2. Intensité énergétique

Pour comparer les situations énergétiques de différents pays en relation avec leur situation économique, deux indicateurs sont utilisés : la consommation d'énergie (primaire ou finale) par habitant et l'intensité énergétique. En effet, tous les économistes pensaient que la meilleure mesure d'évolution de l'efficacité énergétique est l'intensité énergétique qui est le ratio entre une consommation d'énergie (ex. en tep) et un indicateur d'activité mesuré en unité monétaire à prix constants (PIB, valeur ajoutée). Elle représente la quantité d'énergie nécessaire pour constituer une unité de PIB. D'une manière générale, elle est utilisée chaque fois que l'efficacité énergétique est mesurée à un niveau d'agrégation tel qu'il n'est pas possible de caractériser l'activité avec des indicateurs physiques. Le niveau de l'intensité énergétique est fonction essentiellement de deux facteurs : la structure de l'activité économique et l'efficacité de la consommation d'énergie.

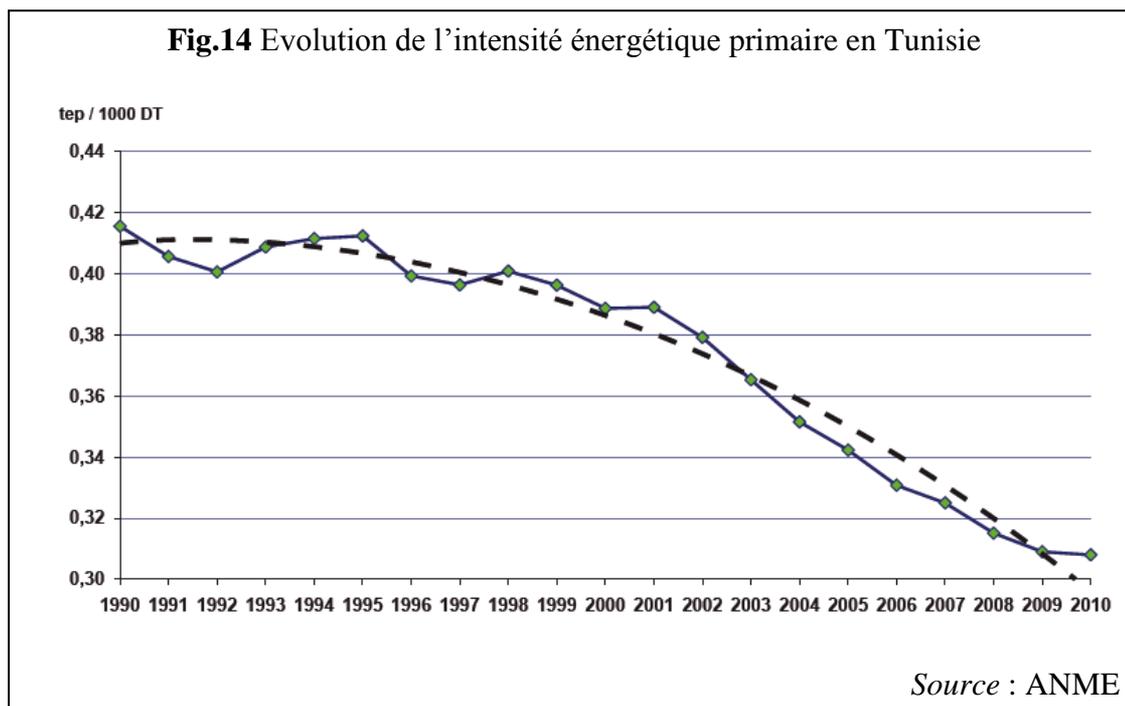
---

<sup>22</sup>  $e_{prix} = \frac{\frac{\Delta C}{C}}{\frac{\Delta P_E}{P_E}}$

<sup>23</sup> SACKO, I., *Analyse des liens entre croissance économique et consommation d'énergie au Mali*, in CERFOD. 2004.

Des études ont montré que l'intensité énergétique augmentait avec l'industrialisation et diminuait avec l'apparition de nouveaux progrès techniques et la tertiarisation de la production<sup>24</sup>.

En Tunisie, l'intensité énergétique primaire<sup>25</sup> a enregistré des évolutions contrastées depuis trois décennies caractérisées par une baisse de 26 % en 2010 par rapport à 1990.



A partir des années 70, et à la faveur de l'accélération de la croissance économique en Tunisie, l'intensité énergétique a connu une croissance rapide dans les années 80 et 90. En effet, de 0,260 tep/1000 dinars de PIB, au début des années 1970, elle a connu une croissance rapide dans les années 80, atteignant 0,410 tep/1000 dinars en 1985. A partir de cette dernière date, l'intensité énergétique a enregistré une évolution erratique, retombant à 0,401 tep/1000 dinars en 1987, puis atteignant un pic à 0,433 tep/1000 dinars en 1990. Il est difficile d'interpréter de telles fluctuations, mais le fait est que l'on se trouve dans le cycle d'une économie intensive en énergie, où l'énergie doit nécessairement suivre le rythme imposé par les besoins de croissance économique des principaux secteurs de base, d'une part, et satisfaire les besoins

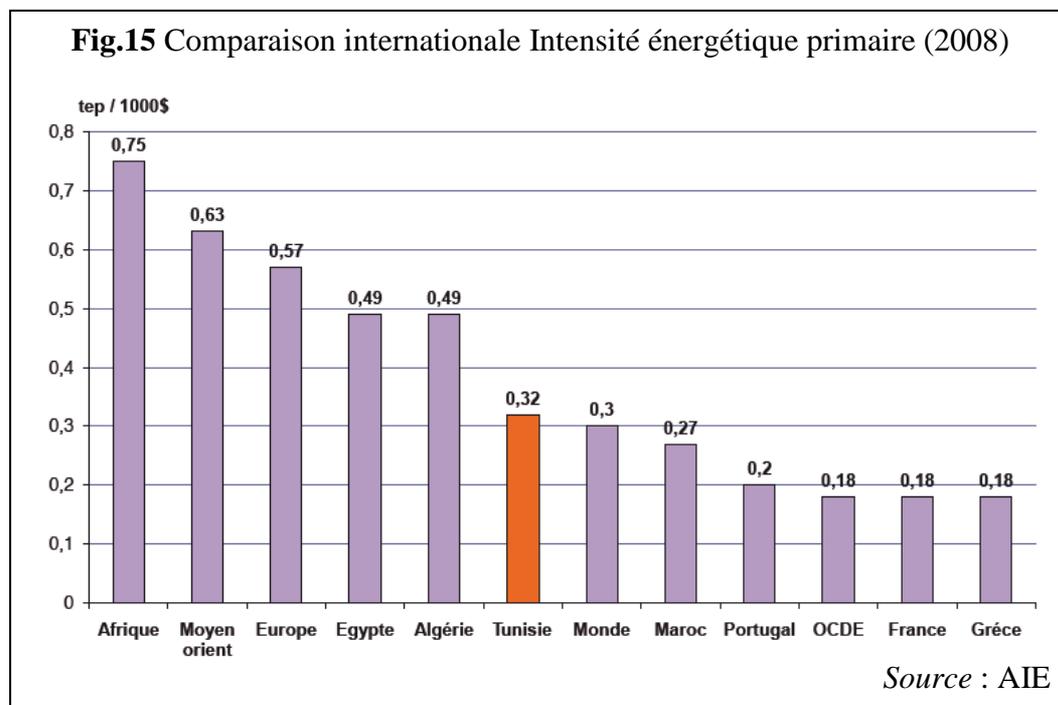
<sup>24</sup> Ambapour, S. and C. Massamba, *Croissance économique et consommation d'énergie au Congo: une analyse en termes de causalité*, B.d.a.d.m.s.e. informatiques, Editor. 2005.

<sup>25</sup> Exprimée en tep primaire/1000 DT de PIB.

croissants de confort de la population tunisienne, alimentés par l'amélioration notable de son niveau de vie.

Cependant, à partir de 1990 l'évolution de l'intensité énergétique, montre assez bien une tendance moyenne à la baisse pendant les dernières années. De 1990 à 1995, l'intensité énergétique semble accuser un certain fléchissement reprenant une courbe moyennement descendante sur toute la période 1990-2005. A partir de 1996, on semble se diriger, a priori, vers une stabilisation de l'intensité énergétique légèrement en dessous de 0,400 tep/1000 dinars. En 2005, elle a atteint, pour la première fois, le niveau de 0,34 tep/1000 dinars de PIB, soit une baisse significative de 19% par rapport à 1990. Cette stabilisation s'est maintenue notoirement jusqu'en 2001, date à partir de laquelle l'intensité a de nouveau repris une courbe descendante, pour chuter à 0,363 en 2003, niveau atteint pour la première fois depuis le début des années 80 et arriver jusqu'à 0,309 en 2009.

En comparant les intensités énergétiques primaires de quelques pays, la figure 15 montre des disparités très importantes entre les pays. Elle montre également que la Tunisie est placée très proche des intensités de pays du monde, avec une valeur de l'ordre de 0,32 tep/1000\$ en 2008. Ainsi, cette intensité est moins élevée par rapport aux intensités des pays de l'Afrique, du Moyen Orient, de l'Europe et en particulier des pays exportateurs d'énergie (Egypte, Algérie). En effet, les besoins énergétiques qui sont en hausse et l'absence de politiques vigoureuses de maîtrise de l'énergie risquent d'entraîner une détérioration de l'intensité énergétique dans ces pays. En revanche, l'amélioration de l'efficacité énergétique grâce à la mise en place des politiques énergétiques a entraîné une baisse de l'intensité dans les pays d'Europe (France, Grèce, Portugal) pour enregistrer la valeur de 0,18 tep/1000\$ en 2008.



Il est important de rappeler ici que l'analyse annuelle des fluctuations des intensités énergétiques globales reste assez délicate à faire d'année en année, et ne présente pas une réelle utilité. En effet, les fluctuations requièrent, tout d'abord, des informations d'une grande fiabilité, et d'une grande finesse. Malgré cela, les analyses sont sujettes à une mauvaise interprétation en cas d'occurrence d'évènements ponctuels parfois difficiles à détecter. Ainsi, l'intensité énergétique est parfois un indicateur susceptible d'interprétations pouvant être ambiguës. Par exemple, un indice élevé c'est-à-dire une consommation importante d'énergie pour la production d'une unité de PIB peut être l'indicateur positif de la mise en œuvre de processus productifs hautement mécanisés et performants. Mais il peut être l'indicateur négatif d'une mauvaise gestion des ressources énergétiques c'est-à-dire, l'indice d'une utilisation non rationnelle de l'énergie (utilisation d'équipements peu efficaces par exemple), ce qui peut entraîner de fortes pertes dans le rendement de la chaîne énergétique)<sup>26</sup>.

Au-delà de l'élasticité par rapport au PIB et de l'intensité énergétique, le lien entre la consommation d'énergie et la croissance économique a été appréhendé à travers des

<sup>26</sup> SACKO, I., *Analyse des liens entre croissance économique et consommation d'énergie au Mali*, in CERFOD. 2004.

fonctions de production KLEM<sup>27</sup> considérées comme étant des modèles des méthodes économétriques.

### 1.3.3. Méthodes économétriques

L'approche économétrique vise à établir une relation entre la consommation d'énergie (globale ou sectorielle, par forme d'énergie) et certains indicateurs macroéconomiques (PIB, revenu, VA, prix de l'énergie,...). Ces relations et ces indicateurs peuvent être choisis selon deux optiques : la représentation des phénomènes selon une certaine théorie et la traduction sous forme mathématique des relations purement statistiques. Parmi les modèles les plus connus on peut citer :

- *Les modèles KLEM* : où l'énergie est considérée comme un facteur de production au même titre que le capital (K), le travail (L) et les matières premières (M). Ceci est pour la bonne raison que l'énergie n'est jamais consommée pour elle-même, mais comme un moyen de faire fonctionner un équipement susceptible de satisfaire un besoin.
- *Les modèles LES (linear expenditure system)* : où la structure de la consommation des ménages par produit est liée à l'évolution des prix relatifs des produits et au revenu :  

$$QE(t) = f(P_i / P_j, Y) \quad (1)$$
- *Les modèles « LOGIT »* : de partage du marché selon les différents produits énergétiques en concurrence :

$$\log \left( \frac{S_{it}}{S_{jt}} \right) = \alpha_i + \alpha_2 \log \left( \frac{P_{it}}{P_{jt}} \right) + \alpha_2 \log \left( \frac{S_{it-1}}{S_{jt-1}} \right) \quad (2)$$

Avec  $\sum_{i=1}^4 S_i = 1$

Où :

$S_i$  : la part de marché de l'énergie  $i$  dans la demande totale d'énergie.

$P_i$  : le prix de l'énergie  $i$ .

$i$  : représente le gaz, l'électricité et le fuel.

---

<sup>27</sup> K = capital, L = main d'œuvre, E = énergie, M = matière première non énergétique

j : représente le charbon.

- *Le modèle de Nordhaus* : Il s'agit d'un modèle classique représentatif de toute une famille de modèles économiques. Sa représentation est de la forme :

$$E = CY^\alpha P^\beta \quad (3)$$

Où :

$E$  = énergie consommée.

$C$  = constante.

$Y$  = revenu.

$P$  = prix de l'énergie.

$\alpha$  = Élasticité revenu.

$\beta$  = Élasticité prix.

- *Le modèle de Linden* : Ce modèle a le mérite de relier directement la demande d'énergie aux facteurs démographiques. Il a été élaboré aux Etats-Unis, la relation ainsi établie étant de type :

$$E = CP^\alpha T^\beta A^\delta \quad (4)$$

Avec :  $E$  : énergie consommée.

$P$  : prix de l'énergie.

$T$  : population totale.

$A$  : Population active.

- *Le modèle de Champlon* : Le modèle économétrique adapté est de type dynamique comportant quatre variables explicatives :

$$E = CP^\alpha A^\beta I^\delta E_{-1}^\theta \quad (5)$$

Avec :

$P$  : indice des prix relatifs de l'énergie.

$I$  : Indice de la production industrielle.

$A$  : Population active.

$E_{-1}$  : Population d'énergie retardée.

Quelle que soit l'optique adoptée, la méthode économétrique ne peut que reproduire dans le futur des évolutions passées, ou plus exactement les liaisons passées entre les variables économiques et la demande d'énergie. Ainsi, ces méthodes présentent l'inconvénient qu'elles adoptent une vision restrictive puisqu'elles retiennent un nombre limité des variables explicatives qui sont essentiellement des variables quantitatives. En plus, elles sont très rigides puisque les relations sur lesquelles elles s'appuient sont construites une fois pour toutes à partir des séries statistiques passées et ne peuvent pas être modifiées à la suite d'un changement important. Elles sont aussi statiques puisqu'elles supposent l'existence de relations stables entre les variables qu'elles intègrent. En fait, les modèles économétriques sont inadaptés pour l'appréhension du moyen et long terme où les changements structurels marquent leur présence d'où la nécessité de chercher d'autres méthodes qui peuvent dépasser ces limites. Avant 1973, les méthodes de prévision étaient purement économétriques mais la crise pétrolière a conduit au développement de nouvelles méthodes de type « technico-économiques ». Leur principale caractéristique est d'intégrer l'incertitude du futur dans le domaine énergétique et économique à l'aide de scénarios.

#### **1.3.4. Méthodes technico-économiques : L'approche MEDEE**

Après la crise pétrolière et exactement au début des années 80 des nouvelles méthodes de prévision ont été développées afin de remédier aux insuffisances des méthodes économétriques c'est ce qu'on appelle les méthodes technico-économiques. Ainsi, ces méthodes permettent une meilleure analyse de l'effet à long terme d'une hausse du prix de l'énergie et des politiques d'économie d'énergie sur la demande. MEDEE<sup>28</sup> prend en considération les caractéristiques techniques des équipements énergétiques et représente le plus possible le comportement économique des consommateurs. Parmi les modèles technico-économiques on peut citer :

---

<sup>28</sup> Modèle d'Évaluation de la Demande d'Énergie.

- *Les modèles comptables* : dans ces modèles les variables socio-économiques (FBCF, les échanges extérieurs, le nombre de logements...), les choix techniques et les relations entre les variables sont exogènes. Le recours à ces modèles suppose pour les utilisateurs une très bonne connaissance de problèmes sociaux, économiques et techniques liés à l'énergie. Le modèle MEDEE entre dans cette catégorie, qui a été développé en 1977 et se centre sur les mécanismes de formation et d'évolution des déterminants de la demande.
- *Les modèles systémiques* : dans ce modèle les déterminants socio-économiques et les choix techniques sont endogènes aux modèles. Ces derniers supposent une analyse préalable des mécanismes des mécanismes d'évolution de la demande d'énergie et ses déterminants.

Cependant, pour mettre en œuvre une méthode de prévision technico-économique, il faut disposer d'informations très détaillées d'ordre économique et technique sur les usages énergétiques, qui souvent n'existent pas. En plus, l'application de telle méthode suppose une connaissance assez fine des consommations unitaires, si l'on prend par exemple la consommation unitaire d'une catégorie d'appareil, il est extrêmement difficile d'arriver à déterminer une consommation unitaire moyenne et d'imaginer comment elle va évoluer dans le temps, puisque les consommations unitaires dépendent à la fois de la puissance des appareils, de leur durée d'utilisation, du mode d'utilisation,... Un autre inconvénient de cette approche est le manque de critères habituels pour juger ce type de modèles comme c'est le cas des modèles économétriques ( $R^2$ , DW, t-Student, Fischer,...) et l'impossibilité de faire des simulations propres à ce genre d'approche (ce que l'on peut faire ce sont des simulations dans le cadre des scénarios). Ainsi, la limite spécifique au modèle est liée à la cohérence des scénarios. En effet, aucun contrôle réalisé sur la cohérence entre la demande énergétique calculée et la croissance économique qui a été réalisée lors de l'initialisation du modèle. Ce problème de cohérence peut être en partie résolu par l'utilisation de la méthode des scénarios.

### **1.3.5. Méthode de scénario**

La méthode des scénarios a pour rôle de construire une suite d'actions représentant l'évolution de la situation actuelle à la situation potentielle à partir des règles précises qui assurent la cohérence et la vraisemblance des images découvertes.

Ainsi, on distingue deux familles de scénarios :

- Les scénarios exploratoires : qui décrivent à partir d'une situation présente une suite d'évènements conduisant d'une manière logique à un futur possible.
- Les scénarios d'anticipation : pour lesquels le point de départ n'est pas la situation présente mais l'image d'un futur possible et souhaitable décrite par un ensemble donné d'objectif à réaliser.

Donc, la méthode des scénarios est élaborée dans le but d'appréhender l'évolution à long terme des systèmes complexes mais, elle présente des limites. Lors de l'analyse de l'évolution du système on marque la présence d'un risque d'oubli des facteurs qui sont indispensables pour les caractériser de façon satisfaisante ce qui peuvent affecter la qualité du scénario. Elle présente aussi une ambiguïté puisqu'elle ne distingue pas entre les préférences relatives aux variables de décisions et les incertitudes relatives à l'environnement externes à raison qu'elle traite toutes les variables de la même manière.

#### **1.4. CONCLUSION**

Au sein de ce premier chapitre, nous avons illustré les différentes caractéristiques de la demande énergétique tunisienne qui ne cesse pas de croître devant des ressources en énergies fossiles très limitées en Tunisie, ce qui a déséquilibré le bilan énergétique vers une situation déficitaire. Or, l'accroissement de la consommation d'énergie est dû notamment au développement économique et social du pays. De ce fait, pour l'analyse des interdépendances entre croissance économique et consommation d'énergie plusieurs outils (élasticité et intensité énergétique) et types de méthodes (méthodes économétriques, méthodes technico-économiques, méthodes de scénarios,...) ont été utilisés afin d'examiner ce lien. Il ressort de cette représentation que les méthodes sont fortes difficiles. On ne peut prétendre à la suprématie de l'une par rapport à l'autre vu les limites évoquées précédemment. En général, nous pouvons les classer en deux grandes catégories, à savoir les méthodes de court terme et de long terme. Dans le chapitre suivant, nous allons adopter une démarche de prévision de la consommation d'énergie qui combine à la fois le court et le long terme via la théorie de la cointégration. Celle-ci permet de déterminer les tendances de long terme combinées à des ajustements de court terme à travers le modèle à correction d'erreur (ECM).

## **2. CHAPITRE 2 : ETUDE EMPIRIQUE DE LA RELATION CONSOMMATION D'ENERGIE ET CROISSANCE ECONOMIQUE**

### **2.1. INTRODUCTION**

La Tunisie est caractérisée par une économie intensive en énergie où l'énergie doit nécessairement suivre le rythme imposé par les besoins de croissance économique des principaux facteurs de base, d'une part, et satisfaire les besoins croissants de confort de la population tunisienne alimentés par l'amélioration notable de son niveau de vie, d'autre part. En effet, l'accélération du rythme de la croissance économique est commentée par une amélioration du secteur de l'industrie et du secteur du transport en Tunisie ce qui entraîne une augmentation de la demande d'énergie puisque ce sont les deux premiers secteurs consommateurs d'énergie (représentent respectivement 36% et 31% de la consommation globale en 2011). Donc, la croissance empirée des besoins d'énergie reflétait le niveau de développement (PIB) atteint, ce qui conduit à conclure que les croissances du PIB et de la consommation d'énergie sont plus au moins proportionnelles.

Plusieurs modèles économétriques ont été utilisés afin de spécifier des relations. Mais, la majorité de ces modèles sont des modèles structurels c'est à dire que les relations spécifiées entre les variables sont basées sur une théorie économique telle que par exemple la relation entre la consommation et le revenu. Le problème est que la théorie économique n'est pas toujours suffisante pour déterminer la spécification correcte entre les variables, et dans ce cas il faut laisser les données, et non pas le théoricien qui déterminent la structure dynamique du modèle. Pour ce faire Sims (1980) a proposé les modèles VAR comme alternative aux modèles structurels traditionnels à plusieurs équations. Selon Sims s'il existe une véritable simultanéité entre une série des variables, elles devraient toute être traitées sur un pied d'égalité il ne devrait y avoir aucune distinction à priori entre variables endogènes et exogènes. C'est donc dans cet esprit que Sims présenta le modèle VAR. Selon cette spécification on peut s'intéresser à l'étude de la causalité et l'analyse de l'effet d'un choc de l'une des variables considérées sur les autres à travers les fonctions de réponse impulsionnelles et la décomposition de la variance de l'erreur de prévision.

D'où, l'objectif de ce chapitre est de prévoir la consommation d'énergie à long terme en fonction de la croissance économique et de l'évolution du prix de pétrole en prenant en considération les changements de structure qui ont affecté l'activité économique durant la période 1971-2011. Cette étude est basée sur le test de l'existence de relation d'équilibre de long terme entre la croissance économique et la consommation d'énergie ainsi que le prix de pétrole. Pour ce faire, nous commençons par présenter notre stratégie économétrique à utiliser, puis nous passons à la description des différentes variables à considérer et à la fin nous analysons les différents résultats fournis.

## **2.2. REVUE DE LITTÉRATURE**

Quant à la relation causale entre la consommation d'énergie et la croissance économique et depuis le travail de Kraft et Kraft (1978) beaucoup d'études sont enregistrées dans la littérature en utilisant diverses méthodologies pour différentes périodes du temps. Ainsi, Charles Jumbe (2004) a examiné la cointégration et la causalité entre la consommation d'électricité et respectivement le PIB, le PIB agricole et le PIB non agricole employant des données de Malawi durant la période 1970-1999. Il a conclu qu'il y a une relation d'équilibre de long terme de la consommation d'électricité avec le PIB et le PIB non agricole mais pas avec le PIB agricole. Il a utilisé le modèle à correction d'erreur et la causalité de Granger pour examiner la causalité entre ces trois variables. Il a trouvé qu'il y a une causalité bi-directionnelle entre la consommation d'électricité et le PIB et une causalité unidirectionnelle allant de PIB non agricole vers la consommation d'électricité. Dans le même contexte, beaucoup d'études ont été enregistré concernant la relation causale entre la consommation d'énergie et la croissance économique de la Turquie. En effet, en utilisant un VECM, Soytaş et Sari (2003) ont trouvé une causalité unidirectionnelle de la consommation d'énergie au produit intérieur brut (PIB) par habitant en France et une causalité du PIB à la consommation d'énergie en Italie et Japon. Cependant, en utilisant les tests de racine unitaire en présence de rupture proposés par Zivot et Andrews (1992) et Perron (1997), Altınay et Karagöl (2004) ont déduit qu'une fausse causalité existerait entre les séries si les données sont intégrées d'ordre un. Étudiant la période de 1950-2000, ils ont prouvé que les séries de consommation d'énergie et de PIB en Turquie sont stationnaires en tendance avec une rupture structurale et ils n'ont trouvé aucune évidence de la causalité entre la consommation d'énergie et le PIB en Turquie. Néanmoins, en utilisant des

données annuelles durant la période 1970-2003, Lise et Van Montfort (2007) ont trouvé récemment qu'en Turquie, la consommation d'énergie et le PIB sont cointégrés et le sens de la causalité passant du PIB à la consommation d'énergie. Encore pour le cas de la Turquie, dans une étude très récente, Jobert et Karanfil (2007) employant la série chronologique annuelle pour la période 1960-2003 discute qu'à long terme le revenu et la consommation d'énergie sont neutres par rapport aux niveaux globaux et industriels. Leur étude indique également une forte évidence de la causalité instantanée, qui signifie que des valeurs contemporaines de la consommation d'énergie et du revenu sont corrélées. Karanfil (2008), pour la période de 1970 à 2005 et pour la Turquie, a conclu qu'il y a une relation de cointégration entre la consommation d'énergie et la croissance économique. Mais, quand il a tenu compte de l'économie non enregistrée il a trouvé qu'elles sont non cointégrées.

Dans un grand nombre d'études des résultats contradictoires au sujet de la direction du rapport ont été trouvés pour différents pays pour différentes périodes de temps, par exemple en Inde le sens de la causalité est d'énergie au revenu (Asafu-Adjaye, 2000; Masih et Masih, 1996). Cependant, Paul et Bhattacharya (2004) ont trouvé la causalité bidirectionnelle pour le même pays. D'autre part, les études empiriques traitées pour quelques pays industrialisés donnent des estimations variées; par exemple Kraft et Kraft (1978) ont trouvé une relation causale allant du revenu vers la consommation d'énergie dans le cas des Etats-Unis pour la période 1947-1974. Cependant, Stern (2000), en utilisant un modèle VAR, a précisé que le sens de la causalité est de la consommation d'énergie au revenu aux Etats-Unis. Concernant le même pays, Dergiades et Tsoulfidis (2008) ont examiné les déterminants de la demande résiduelle de l'électricité. La spécification économétrique suppose que cette demande dépend du prix d'électricité, du revenu par habitant, des conditions climatiques, du prix des produits substitués et de la réserve des domiciles. Ainsi, ils ont testé la stabilité de la fonction de demande via la technique de cointégration au sein d'un ARDL et ils ont conclu l'existence d'une seule relation de long terme entre les variables considérées. Concernant le prix d'énergie et la théorie de cointégration, Panagiotidis et Rutledge (2007) ont déduit que les prix du gaz et les prix de pétrole (UK) sont cointégrés en utilisant la méthodologie de Johansen et la procédure de Breitung (2002) sur la période 1996-2003. Cependant, via la méthode de Johansen ils ont conclu que les prix sont cointégrés sur toute la période. Ils ont aussi utilisé la spécification VECM pour

modéliser les ajustements de court terme. Ils ont fait recours aux fonctions des réponses impulsionnelles pour étudier la réponse du prix du gaz suite à un choc sur le prix de pétrole et les résultats ont aboutit à une réponse négative et rapide. A la chine, Wang Yu, Guo Ju'e, Xi Youmin (2008) ont utilisé le test de cointégration en deux étapes d'Engel et Granger sur des données annuelles couvrant la période allant de 1980 jusqu'à 2005 et en étudiant l'effet des chocs des variables entre eux via les fonctions de réponses impulsionnelles. La particularité de cette étude est que la relation énergie croissance économique a été étudié selon deux équations une en expliquant la croissance économique en fonction de la consommation d'énergie et l'autre en fonction de la production d'énergie. Quelques études récentes ont également utilisé l'approche dynamique de données de panel pour étudier la relation entre l'énergie et le revenu dans les pays développés et en voie de développement. Par exemple, en utilisant les données de panel pour 40 pays (22 pays développés et 18 en voie de développement), Lee et Chang (2007) ont prouvé qu'il y a une causalité unidirectionnelle fonctionnant du PIB à la consommation d'énergie dans les pays en voie de développement et une causalité bidirectionnelle dans les pays développés. Ces mêmes auteurs ont étudié la même relation mais cette fois en testant sa stabilité via les tests de racine unitaire et les tests de cointégration en présence de changement structurel (Test de Zivot et Andrews et le test de Hansen).

Narayan et Smyth (2007) ont examiné la relation entre la formation du capital, la consommation d'énergie et le PIB réel dans le cadre de cointégration du panel et la causalité de Granger. Pour tester l'existence de relation d'équilibre de long terme entre les variables, ils ont utilisé les tests de Pedroni (1999) et Westerlund (2006). Cependant, le test de Pedroni (1999) a conduit à l'absence de la cointégration, une fois qu'ils ont tenu compte des changements structurels ils ont déduit qu'il y a une relation de cointégration. Ainsi, à long terme la formation du capital et la consommation d'énergie causent au sens de Granger le PIB réel au niveau et ont eu un effet positif sur le PIB réel dans les pays G7. En 2009, plusieurs auteurs ont continué à étudier la relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique en utilisant des méthodes économétriques à savoir Idrissa M. Ouédraogo a étudié cette relation pour le cas de Boukina Fasso en utilisant la cointégration et le test de causalité de Granger sur des données mensuelles de 1960 à 2003. Durant la même année, Mounir Balloumi a appliqué la même technique dans le cadre tunisien. Il a déduit que la consommation

d'énergie cause la croissance économique.

Ainsi, la recherche sur la relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique, est sensible à la période considérée, au pays et à la méthodologie employée. C'est dans ce cadre, notre travail ambitionne de contribuer au débat existant sur la relation entre consommation d'énergie et croissance économique en prenant en considération les ruptures et les chocs enregistrés via la théorie de la cointégration développée par Engle et Newbold en 1974. C'est à ce niveau qu'on peut bien montrer notre apport toute en combinant la théorie économique avec les nouvelles méthodes économétriques en utilisant la méthode de cointégration avec changements structurels.

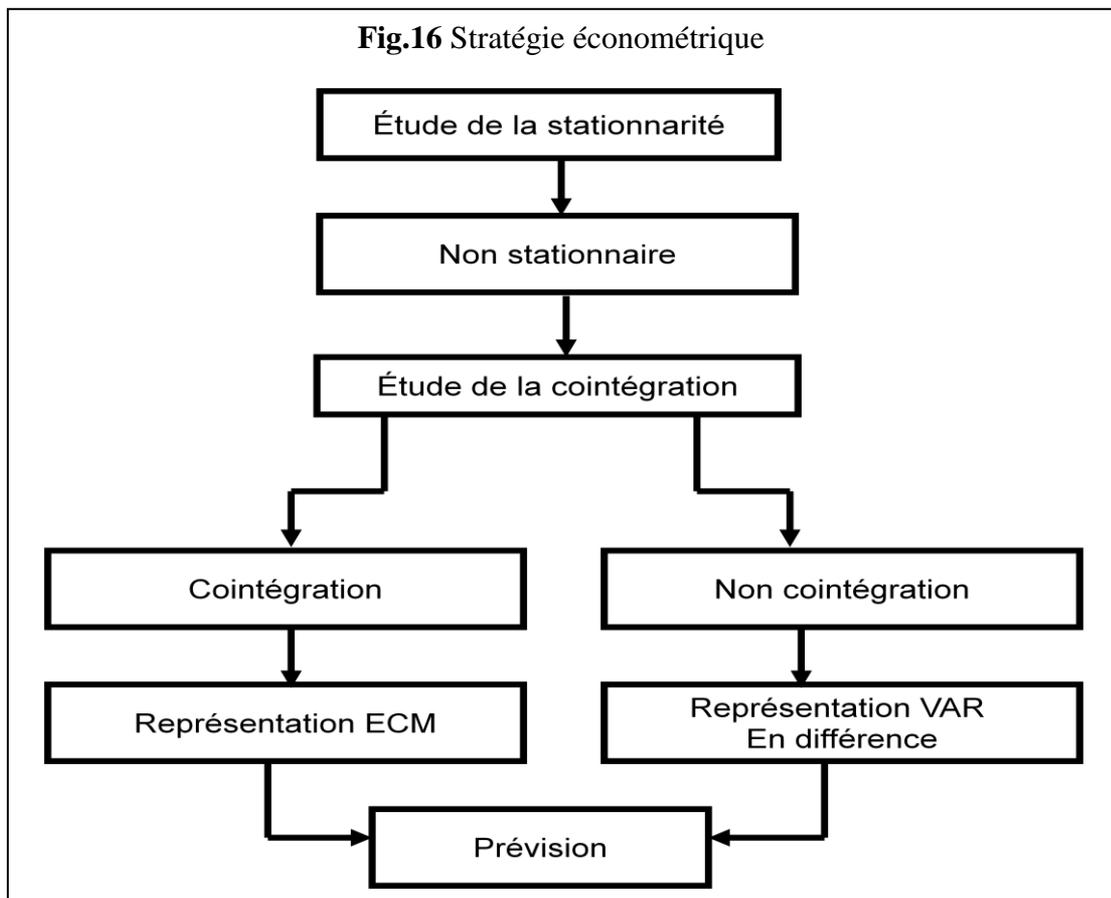
### **2.3. STRATEGIE ECONOMETRIQUE**

La non stationnarité de plusieurs séries macroéconomiques et financières représente un problème pour l'application des méthodes économétriques habituelles. Par conséquent, pour l'étude de l'évolution de ces séries à long terme, on utilise la théorie de la cointégration qui permet de les étudier dont une combinaison linéaire est stationnaire. Elle permet ainsi de spécifier des relations stables à long terme tout en analysant conjointement la dynamique de court terme des variables considérées. L'intérêt de cette théorie est qu'elle fournit une méthode d'analyse des séries temporelles non stationnaires en évitant le problème de régressions fallacieuses (voir Glossaire Chapitre 1).

Ainsi, les économistes concentrent leur attention sur une seule équation représentant par exemple une fonction de consommation globale, une équation enseigne que ces équations appartiennent à un système ou un sous-ensemble d'équations interdépendantes dont chaque équation permet de donner des interprétations causales. Ce système est utilisé pour faire des prévisions simultanées sur un ensemble des variables liées. Mais, dans un système d'équations simultanées contenant une ou plusieurs équations il n'est pas possible d'obtenir des valeurs numériques de chaque paramètre dans chaque équation parce que les équations sont impossibles à distinguer sur le plan de l'observation ou bien se rassemblent trop on parle ici d'un problème d'identification. Pour ce faire, Sims (1980) a proposé les modèles VAR (Voir glossaire chapitre 1) comme alternative aux modèles structurels traditionnels à plusieurs équations. Selon lui s'il existe une véritable simultanéité entre une série des variables, elles devraient toute être traitées sur un pied d'égalité et ne devrait y avoir aucune

distinction à priori entre variables endogènes et exogènes. C'est donc dans cet esprit que Sims présenta le modèle VAR. Selon cette spécification on peut s'intéresser à l'étude de la causalité et l'analyse de l'effet d'un choc de l'une des variables considérées sur les autres à travers les fonctions de réponse impulsionnelles et la décomposition de la variance de l'erreur de prévision. Donc, la théorie de la cointégration permet de spécifier des relations stables à long terme tout en analysant conjointement la dynamique de court terme des variables considérées. Ce qui nécessite l'utilisation d'une classe particulière des modèles liés directement à la cointégration : les modèles à correction d'erreur. En conséquence, la modélisation ECM et la cointégration donnent une nouvelle dimension à la modélisation dynamique en lui fournissant des bases théoriques solides et en permettant de dégager de façon cohérente les propriétés de long terme des séries temporelles. Le développement de la cointégration est basé sur la validation d'une des principales hypothèses supposée par l'économétrie classique à savoir l'hypothèse de stationnarité. L'apport de cette théorie est qu'elle s'appuie sur des séries non stationnaires mais par combinaison linéaire vont les devenir. A ce niveau il faut signaler que l'étude de la stationnarité est nécessaire pour l'analyse des interdépendances entre les variables considérées à travers la cointégration et la causalité.

L'étude de la relation de long terme, comme la montre la figure 16, passe par : l'étude de la stationnarité, la détermination de nombre de retards optimal pour la représentation VAR des séries afin de l'utiliser dans l'analyse des fonctions de réponse impulsionnelles, et on termine par la détermination du nombre de relation de cointégration ainsi que la causalité selon le cas.



### 2.3.1. Etude de la stationnarité

Une série temporelle est une collection des observations construite d'une manière ordonnée dans le temps. En se basant sur l'économétrie « classique » cette série est caractérisée par le fait que leurs propriétés statistiques ne se modifient pas au cours du temps et qu'ils sont issus d'un système stable qui a atteint un état stationnaire. C'est en fait l'hypothèse de base qui conditionne la pertinence des résultats obtenus. Cependant, plusieurs séries macroéconomiques ne sont pas stationnaires ce qui pose plusieurs problèmes à savoir les propriétés asymptotiques habituelles ne sont plus valables. Donc, l'analyse de ces séries chronologiques s'intéresse essentiellement à l'examen de leur caractère stationnaire. Dans la procédure de Box et Jenkins l'étude de la stationnarité se fait en se repérant à la représentation graphique de la série et le corrélogramme. Ainsi, Nelson et Plosser (1982) nous renseigne sur l'existence de deux sources de non stationnarité : celle d'origine déterministe (TS : Trend Stationary) où la valeur  $x_t$  est une

fonction explicative de la date  $t$  et celle d'origine stochastique (DS : Difference Stationary) où la variable est stationnaire en différence (Voir Glossaire).

L'analyse de ces séries chronologiques s'intéresse essentiellement à l'examen de leur caractère stationnaire en présentant ces différents tests utilisés dans ce cadre. Avant de passer à la présentation de ces tests on commence par définir le concept de la stationnarité.

### 2.3.1.1. Définition

Une série est stationnaire si elle est la réalisation d'un processus stationnaire ce qui implique qu'elle ne comporte ni tendance ni saisonnalité et plus généralement aucun facteur n'évoluant avec le temps. Il y a deux types de stationnarité :

- Stationnarité au sens strict

On dit que le processus  $(X_t, t \in \tau)$  est stationnaire au sens strict (SSS), si pour tout  $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  la distribution de probabilité de  $\{X_{t_1}, X_{t_2}, \dots, X_{t_n}\}$  est la même que celle pour  $\{X_{t_1+K}, X_{t_2+K}, \dots, X_{t_n+K}\}$   $K \geq 0$ . On note  $(X_t, t \in \tau) \sim \text{SSS}$  où  $\tau$  est l'ensemble des indices.

Il faut signaler que les conditions de stationnarité généralement retenues sont celles de la stationnarité de second ordre (ou faible ou au sens large ou asymptotique ou covariance stationarity).

- Stationnarité au sens large (de second ordre)

On dit que le processus  $(X_t, t \in \tau)$  est stationnaire au second ordre (SL) si :

- $E(X_t^2) < \infty \quad \forall t \in \tau$  : les moments d'ordre 2 sont finis,
- $E(X_t) = \mu \quad \forall t \in \tau$  : la moyenne du processus est constante ce qui traduit la stabilité de son comportement dans le temps,
- $\text{Cov}(X_t, X_{t+h}) = \gamma \quad \forall t \in \tau, \forall h \in \mathbb{Z}$  : la covariance entre 2 périodes  $t$  et  $t+h$  est uniquement fonction de la différence des temps  $h$ .

Ainsi si au moins un de ses deux premiers moments varie avec le temps, la série temporelle est dite alors non stationnaire.

### 2.3.1.2. Tests de racine unitaire en absence de rupture

L'analyse des séries chronologiques s'intéresse essentiellement à l'examen de leur caractère stationnaire en présentant les différents tests utilisés dans ce cadre. Lorsqu'on étudie des séries temporelles, nous avons besoin de tester la présence de racine unitaire en vue de mettre en évidence le caractère stationnaire ou non d'une chronique et de déterminer la bonne manière de stationnarisation<sup>29</sup>. Pour ce faire il existe plusieurs tests pour détecter la présence de racine unitaire dans une série. Les tests de Dickey et Fuller (DF et ADF) sont ceux les plus utilisés en raison de leur grande simplicité mais ils souffrent également d'un certain nombre des critiques ce qui ont conduit à l'élaboration d'autres tests de racine unitaire dont ceux de Phillips et Perron (PP) (1988), Kwiatkowski, Phillips, Schmidt et Shin (KPSS) (1988) que nous allons présenter ci-après.

#### a) Test ADF (Augmented Dickey-Fuller)

Le test DF simple<sup>30</sup> suppose dès le début que le processus est Auto-regressif d'ordre 1 (AR (1)) c'est pourquoi le problème d'auto-corrélation des erreurs ne se pose pas dans ce cas. Mais dans le cas d'un processus AR (p) ce test n'est plus valable mais plutôt on utilise le test ADF. Ce dernier est basé sur l'estimation par les MCO des trois modèles suivants:

- Modèle sans constante ni tendance déterministe :

$$\Delta X_t = \phi X_{t-1} + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta X_{t-j} + \varepsilon_t \quad (6)$$

- Modèle avec constante sans tendance déterministe :

$$\Delta X_t = \phi X_{t-1} + \mu + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta X_{t-j} + \varepsilon_t$$

(7)

- Modèle avec constante et tendance déterministe :

$$\Delta X_t = \phi X_{t-1} + \lambda + \delta t + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta X_{t-j} + \varepsilon_t \quad (8)$$

---

<sup>29</sup> Voir Glossaire.

<sup>30</sup> Voir Glossaire pour l'explication de ce test.

Où :  $\varepsilon_t \sim BB(0, \sigma_\varepsilon^2)$  et  $\phi = \rho - 1$  <sup>31</sup>

On teste  $H_0 : \phi = 0$  contre  $H_1 : \phi < 1$ . Pour ce test on adopte la même stratégie séquentielle<sup>32</sup>, de test DF, descendante partant de l'estimation du modèle (8). La seule différence se situe au niveau des tables statistiques.

Il faut signaler que l'application du test ADF nécessite au préalable de choisir le nombre de retards (p) à introduire. Le choix de (p) peut être réalisé en utilisant les autocorrélations partielles de la série  $\Delta X_t$ . En effet, on étudie ces autocorrélations et l'on retient pour (p) le retard correspondant à la dernière auto-corrélation partielle significativement différente de zéro. En pratique et souvent on utilise les critères d'information tout en choisissant le nombre de retards qui minimise les critères AIC (Akaike) et SC (Schwartz).

#### a) Test PP (Phillips-Perron, 1988)

Ce test est construit sur une correction non paramétrique des statistiques de Dickey-Fuller Augmenté (il s'agit des mêmes hypothèses à vérifier) pour prendre en compte des erreurs hétéroscédastiques. Il se déroule en 4 étapes :

##### Etape1 :

Estimation par les MCO des trois modèles de base des tests DF et calcul des statistiques associées, soit le résidu estimé.

##### Etape2 :

Estimation de la variance dite de court terme :

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \hat{\varepsilon}_t^2 \quad (9)$$

##### Etape3 :

Estimation d'un facteur correctif  $s_t^2$  (appelé variance de long terme) établi à partir de la structure des covariances des résidus des modèles précédemment estimés de telle

---

<sup>31</sup>  $\varepsilon_t$  est un bruit blanc c.-à-d. un processus stationnaire qui suit une loi normale ( $N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ ).

<sup>32</sup> Voir Glossaire.

sorte que les transformations réalisées conduisent à des distributions identiques à celles du Dickey-Fuller :

$$s_t^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{\varepsilon}_i^2 + 2 \sum_{i=1}^l \left(1 - \frac{i}{l+1}\right) \frac{1}{n} \sum_{t=i+1}^n \hat{\varepsilon}_t \hat{\varepsilon}_{t-i} \quad (10)$$

Avec :  $l$  est un paramètre de troncature.

#### **Etape4 :**

Calcul de la statistique de PP :

$$t_{\hat{\rho}} = \sqrt{k} \frac{(\hat{\rho}-1)}{\hat{\sigma}_{\hat{\rho}}} + \frac{n(k-1)\hat{\sigma}_{\hat{\rho}}}{\sqrt{k}} \quad \text{où } k = \frac{\hat{\sigma}^2}{s_t^2} \quad (11)$$

Cette statistique est à comparer aux valeurs critiques de la table de Mackinnon. L'application de ce test est semblable à la stratégie séquentielle du test ADF. Pour cela et identiquement au test ADF, il est nécessaire de déterminer au préalable le paramètre de troncature  $l$ . Ainsi, Schwert (1989) a suggéré d'utiliser deux valeurs de  $l$  soient  $l_4$  et  $l_{12}$ <sup>33</sup>:

$$l_4 = \text{int} \left[ 4 \left( \frac{n}{100} \right)^{1/4} \right] \quad \text{et} \quad l_{12} = \text{int} \left[ 12 \left( \frac{n}{100} \right)^{1/4} \right]$$

Avec  $\text{int}[A]$  désigne la partie entière de  $A$ . Newey et West (1987) eux aussi ont proposé une valeur à ce paramètre tel que :  $l = \text{int} \left[ 4 \left( \frac{n}{100} \right)^{2/9} \right]$

Après présentation des tests de racine unitaire dont l'hypothèse nulle est la présence d'une racine unitaire tels que les tests ADF et PP, une autre catégorie de tests a été développée dont l'hypothèse nulle est la stationnarité contre l'hypothèse alternative est la non stationnarité. On s'intéresse pour notre cas au test de Kwiatkowski, Phillips, Schmidt et Shin (1992).

#### **b) Test KPSS (Kwiatkowski, Phillips, Schmidt et Shin)**

---

<sup>33</sup> MIGNON, V. and S. LARDIC, *Econométrie des séries temporelles macroéconomiques et financières*, ed. Economica. 2002.

La principale caractéristique du test KPSS est de tester l'hypothèse nulle d'absence de racine unitaire contre l'hypothèse alternative de présence d'une racine unitaire. Ce test est utilisé en cas d'une autocorrélation des résidus des modèles en niveau ou en tendance. Il est basé sur l'estimation du modèle suivant :

$$X_t = \delta t + r_t + \varepsilon_t \quad (12)$$

Avec :  $\varepsilon_t$  est un processus stationnaire et  $r_t$  est une marche aléatoire donnée par  $r_t = r_{t-1} + u_t$ . Il consiste à vérifier l'hypothèse nulle  $H_0 : \sigma_u^2 = 0 \Leftrightarrow r_t$  est constant. Kwiatkowski et al (1992) suggèrent d'utiliser un test du multiplicateur de Lagrange – LM) où  $S_t = \sum_{i=1}^t \rho_i, t=1, \dots, T$ ,  $\rho_i, i=1, \dots, T$  représentent les résidus de la régression de  $X_t$  sur une constante et un trend déterministe et  $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$  est un estimateur de la variance des résidus  $\rho_i$ . Si les erreurs ne sont pas iid, on remplace  $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$  par  $\hat{\sigma}_{Tl}^2$  :

$$\hat{\sigma}_{Tl}^2 = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \rho_t^2 + \frac{2}{T} \sum_{s=1}^l \left(1 - \frac{s}{l+1}\right) \sum_{t=s+1}^T \rho_t \rho_{t-s} \quad (13)$$

La statistique de test est donc calculée selon deux cas :

- $\eta_\mu = \frac{\sum_{t=1}^T S_t^2}{T^2 \hat{\sigma}_{Tl}^2}$  cas de la stationnarité autour d'un niveau avec  $\mu$  est l'indice qui fait référence à la régression de  $X_t$  sur une constante.

- $\eta_\tau = \frac{\sum_{t=1}^T \delta_t^2}{T^2 \hat{\sigma}_{Tl}^2}$  cas de la présence d'une tendance déterministe linéaire avec l'indice  $\tau$  fait référence à la régression de  $X_t$  sur une constante et un trend déterministe linéaire. Comment on peut remarquer ces deux statistiques dépendent du paramètre de troncature  $l$ .

Kwiatkowski et al. (1992) ont tabulé les valeurs critiques pour les 2 statistiques du test  $\eta_\mu$  et  $\eta_\tau$ . Pour la règle de décision, si la valeur calculée de  $\eta_\mu$  ou  $\eta_\tau$  est inférieure à la valeur critique correspondante, on accepte l'hypothèse nulle de stationnarité, sinon, on rejette l'hypothèse nulle de stationnarité.

Tous les tests de racine unitaire discutés ci-dessus sont affectés en cas d'instabilité du modèle considéré. Cependant, à cause des événements comme les chocs des prix de pétrole et les changements politiques, les modèles avec des coefficients constants sont de faibles performances explicatives et prévisionnelles. Il est donc important de tester la présence des changements structurels.

### 2.3.1.3. Tests de racine unitaire en présence de ruptures

Les tests ADF et PP ont résolu le problème du test DF simple à savoir le caractère non iid (indépendants et identiquement distribués) du résidu c'est-à-dire le problème d'auto-corrélation des erreurs. Un autre problème, sur lequel on s'intéresse, concerne l'existence de points de rupture dans les séries. Plus précisément, on peut s'interroger sur la manière dont les résultats des tests de racine unitaire sont affectés par l'existence de points de retournement dans les séries chronologiques. Ce problème se traduit par la non prise en compte d'une tendance déterministe. En effet, si la tendance est déterministe et s'il existe au moins un changement de pente non pris en compte alors une régression linéaire sera la source d'au moins d'une valeur de la somme des carrés des résidus très importante.

Passons à la présentation des différents tests de racine unitaire introduisant explicitement une modélisation de la tendance déterministe avec rupture de cette dernière. En effet, Perron (1989) a proposé des tests de racine unitaire en tenant compte d'une rupture structurelle avec trois modèles alternatifs : Crash model (changement exogène dans le niveau, Changing growth model (changement exogène dans la pente de la tendance), Mixed model (changement exogène dans le niveau et la pente de la tendance). Les analyses de Perron sont basées sur une observation a priori des données et elles supposent que les événements économiques (les dates de rupture) sont exogènes comme la crise pétrolière de 1973 ou la grande dépression de 1929. Cependant, Zivot et Andrews (1992) ont proposé de rendre le choix de ces dates endogènes.

#### a) Test de Perron

Plusieurs études ont constaté que les tests de racine unitaire standard contre l'alternative TS ne rejettent pas l'hypothèse nulle de présence de racine unitaire si le vrai processus n'est que des fluctuations stationnaires autour d'une tendance instable (contient une rupture). Ainsi, Perron (1989) a proposé des tests de racine unitaire en

tenant compte d'une rupture structurelle avec trois modèles alternatifs : Crash model, Changing growth model, Mixed model.

- *Crash model* : il permet d'avoir une rupture exogène dans le niveau de la série (la constante) :

$$y_t = \mu + dD(T_B)_t + y_{t-1} + e_t \text{ (A)} \quad (14)$$

- *Changing growth model* : il permet d'avoir une rupture exogène dans la pente de la tendance de la série :

$$y_t = \mu_1 + y_{t-1} + (\mu_2 - \mu_1)DU_t + e_t \text{ (B)} \quad (15)$$

- *Mixed model* : il permet d'avoir les deux cas en même temps c'est-à-dire une rupture en niveau et une autre dans la pente :

$$y_t = \mu_1 + y_{t-1} + dD(T_B)_t + (\mu_2 - \mu_1)DU_t + e_t \text{ (C)} \quad (16)$$

$$\text{Avec : } T_B \text{ est la date de rupture, } D(T_B)_t = \begin{cases} 1 & \text{si } t=T_B+1 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}, DU_t = \begin{cases} 1 & \text{si } t > T_B \\ 0 & \text{sinon} \end{cases},$$

Selon Perron ces trois modèles sont représentés sous l'hypothèse alternative comme suit :

$$\text{(A) } y_t = \mu_1 + \beta t + (\mu_2 - \mu_1)DU_t + e_t \quad (17)$$

$$\text{(B) } y_t = \mu + \beta_1 t + (\beta_2 - \beta_1)DT_t^* + e_t \quad (18)$$

$$\text{(C) } y_t = \mu_1 + \beta_1 t + (\mu_2 - \mu_1)DU_t + (\beta_2 - \beta_1)DT_t + e_t \quad (19)$$

$$\text{Avec : } DT_t^* = \begin{cases} t-T_B & \text{si } t > T_B \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}, DT_t = \begin{cases} 1 & \text{si } t > T_B \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}, \text{ et } T_B \text{ est la date de rupture.}$$

La construction des tests de racine unitaire commence selon Perron par enlever la tendance dans la série considérée selon le modèle (A), (B) ou (C) pour obtenir le résidu noté  $\tilde{y}_t^i, i = A, B, C$  de la régression de  $y_t$  sur :

- Une constante, une tendance et  $DU_t$ , pour  $i = A$ ,
- Une constante, un trend et  $DT_t^*$ , pour  $i = B$ ,
- Une constante, un trend,  $DU_t$  et  $DT_t$ , pour  $i = C$ ,

Par ailleurs, soit  $\tilde{\alpha}^i$  l'estimateur par MCO de  $\alpha^i$  dans la régression suivante :

$\tilde{y}_t^i = \tilde{\alpha}^i \tilde{y}_{t-1}^i + \tilde{\varepsilon}_t$ ,  $i = A, B, C$ ,  $t = 1, \dots, T$ , (\*) où  $\tilde{\varepsilon}_t$  est supposé i.i.d, Perron a déterminé les distributions asymptotiques de chaque  $T(\tilde{\alpha}^i - 1)$  et de chaque statistique  $t_{\tilde{\alpha}^i}$  de  $\tilde{\alpha}^i$  et les valeurs critiques correspondantes<sup>34</sup>. Si la valeur de  $t_{\tilde{\alpha}^i}$  est inférieure à la valeur critique, l'hypothèse nulle est rejetée.

La régression (\*) n'est valable que dans le cas des résidus non corrélés. Perron (1989) a généralisé son test afin de tenir compte de l'auto-corrélation des résidus. Donc, il faut présenter les deux possibilités proposées dans ce cadre. La première est l'inspiration du test ADF par une correction paramétrique qui conduit à une introduction des retards dans la régression (\*) :

$$\tilde{y}_t^i = \tilde{\alpha}^i \tilde{y}_{t-1}^i + \sum_{j=1}^k \tilde{c}_j \Delta \tilde{y}_{t-j}^i + \tilde{\varepsilon}_t, \quad i = A, B, C, \quad t = 1, \dots, T, \quad (20)$$

Avec  $\Delta \tilde{y}_{t-j}^i = \tilde{y}_t^i - \tilde{y}_{t-1}^i$

La deuxième est une correction non paramétrique à la manière de Phillips et Perron (1988).

Les analyses de Perron sont basées sur une observation a priori des données qui supposent que les événements économiques (les dates de rupture) sont exogènes comme la crise pétrolière de 1973. Ainsi, Christiano (1988), Zivot et Andrews (1992) s'interrogent pourquoi des événements, comme la guerre du Vietnam, ne sont pas considérés comme des chocs. Pour plus de clarté dans le choix des dates de rupture ces auteurs ont proposé de rendre le choix de ces dates endogène à travers plusieurs tests comme le test de Perron et Vogelsang (1992) et le test de Zivot et Andrews (1992).

### **b) Test de Zivot et Andrews**

Zivot et Andrews ont considéré l'hypothèse nulle de présence de racine unitaire avec constante stable contre l'hypothèse alternative du processus qui suit un TS permettant un changement dans la tendance ou le point de rupture est inconnu. Ainsi, les équations de régression qu'ils utilisent correspondent à celles de Perron :

---

<sup>34</sup>Voir tableau 4 et 5 dans Perron (1989) page 1376-1377.

➤ *Modèle A :*

$$y_t = \mu^A + \theta^A DU_t(\tau) + \delta^A t + \phi_1^A y_{t-1} + \sum_{j=1}^k \phi_j \Delta y_{t-j} + e_t, \quad (22)$$

➤ *Modèle B :*

$$y_t = \mu^B + \delta^B t + \gamma^B DT_1^*(\tau) + \phi_1^B y_{t-1} + \sum_{j=1}^k \phi_j \Delta y_{t-j} + e_t, \quad (23)$$

➤ *Modèle C :*

$$y_t = \mu^C + \theta^C DU_t(\tau) + \delta^C t + \gamma^C DT_1^*(\tau) + \phi_1^C y_{t-1} + \sum_{j=1}^k \phi_j \Delta y_{t-j} + e_t, \quad (24)$$

Avec :  $DU_t(\tau) = \begin{cases} 1 & \text{si } t > T\tau \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$ ,  $DT_1^*(\tau) = \begin{cases} t - T\tau & \text{si } t > T\tau \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$ , et  $\tau = \frac{T_B}{T}$  est le point de rupture et  $1 < T_B < T$ .

Les dates de rupture et les t-statistiques associées sont déterminées par les MCO. Selon Zivot et Andrews, on retient  $\tau^i$  qui donne la valeur la plus faible de la statistique de test unilatéral  $t_{\phi_1^i}(\tau)$ , ( $A, B, C$ ) pour tester  $\phi_1^i = 1$  ( $i = A, B, C$ ) (quand la valeur faible de la statistique est la règle de rejet de l'hypothèse nulle). Etant  $\hat{\tau}_{\text{inf}}^i$  cette valeur de  $\tau^i$  pour le modèle  $i$ , Zivot et Andrews proposent la statistique de test :

$$t_{\phi_1^i}(\hat{\tau}_{\text{inf}}^i) = \inf_{\tau \in \Lambda} t_{\phi_1^i}(\tau), \quad i = A, B, C, \quad (25)$$

Où  $\Lambda$  est un sous-ensemble fermé de  $(0,1)$ . Ils ont calculé les valeurs critiques des distributions limites des statistiques par simulation. Ils ont également calculé le niveau de la distorsion des tests de Perron induite par la tendance. Les niveaux réels des tests de Perron sont de l'ordre de 55.1% pour le modèle (A), 14.2% pour le modèle (B) et 34.5% pour le modèle (C) pour un niveau affiché de 5%.

A ce niveau et après présentation des différents tests de stationnarité, il est temps de signaler que l'étude de la stationnarité est nécessaire pour l'étude des différentes relations existantes entre les variables, à savoir l'étude de la cointégration et de la causalité. En effet, en étudiant la stationnarité des séries chronologiques nous pouvons déduire leur ordre d'intégration. Si elles sont intégrées de même d'ordre, alors elles

peuvent être cointégrées et admettent en conséquence une représentation de correction d'erreur vectorielle.

### 2.3.2. Cointégration

La cointégration représente l'étape qui suit l'étude de la stationnarité selon notre stratégie économétrique (Fig.16).

#### 2.3.2.1. Notion de cointégration

La théorie de la cointégration a marqué son départ au milieu des années 1980 exactement en 1974 par Engle et Newbold. En effet, elle a été développée par Engle et Granger (1987) pour traiter les liens entre les composantes non stationnaires de plusieurs séries temporelles. L'idée de base est que ces composantes peuvent être dans un certain sens neutralisées par une ou plusieurs combinaisons linéaires des séries en questions pour donner lieu à une ou plusieurs séries stationnaires. Si  $X_t$  et  $Y_t$  sont deux séries  $I(d)$  alors en général la combinaison linéaire  $Z_t = X_t - aY_t$  est aussi  $I(d)$ . Cependant, il est possible que  $Z_t$  ne suit pas  $I(d)$  mais  $I(d-b)$  où  $b > 0$ , dans ce cas  $X_t$  et  $Y_t$  sont dites cointégrées et le vecteur  $(1, -a)$  est le vecteur de cointégration.

Graphiquement,  $X_t$  et  $Y_t$  peuvent avoir une évolution divergente (elles sont toutes les deux non stationnaires) à court terme mais elles vont évoluer ensemble à long terme. Il existe donc une relation stable à long terme entre  $X_t$  et  $Y_t$ . Cette relation est appelée relation de cointégration ou encore relation de long terme, elle est donnée par  $X_t = aY_t + z_t$  ( $z_t = 0$ ). A long terme les séries  $X_t$  et  $Y_t$  possèdent des mouvements tendanciels similaires qui, par combinaison linéaire, vont se compenser afin d'obtenir une série stationnaire. Si les séries sont cointégrées, la trajectoire de  $z_t$  restera au voisinage de sa moyenne qui est finie. Donc  $z_t$  mesure l'ampleur du déséquilibre dans la relation entre  $X_t$  et  $Y_t$  que Granger (1986) qualifié « d'erreur d'équilibre ». Par contre, si les séries ne sont pas cointégrées, elles divergeraient avec une probabilité unitaire, leur différence étant non stationnaire. D'où il n'existe pas forcément une valeur de  $a$  qui donne un  $z_t \sim I(0)$ .

Le cas le plus étudié correspond à  $d = b = 1$  qui a été évoqué par Engel et Granger (1987). Ainsi deux séries non stationnaires c'est à dire  $X_t \sim I(1)$  et  $Y_t \sim I(1)$  sont dites cointégrées s'il existe une combinaison linéaire stationnaire c'est-à-dire  $z_t \sim I(0)$ . Si  $z_t = X_t - aY_t$ ,  $X_t$  et  $Y_t$  évoluent de façon proche et si  $a = 1$  leur différence sera  $z_t \sim I(0)$ .

Pour étudier l'existence de relation de cointégration, deux approches du test sont souvent utilisées, la méthode en deux étapes (Engle et Granger (1987)) et la méthode du maximum de vraisemblance (Johansen (1988,1991)). Au sein de ce premier chapitre on se limite à la seconde méthode et la première sera présentée et utilisée dans la deuxième partie.

### 2.3.2.2. Test de cointégration de Johansen (1988)

Ce test permet de déterminer le nombre de relation d'équilibre à long terme entre des variables intégrées de même ordre quel que soit la normalisation utilisée. Johansen a représenté un vecteur  $X_t$  contenant  $N$  variables toutes  $I(1)$  sous la forme d'un modèle VAR( $p$ )<sup>35</sup> :

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \dots + \phi_p X_{t-p} + \varepsilon_t \quad (30)$$

Où  $\varepsilon_t \sim BB(0, \Omega)$  et les  $\phi_i (i=1, \dots, p)$  sont des matrices de paramètres de taille  $(N \times N)$ . On commence tout d'abord par l'estimation des paramètres contraints par l'hypothèse de cointégration. On réécrit l'équation (30) sous la forme d'un modèle à correction d'erreur :

$$\Delta X_t = \pi_1 \Delta X_{t-1} + \dots + \pi_{p-1} \Delta X_{t-p+1} + \pi_p X_{t-p} + \varepsilon_t \quad (31)$$

Avec :  $\pi_i = -I + \phi_1 + \phi_2 + \dots + \phi_i$  pour  $i = 1, \dots, p$

Les matrices  $\pi_i (i = 1, \dots, p)$  sont de taille  $(N \times N)$ . Tous les termes de ce modèle sont  $I(0)$  sauf  $X_{t-p}$  qui est  $I(1)$ . Il y a donc un déséquilibre entre l'ordre d'intégration du membre de gauche et les termes du membre de droite.

---

<sup>35</sup> Voir Glossaire page??

Pour que les deux membres soient  $I(0)$  une condition nécessaire est que  $\pi_p X_{t-p}$  soit  $I(0)$ . On pose  $\pi_p = -\beta\alpha'$  où  $\alpha'$  une matrice  $(r, N)$  qui contient les  $r$  vecteurs cointégrants et  $\beta$  est une matrice  $(N, r)$  qui contient les poids associés à chaque vecteur de cointégration.

L'équation (31) se réécrit :

$$X_t = \pi_1 \Delta X_{t-1} + \dots + \pi_{p-1} \Delta X_{t-p+1} - \beta\alpha' X_{t-p} + \varepsilon_t \quad (32)$$

Pour estimer les différentes matrices, Johansen (1988,1989) propose d'utiliser la méthode du maximum de vraisemblance. Sous l'hypothèse de normalité de  $\varepsilon_t$ , la log-vraisemblance s'écrit :

$$\text{Log}L(\beta, \alpha, \pi_1, \dots, \pi_{p-1}, \Omega) = -\frac{NT}{2} \text{Log} 2\pi - \frac{T}{2} \text{Log}(\det \Omega) - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \varepsilon_t' \Omega^{-1} \varepsilon_t \quad (33)$$

Où  $T$  est le nombre d'observations,  $N$  est le nombre de variables contenues dans  $X$  et  $\det(\Omega)$  désigne le déterminant de la matrice variance-covariance de  $\varepsilon_t$ .

On concentre la log-vraisemblance par rapport aux paramètres  $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{p-1}$ . Ceci revient à effectuer la régression de  $e_{0t}$  sur  $e_{pt}$ . Ce sont les résidus estimés par les MCO des relations :

$$\begin{cases} \Delta X_t = \theta_{0i} \Delta X_{t-1} + \dots + \theta_{0,p-1} \Delta X_{t-p+1} + e_{0t} \\ X_{t-p} = \theta_{1i} \Delta X_{t-1} + \dots + \theta_{1,p-1} \Delta X_{t-p+1} + e_{pt} \end{cases} \quad \forall i = 1, \dots, p-1 \quad (34)$$

Avec :  $\theta_{0i} = (\pi_i - \beta\alpha' \pi_i)$  et  $\theta_{1i} = \pi_i$

En reprenant l'équation 32, il vient :

$$\Delta X_t + \beta\alpha' X_{t-p} = \pi_1 \Delta X_{t-1} + \dots + \pi_{p-1} \Delta X_{t-p+1} + \varepsilon_t \quad (35)$$

$$\Leftrightarrow \Delta X_t + \beta\alpha' X_{t-p} = \pi_1 \Delta X_{t-1} + \dots + \pi_{p-1} \Delta X_{t-p+1} + \beta\alpha' [\pi_1 \Delta X_{t-1} + \dots + \pi_{p-1} \Delta X_{t-p+1}] - \beta\alpha' [\pi_1 \Delta X_{t-1} + \dots + \pi_{p-1} \Delta X_{t-p+1}] + \varepsilon_t \quad (36)$$

En regroupant et en factorisant, il vient :

$$e_{0t} + \beta\alpha' e_{pt} = \varepsilon_t \quad (37)$$

On peut alors écrire la Log-vraisemblance comme suit :

$$\text{Log}L(\beta, \alpha, \Omega) = -\frac{NT}{2} \text{Log} 2\pi - \frac{T}{2} \text{Log} [\det(\Omega)] - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T (e_{0t} + \beta\alpha'e_{pt})' \Omega^{-1} (e_{0t} + \beta\alpha'e_{pt}) \quad (38)$$

On maximise cette expression par rapport à  $\beta$  et  $\Omega$  pour  $\alpha$  fixé. Les solutions pour  $\beta$  et  $\Omega$  sont alors :

$$\begin{aligned} \hat{\beta}(\alpha) &= S_{0p} \alpha (\alpha' S_{pp} \alpha)^{-1} \\ \hat{\Omega}(\alpha) &= S_{00} - S_{0p} \alpha (\alpha' S_{pp} \alpha)^{-1} \alpha' S_{p0} \end{aligned} \quad (39)$$

Où  $S_{ij} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T e_{it} e_{jt}'$  (les matrices de variance-covariance de  $e_{0t}$  et  $e_{pt}$ ) pour  $i, j = 0, p$ .

La concentration de l'équation (38) par rapport à  $\Omega$  permet d'obtenir une expression simple de la Log-vraisemblance :

Si on note  $A = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T (e_{0t} + \beta\alpha'e_{pt})' \Omega^{-1} (e_{0t} + \beta\alpha'e_{pt})$  et comme cette expression est un réel on va utiliser la trace pour pouvoir commenter les matrices ; soit  $A = \frac{1}{2} \text{tr} \Omega^{-1} \sum_{t=1}^T (e_{0t} + \beta\alpha'e_{pt})' (e_{0t} + \beta\alpha'e_{pt})$ , Dhymes (1970) a montré que

$$\hat{\Omega} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (e_{0t} + \beta\alpha'e_{pt})' (e_{0t} + \beta\alpha'e_{pt}) \quad (40)$$

$$\text{Donc : } A = \frac{T}{2} \text{tr} I_N = N \frac{T}{2} \quad (41)$$

La Log-vraisemblance concentrée est :

$$\text{Log}L(\alpha) = -\frac{NT}{2} \text{Log} 2\pi - \frac{T}{2} \text{Log} [\det \hat{\Omega}(\alpha)] - \frac{NT}{2} \quad (42)$$

Dans ce cas la log-vraisemblance ne dépend plus que de  $[\det \hat{\Omega}(\alpha)]$ .

- *L'estimation des vecteurs de cointégration :*

Maximiser la log-vraisemblance par rapport à  $\hat{\Omega}(\alpha)$  est équivalent à résoudre le programme de minimisation suivant :

$$\text{Min}_{\alpha} \left( \det \hat{\Omega}(\alpha) \right) = \text{Min}_{\alpha} \det \left[ S_{00} - S_{0p} \alpha (\alpha' S_{pp} \alpha)^{-1} \alpha' S_{p0} \right] \quad (43)$$

Or d'après la formule de calcul du déterminant par blocs on a :

$$\begin{aligned} \left| \begin{array}{cc} S_{00} & S_{0p} \alpha \\ \alpha' S_{p0} & \alpha' S_{pp} \alpha \end{array} \right| &= |S_{00}| \cdot |\alpha' S_{pp} \alpha - \alpha' S_{p0} S_{00}^{-1} S_{0p} \alpha| \\ &= |\alpha' S_{pp} \alpha| \cdot |S_{00} - S_{0p} \alpha (\alpha' S_{pp} \alpha)^{-1} \alpha' S_{p0}| \end{aligned} \quad (44)$$

On doit minimiser :

$$\text{Min}_{\alpha} \frac{|\alpha' S_{pp} \alpha - \alpha' S_{p0} S_{00}^{-1} S_{0p} \alpha|}{|\alpha' S_{pp} \alpha|} \quad (45)$$

La solution d'un tel problème est proposée par Anderson (1984).

Pour obtenir les vecteurs cointégrants il faut trouver les  $N$  valeurs propres de l'équilibre  $|\lambda - S_{pp} - S_{p0} S_{00}^{-1} S_{0p}| = 0$ . La résolution de cette équation nous donne les  $N$  valeurs propres estimées  $(\hat{\lambda}_1, \dots, \hat{\lambda}_N)$  et les  $N$  vecteurs propres estimés  $(\hat{v}_1, \dots, \hat{v}_N)$ , avec la condition de normalisation  $\hat{V}' S_{pp} \hat{V} = I$  où  $\hat{V}$  est la matrice des vecteurs propres estimés. Les estimateurs du maximum de vraisemblance des paramètres  $(\pi_1, \dots, \pi_{p-1})$  et  $\beta$  sont fournies à partir des MCO appliqués à l'équation (31) en ayant au paravent remplacé  $\alpha$  par son estimateur  $\hat{\alpha}$ .

Les estimateurs de  $\beta$  et  $\Omega$  sont :

$$\begin{cases} \hat{\beta} = -S_{0p} \hat{\alpha} (\hat{\alpha}' S_{pp} \hat{\alpha})^{-1} = -S_{0p} \hat{\alpha} \\ \hat{\Omega} = S_{00} - S_{0p} \hat{\alpha} \hat{\alpha}' S_{p0} = S_{00} - \hat{\beta} \hat{\beta}' \end{cases} \quad (46)$$

Les  $r$  vecteurs cointégrants sont fournis par les  $r$  vecteurs propres les plus significatifs c'est à dire les  $r$  vecteurs propres qui correspondent aux  $r$  plus grandes valeurs propres solutions de l'équation :  $|\lambda S_{pp} - S_{p0} S_{00}^{-1} S_{0p}| = 0$

Pour trouver la valeur de  $r$  (c'est à dire le nombre de vecteurs de cointégration) Johansen a proposé d'employer deux statistiques :

$$\lambda_{trace} = TR = -T \sum_{i=q+1}^N \text{Log}(1 - \hat{\lambda}_i) \quad (47)$$

$$VP_{\max} = -T \text{Log}(1 - \hat{\lambda}_{q+1})$$

$\lambda_{trace}$  teste l'hypothèse nulle :  $r \leq q$  c'est à dire qu'il existe au plus  $r$  vecteurs de cointégration. Ce test revient à tester le rang de la matrice  $\pi_p$  c'est à dire on teste  $H_0 : \text{Rg}(\pi_p) = r$ .

Ainsi, Johansen (1988) a montré que sous  $H_0$  la statistique  $\lambda_{trace}$  a pour loi asymptotique la loi de :

$$\left[ \int_0^1 W(r) dW'(r) \left( \int_0^1 W(r) W'(r) dr \right)^{-1} \int_0^1 dW(r) W'(r) \right]$$

Où  $W$  est un mouvement brownien de matrice variance-covariance la matrice identité. Les valeurs critiques de la statistique  $\lambda_{trace}$  ont été tabulées par Johansen et Juselius (1990) puis par Osterwald-Lenum (1992). Le tableau des valeurs critiques de Osterwald-Lenum fait la distinction de 4 cas :

- **Cas 1** : absence de constante dans le modèle à correction d'erreur (les séries n'ont pas de trend linéaire) et dans les relations de cointégration.
  - **Cas 2** : constante dans le modèle à correction d'erreur (les séries sont caractérisées par des trends linéaires) et dans les relations de cointégration.
  - **Cas 3** : constante dans les relations de cointégration mais pas dans le modèle à correction d'erreur (les séries n'ont pas le trend linéaire).
  - **Cas 4** : constante dans le modèle à correction d'erreur (les séries sont caractérisées par un trend linéaire) et constante et tendance dans les relations de cointégration.
- **La règle de décision :**

On rejette l'hypothèse nulle de  $r$  relations de cointégration lorsque la statistique  $\lambda_{trace}$  est supérieure à sa valeur critique, donc on a trois cas à distinguer:

**1<sup>er</sup> cas** :  $Rg(\pi_p) = 0$ , cela signifie que  $r=0$  il n'existe pas de relation de cointégration. Dans ce cas  $X_t$  est intégré d'ordre 1 mais non cointégré. Il est alors possible d'estimer un modèle VAR sur  $\Delta X_t$ .

**2<sup>ème</sup> cas** :  $Rg(\pi_p) = r$ , avec  $0 < r < N$ , cela signifie que  $X_t$  est cointégré de rang  $r$  et qu'il existe donc  $r$  relations de cointégration. Un modèle à correction d'erreur peut alors être estimé.

**3<sup>ème</sup> cas** :  $Rg(\pi_p) = N$ , en d'autres termes,  $r=N$  c'est à dire que  $\pi_p$  est de plein rang. Dans ce cas,  $X_t$  est stationnaire et il n'existe pas de relation de cointégration. Un modèle VAR peut être estimé directement sur  $X_t$ .

Il est important de noter que le test de la trace permet de déterminer le nombre de relations de cointégration mais n'indique pas les variables qui sont cointégrées.

Pour la statistique  $VP_{\max}$  elle teste l'hypothèse nulle  $r=q$  contre l'hypothèse alternative  $r=q+1$ .

D'autres tests de cointégration ont été proposés par Engle Granger tels que : test RVAR (Restricted VAR), test ARVAR (Augmented RVAR), test UVAR (Unrestricted VAR)... Cependant, ces tests ne tiennent pas compte du changement des paramètres au cours du temps. Ainsi, beaucoup de tests d'instabilité de la cointégration ont été fondé à savoir le test de stabilité de la relation cointégrante de Hansen (1992) et celui de Gregory et Hansen (1996), de Quintos (1995) et de Inoue (1999).

### 2.3.2.3. Tests de cointégration avec changements structurels

Une étape cruciale avant le test de cointégration en présence de rupture consiste à valider la présence ou pas d'une instabilité des paramètres à partir des trois statistiques de Hansen [1992] : SupF, MeanF, LC<sup>36</sup>. Ainsi, dans le cas où on accepte l'hypothèse nulle de stabilité des paramètres, on vérifie à partir des tests de racine unitaire "classiques", l'existence d'une relation de cointégration. Dans le cas contraire, on passe à l'étape suivante. Les valeurs critiques des trois tests sont obtenues par Hansen [1992] à partir des simulations de Monte Carlo. Elles dépendent du nombre ( $p$ ) de variables

---

<sup>36</sup> Gregory, A.W., & Hansen, B.E, Residual-based tests for cointegration in models with regime shifts, Journal of economics, 99-126

déterministes, et du nombre ( $m$ ) de variables explicatives. La règle de décision de ce test consiste à accepter l'hypothèse nulle de stabilité des paramètres si les statistiques calculées sont inférieures aux valeurs critiques correspondantes. Néanmoins, il est possible que les trois tests donnent des résultats contradictoires. Les tests ne sont pas substituables, il est important de les réaliser simultanément.

Les tests de stabilité sont réalisés sur des variables en niveau, mais ils ne déterminent pas la présence de relation de cointégration entre les variables. Etant donné le caractère intégré des variables et celui instable de la régression, donc on teste dans l'étape suivante, la présence d'une relation de cointégration avec rupture via les tests de cointégration en présence de rupture.

Parmi ces tests on présentera le test de Gregory et Hansen (1996) qui ont proposé des tests ADF,  $Z_\alpha$  et  $Z_t$  pour tester la non cointégration contre la cointégration en présence d'éventuelle changement dans la partie déterministe ainsi que le vecteur  $\beta$  des pentes. En fait, pour modéliser le changement structurel, les auteurs considèrent la variable dummy :

$$D_{tr} = \begin{cases} 0 & \text{si } t \leq [T\tau], \\ 1 & \text{si } t > [T\tau], \end{cases}$$

Avec :  $\tau \in (0,1)$  et  $[.]$  dénote la partie entière de  $(.)$ .

Etant donné un vecteur  $y_t = (y_{1t}, y_{2t})$ , où  $y_{1t}$  est à valeur réelle et  $y_{2t}$  est un vecteur  $m \times 1$ , la relation de cointégration standard d'équilibre de long terme (sans changement structurel) est :

➤ *Modèle 1 :*

$$y_{1t} = \mu + \beta' y_{2t} + e_t, \quad t = 1, \dots, T \quad (48)$$

Avec :  $y_{2t} \sim I(1)$ ,  $e_t \sim I(0)$  et  $\mu$  est la constante et  $\beta$  est le vecteur des pentes.

➤ *Modèle 2 (C) : Level shift :*

Un changement dans  $\mu$  du modèle 1 (avec  $\beta$  est stable) permet de donner ce modèle qui s'écrit sous la forme :

$$y_{1t} = \mu_1 + \mu_2 D_{tr} + \beta' y_{2t} + e_t, \quad t = 1, \dots, T \quad (49)$$

➤ *Modèle 3 (C/T): Level shift with trend:*

Si on introduit une tendance dans le modèle 2 on aura :

$$y_{1t} = \mu_1 + \mu_2 D_{t\tau} + \gamma t + \beta' y_{2t} + e_t, \quad t = 1, \dots, T \quad (50)$$

➤ *Modèle 4 (C/S) : Regime schift :*

Dans ce modèle le changement structurel considéré par GH concerne le vecteur  $\beta$ . Le modèle dans ce cas s'écrit comme suit :

$$y_{1t} = \mu_1 + \mu_2 D_{t\tau} + \beta_1' y_{2t} + \beta_2' y_{2t} D_{t\tau} + e_t, \quad t = 1, \dots, T \quad (51)$$

Pour chaque  $\tau$ , les modèles 2, 3 et 4 sont estimés par les MCO afin d'avoir les résidus  $\hat{e}_t$ .

Les statistiques de Phillips sont les suivantes :

$$\begin{aligned} Z_\alpha(\tau) &= T(\hat{\rho}_\tau^* - 1), \\ Z_t(\tau) &= (\hat{\rho}_\tau^* - 1) / \hat{s}_\tau \end{aligned} \quad (52)$$

Avec :

$$\begin{aligned} \hat{s}_\tau^2 &= \hat{\sigma}_\tau^2 / \sum_{t=1}^{T-1} \hat{e}_{t\tau}^2, \\ \hat{\rho}_\tau^* &= \sum_{t=1}^{T-1} (\hat{e}_{t\tau} \hat{e}_{(t+1)\tau} - \hat{\pi}_\tau) / \sum_{t=1}^{T-1} \hat{e}_{t\tau}^2, \\ \sum_{j=1}^M w\left(\frac{j}{m}\right) \hat{\gamma}_\tau(j) &: \text{est une moyenne pondérée des autocovariances } \hat{\gamma}_\tau(j), \\ \hat{\gamma}_\tau(j) &= \frac{1}{T} \sum_{t=j+1}^T \hat{v}_{(t-j)\tau} \hat{v}_{t\tau}, \\ \hat{v}_{t\tau} &= \hat{e}_{t\tau} - \hat{\rho}_\tau \hat{e}_{(t-1)\tau}, \\ \hat{\rho}_\tau &= \sum_{t=1}^{T-1} \hat{e}_{t\tau} \hat{e}_{(t+1)\tau} / \sum_{t=1}^{T-1} \hat{e}_{t\tau}^2. \end{aligned}$$

Chaque statistique du test est calculée pour chaque point de rupture de l'intervalle  $J = (0.15T, 0.85T)$ .

La statistique ADF est le T (statistique de Student) associé à  $\hat{e}_{(t-1)\tau}$  dans la régression de  $\Delta \hat{e}_{t\tau}$  sur  $\hat{e}_{(t-1)\tau}$ ,  $\Delta \hat{e}_{(t-1)\tau}$ , K et  $\Delta \hat{e}_{(t-k)\tau}$ . Cette statistique est notée par GH par :

$$ADF(\tau) = \hat{t}_{\hat{\varepsilon}(t-1)\tau} \quad (53)$$

Ces statistiques sont définies pour une  $\tau$  donnée. Ainsi, dans le cas où  $\tau$  est inconnue les statistiques proposées sont les suivantes :

$$\begin{aligned} Z_\alpha^* &= \inf_{\lambda \in J} Z_\alpha(\tau), \\ Z_t^* &= \inf_{\lambda \in J} Z_t(\tau), \\ ADF^* &= \inf_{\lambda \in J} ADF(\tau) \end{aligned} \quad (54)$$

Où  $J = (0.15T, 0.85T) \subset [0, 1]$ .

➤ *La règle de décision:*

L'hypothèse du non cointégration est rejetée en faveur de la cointégration en présence d'un changement structurel si la statistique considérée est inférieure au point critique donnée par GH.

Il faut signaler qu'il y a d'autres tests de la cointégration en présence de changement de régime essentiellement ceux basés sur un système d'équations. Parmi ces tests on peut citer le test proposé par Quintos (1995) qui s'intéresse au changement du nombre de vecteurs de cointégration, et le test proposé par Inoue (1999) qui suppose que le changement est dans la composante déterministe des processus considérés.

Le théorème de Granger associe la présence d'une relation de cointégration à l'existence d'une représentation ECM qui permet de corriger les écarts afin de converger vers la cible de long terme. Granger (1983) a montré que tout système cointégré admet une représentation ECM. En plus, l'existence de cointégration entre les variables considérées, élimine le non causalité au sens de Granger, et le test de causalité dans ce cas devrait être réalisé au sein d'un VECM (Vector Error Correction Model). Dans le cas de non cointégration, le test de causalité de Granger sera réalisé sur un modèle VAR (Vector Auto-Regressif) en différence.

Considérons un vecteur  $X_t$  de  $N$  séries  $I(1)$  admettant la représentation de Wold :

$(1-L)X_t = C(L)\varepsilon_t$  où  $\varepsilon_t \sim BB$  et  $C(0) = I$  aucune ligne de  $C(1)$  n'est pas nulle (si une ligne est nulle cela signifie qu'une des composantes est transitoire).

Deux cas possibles sont à distinguer :

- ❖ 1<sup>er</sup> cas : Les composantes de  $X_t$  ne sont pas cointégrées, dans ce cas,  $X_t$  peut être représenté sous la forme d'un modèle VAR (en différences premières) ou VARMA :

$$\Phi(L)\Delta X_t = \varepsilon_t \quad \text{ou} \quad \Phi(L)\Delta X_t = \Omega(L)\varepsilon_t \quad (55)$$

Ce modèle ne décrit que le comportement de court terme de  $X_t$ .

- ❖ 2<sup>ème</sup> cas : Les composantes de  $X_t$  sont cointégrées de rang  $r$ . Dans ce cas  $X_t$  admet :  
Une représentation VARMA (ou VAR si  $d(L) = 1$ ) :

$$A(L)X_t = d(L)\varepsilon_t \quad (56)$$

Avec :

- Rang  $A(1) = r$
- $A(0) = I$
- $d(L)$  est un polynôme scalaire fixe en  $L$
- $\varepsilon_T \sim BB$ .

Une représentation à correction d'erreur :

$$A^*(L)\Delta X_t = -\gamma Z_{t-1} + d(L)\varepsilon_t \quad \text{où} \quad Z_t = \alpha' X_t \quad (57)$$

On s'intéresse ainsi aux dynamiques de court et de long terme de  $X_t$ .

Si le rang de cointégration du vecteur  $X_t$  à  $N$  composantes est  $r$  cela implique que les  $r$  tendances stochastiques sont éliminées. Il ne reste donc que  $N - r$  tendances qui deviennent communes aux  $N$  composantes de  $X_t$ .

On peut alors établir une représentation en tendances communes due à Stock et Watson (1988). Cette représentation consiste à représenter  $X_t$  sous la forme d'une combinaison linéaire de  $N$  tendances déterministes de  $(N - r)$  tendances stochastiques (marches aléatoires) et de  $N$  termes aléatoires stationnaires. D'où le théorème de Granger montre

que les variables cointégrées peuvent être représentées sous la forme d'un modèle à correction d'erreur. La réciproque est vraie c'est à dire :

Si  $X_t \sim I(1)$  est généré par un ECM alors  $X_t$  est cointégré.

### **2.3.3. Modèle à correction d'erreur (ECM)**

La méthodologie ECM a été développée par Hendry. Ainsi, la présence de la cointégration signifie l'existence d'une relation d'état stationnaire entre deux séries de variables qui ont une tendance commune à évoluer dans le même sens. D'après le théorème de représentation de Granger précité, tout système cointégré implique l'existence d'un mécanisme à correction d'erreur qui détourne les variables de trop se retirer de leur équilibre de long terme.

#### **2.3.3.1. Raisons d'utilisation des modèles à correction d'erreur**

La modélisation ARMA n'est valable que pour des séries stationnaires. Si les séries sont stationnaires stochastiquement on a vu que les différencier suffisait à les rendre stationnaires. Cette opération de différenciation a cependant deux limites :

- Elle ne prend en compte que les changements intervenus d'une période à une autre. Les relations entre les niveaux des variables ne sont pas étudiées. Ainsi, l'application des méthodes de filtrage pour rendre les variables stationnaires masque les propriétés de long terme des séries temporelles.
- Si des relations stables existent à long terme entre des variables, on parle alors de relation de cointégration. Les modèles classiques tels que les processus ARMA sont incapables d'en rendre compte.
- La théorie économique ne précise pas toujours explicitement comment les ajustements permettant d'arriver à une situation d'équilibre de long terme ou à un objectif prédéterminé.

A partir de ces limites une question qui se pose : Comment réconcilier les horizons temporels (de court terme et de long terme) afin de disposer d'une information complète sur la nature et la modification des relations dans le temps ?

La réponse à cette question est présentée par la modélisation ECM (Error Correction Models). En effet, l'apport de cette modélisation réside dans la possibilité de distinguer les mouvements de court terme. En plus, cette modélisation a la particularité d'estimer

des relations économétriques calées sur une cible de long terme déterminée par la théorie économique. Donc les ECM sont des modélisations dynamiques qui intègrent à la fois les évolutions de court terme et de long terme des variables. On peut ainsi donner la présentation de ces modèles.

### 2.3.3.2. Présentation des modèles à correction d'erreur

Comme son nom l'indique, elle consiste à corriger le biais d'estimation induit par la cointégration. Soient donc  $X_t$  et  $Y_t$  deux variables  $CI(1,1)$ . Le modèle à correction d'erreur s'écrit comme suit :

$$\begin{cases} \Delta X_t = \gamma_1 Z_{t-1} + \sum_{i=1}^2 \Delta X_{t-i} + \sum_{j=1}^2 \Delta Y_{t-j} + d_1(L) \varepsilon_{X_t} \\ \Delta Y_t = \gamma_2 Z_{t-1} + \sum_{i=1}^2 \beta_i' \Delta X_{t-i} + \sum_{j=1}^2 \delta_j' \Delta Y_{t-j} + d_2(L) \varepsilon_{Y_t} \end{cases} \quad (58)$$

Où :

- $\varepsilon_{X_t}$  et  $\varepsilon_{Y_t}$  sont deux bruits blancs.
- $Z_t = X_t - aY_t$  est le résidu de la relation de cointégration entre  $X_t$  et  $Y_t$ .
- $d_1$  et  $d_2$  sont des polynômes finis en L.

Les coefficients  $\gamma_i (i=1,2)$  représentent la force de rappel vers la cible de long terme donnée par la relation de cointégration. On doit avoir  $\gamma_i (i=1,2) < 0$  et  $|\gamma_1| + |\gamma_2| < 0$  sinon il n'existe pas du phénomène de retour à l'équilibre.

Un vecteur  $X_t$  a une représentation à correction d'erreur s'il peut être écrit sous la forme :

$$A(L)\Delta X_t = -\gamma Z_{t-1} + d(L)\varepsilon_t \quad (59)$$

Avec :

- $\varepsilon_t$  est un bruit blanc,
- $A(0) = I$ ,
- $A(1)$  ne comporte que des termes finis,

- $Z_t = \alpha' X_t$  où  $\alpha$  est le vecteur de cointégration,
- $\gamma \neq 0$ ,

Cette relation correspond à un modèle VAR dans lequel des variables retardées d'une période sont en niveau. Puisque  $A(0) = I$  il s'agit d'une forme réduite. Ce modèle est parfois appelé modèle VAR à correction d'erreur (VAR-ECM) ou encore CVAR (VAR avec cointégration) qui est la même que modèle à correction d'erreur (ECM).

Après avoir défini la théorie de cointégration et exposer les modèles à correction d'erreur et leur lien avec cette théorie, nous avons besoin de savoir le sens de cette relation en étudiant la causalité entre les variables.

### 2.3.4. Causalité

La recherche du sens de causalité entre les variables est aussi importante que la mise en évidence d'une liaison entre eux. Il existe plusieurs définitions de la causalité, nous nous limiterons à l'exposé une parmi eux qui est : la causalité au sens de Granger (1969).

#### 2.3.4.1. Définition de la causalité

La question est de savoir si la variable  $X$  cause ou non la variable  $Y$ .

On dit que la variable  $Y$  cause au sens de Granger la variable  $X$  si et seulement si la connaissance du passé de  $Y$  améliore la prévision de  $X$  à tout horizon. Autrement :

❖  $Y$  cause  $X$  à la date  $t$  si et seulement si :

$$E(X_t / X_{t-1}, Y_{t-1}) \neq E(X_t / X_{t-1}) \quad (60)$$

Avec :

- $X_{t-1} = \{X_{t-1}, X_{t-2}, \dots\} = \{X_{t-i}, i \geq 1\}$ ,
- $Y_{t-1} = \{Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots\} = \{Y_{t-i}, i \geq 1\}$ ,

❖  $Y$  cause  $X$  instantanément à la date  $t$  si et seulement si :

$$E(X_t / X_{t-1}, Y_t) \neq E(X_t / X_{t-1}, Y_{t-1}) \quad (61)$$

Avec  $Y_t = \{Y_t, Y_{t-1}, \dots\} = \{Y_{t-i}, i \geq 0\}$

Il résulte des propriétés de la régression linéaire théorique qu'une prévision d'une variable fondée sur plus d'information est nécessairement meilleure. Ainsi on a toujours :

$$V_{\varepsilon}(X_t / X_{t-1}, Y_{t-1}) \leq V_{\varepsilon}(X_t / X_{t-1}) \quad (62)$$

Avec  $V_{\varepsilon}$  désigne la matrice de variance covariance de l'erreur de prévision.

Donc on peut présenter la condition de non causalité. En effet,  $Y$  ne cause pas  $X$  à la date  $t$  si :

$$V_{\varepsilon}(X_t / X_{t-1}, Y_{t-1}) = V_{\varepsilon}(X_t / X_{t-1}) \quad (63)$$

#### 2.3.4.2. Mesures de la causalité

On peut définir des mesures de causalité :

❖ *Mesure de causalité de  $Y$  vers  $X$  :*

$$C_{Y \rightarrow X} = \text{Log} \left[ \frac{\det V_{\varepsilon}(X_t / X_{t-1})}{\det V_{\varepsilon}(X_t / X_{t-1}, Y_{t-1})} \right] \quad (64)$$

Si  $Y$  ne cause pas  $X$  alors  $C_{Y \rightarrow X} = 0$  sinon  $C_{Y \rightarrow X} > 0$ .

❖ *Mesure de causalité instantanée de  $Y$  vers  $X$  :*

$$C_{Y \rightarrow X} = \text{Log} \left[ \frac{\det V_{\varepsilon}(X_t / X_{t-1}, Y_{t-1})}{\det V_{\varepsilon}(X_t / X_{t-1}, Y_t)} \right] \quad (65)$$

#### 2.3.4.3. Test de non causalité

On peut tester l'hypothèse nulle de non causalité au moyen de la statistique du ratio du maximum de vraisemblance :

On teste  $H_0 : X_t$  ne cause pas  $Y_t$

$$\begin{aligned}
L^* &= (N - C)C_{Y \rightarrow X} \\
&= (N - C) \left[ \text{Log det } V_\varepsilon(X_t / X_{t-1}) - \text{Log det } V_\varepsilon(X_t / X_{t-1}, Y_{t-1}) \right] \\
&= (N - C) \left[ \text{Log det } \Sigma_{RVAR} - \text{Log det } \Sigma_{UVAR} \right]
\end{aligned} \tag{66}$$

Avec :

- $L^* \sim \chi^2(2p)$
- $N$  : nombre d'observations.
- $C$  : nombre des paramètres dans chaque équation du modèle.
- $\Sigma_{RVAR}$  : matrice variance-covariance des résidus du modèle contraint.
- $\Sigma_{UVAR}$  : matrice de variance-covariance des résidus du modèle non contraint.

❖ *La règle de décision :*

- Si  $L^* \geq \chi^2$  lu dans la table, on rejette l'hypothèse nulle d'absence de causalité.
- Si  $L^* \leq \chi^2$ , on accepte l'hypothèse nulle en faveur de l'hypothèse alternative de présence de causalité.

Dans le cas d'un modèle VAR ( $p$ ) à 2 variables  $X_t$  et  $Y_t$  on a :

$$\begin{pmatrix} Y_t \\ X_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_0 \\ b_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_1^1 & b_1^1 \\ a_1^2 & b_1^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_{t-1} \\ X_{t-1} \end{pmatrix} + \dots + \begin{pmatrix} a_p^1 & b_p^1 \\ a_p^2 & b_p^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_{t-p} \\ X_{t-p} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \end{pmatrix} \tag{67}$$

Pour tester l'absence de causalité de  $X_t$  vers  $Y_t$ , on effectue un test de restriction sur les coefficients des variables  $X_t$  de la représentation VAR :

$X_t$  ne cause pas  $Y_t$  si on accepte l'hypothèse nulle  $H_0 : b_1^1 = b_2^1 = \dots = b_p^1 = 0$ .

$Y_t$  ne cause pas  $X_t$  si on accepte l'hypothèse nulle  $H_0 : a_1^2 = a_2^2 = \dots = a_p^2 = 0$ .

Ces tests peuvent être conduits à l'aide d'un test de Fisher classique de nullité des coefficients équation par équation ou directement en utilisant le ratio de vraisemblance défini précédemment.

L'intérêt de la cointégration est qu'elle fournit une méthode d'analyse des séries temporelles non stationnaires en évitant le problème de régressions fallacieuses. De plus, la modélisation ECM et la cointégration donnent une nouvelle dimension à la

modélisation dynamique en lui fournissant des bases théoriques solides et en permettant de dégager de façon cohérente les propriétés de long terme des séries temporelles. On va s'intéresser dans la section suivante à l'application de la théorie de cointégration sur la demande de l'énergie en Tunisie et les différents facteurs influant cette demande.

#### **2.4. ESTIMATION ET ANALYSE DES RESULTATS EMPIRIQUES**

La consommation d'énergie en Tunisie a progressivement entamé un processus de découplage par rapport à la croissance économique, durant la dernière décennie. Ainsi, la relation entre l'énergie et la croissance économique est établie essentiellement à partir de l'intensité énergétique qui relie le PIB avec la consommation d'énergie. Cependant, dans notre étude, nous essayons de dégager cette relation en utilisant la théorie de la cointégration. Ainsi, l'étude de la cointégration a pour objectif de mettre en évidence l'éventualité d'une relation de long terme entre des séries qui sont non stationnaires et intégrées de même ordre. L'existence d'une relation de cointégration signifie que les séries cointégrées ont un comportement semblable dans le temps et qu'elles ne peuvent pas durablement diverger. Avec cette théorie, il y a moyen de tenir compte de la dynamique par rapport à l'équilibre de long terme. Ceci est rendu possible grâce à la notion du modèle ECM donné par le théorème de Granger (1983).

Dans cette partie on va étudier l'existence de relations de cointégration ainsi que leur sens entre la consommation de l'énergie, la température, le prix de pétrole et le produit intérieur brut réel durant la période 1971 jusqu'à 2011 sur des données tunisiennes. Les observations des variables sont disponibles sur toute la période allant de 1971 jusqu'à 2013 pour les variables considérées sauf pour la consommation d'énergie dont les données sont disponibles que jusqu'à 2011. Pour cela, la période d'estimation considérée finalement c'est 1971-2011 pour toutes les variables. La première étape comme recommandé dans un travail économétrique repose sur un examen des séries chronologiques dans le but de déterminer si celles-ci présentent des racines unitaires pour chercher l'ordre d'intégration des variables. Une bonne spécification des modèles de régression avec cointégration requiert que toutes les variables soient intégrées de même ordre afin d'éviter les problèmes de régression fallacieuse. Pour tester la stationnarité des séries précitées, nous avons opté pour les tests de racines unitaires tels que les tests de Dikey-Fuller (1979-1981) et Phillipis Perron pour lesquels l'hypothèse nulle est la présence d'une racine unitaire et le test

KPSS pour lequel l'hypothèse nulle est la stationnarité. Après l'étude de la stationnarité on passe après à tester la cointégration. Si cette dernière est présente on passe au modèle VECM et le test de causalité (Comme décrit dans notre méthodologie économétrique dans la Fig.14). Et on termine par examiner l'effet d'un choc de chacune de ces variables sur les autres à travers les fonctions de réponse impulsionnelles. On n'oublie pas de signaler que les graphiques et les résultats de cette application ont été produits en utilisant le logiciel WinRATS 7 et Eviews 6.

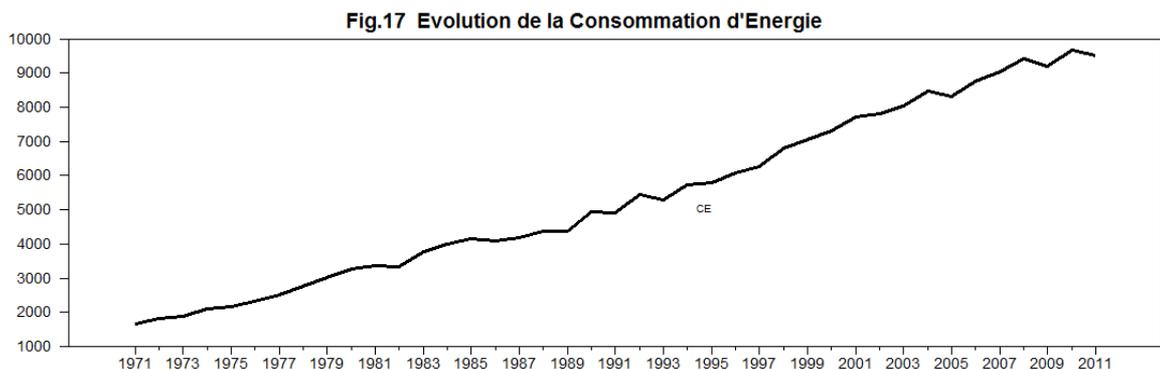
### 2.4.1. Données

Avant de commencer l'étude empirique, nous présentons les séries des variables à utiliser. Il s'agit de quatre variables à considérer pour notre étude économétrique à savoir la consommation d'énergie, le PIB réel, la température et le prix de pétrole.

#### 2.4.1.1. Consommation d'énergie (CE)

Il s'agit de la consommation d'énergie primaire (c'est toute forme d'énergie extraite directement d'un gisement naturel : avant transformation en combustibles et carburants). La quantité est mesurée en kilo tonne d'équivalent pétrole (ktep). L'ensemble d'observations annuelles de cette variable couvrant la période 1971-2011 a été extrait de la Banque mondiale (Indicateurs de développement dans le monde) dont la variable est nommée Energy Use (kt of oil equivalent) et Perspectives Monde sous le nom consommation d'énergie (kt de pétrole-équivalence).

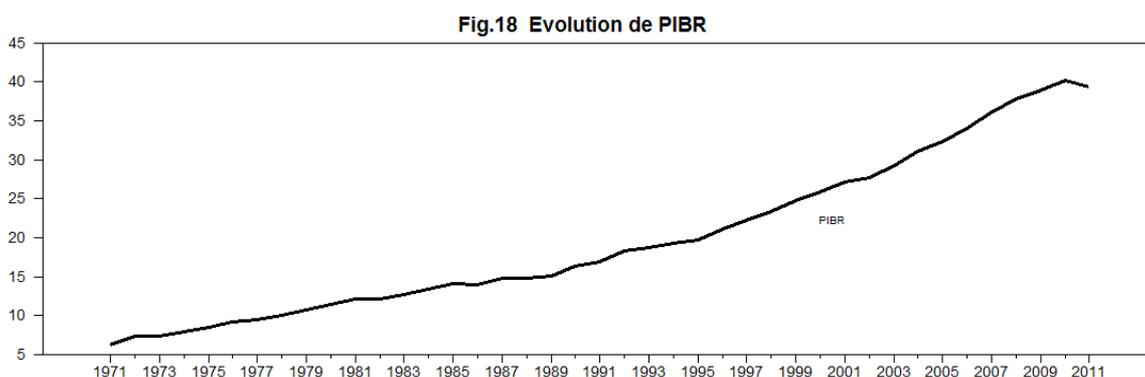
L'évolution de la consommation d'énergie comme la montre la Fig.17, a enregistré une moyenne annuelle de 5382,5 ktep pour l'ensemble de la période considérée 1971-2011. Le plus haut niveau de consommation a été en 2010 pour atteindre 9673,8 ktep contre le plus bas qui a été en 1971 dont la consommation a été 1655,7 ktep.



Source : Fourni par l'auteur

#### 2.4.1.2. PIB réel (PIBR)

Nous utilisons comme indice de niveau économique du pays le PIB réel qui est la valeur de PIB en tenant compte des variations des prix (de l'inflation). Il est appelé aussi PIB en volume et PIB à prix constants. Il est considéré plus efficace que le PIB pour mesurer le développement d'un pays. Il reflète le niveau de l'activité économique d'un pays en d'autres termes sa grandeur de richesse générée. En ce qui nous concerne le PIB réel (exprimé en Milliard de Dollars constants US de 2000) est utilisé comme proxy de la croissance économique. Les données s'étendent sur la période 1971-2013 et elles ont été extraites de Perspective Monde de l'année 2014 sous le nom PIB (\$US constant 2000). La Fig.18 représente l'évolution du PIB réel sur toute la période 1971-2011 qui a été caractérisée par une moyenne annuelle de 21,116 milliard de dollars en enregistrant le plus haut niveau en 2013 (43,49) et le plus bas niveau en 1971 (6,25).

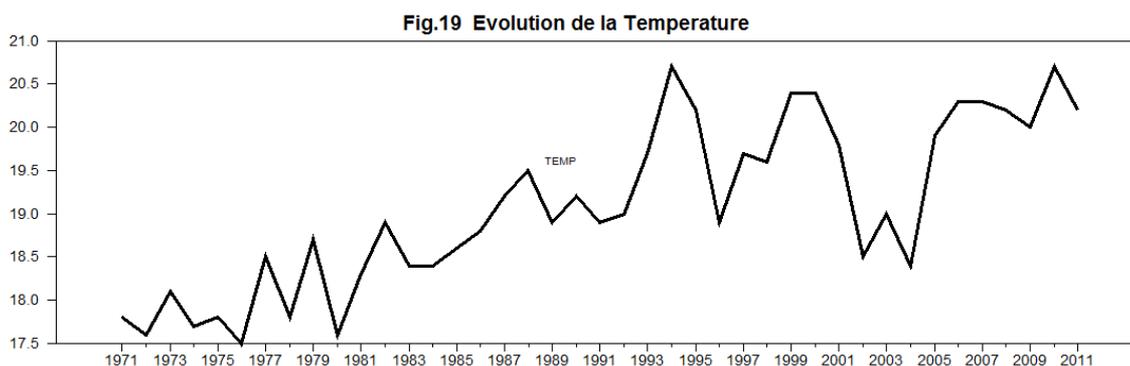


Source : Fourni par l'auteur

#### 2.4.1.3. Température (TEMP)

Il s'agit de la série des températures annuelles moyennes de la période allant de 1971 jusqu'à 2013. Les données de la période 1971-2004 proviennent des rapports de l'Institut National de Statistique de la Tunisie. En ce qui concerne le reste de la période les données ont été déterminées en calculant la moyenne des températures de toutes les stations pour chaque année après téléchargement des températures annuelles pour chaque station sur le site d'European Climate Assessment & Dataset project<sup>37</sup> pour la période allant de 2005 jusqu'à 2013. L'évolution de la température en Tunisie représentée par la Fig.19 montre que la température maximale a été enregistrée en 2012 (21,3 °C).

<sup>37</sup> <http://eca.knmi.nl/utills/showindices.php?dgaparm69hh2rda52cuqtg4v27#>



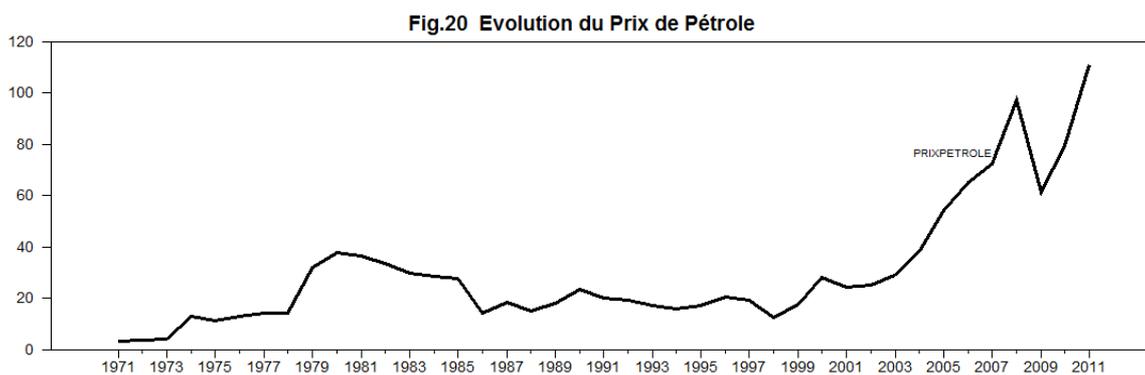
*Source : Fourni par l'auteur*

A côté de l'importance des fluctuations annuelles de la température en Tunisie, nous signalons l'existence des pics de chaleur assez remarquables pour les années 1982, 1987, 1994, 1999, 2003, 2007, 2010 et 2012. Nous déduisons que ces sept années sont parmi les plus chaudes enregistrées en Tunisie sur les 44 dernières années.

#### 2.4.1.4. Prix de pétrole

Il s'agit du prix en dollars du baril de pétrole de la Mer du Nord (*Brent*) à considérer pour notre étude puisque ce prix représente un effet sur celui des autres combustibles à savoir le charbon, le gaz naturel et l'uranium. La série des prix annuels moyens considérée pour cette étude a été calculée en se référant aux prix mensuels extraits du site de l'INSEE<sup>38</sup> pour la période allant de 1990 jusqu'à 2013. En ce qui concerne la période 1971-1989, les prix ont été parvenus de la Banque Centrale de Tunisie. Toutefois, l'évolution des prix décrite dans la Fig.20 montre une augmentation importante de prix de pétrole caractérisée par trois pics tout au long la période considérée. Après la hausse des prix en 1973 (date de premier choc pétrolier) pour passer de 4,25 à 12,93 dollars en 1974 une augmentation massive a été enregistrée en 1979 (deuxième choc pétrolier) pour atteindre 32,11 dollars. Ainsi, le troisième pic s'est situé en 2008 suivi d'une chute sur l'année suivante pour passer de 97,15 à 61,56 dollars.

<sup>38</sup> <http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/bsweb/serie.asp?idbank=000455743>



*Source : Fourni par l'auteur*

## 2.4.2. Etude de la stationnarité

Pour étudier la stationnarité des séries considérées, nous avons commencé par l'examen graphique. En effet, l'évolution des variables considérées (Voir Fig.17, Fig. 18, Fig.19 et Fig.20) montre une tendance à la hausse ce qui nous laisse présager que les séries sont non stationnaires. Pour la tester économétriquement, nous avons opté pour les tests de racines unitaires ADF et PP, pour lesquels l'hypothèse nulle est la présence d'une racine unité (la non stationnarité) et le test KPSS, pour lequel l'hypothèse nulle est la stationnarité. Les tests de racine unitaire ont été effectués sur les séries log-linéarisées<sup>39</sup> pour des raisons d'échelle en utilisant la version 7.0 du programme WinRats. D'où les variables utilisées sont : LCE=Log CE, LTEMP=Log TEMP, LPIBR= Log PIBR et LPRIX= Log PRIXPETROLE. L'application de test ADF nécessite la détermination de nombre de retards à introduire. En pratique il existe plusieurs méthodes, pour notre cas nous avons utilisé les critères d'information en choisissant le nombre de retards qui minimise la majorité des critères AIC, BIC, HQ et MAIC avec un nombre maximal prédéfini égal à 7 et pour chacun des trois modèles du test (équations : (6), (7) et (8)). Les résultats de ce test sont présentés dans le tableau 5.

<sup>39</sup> On applique le log népérien sur les variables afin de corriger la non stationnarité en variance. Dans ce cas l'interprétation des paramètres estimés sera en tant que élasticités (pourcentages) et non unités.

**Tableau 5 : Test de racine unitaire ADF (Séries en niveau)**

Variabes	Modèle	Statistique de Test	Nombre de retards (p)	VC (1%)	VC (5%)	VC (10%)
LCE	c	-3.15044	2	-3.607	-2.938	-2.607
	c,t	-1.38051	1	-4.202	-3.525	-3.193
	none	2.37303	2	-2.623	-1.950	-1.620
LPIBR	C	-1.45485	1	-3.593	-2.932	-2.604
	c,t	-2.92363	2	-4.196	-3.522	-3.191
	None	2.95635	2	-2.620	-1.949	-1.620
LPRIX	C	-0.53057	3	-3.602	-2.936	-2.606
	c,t	-2.09968	5	-4.216	-3.531	-3.197
	None	1.12495	3	-2.621	-1.949	-1.620
LTEMP	C	-1.43310	1	-3.593	-2.932	-2.604
	c,t	-4.61414	0	-4.184	-3.516	-3.188
	None	1.10165	1	-2.618	-1.949	-1.620

Les résultats du test ADF montre que la série LCE est non stationnaire pour les deux modèles (équations 6 et 8) aux divers seuils critiques mais elle est non stationnaire pour le modèle avec constante (c) qu'au seuil de 1%. Concernant les variables LPIBR et LPRIX, leurs séries présentent des racines unitaires pour les trois modèles puisque les statistiques de test sont supérieures aux valeurs critiques (VC) aux différents seuils critiques à savoir 1%, 5% et 10% donc l'hypothèse nulle de non stationnarité ne peut être rejetée. La stationnarité de la série de la TEMP est assurée que pour le modèle avec constante et non pour les autres modèles. Donc, pour conclure, toutes les séries sont non stationnaires pour les deux modèles avec constante et tendance et sans constance ni tendance aux différents seuils critique (voir annexe pour ces différents résultats). En utilisant le test PP dont les résultats sont présentés dans le tableau 6, nous avons confirmé la non stationnarité des séries considérées pour les deux modèles aux différents seuils à l'exception de la variable LTEMP qui est non stationnaire pour le modèle seulement avec constante et la variable LCE qui est non stationnaire que pour le modèle avec constante et tendance. Il s'agit de la même règle de décision que le test ADF (si la statistique de test est supérieure à la VC la série est non stationnaire).

**Tableau 6 : Test de racine unitaire PP (Séries en niveau)**

Variabiles	Modèle	Statistique de Test	Paramètre de troncature ( $I$ ) <sup>40</sup>	VC (1%)	VC (5%)	VC (10%)
LCE	c	-4.59006	4	-3.597	-2.934	-2.605
	c,t	-1.61371	4	-4.196	-3.522	-3.191
LPIBR	C	-2.35595	4	-3.589	-2.930	-2.603
	c,t	-4.48957	4	-4.184	-3.516	-3.188
LPRIX	C	-1.91325	4	-3.589	-2.930	-2.603
	c,t	-2.41911	4	-4.184	-3.516	-3.188
LTEMP	C	-1.80403	4	-3.589	-2.930	-2.603
	c,t	-4.71075	4	-4.184	-3.516	-3.188

L'application de ces deux tests nous a conduit à ne pas rejeter l'hypothèse nulle de la non stationnarité et donc de déduire que toutes les séries sont non stationnaires. Afin de mieux vérifier cette non stationnarité, nous avons essayé la catégorie des tests où l'hypothèse nulle est la stationnarité tel que le test KPSS dont les résultats sont présentés dans le tableau 7.

LCE est non stationnaire en niveau aux différents seuils critiques puisque toutes les valeurs calculées sont supérieures à celles tabulées ce qui implique le rejet l'hypothèse nulle de stationnarité. Par contre, elle est non stationnaire en tendance aux seuils critiques 2.5%, 5% et 10% puisque les statistiques de test sont inférieures aux valeurs critiques donc on accepte l'hypothèse nulle de stationnarité.

LPIBR est non stationnaire en niveau aux différents seuils critiques puisque toutes les valeurs calculées sont supérieures à celles tabulées ce qui implique le rejet l'hypothèse nulle de stationnarité. Par contre, elle est non stationnaire en tendance aux seuils critiques 5% et 10%.

LPRIX est non stationnaire en niveau aux seuils critiques 2.5%, 5% et 10%. Par contre, elle est stationnaire en tendance aux différents seuils critiques.

LTEMP est non stationnaire en niveau aux différents seuils critiques puisque toutes les valeurs calculées sont supérieures à celles tabulées ce qui implique le rejet

<sup>40</sup> La valeur du paramètre de troncature prise pour notre cas est 4 selon la suggestion de Newey et West (1987) citée lorsqu'on a présenté le test PP avant.

l'hypothèse nulle de stationnarité. Par contre, elle est stationnaire en tendance aux différents seuils critiques.

**Tableau 7 : Test de racine unitaire KPSS (Séries en niveau)**

Variabiles	Modèle	Statistique de Test	VC (1%)	VC (2,5%)	VC (5%)	VC (10%)
LCE	Niveau	0.913	0.739	0.574	0.463	0.347
	Tendance	0.207	0.216	0.176	0.146	0.119
LPIBR	Niveau	0.966	0.739	0.574	0.463	0.347
	Tendance	0.092	0.216	0.176	0.146	0.119
LPRIX	Niveau	0.655	0.739	0.574	0.463	0.347
	Tendance	0.123	0.216	0.176	0.146	0.119
LTEMP	Niveau	0.871	0.739	0.574	0.463	0.347
	Tendance	0.093	0.216	0.176	0.146	0.119

Pour conclure, toutes les séries sont non stationnaires en niveau aux seuils critiques 2.5%, 5% et 10%.

Nous constatons que toutes les séries sont non stationnaires. Ainsi, afin de déterminer leurs ordres d'intégration nous testons la stationnarité des séries différenciées en appliquant les mêmes tests de racine unitaire utilisés auparavant. Les résultats (voir Tableaux 8, 9 et 10) ont conduit à conclure que, sur la période d'échantillonnage, l'ensemble des séries est intégré d'ordre 1 puisque les séries en différence sont stationnaires.

**Tableau 8 : Test de racine unitaire ADF (Séries en différence)**

Variabes	Modèle	Statistique de Test	Nombre de retards (p)	VC (1%)	VC (5%)	VC (10%)
dLCE	c	-3.24790	1	-3.607	-2.938	-2.607
	c,t	-10.21576	0	-4.202	-3.525	-3.193
	none	-1.72491	1	-2.623	-1.950	-1.620
dLPIBR	C	-9.02911	0	-3.602	-2.936	-2.606
	c,t	-9.21946	0	-4.202	-3.525	-3.193
	None	-1.34466	3	-2.626	-1.950	-1.620
dLPRIX	C	-3.99606	2	-3.612	-2.940	-2.608
	c,t	-3.80747	2	-4.216	-3.531	-3.197
	None	-3.81434	2	-2.624	-1.950	-1.620
dLTEMP	C	-8.73274	0	-3.602	-2.936	-2.606
	c,t	-8.61055	0	-4.202	-3.525	-3.193
	None	-8.69960	0	-2.621	-1.949	-1.620

**Tableau 9 : Test de racine unitaire PP (Séries en différence)**

Variabes	Modèle	Statistique de Test	Paramètre de troncature (l)	VC (1%)	VC (5%)	VC (10%)
DLCE	c	-8.08878	4	-3.602	-2.936	-2.606
	c,t	-11.05229	4	-4.202	-3.525	-3.193
dLPIBR	C	-9.03207	4	-3.602	-2.936	-2.606
	c,t	-9.37999	4	-4.202	-3.525	-3.193
dLPRIX	C	-6.56269	4	-3.602	-2.936	-2.606
	c,t	-6.57775	4	-4.202	-3.525	-3.193
dLTEMP	C	-11.42067	4	-3.602	-2.936	-2.606
	c,t	-11.43074	4	-4.202	-3.525	-3.193

**Tableau 10** : Test de racine unitaire KPSS (Séries en différence)

Variables	Modèle	Statistique de Test	VC (1%)	VC (2,5%)	VC (5%)	VC (10%)
dLCE	Niveau	0.631	0.739	0.574	0.463	0.347
	Tendance	0.080	0.216	0.176	0.146	0.119
dLPIBR	Niveau	0.370	0.739	0.574	0.463	0.347
	Tendance	0.124	0.216	0.176	0.146	0.119
dLPRIX	Niveau	0.171	0.739	0.574	0.463	0.347
	Tendance	0.166	0.216	0.176	0.146	0.119
dLTEMP	Niveau	0.069	0.739	0.574	0.463	0.347
	Tendance	0.065	0.216	0.176	0.146	0.119

Cependant, en utilisant les tests de racines unitaires en présence de changements structurels de Zivot et Andrews nous avons confirmé la non stationnarité des séries considérées sauf pour la série température puisque dans les deux cas des modèles (B) et (C), l'hypothèse nulle de présence de racines unitaires est largement rejetée d'après les résultats illustrés dans le tableau 11.

**Tableau 11** : Test de Zivot et Andrews (Séries en niveau)

Variables	T-statistiques		
	Modèle A	Modèle B	Modèle C
LCE	-2.29979	-2.46289	-2.52033
LPIBR	-5.03297	-4.08079	-5.30233
LPRIX	-3.67296	-3.17737	-3.08369
LTEMP	-5.94765	-4.82495	-6.80628
VC 5%	-4,8	-4,42	-5,08
VC 1%	-5.34	-4.93	-5.57

Nous constatons que les séries LCE et LPRIX sont non stationnaires pour les trois modèles puisque les statistiques de test correspondantes sont supérieures aux valeurs critiques aux seuils critiques 1% et 5%. Donc l'hypothèse nulle de présence de racines unitaires est acceptée.

LPIBR est stationnaire avec rupture aux divers seuils critiques pour les deux modèles A et B représentant respectivement le modèle où la rupture est dans la constante et le modèle où la rupture est dans la tendance (1995 dans la tendance et 1986 dans la constante). Cependant, cette série est non stationnaire pour le modèle C dont la rupture est dans la constante et la tendance simultanément au seuil de 1%.

LTEMP est stationnaire avec rupture aux divers seuils critiques pour les deux modèles A et C représentant respectivement le modèle où la rupture est dans la constante et le modèle où la rupture est dans la constante et la tendance au même temps (2002 modèle A et C). En effet, le graphique de cette série (Fig.17) montre la présence évidente d'une rupture de tendance. Cependant, les tests de racine unitaire tels que l'ADF, le PP et le KPSS sont incapables de prendre en considération ce phénomène et ceci explique bien la contradiction des résultats obtenus par ces tests et le test de Zivot et Andrews. D'où cette série est stationnaire avec une rupture de tendance pendant l'année 2002.

Cette rupture montre bien que la Tunisie a connu le phénomène de réchauffement solaire depuis 1999. Ainsi, si on observe la courbe de charge électrique représentée précédemment qui montre une profonde transformation puisque la pointe annuelle est passée de 485 MW en 1980 à 1600 MW en 2000. La nouvelle pointe est due essentiellement à l'usage accru de la climatisation pendant l'été qui lui-même est dû à la rupture enregistrée en 1999 de la température. Afin de mieux comprendre les causes et les effets de cette rupture, on en parlera plus au sein de la seconde partie dans le cadre du problème du changement climatique.

La description des variables a permis de confirmer la non stationnarité des variables en niveau sauf pour la série LTEMP qui va être ignorée de l'analyse. Ainsi, les variables LCE, PRIX et LPIBR sont toutes intégrées de même ordre (I(1)). De plus, l'application de test de Zivot et Andrews sur les variables LCE, LPIBR et LPRIX en différence (Tableau 12) a bien montré que les trois séries sont stationnaires et donc sont I(1).

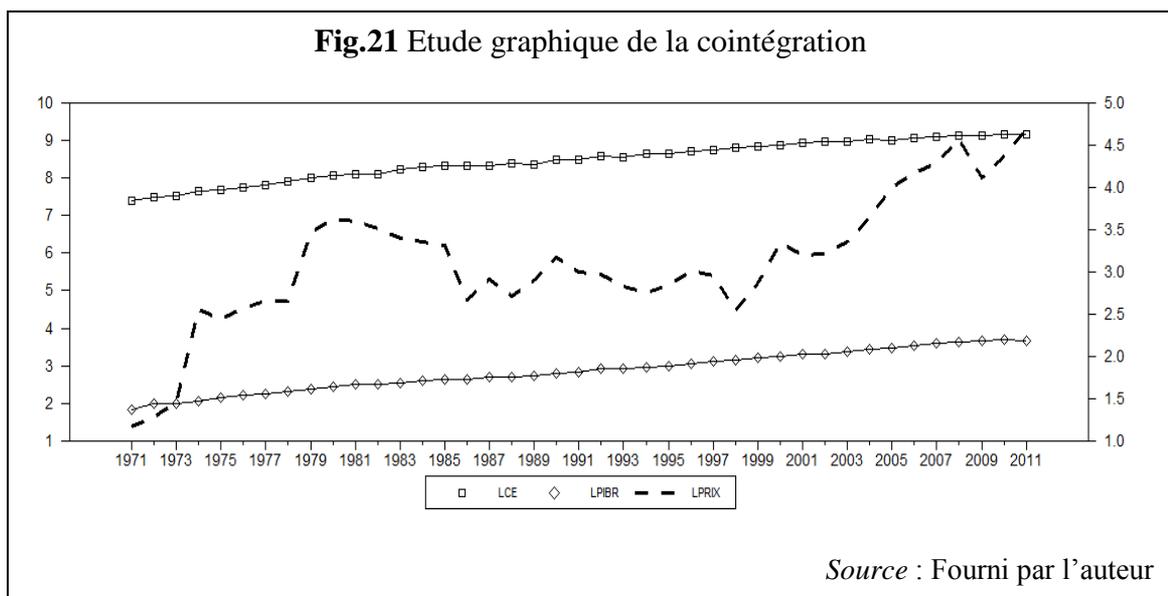
**Tableau 12 : Test de Zivot et Andrews (Séries en différence)**

Variables	T-statistiques		
	Modèle A	Modèle B	Modèle C
DLCE	-10.87927	-10.35214	-11.07090
Dlpibr	-10.11392	-9.40220	-10.24866
dLPRIX	-7.85092	-7.68923	-7.75283
VC 5%	-4,8	-4,42	-5,08
VC 1%	-5.34	-4.93	-5.57

Une fois l'ordre d'intégration est déterminé, l'étape suivante consiste à tester l'existence de relation de cointégration.

### 2.4.3. Test de cointégration

Avant de procéder au test d'existence de relation d'équilibre de long terme entre les variables, la représentation graphique ci-dessous décrit l'évolution de LPIBR, LPRIX, LCE et LTEMP de la Tunisie de 1971 à 2011. On peut constater que les deux variables LPIBR et LCE suivent des évolutions parallèles à long terme sur la période considérée. Ceci semble traduire qu'elles sont liées par une relation d'équilibre de long terme ou de cointégration.



### 2.4.3.1. Cointégration sans changement structurel

Nous testons l'existence de relation de cointégration entre la consommation d'énergie et les facteurs qui l'influencent, selon notre étude, à savoir le PIB réel et le prix de pétrole. Nous appliquons le test de Johansen (1988) de la trace ( $\lambda_{trace}$ ) et de la valeur propre ( $\lambda_{max}$ ), dont les résultats sont présentés dans le tableau ci-après.

**Tableau 13 : Test de cointégration de Johansen**

H0: Rang r	Valeurs propres	$\lambda_{trace}$	Valeur critique (5%)	$\lambda_{max}$	Valeur critique (5%)
r=0	0.443308	36.42689	29.79707	22.84396	21.13162
r≤1	0.270865	13.58293	15.49471	12.31998	14.2646
r≤2	0.031865	1.262955	3.841466	1.262955	3.841466

Les résultats du test de Johansen montrent que l'hypothèse nulle  $r \leq 0$  pour le test de la trace ou  $r=0$  pour le test de la valeur propre maximale est rejetée au seuil de 5% puisque les valeurs calculées à partir de ces deux statistiques (36.42 pour la statistique de la trace et 29.79 pour la statistique de la valeur propre maximale) sont supérieures aux valeurs critiques correspondantes. En revanche, l'hypothèse nulle  $r \leq 1$  ne peut pas être rejetée au seuil de 5% puisque les deux statistiques du test sont inférieures aux valeurs critiques qui leur sont associées. D'où, les deux statistiques de Johansen confirment l'existence d'une relation d'équilibre de long terme entre la consommation d'énergie, le PIB réel et le prix de pétrole.

### 2.4.3.2. Cointégration avec changement structurel

Afin de tester l'existence de relation d'équilibre de long terme entre les trois variables considérées, une instruction cruciale consiste à tester la stabilité des paramètres de la relation considérée. Donc, pour tester la cointégration nous allons adopter une stratégie séquentielle qui consiste à, dans une première étape, tester la stabilité des paramètres de la relation (68)<sup>41</sup> à partir des trois statistiques de Hansen (1992) : SupF, MeanF et LC

$$LCE_t = \alpha + \beta_1 LPIBR_t + \beta_2 LPRIX_t + \varepsilon_t \quad (68)$$

<sup>41</sup> Il va de soi que l'on explique la LCE en fonction de LPIBR et du PRIX

Ainsi, les résultats de ce test sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau 14 :** Test de stabilité des paramètres de Hansen

	LC	MeanF	SupF
T-statistiques	0,488	2,699	5,829
P-value	0,047	0,2	0,2

Ces résultats permettent de conclure qu'il y a une instabilité des paramètres de l'équation (68).

Les tests de stabilité sont réalisés sur des variables en niveau, mais ils ne déterminent pas la présence de relation de cointégration entre les variables. Etant donné le caractère intégré des variables et celui instable de la régression, nous testons, dans l'étape suivante, la présence d'une relation de cointégration avec rupture via le test de Gregory et Hansen (1996). En utilisant ce test nous avons trouvé les résultats illustrés dans le tableau 15.

**Tableau 15 :** Test de Gregory et Hansen

Modèles	$Z_t^*$	VC 5%	Date de rupture
Modèle (C)	-5.624	-4,92	1978
Modèle (C/T)	-5.583	-5,29	1978
Modèle (C/S)	-6,498	-5,5	1989

En se basant sur ce tableau, les résultats ont permis de rejeter l'hypothèse nulle de non cointégration avec changement structurel vu que les  $Z_t^*$  de trois modèles sont inférieurs aux valeurs critiques au risque de 5%. Donc on déduit qu'il y a une relation de cointégration avec un changement dans la constante en 1978, dans la constante et la tendance en 1978 aussi et avec un changement du régime en 1989. En effet, ce changement peut être expliquée par les effets de la guerre du Golf à l'année 1991 sur

tout le monde puisque elle a participé à démultiplier la valeur de l'or noir ce qui a affecté la demande et l'offre de l'énergie conjointement.

En outre, durant la décennie 1985-95 des évolutions sensibles du paysage énergétique ont été marquées. Les effets des crises énergétiques précédentes s'étant estompés, le contre-choc pétrolier a entraîné une désaffection à l'égard des politiques d'efficacité énergétique. De ce fait, l'efficacité énergétique ne trouvait pas, dans ce contexte, de moteur pour être élevée au rang de politique nationale, alors qu'elle demeurait économiquement intéressante pour une multitude d'acteurs (entreprises, collectivités locales et territoriales, consommateurs).

De 1990 à 1995, l'intensité énergétique semble accuser un certain fléchissement reprenant une courbe moyennement descendante sur toute la période 1990-2005. A partir de 1996, on semble se diriger, a priori, vers une stabilisation de l'intensité énergétique légèrement en dessous de 0,400 tep/1000 dinars. En 2005, elle a atteint, pour la première fois, le niveau de 0,34 tep/1000 dinars de PIB, soit une baisse significative de 19% par rapport à 1990.

Les résultats de l'estimation de la relation de long terme avec un changement du régime en 1989 ont permis de retenir l'équation d'équilibre de long terme suivante :

$$LCE_t = 5,191 + 0,444D_{t89} - 0,012tD_{t89} + 1,174LPIBR_t + 0,005LPRIX_t - 0,069LPRIX_{t89} + \varepsilon_t \quad (69)$$

(72,953) (10,134) (-4,858) (28,728) (0,392) (-2,943)

(Les chiffres entre parenthèses sont les t-Student des coefficients estimés).

Avec :

$$D_{t89} \begin{cases} 0 & \text{si } t < 1989 \\ 1 & \text{si } t \geq 1989 \end{cases} \text{ et } t = 1, \dots, 2011$$

Cette relation de cointégration avec une rupture en 1989 montre que la variable LPIBR, qui mesure la croissance économique, a une relation de long terme positive avec la consommation d'énergie. A long terme, si la variation de la croissance économique augmente de 1% alors la consommation d'énergie suit la même tendance avec un pourcentage de 1,74% afin d'assurer cette relation de cointégration ce qui montre bien le découplage de la consommation d'énergie par rapport à la croissance économique. En faveur d'une croissance économique soutenue et d'un niveau de vie

plus confort, le développement économique en Tunisie met en évidence une consommation d'énergie croissante.

En revanche, lorsque le prix augmente de 1% la consommation d'énergie subit une baisse de 0,064%. Ainsi, la progression du prix de pétrole et le déclin de la production de l'énergie simultanément fait affaiblir la demande d'énergie (c'est la loi de la demande). Ce comportement en face de la consommation d'énergie dans le cas où le prix augmente reflète la rationalité du consommateur qui cherche à maximiser sa satisfaction tout en respectant sa contrainte budgétaire y compris le prix du bien désiré. Or, l'augmentation du prix de pétrole est due à une diminution de la production d'énergie et une augmentation de la quantité consommée conjointement puisque la Tunisie a enregistré un déclin de la production des hydrocarbures dû notamment à l'épuisement du principal gisement pétrolier de El Borma et l'accroissement rapide de la demande intérieure de produits énergétiques ce qui explique le passage de la balance énergétique d'un solde excédentaire d'environ 2600 ktep en 1985 à une situation légèrement déficitaire en 2001.

D'où il y a une seule relation de cointégration avec changement du régime en 1989. Il est alors possible d'estimer un modèle à correction d'erreur vectoriel (VECM). Comme son nom l'indique, elle consiste à corriger le biais d'estimation induit par la cointégration. Dans la mesure où nous avons trois variables, le VECM comportera trois équations. Les résultats de l'estimation de VECM sont représentés en annexe. En examinant cette représentation, nous remarquons que le terme de correction d'erreur est négatif et significativement différent de zéro dans la relation relative au prix de pétrole (LPRIX). Dans l'équation correspondante au produit intérieur brut réel, ce terme est significativement différent de zéro, mais positif, ce qui est difficilement interprétable.

Donc, l'équation qui représente les ajustements de court terme c'est l'équation suivante relative à la variable LPRIX :

$$\Delta LPRIX_t = 0,301 + 1,962\Delta LCE_{t-1} - 6,592\Delta LPIBR_{t-1} + 0,144\Delta LPRIX_{t-1} - 2,414Z_{t-1}$$

(3,504)   (1,554)   (-3,442)   (0,949)   (-4,138)

(Les chiffres entre parenthèses sont les t-Student des coefficients estimés).

Cette correction est présentée par la force de rappel de 2,988 qui demeure négative et significative surtout qu'elle est justifiée par une statistique de Student de (-4,239) supérieure à 1,96 en valeur absolue au seuil de 5% et par conséquent le modèle VECM est valide pour ces variables cointégrées.

La relation de cointégration enregistrée dans notre étude entre le PIBR, la CE et le PRIX ne fournit pas un aperçu sur le sens de réaction entre ces variables. Pour ce faire, nous proposerons, au sein de la cinquième section, d'étudier la causalité entre elles à travers le test de causalité au sens de Granger.

#### 2.4.4. Causalité et analyse impulsionnelle

Une étape préliminaire consiste à déterminer le nombre de retards dans l'écriture du modèle VAR en utilisant les critères d'informations, à savoir AIC, HQ et BIC. Les résultats fournis par ces critères sont illustrés dans le tableau 16.

**Tableau 16** : Détermination du nombre de retard du modèle VAR

Retards	AIC	SC	HQ
0	-8,	-8,657	-8,657
1	-12,275*	-12,14*	-11,854*
2	-12,055	-11,786	-11,214
3	-12,069	-11,665	-10,808
4	-11,881	-11,343	-10,199

\* la plus petite valeur de trois critères.

Donc d'après ces résultats le nombre de retards optimal est 1 suivant les trois critères de AIC, HQ et BIC.

Afin d'appréhender les relations dynamiques existantes entre les trois variables considérées, à l'aide des trois instruments d'analyse généralement utilisés par les économistes, à savoir les tests de causalité, la décomposition de la variance de l'erreur de prévision et les fonctions de réponse au choc, nous avons étudié la stabilité du modèle VAR spécifié.

Nous avons proposé d'appliquer la notion de causalité au sens de Granger en procédant à un test de non causalité déjà défini au sein du second chapitre. Les résultats obtenus (voir Annexe) sont donnés dans le tableau 17.

**Tableau 17** : Test de causalité au sens de Granger

$H_0$ : X ne cause pas Y	F- statistique	Probabilités
PIBR ne cause pas CE	0,015	0.902
PIBR ne cause pas PRIX	4,658	0.037
CE ne cause pas PIBR	2,87	0,098
CE ne cause pas PRIX	2,529	0,12
PRIX ne cause pas PIBR	2,375	0,131
PRIX ne cause pas CE	2,228	0,143

\* et \*\* indiquent la significativité respectivement au seuil de 5% et 10%.

Ces résultats suggérant une causalité dans un seul sens passant de la CE au PIBR puisque la probabilité associée est inférieure à 0,05. Certes, l'accroissement rapide de la consommation d'énergie est lié à une croissance économique et sociale soutenue. Le test de causalité de Granger a détecté une causalité bidirectionnelle entre le PIBR et le PRIX ce qui implique que ces deux variables sont conjointement déterminées. Ceci confirme les résultats obtenus avec la cointégration puisque nous avons trouvé qu'il existe une relation de long terme. D'après le théorème de représentation de Granger, si deux variables sont cointégrées alors il existe une causalité au moins dans un seul sens ceci est cohérent avec les résultats obtenus dans notre étude.

Dans un modèle dynamique, les variables exogènes sont causalement prioritaires c'est-à-dire que ces variables causent les variables endogènes et ne sont pas causées par ces dernières. Donc la consommation d'énergie est exogène puisque la CE cause le PIBR et ce dernier ne la cause pas.

Cette analyse de la causalité fournit un éclairage sur le sens de la relation existante entre les variables. Dans les applications empiriques, une des principales utilisations des processus VAR réside dans l'analyse des réponses impulsionnelles. La fonction de réponse impulsionnelle représente l'effet d'un choc d'une innovation sur les variables

courantes et futures endogènes. Un choc sur l'ième variable peut affecter directement cette ième variable, mais il se transmet également à l'ensemble des autres variables à travers la structure dynamique du VAR.

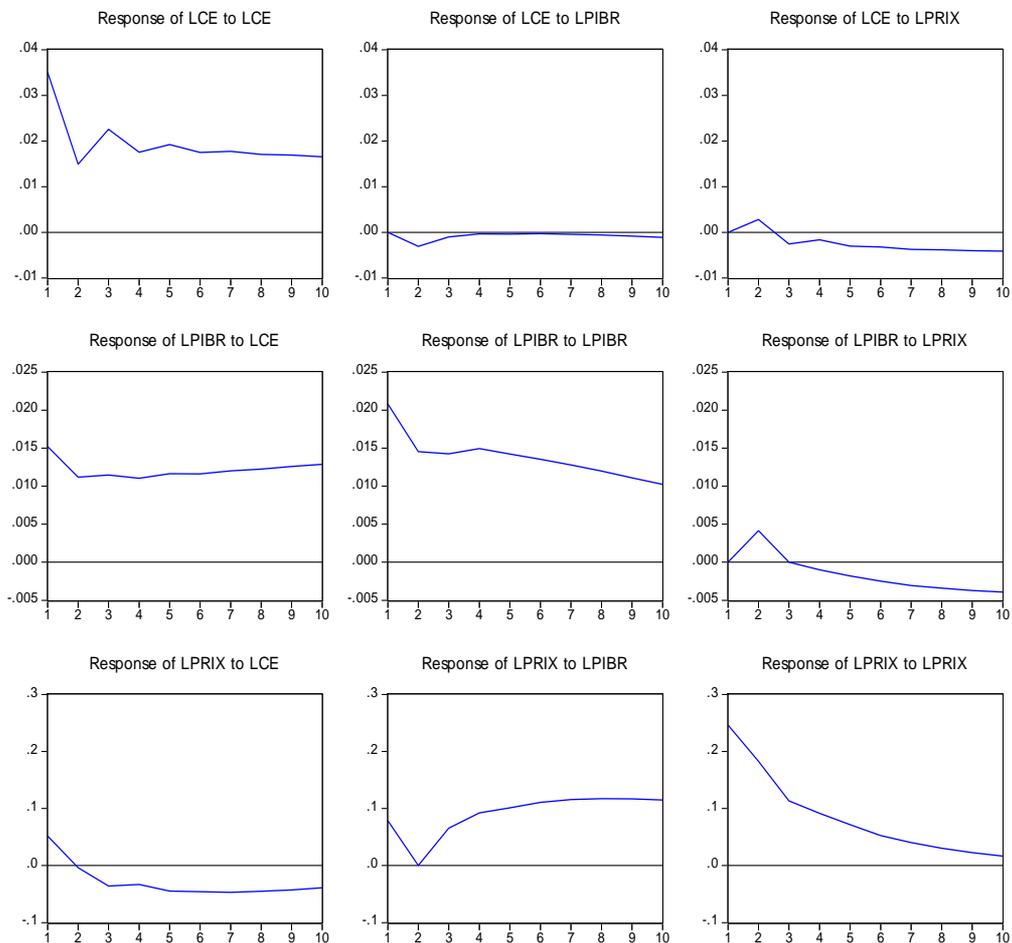
Afin d'interpréter les interrelations entre les variables LPIBR, LCE et LPRIX dans le modèle dynamique VAR, nous allons utiliser les fonctions des réponses impulsionnelles et la décomposition de l'erreur de prévision. Pour ce faire, nous effectuons tout d'abord une décomposition de Cholesky de la matrice variance covariance des innovations afin d'obtenir une représentation VAR orthogonalisée au sein de laquelle les résidus sont non corrélés. Ensuite, nous examinons l'impact des chocs sur un horizon de 10 années.

Ainsi, les résultats de différentes réponses (voir Fig.22) ont permis de constater que la réponse de la consommation de l'énergie suite à un choc du prix de pétrole est caractérisée par un effet négatif permanent au bout d'une année. Un prix de pétrole de plus en plus élevé provoquera une chute de la demande d'énergie, c'est la loi de l'offre et de la demande du marché des biens et services. La Tunisie est un pays importateur net du pétrole. Or, les prix internationaux du pétrole sont soumis à des fluctuations imprévues et qui risquent de constituer des « fardeaux énergétiques » si le pays n'a pas construit suffisamment tôt un système basé sur l'utilisation rationnelle de l'énergie et le développement des énergies renouvelables. Dans ce sens, un choc de la consommation d'énergie a un impact positif transitoire sur le prix qui disparaît au bout de trois ans. De manière logique, l'accroissement de la demande d'énergie fait augmenter le prix. D'où l'augmentation des prix du pétrole et la ponction qu'elle peut entraîner sur le budget de l'Etat renforce considérablement la nécessité d'un développement rapide et ambitieux de la maîtrise de l'énergie en Tunisie.

En plus, l'impact d'un choc de la consommation d'énergie sur la croissance économique est positif et transitoire. Par contre, la réponse du PRIX suite à un choc du PIBR présente un effet négatif. A la faveur d'une croissance économique soutenue et d'un niveau de vie plus confort, le développement économique met en évidence une consommation d'énergie croissante. Mais, si le prix de pétrole augmente ceci fait réduire la croissance économique puisque la Tunisie est un pays importateur net de pétrole. Donc, le prix de pétrole représente un impact rétrécissant pour la croissance économique par contre la consommation d'énergie l'améliore. Ainsi, le passage de la

balance énergétique d'un solde excédentaire d'environ 2600 ktep en 1985 à une situation légèrement déficitaire en 2001 influence négativement la croissance économique du pays. Donc, face à cette situation la Tunisie est obligée de faire face à l'importation d'une partie de ses besoins en énergie avec des prix élevés. Afin de remédier à ce problème, le pays doit inciter les agents économiques à modifier leurs comportements et à procéder à des investissements destinés à économiser l'énergie. Ceci contribue à l'évolution de la croissance économique, au sein d'un pays efficace en termes d'utilisation rationnelle de l'énergie et de développement des énergies renouvelables.

Fig.22 Response to CholeskyOne S.D. Innovations



Source : Fourni par l'auteur

Cette étude, basée sur les fonctions de réponse impulsionnelle, peut être complétée par une analyse de la décomposition de la variance de l'erreur de prévision. L'objectif est de calculer la contribution de chacune des innovations à la variance de l'erreur. En

effet, on écrit la variance de l'erreur de prévision à un horizon  $h$ , dans notre cas allant de 1 à 10, en fonction de la variance de l'erreur attribuée à chacune des trois variables. On effectue ensuite le rapport entre chacune de ces variances et la variance totale pour obtenir son poids relatif en pourcentage. Les résultats relatifs à l'étude de la décomposition de la variance (voir Annexe) ont permis de déduire que la variance de l'erreur de prévision du PRIX est due pour 76,81%, à l'horizon de cinq années, à ses propres innovations, pour 18,65% à celles du PIBR et pour 4,53% à celles de la CE. Mais, la variance de l'erreur de prévision du PIBR est due pour 1,05% aux innovations du PRIX, pour 36,53% à celles de la CE et pour 62,4% à ses propres innovations. Concernant la variance de l'erreur de prévision de la CE, elle est due pour 0,98% aux innovations du PRIX, pour 0,4% à celles du PIBR et 98,61% à ses propres innovations.

L'analyse des fonctions de réponse impulsionnelle et la décomposition de la variance sont en sorte une méthode de prévision. Cependant, cette méthode ne conduit pas à des prédictions valorisées mais plutôt à une prévision de sens de variation des variables au futur.

#### **2.4.5. Prévision de long terme de la consommation d'énergie**

Afin de déterminer des prévisions de long terme, nous allons utiliser l'équation de long terme découverte au sein de ce travail, et ce en fixant les variables explicatives pour les horizons futurs selon l'évolution de la tendance de ces dernières. Pour ce faire, nous avons calculé les taux d'accroissement annuels moyens du prix et du PIBR à partir des données durant la période 1971-2011 et ensuite nous avons utilisé ces taux afin de dégager les prix et le PIBR de trois horizons fixés. Nous avons considéré trois différents scénarios (A, B et C), qui correspondent aux trois prix prédits respectivement à 2020, 2020 et 2030, tout en supposant trois situations de l'économie tunisienne ; une récession ou une expansion ou une croissance économique accélérée où les taux d'accroissement du PIBR relatifs respectivement à chacune des situations sont 2%, 6% et 10%. En ce qui concerne le prix de pétrole, il a été fixé en se basant sur l'analyse du prix des combustibles de l'étude intitulée « Rapport options de Développement » réalisée par la STEG en octobre 2010 (STEG 2010). L'objectif de cette étude est de prévoir le prix de pétrole à l'aide des sources provenant de l'Energy Information Administration du Département de l'Energie des Etats-Unis (US-DOE), de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), de la Banque Mondiale, de la Commission Européenne, du Department

for Business Enterprise & Regulatory Reform de Grande Bretagne ainsi que de l'Office National de l'Énergie du Canada. Ainsi, selon cette étude le prix de pétrole est calculé pour trois scénarios d'évolution à savoir : haute, moyenne et basse dont nous avons parlé de ça au sein du premier chapitre. D'où, les résultats de prévision de la quantité d'énergie à consommer à des prix bien déterminés afin d'atteindre un taux de croissance économique bien précis, sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 18** : La prévision de la consommation d'énergie

Horizons	Scénarios Prix (USD 2010)	Scénarios économiques		
		Récession 2%	Expansion 6%	Croissance Accélérée (10%)
2020	Basse : 78,09	981,751	1171,277	1388,283
	Moyenne : 101,36	974,659	1162,817	1378,256
	Haute : 173,68	960,179	1145,541	1357,779
2025	Basse : 75,98	973,192	1280,693	1668,299
	Moyenne : 106,68	964,056	1268,67	1652,637
	Haute : 191,01	948,573	1248,295	1626,095
2030	Basse : 73,86	964,733	1400,366	2004,844
	Moyenne : 112,05	953,622	1384,237	1981,753
	Haute : 201,24	938,227	1361,891	1949,761
2035	Basse : 71,69	956,388	1531,286	2409,382
	Moyenne : 117,61	943,319	1510,361	2376,458
	Haute : 204,29	928,952	1487,358	2340,264

D'après ce tableau nous constatons qu'au sein de la même situation, la quantité consommée d'énergie sera de plus en plus importante lorsque le taux de croissance moyen du PIBR augmentera alors que lorsque celui de PRIX s'accroît la consommation diminue. En effet, à l'horizon de 2020, l'équilibre de long terme sera assuré sauf si la quantité d'énergie consommée sera à l'ordre de 981,751 ktep dans une situation de récession économique et avec un prix de pétrole 78,09 dollars/baril selon le scénario basse tension de la STEG.

Ainsi, afin de maintenir l'équilibre il faudrait avoir une quantité consommée de l'ordre de 1357,779 ktep dans le cas où le pays veut atteindre un niveau de croissance économique accélérée (10%) et le prix de pétrole touchera le 173,63 dollar/baril. Cependant, compte tenu des ressources limitées du pétrole en Tunisie et puisque le pétrole représente 56,1% de la consommation totale d'énergie, cette quantité serait très importante donc le pays sera obligé d'importer ses besoins afin de remédier à ce défi. La meilleure solution consiste pour les autorités de substituer le pétrole par le gaz naturel et encourager le développement des énergies renouvelables à savoir l'énergie solaire, l'énergie éolien, biogaz, bio-diesel et le bois énergie... De plus, le comportement du consommateur devrait être modifié par des actions d'information et de sensibilisation telles que le comportement d'usage (éteindre les lumières), le comportement d'achat des appareils économes en énergie, etc. Toutefois, si la Tunisie enregistre une croissance économique accélérée, cette consommation sera à l'ordre de 2409 ktep en 2035 avec un prix de pétrole 71,69 dollars/baril. Dans ce cas la croissance de la croissance économique est plus faible que celle de la demande d'énergie ce qui montre la non efficacité énergétique du pays. Pour conclure, d'après les prévisions calculées selon chaque scénario, une politique qui pourrait être efficace pour réduire la consommation d'énergie et atteindre un taux de croissance économique élevé, est d'augmenter le prix de l'énergie usée puisque nous avons remarqué que si on augmente le prix la consommation diminue. D'où, outre cette suggestion, nous consolidons la politique d'utilisation rationnelle de l'énergie (URE) qui représente une composante importante de la politique énergétique du pays. En fait, la politique d'URE conduit à une amélioration de l'efficacité énergétique qui se traduit par une réduction de l'énergie consommée pour un service rendu ou un niveau d'activité donnée. L'amélioration de l'efficacité énergétique induit une consolidation de la croissance économique puisqu'elle se traduit essentiellement par une croissance de la consommation d'énergie plus faible que celle de la croissance économique.

## **2.5. CONCLUSION**

Compte tenu des mutations économiques que connaît la Tunisie, la consommation d'énergie a progressivement entamé un processus de découplage par rapport à la croissance économique, durant la dernière décennie. Ce découplage est influencé par des prix de pétrole qui ont atteint des niveaux très élevés. Ce renchérissement des prix est du à l'augmentation de la consommation et la réduction de la production d'énergie

simultanément d'une part et le réchauffement planétaire d'autre part. Ainsi, la relation entre l'énergie et la croissance économique a représenté le soucient objet recherché au sein de ce travail. Pour cela nous avons utilisé des divers outils économétriques afin de spécifier cette relation à savoir la théorie de la cointégration qui permet de déterminer les tendances de long terme combinées à des ajustements de court terme à travers le modèle ECM. En effet, pour savoir s'il s'agit des variables cointégrées plusieurs tests ont été proposés à savoir le test d'Engle et Granger et le test de Gregory et Hansen. Nous avons donc appliqué ces outils dans l'étude de l'existence de relation de long terme entre la température, le prix de pétrole, le PIBR et la consommation d'énergie durant la période 1971-2011 dans le cas tunisien. Nous avons commencé par l'étude de la stationnarité à travers les tests de racine unitaire qui ont conduit à conclure que toutes les séries sont non stationnaires sauf pour la température qui est stationnaire avec une rupture en 2002. Après étude de la stationnarité nous avons effectué un test de cointégration avec changements structurels en adoptant une stratégie séquentielle à deux étapes. D'abord, nous avons testé la stabilité des paramètres de la relation considérée et nous avons conclu à l'instabilité de la relation cointégrante. Dans la seconde étape, via le test de Gregory et Hansen nous avons déduit qu'il y a une relation d'équilibre de long terme avec changement du régime durant l'année 1989. Par conséquent, cette relation montre le découplage de la consommation d'énergie par rapport à la croissance économique. Afin de mieux comprendre la relation entre les variables considérées, nous avons appliqué le test de causalité pour déterminer le sens de réaction entre eux. Ces tests nous a permis donc de dégager une causalité unidirectionnelle passant de la CE vers le PIBR ce qui implique que l'économie de la Tunisie est dépendante de la consommation d'énergie, et une autre bidirectionnelle entre le PIBR et le prix de pétrole. De plus, afin d'interpréter les interdépendances entre les variables PIBR, CE et PRIX, nous avons utilisé les fonctions de réponse impulsionnelle et la décomposition de l'erreur de prévision. Ainsi, la loi de la demande a été bien explicitée puisque un choc sur le prix entraîne une réduction de la consommation d'énergie et d'une manière inverse un choc dû à la consommation d'énergie va diminuer le prix. Enfin, nous sommes arrivés à faire des prévisions à long terme à l'aide de la relation de cointégration dégagée. A l'équilibre et dans le but d'atteindre une croissance économique soutenue la Tunisie aura besoin de quantité importante d'énergie à des prix élevés à long terme. D'où, nous consolidons la nécessité de substituer le pétrole par le gaz naturel, l'encouragement du développement des énergies renouvelables et du

changement du comportement des consommateurs en continuant à suivre la politique d'utilisation rationnelle d'énergie et bien étudier la proposition d'augmenter le prix de l'énergie qui peut influencer positivement le comportement du consommateur face à la consommation d'énergie.

Après étude de la relation entre la consommation d'énergie et l'activité économique, au sein de cette première partie, tout en tenant compte de l'évolution du prix de pétrole, nous allons tenter d'introduire une autre dimension de développement des pays à savoir : l'environnement. En fait, la consommation et la production de l'énergie sont nécessaires pour le développement économique mais elles ont un impact sur l'environnement à court terme ainsi qu'à long terme pour affecter par conséquent le bien être même des futures générations. D'où, l'objectif de la deuxième partie sera l'étude de la relation entre la croissance économique et les risques environnementaux dans le cadre de l'« Identité de Kaya » qui prend aussi en considération l'aspect énergétique en utilisant des méthodes économétriques.

# **PARTIE 2 : ENERGIE, ECONOMIE ET ENVIRONNEMENT**

« C'est une triste chose de songer que la nature parle et que le genre humain ne l'écoute pas » V.HUGO

Suite aux deux chocs pétroliers de 1973 et 1979, les pays développés ont constaté que leur développement économique dépend nécessairement des ressources énergétiques épuisables (charbon, pétrole, gaz naturel,...). Ils se sont intéressés certes aux deux aspects économique et social tout en ignorant l'aspect environnemental. C'est pour cette raison qu'en 1992, la conférence de Rio a reconnu que la pensée au développement doit prendre en considération les pressions sur l'environnement. Ainsi, pour évaluer le niveau de développement d'un pays, il est devenu nécessaire d'assurer l'intégration des différentes dimensions ou piliers qu'englobe la notion de développement durable à savoir développement économique, progrès social et protection de l'environnement dont l'objectif général est de « répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs »<sup>42</sup>.

L'objectif de cette deuxième partie est d'estimer, pour le cas de la Tunisie, les élasticités des émissions en CO<sub>2</sub> par rapport à l'intensité énergétique de l'économie, du contenu en gaz à effet de serre de l'énergie, du revenu par tête et de la population active sur la période 1971- 2008. Ces élasticités peuvent être évaluées à la fois sur le long et sur le court terme. Dans le premier cas, elles donnent une indication sur la tendance à la décarbonation (tendance des intensités en CO<sub>2</sub> par rapport à la croissance économique). Sur le court terme, elles évaluent à l'aide d'un modèle à correction d'erreurs les chocs entraînés par chaque facteur sur la trajectoire réelle des intensités en CO<sub>2</sub> (variations autour de la tendance). Cette partie contient deux chapitres ; après une présentation du contexte environnemental tunisien dans le premier chapitre, nous présentons dans un deuxième chapitre la méthodologie adoptée pour étudier la relation entre la croissance économique (PIB) et les risques environnementaux (émissions de CO<sub>2</sub>). C'est dans le cadre de l'identité de Kaya, que nous estimons les élasticités des déterminants des émissions de GES afin de

---

<sup>42</sup> Rapport Brundtland de 1987.

présenter à la fin les projections de ces émissions et leurs différentes composantes via l'approche économétrique : la cointégration.

### 3. CHAPITRE 3 : RELATION ENTRE EMISSIONS DE CO<sub>2</sub>, CROISSANCE ECONOMIQUE ET CONSOMMATION D'ENERGIE

#### 3.1. INTRODUCTION

La température de la planète a enregistré une augmentation de 0,87°C par rapport à la moyenne annuelle en mai 2015. Toutefois, les modèles climatiques prévoient que la température globale augmentera de 1 à 3,5°C à l'horizon 2100. En général, plus les changements climatiques sont rapides, plus le risque de détruire l'environnement est important. En effet, la température moyenne à la surface a grimpé de 0,85°C entre 1880 et 2012 et la moyenne du niveau de la mer augmenterait en 2100 de 15 à 95 cm. Les zones climatiques ainsi que les écosystèmes et les zones d'agriculture changent vers les pôles de 150 à 550 km. Les forêts, les déserts et les autres écosystèmes sont aussi victimes des situations de « stress climatique » (situation de froid ou de sécheresse). Donc, l'activité économique et la santé vont avoir des répercussions et des effets directs et indirects (l'infrastructure physique va être endommagée par la hausse du niveau de la mer par exemple). Dans ce contexte, l'économiste Stern (2007) a estimé que le coût économique induit par un réchauffement planétaire sera entre 1% et 10% du PIB mondial en 2100 (5.500 milliards d'euros). En 2007, Stern a annoncé dans son rapport « qu'une action internationale immédiate pour stabiliser les émissions de gaz à effet de serre à l'origine des changements du climat planétaire aurait des retombées économiques bien supérieures au coût des mesures prises en ce sens »<sup>43</sup>. Pour la Tunisie, des éléments du coût de l'action ont été calculés à l'horizon 2011. Les résultats ont montré que le coût pour économiser l'équivalent d'un TEP grâce à la maîtrise de l'énergie est estimé à environ 40 euros en moyenne<sup>44</sup>. Toutefois, les coûts de dégradation de l'environnement en Tunisie en 1999 ont été estimés entre 383 et 662 millions de dinars par an, soit entre 1,5 et 2,7% du PIB avec une estimation moyenne de 522 millions de dinars soit 2,1% du PIB. Outre les coûts de dégradation, le coût des dommages sur l'environnement global a été estimé à environ 0,6% du PIB en 1999.

---

<sup>43</sup> Stern, S.N., *L'ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES CONSÉQUENCES DU DÉRÈGLEMENT CLIMATIQUE*. 2007.

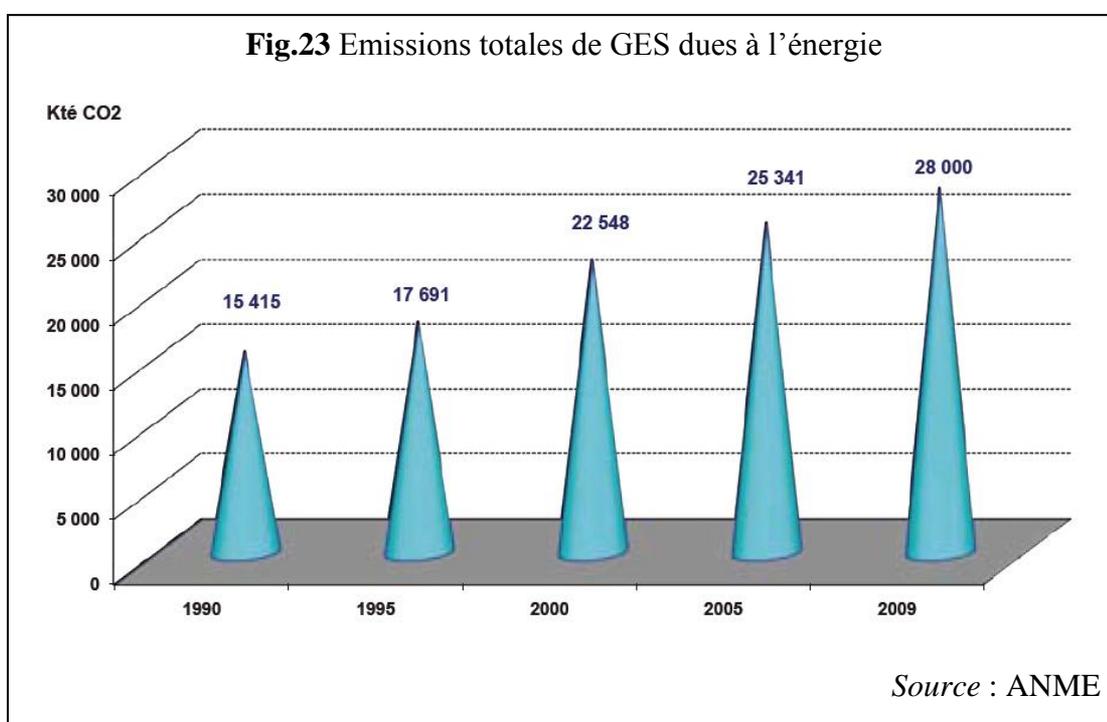
<sup>44</sup> QUEFELEC, S., *Les notes du Plan Bleu: Environnement et Développement en Méditerranée*, PNUE, PAM, Plan Bleu.

Avant de procéder à l'analyse économique des politiques environnementales, il est crucial d'éclairer la relation entre l'environnement et la société ; en particulier l'impact des externalités environnementales sur le bien être. Pour se faire, le présent chapitre sera organisé comme suit : nous commençons par illustrer le contexte environnemental tunisien tout en présentant le contexte mondial en particulier l'analyse de l'évolution des émissions de GES ainsi que les différentes politiques environnementales internationales et nationales ; ensuite, nous nous intéressons aux différentes méthodes d'étude de la relation entre l'environnement et l'économie.

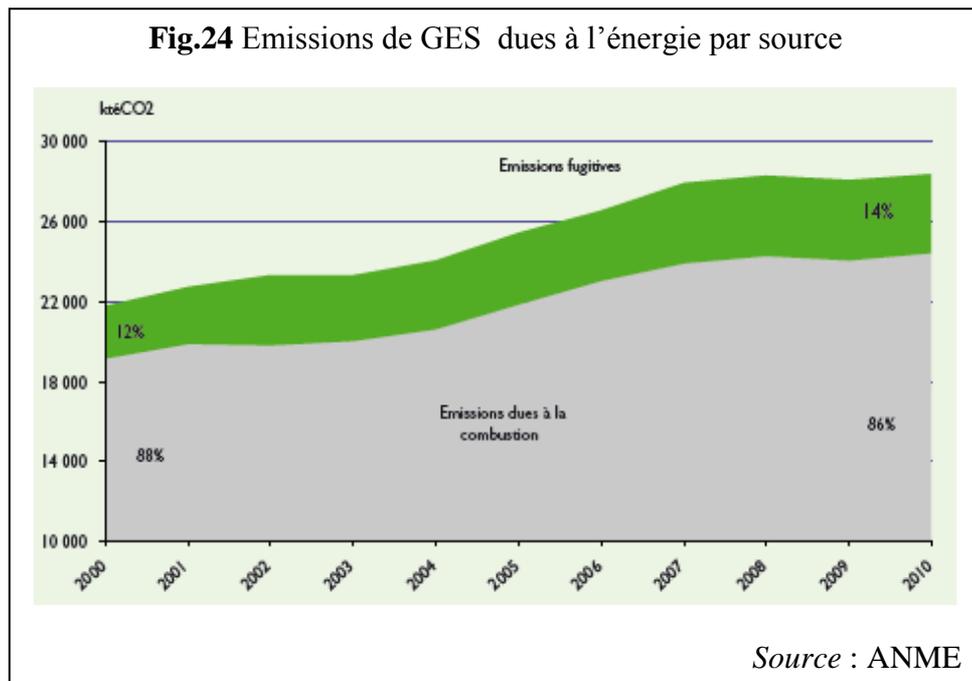
## 3.2. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL TUNISIEN

### 3.2.1. Evolution des émissions des GES par source

En Tunisie, le principal émetteur des GES est l'énergie puisque les émissions totales de GES dues à l'énergie sont passées de 15415 KTECO<sub>2</sub> en 1990 à 28000 CO<sub>2</sub> en 2009 (voir Fig.23). Cette augmentation est due principalement à l'accroissement de la consommation d'énergie primaire. Un ralentissement de cette progression a été enregistré sur la période de 2000 à 2009 pour passer de 22548 KTECO<sub>2</sub> à 28000 KTECO<sub>2</sub>.

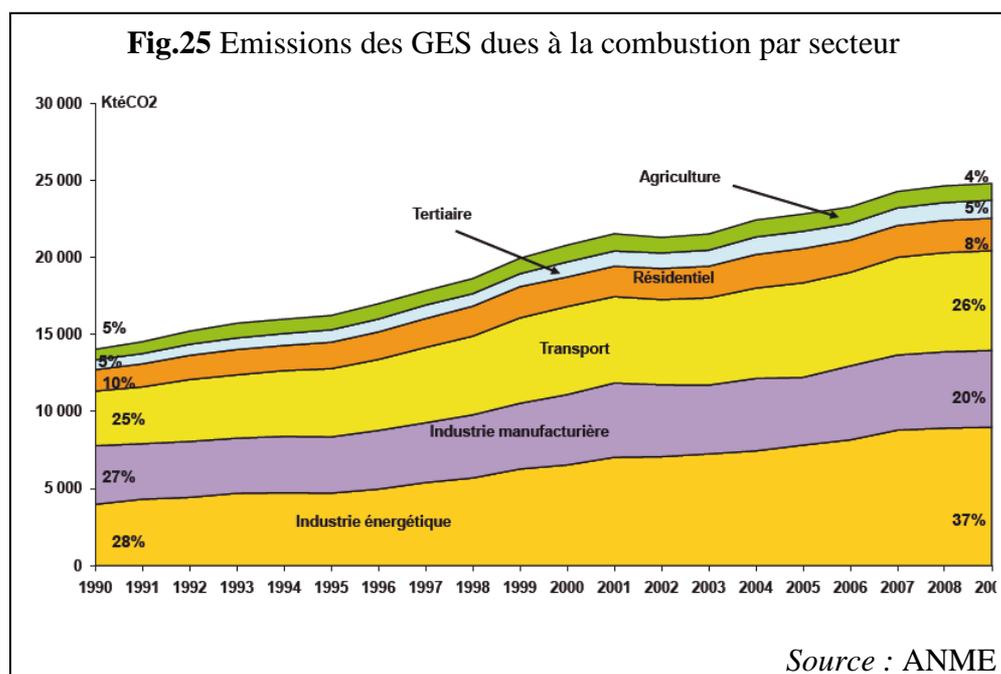


Les émissions de GES dues à l'énergie sont réparties en deux sources à savoir : la combustion énergétique et les émissions fugitives. L'évolution de celles qui proviennent de la combustion énergétique a connu une augmentation massive passant de 9796 KTECO<sub>2</sub> en 1980 à 24644 KTECO<sub>2</sub> en 2008. En 2010, cette source a représenté 86% des émissions de GES totales contre 14% pour celles provenant des émissions fugitives.



### 3.2.1.1. Emissions de GES dues à la combustion énergétique

La combustion énergétique représente la première source d'émissions dues à l'énergie en Tunisie. En effet, elle regroupe cinq secteurs à savoir : l'industrie énergétique, l'industrie manufacturière, les bâtiments et l'agriculture. L'évolution des ces émissions par secteur montre que la transformation énergétique et le transport représentent les premiers secteurs émetteurs des GES avec respectivement 38% et 28% de la totalité des GES pendant l'année 2010. Même en l'année 2000, ces deux secteurs étaient responsables à eux seuls de plus de 50% des émissions de GES comme le montre la Fig.25 ci-dessous. Cette augmentation est due à l'évolution qu'ont connue ces deux secteurs qui sont les secteurs les plus consommateurs d'énergie comme on a montré au niveau de la première partie. Par contre, les bâtiments et l'agriculture se sont caractérisés par une faible part, soit 12% des émissions dues à la combustion.



### 3.2.1.2. Emissions de GES dues aux émissions fugitives

Les émissions fugitives sont dues aux diverses activités de production, du transport et de distribution des hydrocarbures. Le tableau 20 ci-dessous montre bien une augmentation importante des émissions de GES provenant des émissions fugitives passant de 1265 KTECO<sub>2</sub> en 1980 à 1750 KTECO<sub>2</sub> en 2000 pour grimper à 3171 KTECO<sub>2</sub> en 2008, soit un accroissement annuel moyen de 3,3%. Cette augmentation est due principalement à l'entrée en production du gisement Miskar de gaz naturel dès 1996 et le développement de la capacité de transport du gazoduc transméditerranéen.

**Tableau 19 :** L'évolution des émissions GES dues à l'énergie par source (1980-2008)

Emissions de GES par source	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2008
Combustion énergétique	9796	11860	14039	16234	20798	22812	24644
<b>Emissions Fugitives</b>	<b>1265</b>	<b>1327</b>	<b>1376</b>	<b>1457</b>	<b>1750</b>	<b>2528</b>	<b>3171</b>
Total	11061	13186	15415	17691	22548	25341	27815

Source : ANME

### 3.2.2. Emissions de GES dues à l'énergie par gaz

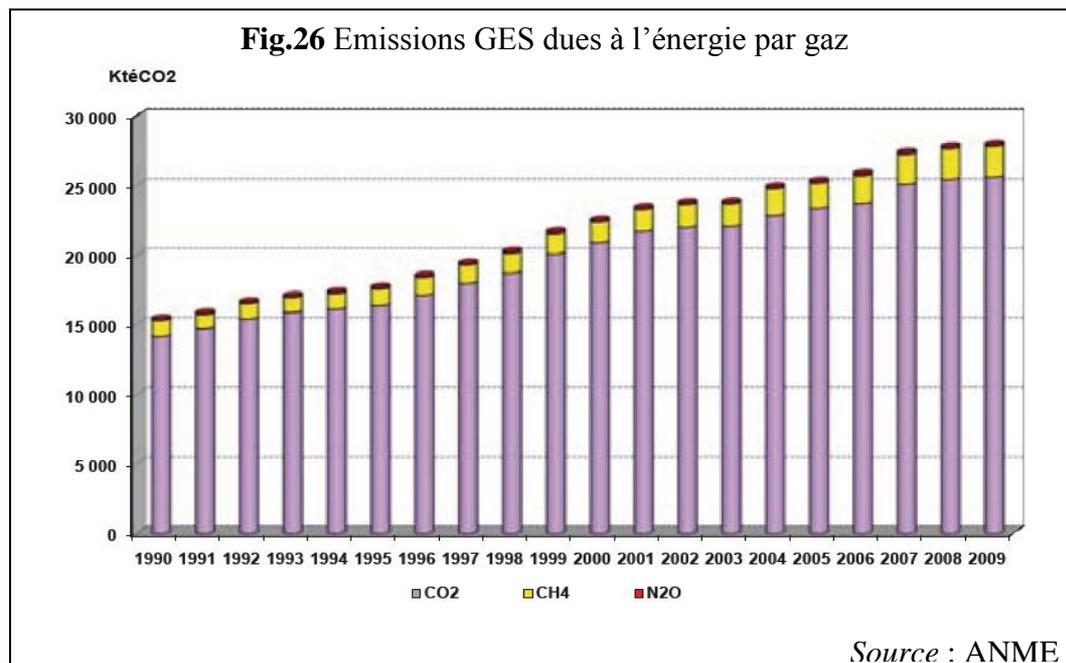
Le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub>, le N<sub>2</sub>O, le HFC, le PFC et le SF<sub>6</sub> représentent les six GES (voir Encadré 2) constituants le « panier de Kyoto ».

#### **Encadré 2 : Gaz à Effet de Serre (GES)**

L'effet de serre est un phénomène naturel résultant de l'équilibre entre le flux de rayonnement qui lui parvient du soleil et le flux de rayonnement infrarouge réémis par la Terre vers l'espace. Donc, les GES sont les gaz qui absorbent une partie des rayons solaires en les redistribuant sous la forme de radiations au sein de l'atmosphère terrestre. D'après le rapport de GIEC, 42 GES sont identifiés. Seulement six gaz sont retenus par le protocole de Kyoto à savoir : le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub>, le N<sub>2</sub>O, le HFC, le PFC et le SF<sub>6</sub>.

- Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est responsable d'environ 70% de GES, et est produit par la combustion des énergies fossiles, la déforestation et les cheminées d'usine.
- Le méthane (CH<sub>4</sub>) représente 13% des émissions. Il provient des activités d'élevage et de culture de riz, de décharges d'ordures, de l'exploitation de pétrole et de gaz et de l'extraction du charbon.
- Le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) est responsable de 16 % des émissions, et est généré des engrais azotes et de la combustion de la biomasse en agriculture.
- Gaz fluorés comme les HFC (Hydrofluorocarbures) et les CFC (chlorofluorocarbures) représentent 2% des émissions. Ils sont utilisés dans la réfrigération, la climatisation aérosols et dans l'industrie semi-conducteurs. Ces gaz sont caractérisés par un pouvoir de réchauffement de 1 300 à 24 000 fois plus que celui de CO<sub>2</sub> et par une longue durée de vie.

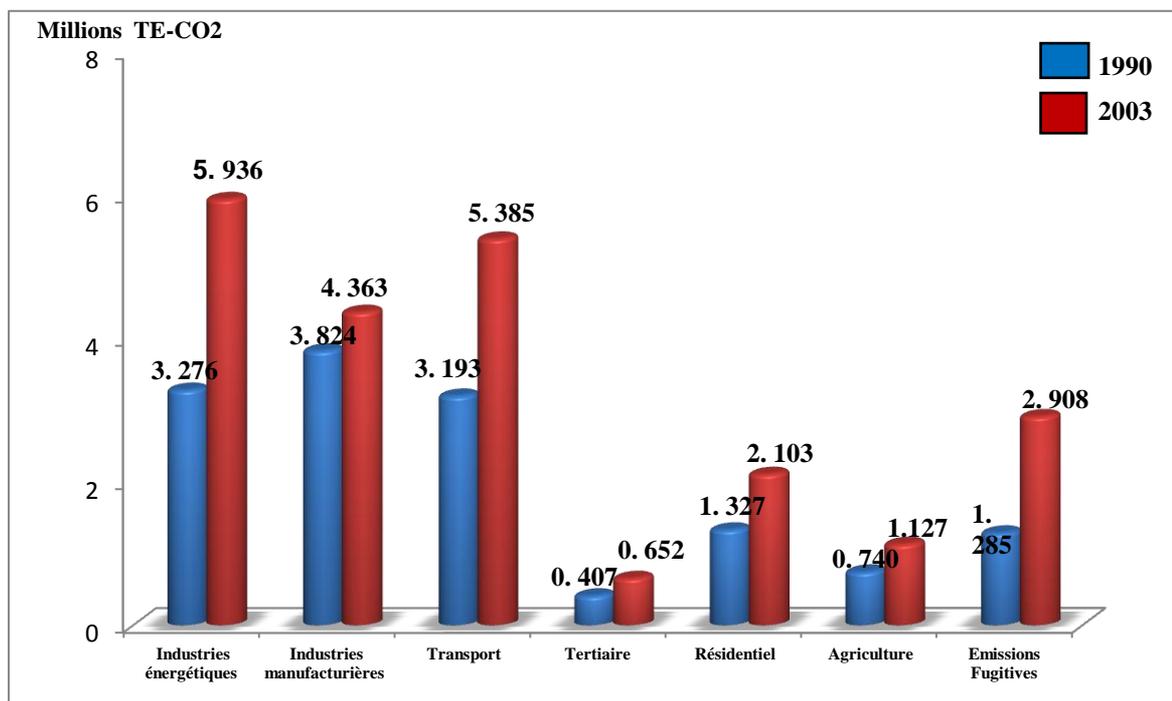
Ainsi, le CO<sub>2</sub> est le principal GES puisqu'il représente près de 70 % des émissions totales de GES issues des énergies fossiles et de déboisement. Pour les pays méditerranéens, environ 72% des ces émissions sont constituées de CO<sub>2</sub> émis de l'usage de l'énergie. En Tunisie, les émissions de GES dues à l'énergie par gaz est dominée par les émissions de CO<sub>2</sub> avec près de 92% des émissions totales dues à l'énergie, soit 25475 KTECO<sub>2</sub>. Par contre, les émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O ont représenté des faibles pourcentages avec respectivement 7,9% et 0,6% des émissions totales du secteur énergétique.



### 3.2.2.1. Emissions de CO2

Le carbone contenu dans le combustible émet le CO<sub>2</sub> lors de l'utilisation de l'énergie. Ainsi, les émissions de CO<sub>2</sub> représentent à elles seules 91,6% des émissions totales de GES en 2008 dont 95,1% provenant de la combustion énergétique et 4,9% des émissions fugitives, soit une augmentation de près de 30% par rapport à l'année 1990. En 2008, les émissions de CO<sub>2</sub> sont en environ 2,5 fois celles de 1980 puisqu'elles sont passées de 9971 KTECO<sub>2</sub> à 25475 KTECO<sub>2</sub>. L'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> par secteur d'activités est caractérisée par la domination de l'industrie énergétique (voir Fig.27) suivie du secteur de transport et ensuite de l'industrie manufacturière. Particulièrement, on observe une stabilisation des émissions de CO<sub>2</sub> du secteur résidentiel, agriculture et tertiaire et une diminution de celles émanant de l'industrie manufacturière (-8%) entre 1990 et 2003. Ces évolutions contrastées placeraient en 2003 l'industrie en tête des émetteurs de CO<sub>2</sub> avec 26% des émissions totales, suivi de près par le transport (24%) et ensuite par l'industrie manufacturière (19%). Les émissions de CO<sub>2</sub> dues à la combustion d'énergie fossile ont baissé de 14% en faveur des émissions dues au gaz naturel. En 2008, l'industrie énergétique garde sa première place avec 34,9% des émissions de CO<sub>2</sub> dues à l'énergie.

**Fig.27** Evolution des émissions de CO2 par secteur (1990-2003)



Source : ANME

### 3.2.2.2. Emissions de CH4

Les émissions totales de méthane se sont élevées à 2185 KTECO2 en 2008, soit le double de celles de 1980 comme décrit au niveau du tableau 20. Ainsi, la principale source des émissions de méthane du secteur énergétique est les émissions fugitives qui ont représenté 87,3% des émissions totales contre 12,7% de la combustion énergétique en 2008 où le secteur résidentiel a occupé 86,28% contre 13,72% pour les autres secteurs.

**Tableau 20** : Emissions totales du CH4 par source et par secteur (1980-2008)

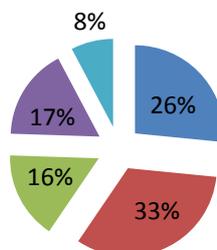
KTECO2	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2008
<b>Combustion énergétique</b>	278	273	268	261	279	272	277
Industrie énergétique	6	6	7	8	21	11	13
Industrie manufacturière	2	3	3	4	4	4	5
Transport	5	6	7	9	11	12	13
Tertiaire	2	3	3	4	5	5	5
Résidentiel	262	253	245	234	236	236	239
Agriculture	1	1	2	2	3	3	3
<b>Emissions Fugitives</b>	708	836	833	933	1219	1561	1907
<b>Total</b>	<b>986</b>	<b>1109</b>	<b>1101</b>	<b>1194</b>	<b>1498</b>	<b>1833</b>	<b>2185</b>

### 3.2.2.3. Emissions de N2O

Les émissions de l'oxyde de nitreux se sont limitées à 155 KTECO2 en 2008. Ces émissions proviennent principalement de la combustion énergétique à raison de 50% pour l'agriculture et 50% pour les autres secteurs. Elles se sont limitées à 0,6% des émissions dues à la combustion d'énergie. En effet, les émissions totales du N2O sont dues à 92,3% de la combustion dont 32,9% proviennent du secteur résidentiel, 26,6% de l'agriculture, 16,1% des transports, 16,8% de l'industrie énergétique et 7,7% de l'industrie manufacturière et du tertiaire.

**Fig.28** Emissions de N2O dues à l'énergie par secteur

■ Agriculture ■ Résidentiel  
■ Transport ■ Industrie énergétique  
■ Ind manufacturière & tertiaire



Source : Fourni par l'auteur (données de ANME 2008)

### **3.3. POLITIQUE ENVIRONNEMENTALE**

#### **3.3.1. Politique environnementale internationale**

Les menaces globales sur l'environnement ont amené les pays à signer des multiples conventions et d'organiser des conférences afin de lutter contre le changement climatique. Ainsi, l'effort international pour lutter contre le changement climatique et ses impacts sur l'environnement s'est basé essentiellement sur la diminution des émissions de GES. Partant de la convention sur les changements climatiques qui invite les pays développés à prendre des mesures pour réduire les émissions jusqu'au protocole de Kyoto où les gouvernements ont agréé l'utilisation des instruments économiques pour mettre en œuvre leurs actions, et les Etats ont été amenés à concevoir des politiques environnementales. Récemment et dans le cadre des préparatifs à la COP21 à Paris qui aura lieu en décembre 2015, plusieurs conférences mondiales s'organisent dans le but d'arriver à trouver la manière de réduire le réchauffement climatique à 2°C en 2100. Une de ces conférences était le sommet G7 en Juin 2015, organisé en Allemagne et qui s'est terminé par un accord sur le climat.

##### **3.3.1.1. Conférence de Rio de Janeiro**

Avant la conférence de Rio 1992, quatre actes mondiaux ont été enregistrés. En effet, en 1979, la première conférence mondiale sur le climat a eu lieu à Genève et a été organisée par l'OMM. Cette conférence a marqué le lancement d'un programme mondial de recherche, du programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et du Conseil International des Unions Scientifique (ISCU). En 1988, le GIEC a été créé par le PNUE et l'OMM et il est chargé de présenter l'état des connaissances existantes sur les changements climatiques telles que les impacts environnementaux, économiques et sociaux des changements climatiques. La seconde conférence mondiale sur le climat a été organisée à Genève en 1990 en regroupant 137 Etats plus la communauté européenne. Ces gouvernements se sont engagés à stabiliser leurs émissions de CO2 au niveau de 1990 d'ici l'an 2000. D'où, la décision finale de cette réunion préconise l'instauration d'une convention internationale sur les changements climatiques. En 1992 à Rio de Janeiro, et dans le cadre du Sommet de la Terre, la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) a été signée. Elle est entrée en vigueur, après, en mars 1994 et a été ratifiée par 196 pays. Son objectif principal est la stabilisation des concentrations des GES dans l'atmosphère à un niveau

permettant de prévenir des interfaces anthropogéniques avec le système climatique. Le principe de base de cette convention est fondé sur des « responsabilités communes mais différenciées » entre pays industrialisés et pays en développement. Ainsi, les pays développés s'engagent à prendre des mesures pour stabiliser leurs émissions de 2000 au niveau de celles de 1990. En plus, les pays riches doivent offrir des aides financières aux pays en développement pour le transfert des technologies respectueuses de l'environnement et l'adaptation aux changements climatiques. Et pour tous les pays, il était recommandé d'élaborer des inventaires nationaux des émissions de GES, des mesures d'adaptation aux changements climatiques et des programmes de réduction de GES.

#### 3.3.1.2. Conférence des parties (COP)

Les pays qui ont ratifié la CCNUCC se réunissent chaque année dans une ville hôte pour la COP dont l'objectif ultime est la lutte contre les émissions de GES. La première conférence des parties s'est déroulée à Berlin du 28 mars au 7 avril 1995. Les Etats participants ont révisé les communications nationales pour chaque pays et ont renforcé les engagements des pays développés ainsi que les politiques et les mesures permettant la réduction des émissions pour toutes les parties. La seconde COP a eu lieu au palais des Nations Genève du 8 au 19 juin 1996. Lors de cette COP-2 les Etats présents ont déclaré, et selon le deuxième rapport du GIEC de Septembre 1995, que « les changements climatiques représentent un danger pour l'humanité » et qu'il y a une responsabilité humaine dans le changement climatique. En 1997 et à Kyoto au Japon, la COP-3 a été organisée et a donné lieu à l'adoption du protocole de Kyoto. Il s'agit d'un instrument juridique pour lutter contre les changements climatiques où les pays industrialisés se sont engagés à réduire leurs émissions de GES d'au moins 5% sur la période 2008-2010 par rapport aux niveaux de 1990. Pour la première fois, les premiers rapports (communications nationales) périodiques demandées par l'article 21 de la CCUNCC ont été examinés lors de la COP-4 à Buenos Aires en 1998. Cette conférence a établi les grandes lignes du protocole de Kyoto afin que l'instrument puisse être opérationnel dès son entrée en vigueur en 2005. Les suivantes COP (de 5 à 21) se sont servies de la rencontre des pays pour réviser périodiquement ce nouvel agrément. En 2009, à l'occasion de la 15ème édition de la COP, les participants ont suivi l'écriture de Kyoto et ils ont discuté du problème de seuil fixé de quotas des émissions pour les pays en développement ainsi que du financement. Mais, ce Sommet de Copenhague a été

terminé sans accord après quinze jours de négociations. Suite à cet échec, les prochaines conférences se sont déroulées sans enthousiasme et dans une relative paralysie. En décembre 2014, la 20<sup>ème</sup> COP à Lima semble montrer une remontée retrouvée pour un accord. Cependant, aujourd'hui et plus précisément plus de 20 ans après le Sommet de la Terre à Rio, le total des émissions de GES dans le monde a augmenté de +29% sur la période. Il s'agit d'un échec pour les uns, et moindre mal pour les autres, qui s'interrogent sur la vraie évolution des ces émissions sans les conférences annuelles sur le climat. Outre le protocole, les participants sont censés développer des politiques et des mesures appropriés. Prochainement en décembre, la COP-21 à Paris tentera une suite de protocole Kyoto pour arriver à un accord permettant d'établir les modalités de contrôle des différents engagements et leur caractère contraignant ou pas et de poser la question de l'aide aux pays en voie de développement.

### 3.3.1.3. Protocole de Kyoto

Afin de mettre en œuvre la CCNUCC, la COP-3 organisée à Kyoto en 1997 a abouti à l'adoption d'un accord réglementaire international fixant des objectifs quantitatifs en matière de réduction des GES pour les pays industrialisés. Il s'agit bien du protocole de Kyoto qui a fixé un objectif précis et collectif pour les 35 pays industrialisés pour réduire de 5,2% leurs émissions entre 2008 et 2012, par rapport au niveau des émissions de 1990. En 2012 et lors de sommet de Doha, une deuxième période d'engagement s'étalent du premier janvier 2013 au 31 décembre 2020 a été fixée. Or, cet objectif ne sera atteint qu'en fixant des quotas pour chaque Etat ou groupe de pays. Les réductions seront de 8% pour les pays de l'UE, 7% pour les Etats-Unis, 6% pour le Canada, le groupe de pays (Hongrie, Japon et Pologne) de 6%, etc. Pour atteindre ces objectifs trois mécanismes ont été mis en place :

- EDE : échange de droits d'émission ;
- MOC : mise en œuvre conjointe mise en œuvre conjointe ;
- MDP : Un autre mécanisme pour un développement propre ;

Ces pays auront un certain degré de flexibilité concernant la mise en place des politiques de réduction, la mesure des émissions et le recours à l'achat de permis d'émissions sur le marché international. En particulier, un régime d'échange de droits d'émission à instaurer afin de permettre aux pays industrialisés d'acheter et de vendre des crédits d'émissions entre eux. En plus, afin de stocker le carbone et de réduire les

émissions de GES les pays industrialisés ont la possibilité d'acquérir des crédits d'émissions dans les pays à économie en transition dans le cadre de la mise en œuvre conjointe (MOC). Un autre mécanisme pour un développement propre (MDP) permettant aux pays industrialisés de financer des projets de réduction des émissions dans les pays en voie de développement et de recevoir des crédits pour ces fins. L'entrée en vigueur de ce protocole est conditionnée par sa ratification par 55 pays responsables d'au moins 55% des émissions totales de CO<sub>2</sub> du monde en 1990. Ce niveau des émissions est atteint après la ratification de la Russie le 8 novembre 2004 et d'où l'entrée en vigueur du protocole le 16 février 2005.

#### 3.3.1.4. Protocole de Montréal

Le protocole de Montréal sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone, a été signé par 24 pays en septembre 1987 suite à des négociations internationales autour d'une menace environnementale mondiale : le trou de la couche d'ozone qui est apparu au début des années 1980. La principale cause de ce trou selon les scientifiques c'est l'émission des CFC et des halons<sup>45</sup>. L'objectif visé par ce traité international était la limitation de la consommation des CFC et d'autres substances qui appauvrissent la couche d'ozone. En 1985, la production mondiale des CFC est évaluée à 1 150 000 tonnes dont 80% dans les pays industriels. Pourtant c'est au début des années 70, que l'effet des CFC a été pris en compte en tant qu'effet dangereux sur la planète entière. Et même plus tard, en 1978 et suite aux négociations du Congrès des Etats Unis, la décision fut prise de supprimer l'utilisation des CFC dans les aérosols. Mais cette décision est jugée inefficace puisque les industriels ont essayé de commercialiser leurs produits sur d'autres marchés. C'est à partir de 1981, que des véritables négociations ont commencé afin de chercher et fixer des mesures d'interdiction de ces substances. Deux groupes de pensée ont été créés, d'une part des Etats qui favorisent ces mesures comme les Etats-Unis, le Canada et les pays scandinaves formant le groupe Toronto, et d'autre part des pays qui pensent que l'élimination des CFC sera trop coûteuse. Après ces négociations qui ont duré presque quatre ans, on aboutit à la convention de Vienne pour la protection de la couche d'ozone en 1985 a vu le jour. Elle a fixé les grandes lignes d'un futur protocole. Pourtant les signes de destruction de l'ozone les catastrophes ont continué à s'accumuler jusqu'à l'année 1985, la date de découverte du

---

<sup>45</sup> Les halons se sont des composés chimiques consommés en tant que gaz d'extinction de feux de grande ampleur en cas des incendies.

trou de la couche d'ozone. Ainsi, la fin des années 80 a vu l'élaboration d'accords de plus en plus ambitieux notamment le protocole de Montréal qui a engagé les pays à réduire progressivement la production et la consommation des CFC et des Halons. L'entrée en vigueur de ce protocole en janvier 1989 a débouché en 1990 sur un accord à caractère obligatoire visant à mettre fin à l'utilisation des CFC et des produits chimiques dans les pays industriels avant l'année 2000. Le 16 septembre 2009, après plusieurs révisions tout au long la période d'après le protocole, le protocole de Montréal a été signé par 196 pays pour devenir le premier protocole environnemental qui a atteint la ratification universelle.

Au niveau mondial, l'aggravation du problème du changement climatique et son effet sur l'environnement a aboutit à l'élaboration et la signature de plusieurs accords, conventions et protocoles ainsi qu'à l'organisation de multiples conférences dont les principaux ont été signalés ci-dessus à savoir : la conférence de Rio, les COP, le protocole de Kyoto et le protocole de Montréal. Bien que la Tunisie soit un pays à faible émission de GES, elle a développé une politique environnementale spécifique à ses besoins et ses problèmes locaux.

### **3.3.2. Politique environnementale tunisienne**

A l'instar de la communauté internationale, la Tunisie s'est attachée très tôt à donner une importance cruciale à la protection de l'environnement et la lutte contre les effets du changement climatique en s'appuyant sur une politique volontariste basée sur l'intégration du développement durable dans le choix de ses stratégies nationales. En effet, protéger l'environnement c'est assurer une bonne qualité de vie à la population et un développement viable qui considère le développement socio-économique et la protection de l'environnement comme des facteurs primordiaux dans le développement du pays. D'où, l'intérêt porté à la lutte contre la pollution, l'amélioration du niveau de vie des citoyens et la préservation des ressources naturelles qui figurent désormais parmi les principaux objectifs de la politique environnementale tunisienne. Atteindre ces objectifs signifie l'intervention dans plusieurs secteurs comme l'assainissement, la gestion de déchets solides et la lutte contre la pollution industrielle. Ceci à travers un système de gouvernance environnemental se basant sur un système des études d'impact sur l'environnement, un cadre institutionnel, des instruments incitatifs et du partenariat avec le secteur privé et la société. Ainsi, après la révolution tunisienne en Janvier 2011,

une Stratégie Nationale sur le Changement Climatique (SNCC) a été mise en place qui prend en considération de nouveaux défis et orientations du pays.

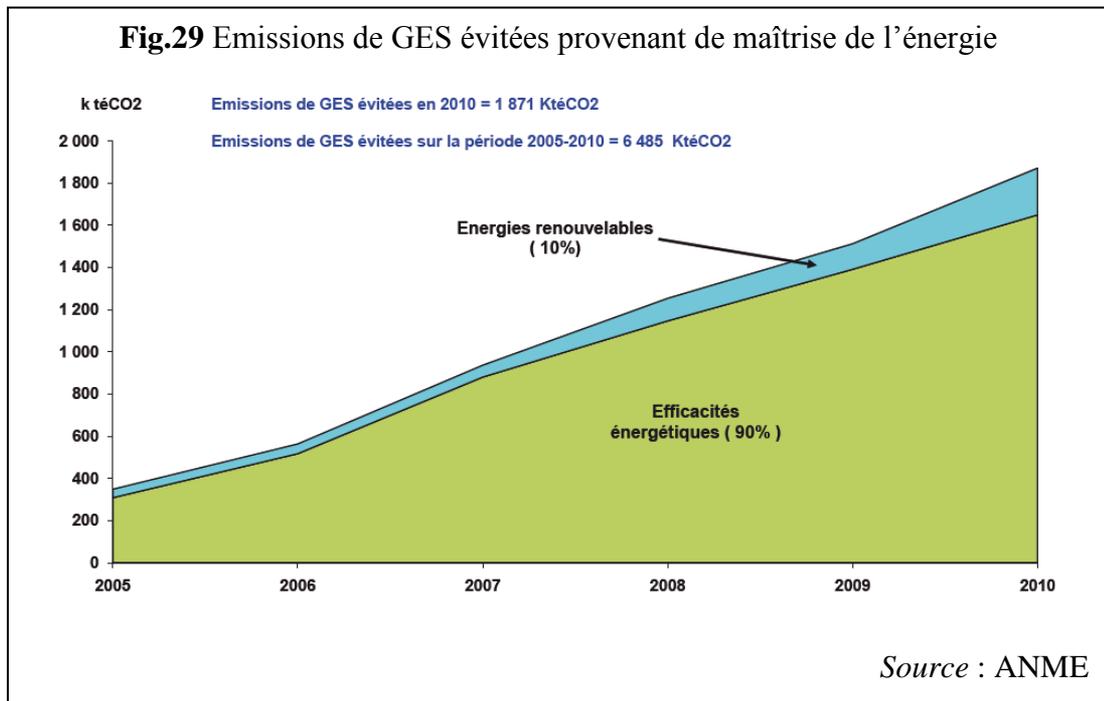
#### 3.3.2.1. Système des études d'impact sur l'environnement

La mise en œuvre de la politique environnementale tunisienne s'appuie sur un système des études d'impact sur l'environnement qui permet notamment d'évaluer en terme monétaire, les coûts des dommages environnementaux. Ainsi, ce système prend en considération l'aspect environnemental dans les projets d'investissement et dans toute activité économique pouvant avoir des externalités sur l'environnement et les ressources naturelles. Pour ce faire, la Tunisie a mis en place un cadre politique et législatif qui a servi à l'ajustement de l'économie et l'accroissement du niveau de vie de la population tunisienne.

La Tunisie a adhéré à plusieurs conventions et protocoles visant la protection de l'environnement afin de lutter contre le changement climatique en protégeant l'environnement plus particulièrement les ressources naturelles. Elle a signé et ratifié le protocole de Montréal, la CCNUCC en 1993 et le protocole de Kyoto en 2002. En vertu de l'article 12 de la CCNUCC, la Tunisie a été l'un des premiers pays à avoir dressé des inventaires des émissions de GES. C'est l'ANME qui a pris la responsabilité d'élaborer ces inventaires sur la période 1980-2003 et de les actualiser ultérieurement sur la période 1980-2008.

En tant que Partie Non Annexe 1 à la CCNUCC, la Tunisie n'a pas d'engagement de réduction des émissions de GES. Cependant, elle a pris l'initiative de lutter contre le changement climatique. C'est ainsi que le bureau national du MDP instauré par le protocole de Kyoto a adopté 37 projets dans le cadre de la stratégie d'atténuation des émissions de GES à travers la maîtrise de l'énergie. Puisque les deux secteurs les plus émetteurs des GES dues à la combustion énergétique sont l'industrie énergétique et le transport, la politique nationale de lutte contre le changement climatique s'est intéressé d'abord à ces deux secteurs en encourageant l'économie d'énergie, le transport propre, etc. En effet, sans une politique de maîtrise de l'énergie, il est très difficile de réduire l'impact environnemental ainsi que les coûts (voir Fig.29). La contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre représente l'un des principaux défis de la politique d'efficacité énergétique illustrée au niveau du premier chapitre. En effet, l'émergence de la problématique du changement climatique impose la nécessité d'opter

pour des modèles de développement durable au sein desquels la maîtrise de l'énergie joue un rôle primordial. En plus, la consommation des énergies renouvelables génère un évitement des émissions de GES (PST permettra d'éviter 32 millions de TCO<sub>2</sub>).



### 3.3.2.2. Institutions environnementales et cadre réglementaire

Le cadre institutionnel est caractérisé par la création de plusieurs institutions visant la protection de l'environnement et la lutte contre le changement climatique. Dans ce qui suit nous citons les principales institutions ainsi que leur responsabilité dans ce domaine :

- L'Office national de l'assainissement (ONAS) est chargé de développer, exploiter, et maintenir les réseaux en attendant de les déléguer à la gestion d'entreprises privées. L'ONAS s'est vu ajouter deux responsabilités : le contrôle général de pollution hydrique en 1993 et la gestion des décharges.
- Agence Nationale des énergies renouvelables : cherche à assurer le contrôle, l'approbation et le financement des opérations d'audit énergétique, la lutte contre la pollution atmosphérique et la promotion des énergies renouvelables.
- Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE) : a été créée dans le but de coordonner et de renforcer les programmes de dépollution et de

protection des milieux. Elle se charge d'étudier et de suivre l'environnement et de mettre en œuvre des politiques environnementales.

- L'Observatoire Tunisien de l'Environnement et du Développement Durable (OTEDD) : est responsable du suivi, de l'analyse et de l'évaluation des politiques de l'environnement.
- Le Centre International de Technologies de l'Environnement de Tunis (CITET) : est chargé d'encourager la promotion des technologies propres de l'environnement.

Toutes les institutions environnementales, à l'exception de l'APAL<sup>46</sup> et l'ANPE sont sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture, de l'Environnement et des Ressources Hydrauliques. Leur objectif est de renforcer la cohésion et l'harmonisation des programmes initiés par des multiples intervenants pour la prise en compte des préoccupations environnementales et du développement durable dans les politiques économiques sectorielles. Cependant, la création de ces institutions reste insuffisante pour assurer une pratique de leurs actions et leurs conseils réellement. Pour ce faire et dans l'objectif est de lutter contre le changement climatique et protéger l'environnement, la Tunisie a mis en place un cadre légal et réglementaire constitué des codes relatifs aux ressources naturelles et des textes juridiques dont les principaux sont<sup>47</sup> :

- Le décret N°2005-1991 du 11 juillet 2005 relatif à l'étude d'impact sur l'environnement et fixant les catégories d'unités soumises à l'étude d'impact sur l'environnement et les catégories d'unités soumises aux cahiers des charges.
- La loi n°88-91 du 02 août 1988 portant création d'une Agence Nationale de Protection de l'Environnement telle que modifiée par la loi 92-115 du 30 novembre 1992 et la loi n° 14 -2001 du 30 janvier 2001 portant simplification des procédures administratives relatives aux autorisations délivrées par le Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire dans les domaines de sa compétence et notamment l'article premier,
- La loi n° 96 - 41 du 10 juin 1996 relative aux déchets et au contrôle de leur gestion et de leur élimination telle que modifiée et complétée par la loi n° 14 -

---

<sup>46</sup> Agence de Protection et d'Aménagement du Littoral.

<sup>47</sup> STEG, *Etude d'impact sur l'environnement de l'aménagement réseau de transport*. 2010.

2001 du 30 janvier 2001 portant simplification des procédures administratives relatives aux autorisations délivrées par le Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire dans les domaines de sa compétence.

- La loi organique des communes n°95-68 : La collecte des déchets est du ressort des collectivités.
- La loi relative aux déchets et au contrôle de leur gestion et de leur élimination n°96-41 : L'après collecte et le traitement des déchets ont été confiés à l'ANPE.

### 3.3.2.3. Stratégie Nationale sur le Changement Climatique

Plusieurs actions et démarches ont été élaborées en Tunisie dans le cadre de la maîtrise des émissions de GES et l'adaptation au changement climatique. Cependant, l'absence de la cohérence entre les actions des différents secteurs incitait la mise en place d'une Stratégie Nationale sur le Changement Climatique (SNCC) afin de produire un rapport national commun sur le changement climatique. Ainsi, cette stratégie a été élaborée par un groupement de consultants nationaux et internationaux (Bureaux ALCOR-TEC) qui a été communiqué par le Ministère de l'Environnement avec l'appui de la coopération allemande (GIZ) fin 2010 afin de mettre en œuvre la CCNUCC. Fin 2011, elle a été validée à Tunis tout en intégrant une approche intersectorielle dans la politique environnementale du pays en matière du changement climatique. Néanmoins, la période d'élaboration de cette stratégie a été marquée par la révolution tunisienne du 14 janvier 2011 qui a influencé les orientations du pays sur les différents plans selon les nouvelles préoccupations des tunisiens. Particulièrement, « sur le plan environnemental il y a un risque, sur le court et moyen terme, que les politiques sociales et économiques (création des emplois, protection des couches sociales pauvres) soient menées aux détriments des exigences environnementales (surexploitation des ressources naturelles, industries polluantes, gel des tarifs de l'énergie et relâchement des efforts de maîtrise de l'énergie, etc.) »<sup>48</sup>.

D'où, la SNCC comme une stratégie environnementale impliquent significativement les régions dans sa conception et sa mise en œuvre. En effet, elle a pour objectif d'implémenter le changement climatique dans les différents secteurs que ce soit de point de vue réduction de GES ou d'adaptation (développement des énergies

---

<sup>48</sup> TEC, G.A.-. *Stratégie Nationale sur le Changement Climatique Rapport de la stratégie*. 2012, Ministère de l'Environnement GIZ Coopération Allemande au Développement.

renouvelables et des transports en commun, gestion intégrée du littoral, aménagement du territoire, initiatives de maîtrise des émissions de GES dans l'industrie et économie d'énergie pour les entreprises). Elle cherche, aussi, à renforcer la gouvernance climatique au niveau national (institutions de protection des ressources naturelles) et international (accès aux aides et financements).

En plus des politiques environnementales, la planification stratégique devait être basée sur un diagnostic des causes et des effets des dimensions du développement durable à savoir les liens entre l'environnement et la pauvreté, et les liens entre l'environnement et la croissance économique.

### **3.4. RELATION ENTRE ENVIRONNEMENT, ECONOMIE ET ENERGIE**

Les premières préoccupations liées à l'environnement ont été surgi avec la pensée des Physiocrates et des économistes classiques en se limitant à la terre pour la notion de la nature. Néanmoins, c'est à partir de la fin de la deuxième guerre mondiale qu'il y a eu une prise de conscience réelle de l'importance de l'aspect environnemental dans l'analyse économique. En effet, les impacts négatifs sur l'environnement ont justifié les nombreuses rencontres internationales afin de trouver des solutions pertinentes. La solution qui s'est avérée adéquate était le développement durable qui considère l'écologie, l'économie et le social comme trois dimensions inséparables. Dans le même sens, le DD apporte une nouvelle vision du développement économique qui assure une croissance économique sans nuire à l'environnement et à l'écosystème.

Récemment, plusieurs études et recherches se sont intéressées à l'analyse du lien entre les problèmes d'environnement, de croissance économique et de consommation d'énergie. En effet, la menace du changement climatique dû essentiellement aux émissions polluantes (CO<sub>2</sub>) a attiré l'attention sur le lien entre la croissance économique et les émissions de CO<sub>2</sub>. « Une corrélation étroite entre les émissions de CO<sub>2</sub> et la croissance économique fait penser que plus le taux de croissance de l'économie sera élevé, plus les émissions de CO<sub>2</sub> se développeront à un rythme rapide. Ainsi, les scénarios élaborés pour la Conférence mondiale de l'énergie de Montréal en septembre 1989 indiquent les relations suivantes (obtenues à partir d'une extrapolation des tendances passées) ; 1) une croissance économique sur la période 1985-2020 limitée à un taux annuel de +1,8% aboutit à une croissance des émissions de

CO2 de +20% en 2000 et +41% en 2020 par rapport à 1985 ; 2) une croissance économique modérée sur la période 1985-2020 à un taux annuel de +3,3% entraîne un accroissement des émissions de CO2 de +31% en 2000 et +70% en 2020 par rapport à 1985 »<sup>49</sup>.

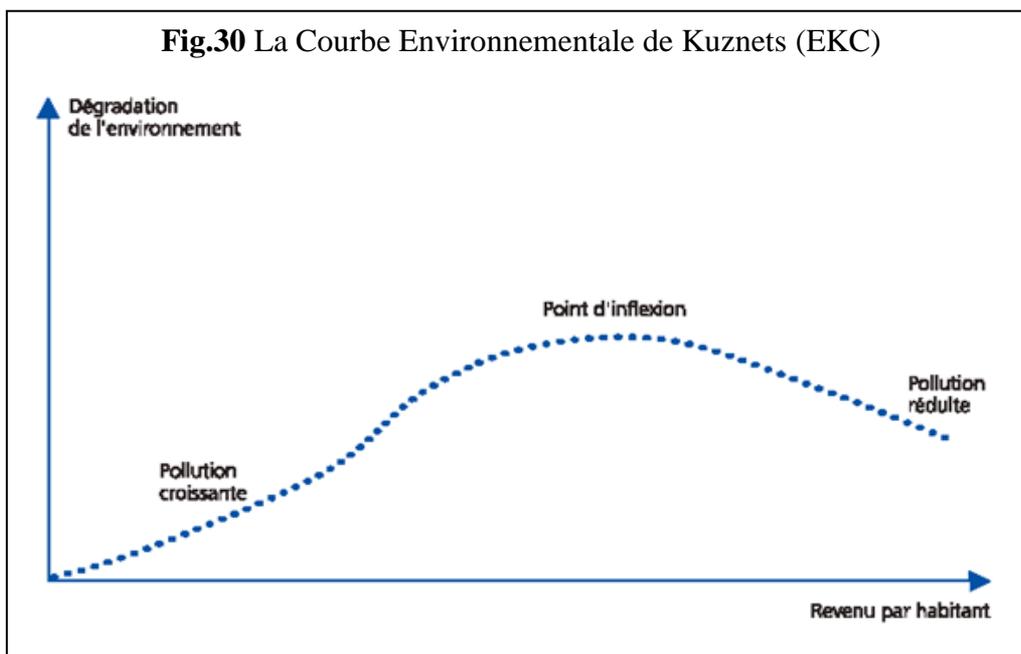
Plusieurs méthodes ont été utilisées pour étudier la relation entre le développement économique, les émissions polluantes et la consommation d'énergie à savoir : les fonctions d'élasticités, la courbe environnement de Kuznets (EKC), intensité carbone, identité de Kaya, etc.

### **3.4.1. Courbe Environnement de Kuznets (EKC)**

La courbe environnementale de Kuznets (Fig.24) se base sur une théorie proposée par les économistes néoclassiques tels que Grossman et Krueger (1991), Shafiket Bandyopadhyay (1992) et Selden et Song (1994) afin de chercher des réponses aux problèmes environnementaux. Il s'agit d'une relation en U inversé entre le développement économique et les polluants. L'hypothèse sur laquelle se base cette courbe étant qu'à partir d'un seuil de développement, appelé le point de réflexion, les émissions augmentent avec l'augmentation du revenu (PIB par tête), puis rechutent. En effet, la croissance du PIB nécessite plus d'exploitation de ressources et émette plus des émissions polluantes. Toutefois, selon l'EKC une société possède la capacité d'investir une part de ses richesses dans la recherche et le développement des moyens de production plus respectueux de l'environnement et donc réduire les émissions en garantissant l'augmentation du PIB.

---

<sup>49</sup> FAUCHEUX, S. and J.-F. NOEL, *Les menaces globales sur l'environnement*, ed. E.L. Découverte. 1990.

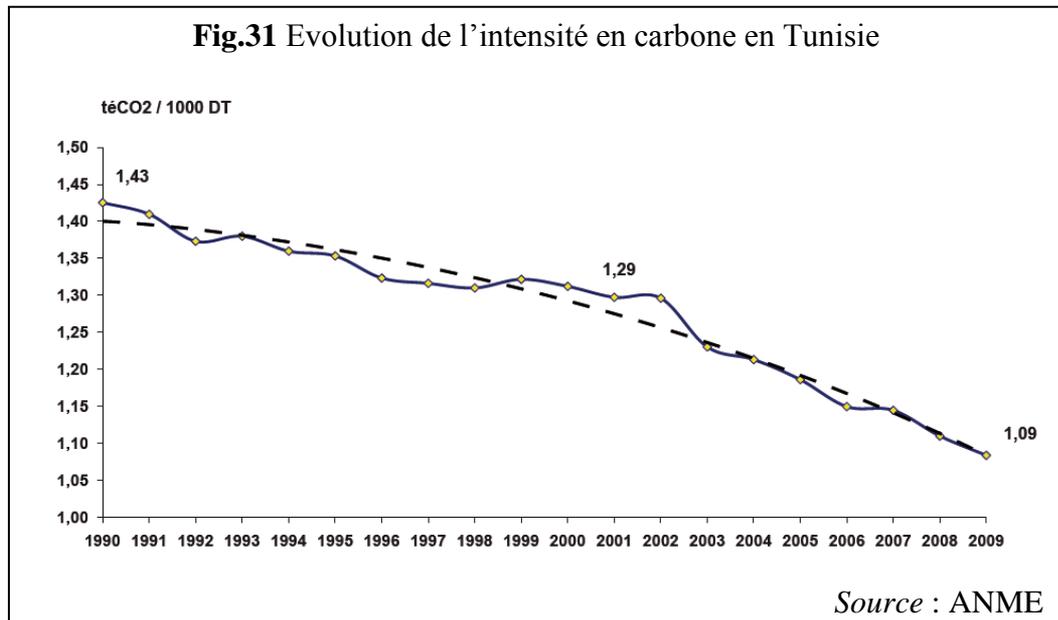


L'ECK passe par trois phases. Durant la première phase (pollution croissante), la croissance économique accroît la dégradation de l'environnement jusqu'à un pic de pollution durant la deuxième phase (point d'inflexion) pour arriver à la phase de pollution réduite caractérisée par la diminution de l'impact environnemental de la croissance en fonction de l'augmentation du revenu par habitant. Autrement, à partir d'un certain seuil plus le revenu (niveau de vie) augmente plus les consommateurs sont plus informés et peuvent davantage respecter l'environnement pour les pays industrialisés et développés.

### 3.4.2. Intensité carbone

La consommation d'énergie et l'intensité en carbone sont considérées comme principales variables pour expliquer les émissions de CO<sub>2</sub>. Ainsi, l'intensité carbone correspond au taux d'émissions de CO<sub>2</sub> due à l'énergie par rapport à la croissance économique. Parallèlement à une amélioration de l'intensité énergétique constatée en Tunisie, l'analyse de l'évolution de l'intensité en GES (Fig.31) montre une tendance moyenne à la baisse sur toute la période allant de 1,43 TE-CO<sub>2</sub> en 1990 à 1,09 TE-CO<sub>2</sub> en 2009, soit une baisse globale de 24%. Les émissions de GES par unité du PIB sont passées de 1,482 TECO<sub>2</sub>/1000 DT en 1980 à 1,105 TECO<sub>2</sub>/1000 DT en 2008,

soit une baisse de 1% par an sur toute la période 1980-2008. Cette évolution a connu une baisse accélérée à partir de 2000 passant à 2,1% par an, en moyenne.



Les émissions de GES dues à l'énergie ont atteint 24,6 MTE-CO<sub>2</sub> en 2008, soit 57% de plus que les émissions de l'année 1990. Cette augmentation s'explique principalement par la hausse de la consommation d'énergie qui a été de 58% sur toute la période 1990-2003. Bien que les émissions de GES provenant de l'énergie aient augmenté de 3,8% par an, la croissance économique a connu un rythme soutenu de 4,6% par an sur la même période.

Ainsi, la Tunisie cherche à assurer une croissance soutenue et stable et à améliorer le niveau de vie ce qui risque d'entraîner une augmentation de la consommation d'énergie et par conséquent celle de l'émission du CO<sub>2</sub>. La baisse de l'intensité en carbone est la résultante de la conjonction de quatre facteurs concomitants :

- L'orientation de l'économie tunisienne vers les secteurs non énergivores.
- L'amélioration de l'efficacité énergétique principalement dans l'industrie.
- L'utilisation des combustibles propres notamment le gaz naturel.
- L'introduction du cycle combiné pour la production d'électricité.

Les émissions de GES dues à l'énergie restent faibles comparativement aux pays industrialisés. Les émissions de GES par habitant sont passées de 1,72 TE-CO<sub>2</sub>/hab en

1990 à 2,3 TE-CO<sub>2</sub>/hab en 2003. La crise pétrolière des années 70 ne semble pas avoir un effet sur l'intensité de CO<sub>2</sub> en Tunisie, à l'époque producteur de pétrole (27,95%). C'est entre 1986-2003 que la tendance à la baisse s'est fait sentir (-13,9%).

**Tableau 21** : Evolution de l'intensité en CO<sub>2</sub> d'origine énergétique

CO <sub>2</sub> /GDP	1971-1986	1986-2003
<b>Europe 15</b>	-33%	-29%
<b>Japon</b>	-34%	-4%
<b>Etats Unies</b>	-35%	-21%
<b>Tunisie</b>	27,95%	-13,90%

La croissance de l'économie et celle de la population sont des déterminants importants de l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre. On peut décomposer la variation du taux d'émissions par habitant en trois composantes, à savoir les émissions par unité d'énergie consommée, l'énergie consommée par unité de PIB et le PIB par habitant, qui est un indicateur du niveau de vie. Si le profil de consommation d'énergie ne témoignait pas d'une intensité carbonique plus faible (CO<sub>2</sub> émis par unité d'énergie) et, plus particulièrement, d'une utilisation efficace de l'énergie (énergie consommée par unité de PIB), la courbe des émissions de gaz à effet de serre par habitant en Tunisie suivrait de près celle du niveau de vie (PIB par habitant) qui s'est amélioré remarquablement à la fin des années 1990.

### 3.4.3. Identité de Kaya

L'ECK a été critiquée par Dinda (2004) puisque selon cette courbe les émissions sont une part du PIB, et donc elle suppose qu'il y a une relation de causalité unidirectionnelle passant du PIB vers les émissions or l'inverse peut exister. Cependant, cette courbe ne met pas en évidence les autres facteurs influant le niveau des émissions autre que la croissance économique. Pour cela, l'identité de Kaya propose une décomposition des émissions de CO<sub>2</sub> en fonction de différents paramètres économiques, démographiques, industriels et politiques. La forme la plus courante est celle basée sur la spécification théorique suivante :

$$CO2 = \frac{CO2}{Energie} * \frac{Energie}{PIB} * \frac{PIB}{Population} * Population \quad (71)$$

Avec les émissions de CO2 sont une fonction de la population, du revenu (PIB par tête), de l'intensité énergétique (unités d'énergie/PIB), et de l'indice de saleté énergétique (émissions de CO2 par unité d'énergie). Cette équation stipule que la population, la croissance économique et la technologie (en d'autres termes, les intensités énergie et CO2) sont les déterminants de l'émission des gaz à effets de serre. Autrement, toute variation à la hausse ou à la baisse de la quantité des émissions de CO2 doit correspondre à une variation équivalente de l'un au moins des facteurs de décomposition.

L'effet combiné de ces facteurs sur l'environnement peut être détaillé dans ce qui suit.

#### 3.4.3.1. Effet de croissance de la population sur l'environnement

La taille de la population et sa croissance constituent les principaux facteurs qui causent l'émission de CO2. Le schéma causal induit par cette relation est que, en premier lieu, une population de grande taille pourrait impliquer une demande supplémentaire d'énergie pour l'industrie et le transport, d'où des émissions importantes. En deuxième lieu, une augmentation de la population contribue aux émissions du gaz à effet de serre à travers son effet sur la déforestation. Une augmentation de la population cause plus de déboisement, des changements d'usage de la terre et plus de consommation de bois pour les combustibles. Donc, plus la population est grande, plus les émissions de CO2 s'élèvent ce qui contribue à l'effet de serre (Birdsall, 1992). Shi (2003) a démontré qu'une augmentation de 1% de la population entraîne une augmentation de 1,28 % des émissions en moyenne. Dyson (2005) estime que la croissance de la population mondiale (estimée à 9 milliards en 2050) va entraîner une hausse de 27% des émissions de CO2, cause directe d'après les scientifiques du réchauffement climatique, après une précédente hausse de 400% entre 1950 et 2000.

#### 3.4.3.2. Effet du développement économique sur l'environnement

Plusieurs travaux ont démontré la corrélation entre développement économique et émissions de CO2 (Albrecht J. et al, 2002, Luukkanen J., et Kaivo-oja, J. 2002.,

Ansuategi et Escapa, 2002). En effet, le développement économique s'accompagne d'une augmentation de la consommation de combustibles fossiles, et des quantités de plus en plus grandes de charbon, de pétrole et de gaz naturel sont ainsi consommées par les usines et les centrales électriques, les véhicules à moteur et les ménages. Les émissions de dioxyde de carbone qui en résultent sont devenues la principale source de gaz à effet de serre. L'expérience acquise à l'échelon international montre que, dans la plupart des pays, la qualité de l'air se dégrade aux premiers stades du processus d'industrialisation et d'urbanisation. Mais une fois que les pays voient leur revenu progresser, leurs priorités changent : ils prennent conscience de la valeur de leurs ressources naturelles (air pur, eau salubre, terres arables fertiles, forêts abondantes), ils adoptent et appliquent des lois en vue de les protéger.

### 3.4.3.3. Effet de la technologie sur l'environnement

La plupart des études montrent que la politique de lutte contre le changement climatique aura des répercussions positives sur l'emploi, par exemple dans le domaine des énergies renouvelables ou des technologies de pointe. Le développement de solutions technologiques conduisant à de faibles niveaux de consommation et des niveaux de polluants très significativement réduits (intensité carbone faible), conduit à l'émergence de technologies avancées, faisant notamment appel à de nouveaux modes de combustion (cogénération, lampes LED, voiture électrique,...).

Les trois facteurs, population, niveau de vie et technologie, sont mis en corrélation dans l'équation (71) qui nous servira de socle pour estimer leurs effets sur l'émission en GES en Tunisie dans le quatrième chapitre. Ainsi présentée, cette équation n'est pas estimable, nous lui associons une forme stochastique additive définie par :

$$\ln CO2 = \beta_0 + \beta_1 * \ln \frac{CO2}{Energie} + \beta_2 * \ln \frac{Energie}{PIB} + \beta_3 * \ln \frac{PIB}{Population} + \beta_4 * \ln(Population) + \varepsilon \quad (72)$$

où ln : le logarithme népérien ;  $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$

## 3.5. CONCLUSION

Au niveau du présent chapitre, la description du contexte environnemental tunisien révèle que le principal émetteur des émissions de GES est l'énergie ce qui

montre une consommation non rationnelle de l'énergie. La négligence des pressions environnementales a abouti à la promotion de plusieurs politiques afin de réduire la consommation d'énergie et par conséquent les émissions de GES. Conformément à l'accord de plusieurs conférences internationales, la Tunisie continuera à renforcer sa politique d'atténuation des émissions de GES dans le secteur de l'énergie et contribuer à l'effort international de lutte contre les changements climatiques. Quant au lien entre l'environnement et l'économie, les études peuvent être effectuées en utilisant l'ECK, l'identité de Kaya et l'intensité carbone. Particulièrement, la baisse générale des intensités en gaz à effet de serre avec l'augmentation du PIB par habitant répond à une certaine logique. Lorsque ce niveau de vie augmente, on observe que certaines consommations, notamment celles de première nécessité augmentent à un rythme inférieur à celui du revenu (loi dite de « Engel »). La consommation énergétique, à l'origine d'une grande partie des émissions de CO<sub>2</sub>, appartient à cette catégorie de biens qui ont une élasticité vis-à-vis du revenu inférieure à l'unité. Nous nous proposons dans le chapitre suivant de valider cette analyse descriptive à l'aide d'une modélisation économétrique dans l'espoir de dégager des faits stylisés quant à l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> sur le court et le long terme dans le cadre de l'identité de Kaya.

## 4. CHAPITRE 4 : ETUDE EMPIRIQUE DE LA RELATION ENTRE ENVIRONNEMENT ET ECONOMIE

### 4.1. INTRODUCTION

La question du changement climatique est envisagée sous l'angle de découplage entre activités économiques et risques environnementaux. Pour prendre en considération ces risques, nous proposons, dans notre cas d'étudier le découplage entre les émissions de GES et le PIB c.-à-d. « la capacité à concilier croissance économique et réduction des atteintes à l'environnement et aux ressources naturelles épuisables »<sup>50</sup> dans le cadre de l'identité de Kaya afin de mettre en évidence d'autres facteurs. Nous nous proposons dans ce chapitre d'estimer des élasticités des émissions en CO<sub>2</sub> par rapport à l'intensité énergétique de l'économie, du contenu en gaz à effet de serre de l'énergie, de la production par salarié et de la population active sur la période 1971- 2003. Ces élasticités peuvent être évaluées à la fois sur le long et sur le court terme. Dans le premier cas, elles donnent une indication sur la tendance à la décarbonation (tendance des intensités en CO<sub>2</sub> par rapport à la croissance économique). Sur le court terme, elles évaluent à l'aide d'un modèle à correction d'erreurs (MCE) les chocs entraînés par chaque facteur sur la trajectoire réelle des intensités en CO<sub>2</sub> (variations autour de la tendance). A l'aide de ce modèle, il devient aisé pour les autorités d'établir des scénarios sur la tendance à court et long terme des émissions de CO<sub>2</sub> en fonction des impératives économiques, politiques et démographiques. Ce chapitre est donc organisé comme suit : Dans un premier lieu, nous commençons par présenter la stratégie économétrique adoptée pour étudier l'existence d'une relation d'équilibre de long terme entre l'économie, l'énergie et l'environnement en Tunisie. Ensuite, nous passons à la présentation des différents résultats fournis à l'aide d'un logiciel dédié à l'estimation de ce type de modèles. A la fin, nous proposons une interprétation de ces résultats qui peut aider au choix des stratégies et politiques nationales dans le domaine environnemental et énergétique.

---

<sup>50</sup> *Indicateurs nationaux du développement durable: lesquels retenir?*, R.G.d.t. interministériel, Editor.

## 4.2. REVUE DE LITTÉRATURE

La relation entre environnement, énergie et croissance économique peut être étudiée via la courbe EKC. En effet, l'ensemble des travaux utilisant cette approche ont montré que les émissions augmentent avec l'accélération de la croissance économique jusqu'au point de retournement pour réchuter après. Cependant, Dinda (2004) a critiqué cette approche du fait que le sens inverse de cette relation peut exister puisque selon cet auteur les émissions peuvent être la cause de l'accroissement du PIB. Dans ce même constat, Coondoo et Dinda (2002), et Richmond et Kaufmann (2006) ont étudié la causalité entre le PIB et les émissions CO<sub>2</sub> et ils n'ont trouvé aucune relation. Des systèmes multivariés sont également employés dans quelques études de cas récentes de pays spécifiés. En effet, Hondroyannis et autres (2002), utilisant un modèle trivarié pour analyser la relation dynamique entre la consommation d'énergie, le revenu et le niveau des prix, ont déduit qu'à long terme la consommation d'énergie et la croissance économique sont cointégrées en Grèce. Encore un système trivarié mais en employant des émissions de polluant au lieu des prix, Ang (2007, 2008) a conclu que la croissance économique cause la consommation d'énergie en France et Malaisie. Dans le même cadre, Soytaş et Sari employant les données sur l'économie de la Turquie au cours des années 1960-2000, a précisé que le revenu et les émissions sont neutres en ce qui concerne l'un l'autre et que la consommation d'énergie cause au sens de Granger les émissions. À la lumière de ces résultats, ils ont conclu, de même que Jobert et Karanfil (2007) avant eux, qu'un programme économiseur d'énergie peut être suivi, sans défavoriser, à la croissance économique et que des investissements sur des technologies d'énergie devraient être entrepris afin de commuter à moins d'utilisation carbone intensive d'énergie à la Turquie. Un autre travail publié durant l'année 2011 dont les auteurs Belke, Dobnik et Dreger ont utilisé la cointégration multivariée dans le cas d'un panel de 25 pays OCDE sur la période 1981-2007 pour déduire à la fin que l'efficacité énergétique ne peut pas être atteinte qu'en prenant en considération le côté économique et celui environnemental. En utilisant la théorie de cointégration, Mahamat Hamit-Haggar (2012) a étudié l'existence de relation d'équilibre de long terme, pour le secteur industriel canadien, entre les émissions de GES, la consommation d'énergie et la croissance économique sur la période 1990-2007. Les résultats ont montré que la consommation d'énergie a un impact significatif dans les émissions de GES. Pour un échantillon du pays du bassin méditerranéen et sur la période 1980-2011, Maha

Harbaoui et Fethi Ayachi, ont montré que les émissions de CO<sub>2</sub> et la consommation d'électricité affectent positivement la croissance économique. En étudiant la causalité entre ces variables, ils ont trouvé que sur le court terme, le PIB cause les émissions de CO<sub>2</sub>. Pour notre étude et afin de mieux comprendre cette relation, nous proposons d'étudier la cointégration en se basant sur l'identité de Kaya pour le cas de la Tunisie. Il nous a paru intéressant d'utiliser cette identité puisqu'elle permet de prendre en considération plusieurs variables dans une même équation à savoir : les émissions de CO<sub>2</sub>, l'indice de saleté énergétique, l'intensité énergétique, le revenu et la population active. Donc dans notre étude, nous proposons de compenser l'étude théorique (identité de Kaya) par une étude empirique économétrique (cointégration).

### 4.3. STRATEGIE ECONOMETRIQUE

Comme pour la première partie, étudier l'existence de relation d'équilibre de long terme entre les variables considérées nécessite le respect d'une démarche économétrique bien déterminée (Fig.16). En effet, une étape cruciale consiste à tester la stationnarité en utilisant des tests de racine unitaire. Une fois l'ordre d'intégration des séries est déterminé, on teste l'existence de relation d'équilibre de long terme via le test de cointégration d'Engle et Granger dans notre d'étude.

#### 4.3.1. Tests de Racine Unitaire (Unit Root Test)

##### 4.3.1.1. Test DF et ADF

Les modèles de base du test de racine unitaire sont proposés par Dickey et Fuller (1979). Il s'agit des trois suivants modèles :

- Modèle1 : modèle sans constante ni tendance déterministe

$$(1 - \rho L)X_t = \varepsilon_t \quad (73)$$

- Modèle2 : modèle avec constante sans tendance déterministe

$$(1 - \rho L)(X_t - \mu) = \varepsilon_t \quad (74)$$

- Modèle3 : modèle avec constante et tendance déterministe

$$(1 - \rho L)(X_t - \alpha - \beta t) \quad (75)$$

Avec :  $\varepsilon_t \square BB(0, \sigma_\varepsilon^2)$

Ce test propose de tester l'hypothèse nulle  $H_0 : \rho = 1$  contre l'hypothèse alternative  $H_1 : |\rho| < 1$ . En effet, l'hypothèse nulle signifie qu'une des racines du polynôme retard est égale à 1. On dit alors qu'on est en présence d'une racine unitaire. Cela implique que  $X_t$  est un processus stationnaire et la non stationnarité est de nature stochastique (processus DS) c'est à dire que  $X_t$  est intégré d'ordre 1. En revanche, l'hypothèse alternative signifie qu'on est en absence de racine unitaire. Cela implique que  $X_t$  est intégré d'ordre 0 c'est à dire qu'elle est stationnaire. La signification de deux hypothèses change en fonction de chacun des trois modèles du test comme suit :

➤ Modèle 1 :

$$H_0 : \rho = 1 \Leftrightarrow X_t = X_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$H_1 : |\rho| < 1 \Leftrightarrow X_t = \rho X_{t-1} + \varepsilon_t$$

Sous  $H_0$  :  $X_t$  suit un processus de marche aléatoire sans dérive.

Sous  $H_1$  :  $X_t$  suit un processus AR (1).

➤ Modèle 2 :

$$H_0 : \rho = 1 \Leftrightarrow X_t = X_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$H_1 : |\rho| < 1 \Leftrightarrow X_t = \rho X_{t-1} + \gamma + \varepsilon_t \text{ Avec } \gamma = \mu(1 - \rho)$$

Sous  $H_0$  :  $X_t$  suit un processus de marche aléatoire sans dérive.

Sous  $H_1$  :  $X_t$  suit un processus AR (1) avec dérive.

➤ Modèle 3 :

$$H_0 : \rho = 1 \Leftrightarrow X_t = X_{t-1} + \beta + \varepsilon_t$$

$$H_1 : |\rho| < 1 \Leftrightarrow X_t = \rho X_{t-1} + \lambda + \delta t + \varepsilon_t$$

Avec :

$$\begin{cases} \lambda = \alpha(1 - \rho) + \rho\beta \\ \delta = \beta(1 - \rho) \end{cases}$$

Sous  $H_0$  :  $X_t$  suit un processus de marche aléatoire avec dérive.

Sous  $H_1$  on peut écrire :  $X_t = \alpha + \beta t + \eta_t$  avec  $\eta_t = X_t - \alpha - \beta t = \frac{1}{1-\rho L} \varepsilon_t$ . Donc  $X_t$  est un processus TS avec erreurs ARMA.

En ce qui concerne la statistique du test, il s'agit de trois statistiques correspondantes à chacun des trois modèles du test :

➤ Modèle 1 :

- $\hat{\rho}$  est un estimateur convergent de  $\rho$  :

$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{t=1}^T X_t X_{t-1}}{\sum_{t=2}^T X_{t-1}^2} \quad (76)$$

- $\hat{\sigma}_\varepsilon$  est un estimateur convergent de  $\sigma_\varepsilon$

$$\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = \frac{1}{T} \sum_{t=2}^T (X_t - \hat{\rho} X_{t-1})^2 \quad (77)$$

Sous  $H_0$  : cette statistique ne suit pas une loi de Student usuelle, même asymptotiquement. Elle suit une distribution de Dickey-Fuller :

$$t_{\hat{\rho}} \square \frac{W^2(1) - 1}{2 \left( \int_0^1 W^2(s) ds \right)^{1/2}} \quad (78)$$

Où :  $W(\cdot)$  est un mouvement brownien standard sur  $[0,1]$ .

D'où la nécessité de définir un mouvement brownien.

➤ Modèle 2 :

$$t_{\hat{\rho}} = \frac{(\hat{\rho} - 1) \left[ \sum_{t=2}^T (X_{t-1} - \bar{X}_{(-1)}^2) \right]}{\hat{\sigma}_\varepsilon} \quad (79)$$

Où :

- $\hat{\rho}$  est un estimateur convergent de  $\rho$  :

$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{t=2}^T (X_t - \bar{X}_{(0)})(X_{t-1} - \bar{X}_{(-1)})}{\sum_{t=2}^T (X_{t-1} - \bar{X}_{(-1)})^2} \quad (80)$$

Avec :  $(T-1)^{-1} \sum_{t=2}^T X_{t+i}$ ,  $i = -1, 0$

- $\hat{\sigma}_\varepsilon$  est un estimateur convergent de  $\sigma_\varepsilon$  :

$$\hat{\sigma}_\varepsilon = \frac{1}{T} \sum_{t=2}^T (X_t - \hat{\gamma} - \hat{\rho}X_{t-1})^2 \quad (81)$$

Avec  $\hat{\gamma} = \bar{X}_{(0)} - \hat{\rho}\bar{X}_{(-1)}$

Sous  $H_0$  :

$$t_{\hat{\rho}} \square = \frac{[W^2(1) - 1]/2 - W(1) \int_0^1 W(s) ds}{\sqrt{\int_0^1 W^2(s) ds - \left[ \int_0^1 W(s) ds \right]^2}} \quad (82)$$

La t-statistique de la constante estimée  $\hat{\gamma}$  ne suit pas une loi de Student usuelle. En effet :

$$t_{\hat{\gamma}} = \sqrt{T-1} \left( \frac{\sum_{t=2}^T (X_{t-1} - \bar{X}_{(-1)})^2}{\sum_{t=2}^T X_{t-1}^2} \right)^{1/2} \frac{\hat{\gamma}}{\hat{\sigma}_\varepsilon} \quad (83)$$

➤ Modèle 3 :

$$t_{\hat{\rho}} = \frac{\hat{\rho} - 1}{\hat{\sigma}_\varepsilon \sqrt{c_{33}}} \quad (84)$$

Avec:

- $c_{ii}$  : est le ième élément de la diagonale de l'inverse de la matrice des moments du second ordre des régresseurs considérés dans le modèle.
- $\hat{\rho}$  est un estimateur convergent de  $\rho$ .
- $\hat{\sigma}_\varepsilon$  est un estimateur convergent de  $\sigma_\varepsilon$ .

Sous  $H_0$  :

$$t_{\hat{\rho}} \square \frac{W^{**}(1) - 1}{2 \left[ \int_0^1 W^{**2}(s) ds \right]^{1/2}} \quad (85)$$

Avec :

$$W^{**}(s) = W(s) - 4 \int_0^1 W(z) dz + 6 \int_0^1 z W(z) dz + 6 \left[ \int_0^1 W(z) dz - 2 \int_0^1 z W(z) dz \right] s$$

Les t-statistiques des estimateurs de la constante  $\hat{\lambda}$  et de la tendance  $\hat{\delta}$  sont données par :

$$t_{\hat{\lambda}} = \frac{\hat{\lambda}}{\hat{\sigma}_\varepsilon \sqrt{c_{11}}} \quad (86)$$

$$t_{\hat{\delta}} = \frac{\hat{\delta}}{\hat{\sigma}_\varepsilon \sqrt{c_{22}}} \quad (87)$$

La stratégie séquentielle du test de racine unitaire :

En pratique, on estime les modèles sous la forme suivante :

$$\text{➤ Modèle (1')} : \Delta X_t = \phi X_{t-1} + \varepsilon_t \quad (88)$$

$$\text{➤ Modèle (2')} : \Delta X_t = \phi X_{t-1} + \gamma + \varepsilon_t \quad (89)$$

$$\text{➤ Modèle (3')} : \Delta X_t = \phi X_{t-1} + \lambda + \delta t + \varepsilon_t \quad (90)$$

Où :  $\phi = \rho - 1$  et  $\varepsilon \square BB(0, \sigma_\varepsilon^2)$ .

$$\text{On teste } \begin{cases} H_0 : \phi = 0 \\ H_1 : \phi < 0 \end{cases}$$

La règle de décision de ce test est :

- Si la valeur de la statistique  $t_{\hat{\phi}}$  est inférieure à la valeur critique (les valeurs critiques sont tabulées par Dickey et Fuller (1979,1981)) alors on rejette l'hypothèse nulle de non stationnarité :
- Si la valeur de la statistique  $t_{\hat{\phi}}$  est supérieure à la valeur critique on accepte l'hypothèse nulle de non stationnarité

En pratique, on adopte une stratégie séquentielle en trois grandes étapes :

### **Etape1** :

On estime le modèle (3') puis on commence par tester la significativité de la tendance  $\delta$ , dans ce cas on utilise les tables de Dickey-Fuller des valeurs critiques de la constante et de la tendance.

Deux cas peuvent se présenter :

- Si la tendance n'est pas significative on passe à l'étape 2.
- Si la tendance est significative, on teste l'hypothèse nulle de racine unitaire. On a alors deux possibilités :
  - Si l'on accepte  $H_0$ ,  $X_t$  est non stationnaire. Dans ce cas il faut la différencier et recommencer la procédure de test sur la série en différence première.
  - Si l'on rejette l'hypothèse nulle  $X_t$  est stationnaire. Dans ce cas la procédure de test s'arrête et l'on peut directement travailler sur  $X_t$ .

### **Etape2** :

Cette étape ne peut être appliquée que si la tendance dans le modèle précédent n'est pas significative. En effet, on estime le modèle (2'). Puis, on teste la significativité 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 nulle de racine unitaire. On a alors 2 possibilités :
  - Si l'on accepte l'hypothèse nulle,  $X_t$  est non stationnaire. Dans ce cas il faut la différencier et recommencer la procédure de test sur la série en différence première.

- Si l'on rejette l'hypothèse nulle,  $X_t$  est stationnaire. Dans ce cas la procédure de test s'arrête et l'on peut directement travailler sur  $X_t$ .

### **Etape3** :

Cette étape ne peut être appliquée que si la constante dans le modèle précédent n'est pas significative. En effet, on estime le modèle (1'). Puis, on teste l'hypothèse nulle de racine unitaire. On a alors deux possibilités :

- Si l'on accepte l'hypothèse nulle  $X_t$  est non stationnaire. Dans ce cas il faut la différencier et recommencer la procédure de test sur la série en différence première.
- Si l'on rejette l'hypothèse nulle  $X_t$  est stationnaire. Dans ce cas la procédure de test s'arrête et l'on peut travailler sur  $X_t$ .

### **4.3.2. Test de cointégration d'Engle et Granger (cas univarié)**

La méthode en deux étapes a été proposée par Engle et Granger (1987). L'objet de cette méthode est de juger la compatibilité des tendances des séries au moyen des tests de cointégration adaptés. C'est l'étape la plus importante pour assurer par la suite la validité de la dynamique ECM. Cette méthode comporte deux étapes distinctes :

#### **4.3.2.1. Etape 1 : estimation de la relation c'est à dire le vecteur cointégrant $(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$**

On estime la relation :

$$Y_t = \alpha + \beta X_t + Z_t \quad (91)$$

Les termes de cette relation de long terme doivent être cointégrés sinon on aboutit à des régressions fallacieuses. Or comme  $Z_t$  constitue l'erreur d'équilibre et si on suppose que  $Z_t$  suit un processus  $AR(1)$  :

$$Z_t = \rho Z_{t-1} + u_t \quad (92)$$

Alors sous l'hypothèse de cointégration des séries  $|\rho| < 1$ .

- *L'hypothèse nulle et l'hypothèse alternative de test de non cointégration :*

$H_0 : \rho = 1$  (le processus suit alors une marche aléatoire)

$H_1 : |\rho| < 1$  (stationnarité des résidus).

- *La règle de décision :*
  - Si l'hypothèse de cointégration est rejetée, les trajectoires des séries divergent et aucune relation de long terme n'est possible entre celles-ci.
  - Si les variables  $X_t$  et  $Y_t$  sont cointégrées alors l'estimation des MCO  $(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$  converge vers sa vraie valeur. Stock a montré que la vitesse de convergence s'effectue à un rythme plus rapide ( $\frac{1}{T}$  au lieu de  $\frac{1}{\sqrt{T}}$ ).

D'où dans le cas des variables cointégrées, on passe à la seconde étape.

#### 4.3.2.2. Etape 2 : estimation du modèle à correction d'erreur

Si les variables sont cointégrées alors, d'après le théorème de représentation de Granger elles possèdent une représentation en terme de correction d'erreur. On estime le modèle à correction d'erreur par les MCO :

$$\Delta Y_t = -\gamma \hat{Z}_{t-1} + \sum_{i=1}^2 a_i \Delta X_{t-i} + \sum_{j=1}^2 b_j \Delta Y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (93)$$

Où :  $\varepsilon_t \sim BB$  et  $\hat{Z}_{t-1}$  est le résidu estimé de la relation de long terme retardé d'une période :

$$\hat{Z}_{t-1} = Y_{t-1} - \hat{\alpha} - \hat{\beta} X_{t-1} \quad (94)$$

Engle et Granger (1987) ont montré que si le vecteur de cointégration  $(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$  a été correctement estimé dans la première étape alors :

- Les estimateurs  $\hat{\gamma}_i, \hat{a}_i$  et  $\hat{b}_j$  sont des estimateurs convergents et équivalents à ceux du maximum de vraisemblance.
- Les écarts types des coefficients estimés par MCO sont des estimateurs convergents des vrais écarts types.

La méthode d'Engle et Granger permet d'estimer aisément un modèle à correction d'erreur en deux étapes. L'inconvénient de cette approche est qu'elle ne permet pas de distinguer plusieurs vecteurs de cointégration. Ceci est problématique dès lors que l'on

étudie simultanément  $N$  variables avec  $N > 2$ . On sait en effet que si l'on analyse le comportement de  $N$  variables ( $N > 2$ ) on peut arriver jusqu'à  $(N-1)$  relations de cointégration. L'approche de Engle-Granger permet d'obtenir une seule relation de cointégration. En outre, elle pose un problème de normalisation<sup>51</sup>. Pour dépasser cette difficulté Johansen (1988) a proposé une approche multivariée de la cointégration fondée sur la méthode du maximum de vraisemblance qu'on va présenter dans le paragraphe suivant.

### **4.3.3. Spécification du modèle**

La spécification du modèle est inspirée de « l'identité de Kaya » qui a été présenté au sein du précédent chapitre.

Pour estimer l'équation (72), nous nous proposons d'estimer les élasticités des émissions en GES à la fois sur le long et sur le court terme. Dans le premier cas, elles donnent une indication sur la tendance à la décarbonation (tendance des intensités en GES par rapport à la croissance économique). Sur le court terme, elles évaluent à l'aide d'un modèle à correction d'erreurs (MCE) les chocs entraînés par chaque facteur sur la trajectoire réelle des intensités en GES (variations autour de la tendance). Cette démarche suppose d'étudier au préalable l'ordre d'intégration des variables.

## **4.4. ANALYSE DES RESULTATS EMPIRIQUES**

### **4.4.1. Données**

Nous commençons notre application par présenter les différentes variables à utiliser afin d'étudier l'évolution des émissions de CO2 en fonction de la croissance économique, l'énergie et la population pour le cas de la Tunisie. Ainsi, les variables à considérer sont celles figurées au sein de l'équation (72) de l'identité de Kaya à savoir : les émissions de CO2, l'indice de saleté énergétique, l'intensité énergétique, le revenu et la population active. Il s'agit des données annuelles qui couvrent la période de 1971 jusqu'à 2010 et qui ont été téléchargées de Perspective Monde de l'année 2014.

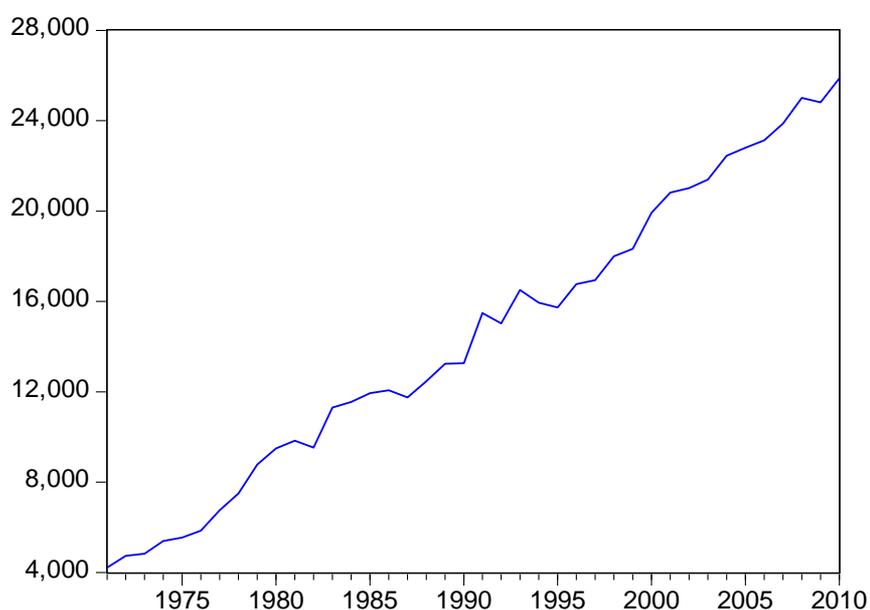
---

<sup>51</sup> Elle conduit à des résultats différents selon que l'on suppose la combinaison :  
 $z_t = x_t - \alpha - \beta y_t$  ou  $z_t = y_t - \alpha - \beta x_t$

#### 4.4.1.1. Emissions de CO2 (CO2)

Le dioxyde de carbone (CO2) est responsable près de 70% de GES, et est produit par la combustion des énergies fossiles, la déforestation et les cheminées d'usine. Pour notre étude, nous utilisons les émissions de CO2, mesurées en tonnes métrique, comme variable environnementale. L'évolution des émissions de CO2 (Fig.32) montre une tendance à la hausse passant de 4213 tonne en 1971 au plus haut niveau des émissions en 2010 avec 26743.

Fig.32 Evolution des émissions de CO2



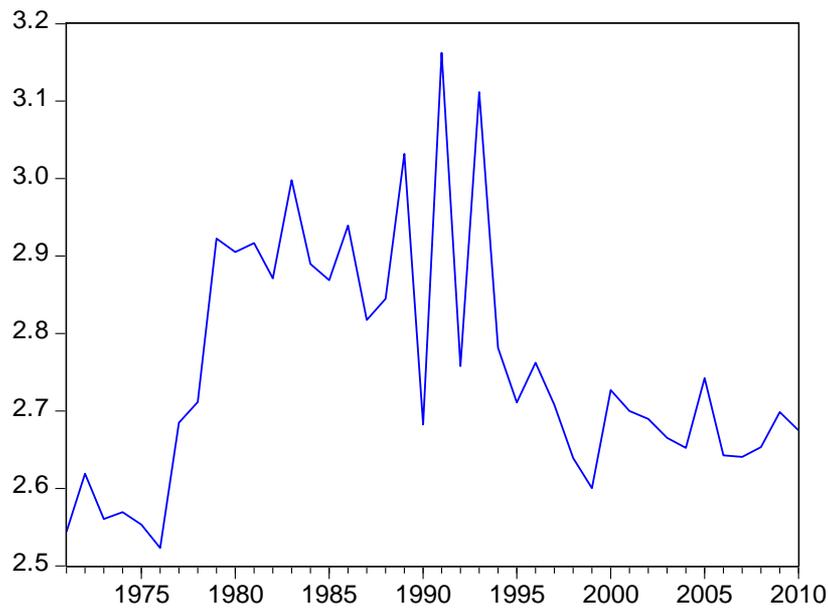
*Source* : Fourni par l'auteur

#### 4.4.1.2. Indice de saleté énergétique (ISE)

Il s'agit des émissions de CO2 par rapport à la croissance économique. L'indice de saleté énergétique est défini comme étant la quantité de CO2 émise pour chaque unité d'énergie.

$$\text{ISE} = \text{CO2} / \text{Energie}$$

Fig.33 Evolution de l'Indice de Saleté Energétique (ISE)



Source : Fourni par l'auteur

L'évolution de l'indice de saleté énergétique est caractérisée par des fluctuations sur toute la période 1971-2010. Cet indice a connu une tendance à la hausse jusqu'à 1986. Cependant, la période de 1986 jusqu'à 1995 a enregistré une instabilité de l'ISE dont il a atteint un pic en 1993, soit 3,11 tonnes de CO<sub>2</sub> pour un ktep. A partir de 1995, cet indice a chuté grâce aux politiques environnementales adaptées pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> dans le cadre des efforts de lutte contre le changement climatique.

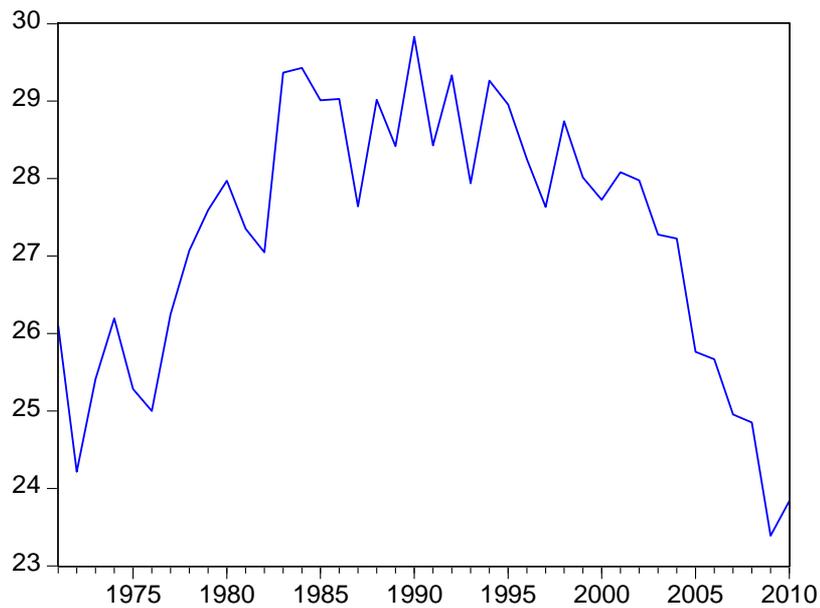
#### 4.4.1.3. Intensité énergétique :

L'intensité énergétique c'est le ratio entre la consommation d'énergie et un indicateur d'activité mesuré en unités monétaires à prix constants. Elle représente la quantité d'énergie pour produire une unité du PIB.

$$IE = \text{Energie} / \text{PIB} \text{ (à prix constants)}$$

A partir des années 70, l'intensité énergétique a connu une croissance rapide passant de 0,260 tep/1000 dinars de PIB à 0,410 tep/1000 dinars en 1985. En général, l'évolution de l'intensité énergétique a enregistré des fluctuations depuis trois décennies caractérisées par une baisse de 26 % en 2010 par rapport à 1990.

Fig.34 Evolution de l'Intensité Energétique (IE)

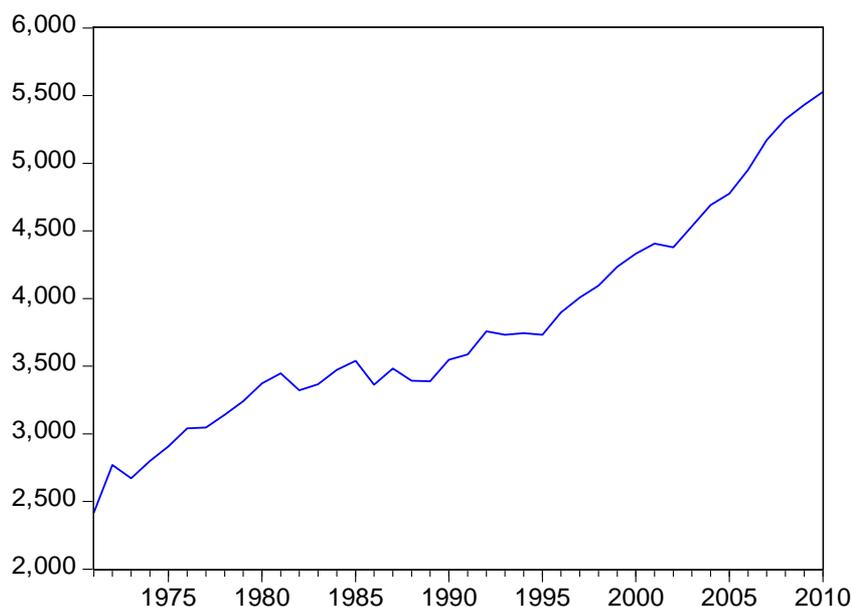


Source : Fourni par l'auteur

#### 4.4.1.1. Production par tête

La production par tête est utilisée dans notre cas comme indicateur de l'activité économique pour mesurer le développement d'un pays. Cet indicateur n'a cessé d'augmenter sur toute la période d'étude. Cette augmentation reflète bien la croissance des besoins de confort de la population tunisienne, alimentés par l'amélioration notable de son niveau de vie.

Fig.35 Evolution de la production par tête (REV)

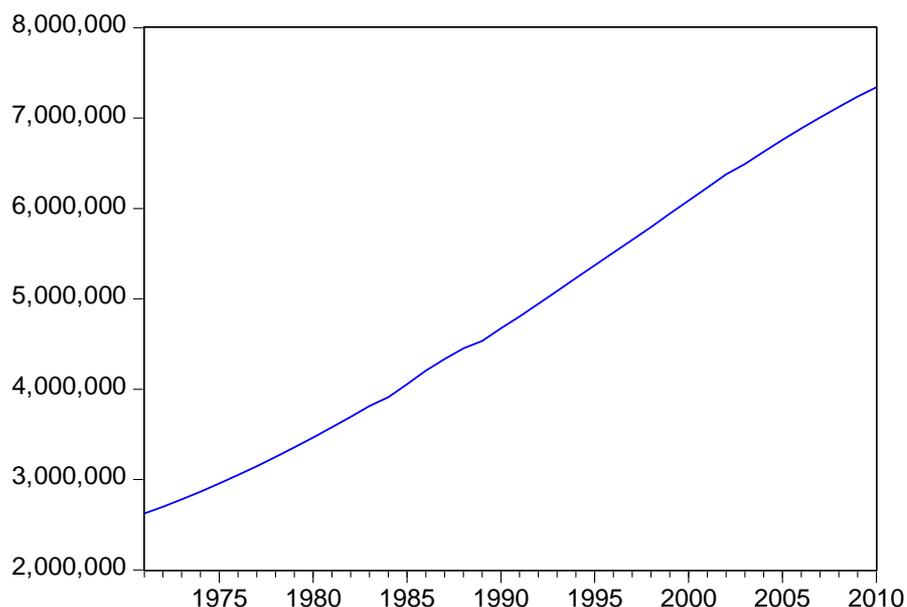


Source : Fourni par l'auteur

#### 4.4.1.2. Population active

La population active représente la catégorie de 15 à 64 ans faisant partie de la population totale. Cette variable donne une information importante pour comprendre la pyramide d'âge d'un pays. La population active tunisienne a représenté 51,89% de la population totale en 1971 pour grimper à 69,56% en 2010. La population active la plus élevée a été enregistrée en 2012 avec 69,7% de la population totale.

Fig.36 Evolution de la POPA



Source : Fourni par l'auteur

#### 4.4.2. Ordre d'intégration

La première étape de notre analyse empirique repose sur un examen des séries chronologiques dans le but de déterminer si celles-ci présentent des racines unitaires. Une bonne spécification des modèles de régression requiert que toutes les variables soient intégrées du même ordre afin d'éviter les problèmes de régression fallacieuse. C'est pourquoi il convient d'effectuer des tests de stationnarité. Ces derniers permettent de voir si une série temporelle est stable dans le temps, étant entendu qu'une série relativement invariante est utile à la prévision. Pour travailler avec des séries qui ne sont pas stationnaires, on recourt généralement à la différenciation ou à la régression sur trend, de manière à les rendre stationnaires. Il est donc important de déterminer la stationnarité ou non des séries avant d'appliquer une méthode d'estimation, et ce, d'autant plus que l'utilisation des variables n'ayant pas le même ordre d'intégration dans une équation invalide l'économétrie sur variables non stationnaires. Pour tester la stationnarité des séries précitées, nous avons opté pour les tests de racines unitaires proposés par Ng et Perron (2001). Ces tests sont plus robustes du fait qu'ils ont des propriétés de bons niveau et puissance surtout dans le cas des distorsions des résidus avec corrélation sérielle négative. Les tests de racine unitaire ont

été effectués sur les séries log-linéarisées. Les résultats de tests sont présentés dans le tableau 22.

**Tableau 22 : Test de racine unitaire**

Variables		Test NG-Perron	
		Statistique du test (MZa)	
	<b>LCO2</b>		-5,89
	<b>LISE</b>		-2,67
	<b>LIE</b>		-1,52
	<b>LREV</b>		-3,12
	<b>LPOPA</b>		-17,13

Seuil	1%	(5%)	(10%)
<b>Valeur critique</b>	-23,8	-17,3	-14,2

Les statistiques du test MZa (voir annexe pour les autres statistiques de Ng et Perron) sont supérieures aux valeurs critiques aux seuils 1%, 5% et 10%, donc on accepte l'hypothèse nulle, les séries des variables considérées possèdent des racines unitaires, et elles sont non stationnaires. En utilisant la stratégie séquentielle du test ADF, les résultats ont montré que les séries en différence sont stationnaires et donc elles sont intégrées d'ordre 1. Par conséquent, nous pouvons passer à la seconde étape afin de tester la présence de relation d'équilibre de long terme entre LCO2, LISE, LIE, LREV et LPOPA.

#### 4.4.1. Test de cointégration

L'une des approches de la théorie de la cointégration est la méthode en deux étapes proposée par Engle et Granger (1987). Le choix de cette méthode de cointégration pour cette partie est justifié du fait qu'il s'agit d'une relation à estimer dont la variable dépendante est connue d'avance en se basant dans notre cas sur l'identité de Kaya où les émissions de CO2 sont en fonction de l'indice de saleté énergétique, l'intensité énergétique, le produit intérieur brut par tête et la population active. Elle consiste lors de la première étape à montrer qu'il existe une relation de long terme entre une variable dépendante et des variables explicatives, puis lors de la seconde étape, à exprimer ces variables cointégrées sous la forme d'un modèle à correction d'erreur, l'estimation de ce dernier permettant notamment de déterminer les ajustements de court terme. L'autre approche de la cointégration est la méthode du maximum de vraisemblance, proposée par Johansen (1988, 1991) et Johansen et Juselius (1990) qui a les avantages d'une approche multivariée. Elle permet de

différencier plusieurs vecteurs cointégrants et de les estimer en faisant intervenir une dynamique d'ajustement. Puisque nous disposons d'un ordre théorique a priori entre les variables, nous adoptons la méthode univariée d'Engle et Granger (1987) dans le cadre de cette étude. Selon Engle et Granger, tester la cointégration revient à opérer un test de racine unitaire sur les résidus de l'équation de cointégration. Concrètement, il s'agit dans un premier temps d'estimer par la méthode des MCO la relation de long terme (72). On note par  $\hat{\varepsilon}_t$  le résidu d'estimation. Dans un deuxième temps, d'appliquer la méthodologie des tests de Dickey-Fuller à ce résidu :

$$\Delta\hat{\varepsilon}_t = \varphi_1^*\hat{\varepsilon}_{t-1} + \Delta\varphi_2^*\hat{\varepsilon}_{t-1} + \Delta\varphi_3^*\hat{\varepsilon}_{t-1} + \dots + \vartheta_t \quad (95)$$

Si :

$\varphi_1^* = 0$  : la série  $\hat{\varepsilon}_t$  possède une racine unitaire et les deux variables ne sont pas cointégrées.

$\varphi_1^* < 0$  : la série  $\hat{\varepsilon}_t$  est stationnaire et l'hypothèse de cointégration est acceptée.

D'où, l'estimation nous a donné la relation suivante de long terme :

$$LCO2_t = -17,75 + 0,42LIE_t + 0,95LISE_t + 1,61LPOPA_t + 0,009LREV_t + \hat{\varepsilon}_t \quad (96)$$

La statistique de test ADF sur les résidus est égale à -3,9. Elle est inférieure à la valeur tabulée (-4,42) à 5% (voir annexe), donc l'hypothèse de stationnarité des résidus est acceptée et par conséquent nous pouvons conclure qu'il y a une relation d'équilibre de long terme entre les variables considérées. Les élasticités sont toutes statistiquement significatives à 1% (voir annexe pour les t-Student) et ont le signe attendu. A long terme, une augmentation de 1% de l'indice de saleté énergétique et de l'intensité énergétique entraîne une augmentation respectivement de 0,95% et de 0,42% des émissions. L'élasticité revenu est estimée à 0.009% ce qui indique que les émissions augmentent à un rythme très inférieur à la croissance économique. En revanche, le poids de la population active dans l'accélération des émissions des gaz à effet de serre est très important (1,61%). Ce dernier résultat conforte les conclusions avancées par (Shi (2003)).

#### 4.4.2. Le modèle à correction d'erreur

Accepter la cointégration, c'est accepter le fait qu'il existe une relation d'état stationnaire entre deux séries de variables qui ont une tendance commune à évoluer dans le même sens. Tout écart momentané par rapport à l'équilibre est considéré comme aléatoire. D'après le théorème de représentation de Granger, tout système cointégré, implique l'existence d'un mécanisme à correction d'erreur qui empêche les variables de trop s'écarter de leur équilibre à long terme. Si la cointégration permet de préciser la réalité et la nature des divergences entre deux séries théoriquement liées entre elles et à modéliser le comportement de ces variables, le modèle à correction d'erreur permet d'en expliquer et d'en déduire le mécanisme. De façon générale, l'estimation du modèle de correction d'erreur est :

$$\Delta LCO2_t = 0,014 + 0,72 \Delta LIE_t + 0,97 \Delta LISE_t + 1,23 \Delta LPOPA_t + 0,006 \Delta LREV_t - 0,39 Z_{t-1} \quad (97)$$

Où  $Z_{t-1}$  est le terme à correction d'erreur issu de l'estimation de la relation cointégrante. L'estimation du modèle indique qu'à court terme les élasticités sont statistiquement significatives. L'indice de saleté énergétique est presque élastique à court et long terme. En revanche, les émissions de CO2 augmentent plus proportionnellement à court terme qu'à long terme suite à une augmentation de l'intensité énergétique. Les valeurs relativement élevées des élasticités indiquent que les politiques axées sur les intensités énergétiques et « carbonique » seraient assez efficaces pour réduire les émissions des gaz à effets de serre. Des mesures normatives (sous forme d'instructions données aux entreprises et aux ménages) ou des taxes incitatives<sup>13</sup> seraient susceptibles de réduire la consommation de combustibles. Nous rappelons ici quelques-unes de ces décisions parmi les plus significatives qui mettent en évidence les composantes de cette stratégie (ANME 2004):

- Sur l'utilisation rationnelle de l'énergie : "Relever le montant des incitations financières pour l'encouragement de la maîtrise de l'énergie dans le cadre de la réalisation des audits énergétiques et du suivi des contrats programmes)".
- Sur les économies d'électricité : "Adopter des normes correspondant à des seuils limités de consommation d'énergie pour les équipements électroménagers considérés comme les plus énergivores (climatiseur, réfrigérateur, four électrique, fer à repasser)".

- Sur les énergies renouvelables : "Obligation de l'utilisation des chauffe-eau solaires dans les nouveaux bâtiments publics"; "Optimisation de l'exploitation de l'énergie solaire photovoltaïque dans les différents secteurs"; "Développer l'utilisation de l'énergie éolienne pour la production d'électricité".
- Sur la substitution par le gaz naturel : "Augmenter la contribution du gaz naturel dans la consommation d'énergie finale au niveau des différents secteurs d'activité : résidentiel, tertiaire et industriel »

Par ailleurs, l'élasticité de revenu est plus prononcée à long terme qu'à court terme. En effet, l'augmentation du revenu induit une augmentation de la consommation de combustibles par les agents économiques (usines, ménages), ce qui induit une augmentation des GES. Enfin, en matière d'emploi, nous remarquons également qu'une augmentation de 1% de la population active entraîne à court terme l'augmentation de 1,23% des émissions de GES. Pour endiguer cette augmentation exponentielle, le développement de capacités et de compétences dans le domaine d'énergies écologiques, énergies renouvelables et plus généralement une technologie de développement durable, est porteur d'espoir et d'activités passionnantes pour les générations nouvelles (par exemple l'émergence de compétences tunisiennes dans l'intégration architecturale du photovoltaïque). (ANME 2004)

De plus, le paramètre du terme à correction d'erreur  $z_{t-1}$  est négatif et significatif confirmant ainsi l'existence d'une relation de long terme entre l'émission de GES et les indicateurs considérés. La valeur de ce paramètre indique, en outre, qu'en cas de déséquilibre de court terme, l'émission de GES semble revenir assez rapidement à son sentier d'équilibre (la vitesse de convergence est estimée à près de 39%).

#### **4.4.3. Perspectives des émissions de GES en Tunisie**

La décomposition (Tableau 23) fournit en effet un moyen simple pour évaluer la contribution des facteurs de nature très différente aux émissions finales de GES. Cette décomposition présente de plus l'intérêt de rattacher les émissions de GES à des facteurs qui font individuellement l'objet d'études spécifiques, ce qui nous offre des points de comparaison très utiles. D'autre part, puisque la fonction logarithme est négative lorsque son argument est inférieur à 1, une décroissance d'une période à l'autre d'un des paramètres explicatifs aura un impact négatif sur la partie de droite de l'égalité et traduira donc un impact négatif sur la croissance des émissions. Ainsi, les émissions de GES ont cru en moyenne de 1,90% par an entre 1971

et 2003 (Tableau 23). Mais ce taux de croissance peut être décomposé entre 0,91% de croissance démographique, 0,906% de croissance du PIB/hab., moins de 0,15% dû aux gains d'intensité énergétique et 0,23% d'augmentation du contenu carbone de l'énergie primaire. En effet, c'est à partir des années quatre vingt que la tendance de l'intensité en carbone est devenue négative mais cette tendance s'est renversée à partir des années quatre vingt dix. Ceci indique que l'économie est basée sur l'utilisation massive de l'énergie fossile.

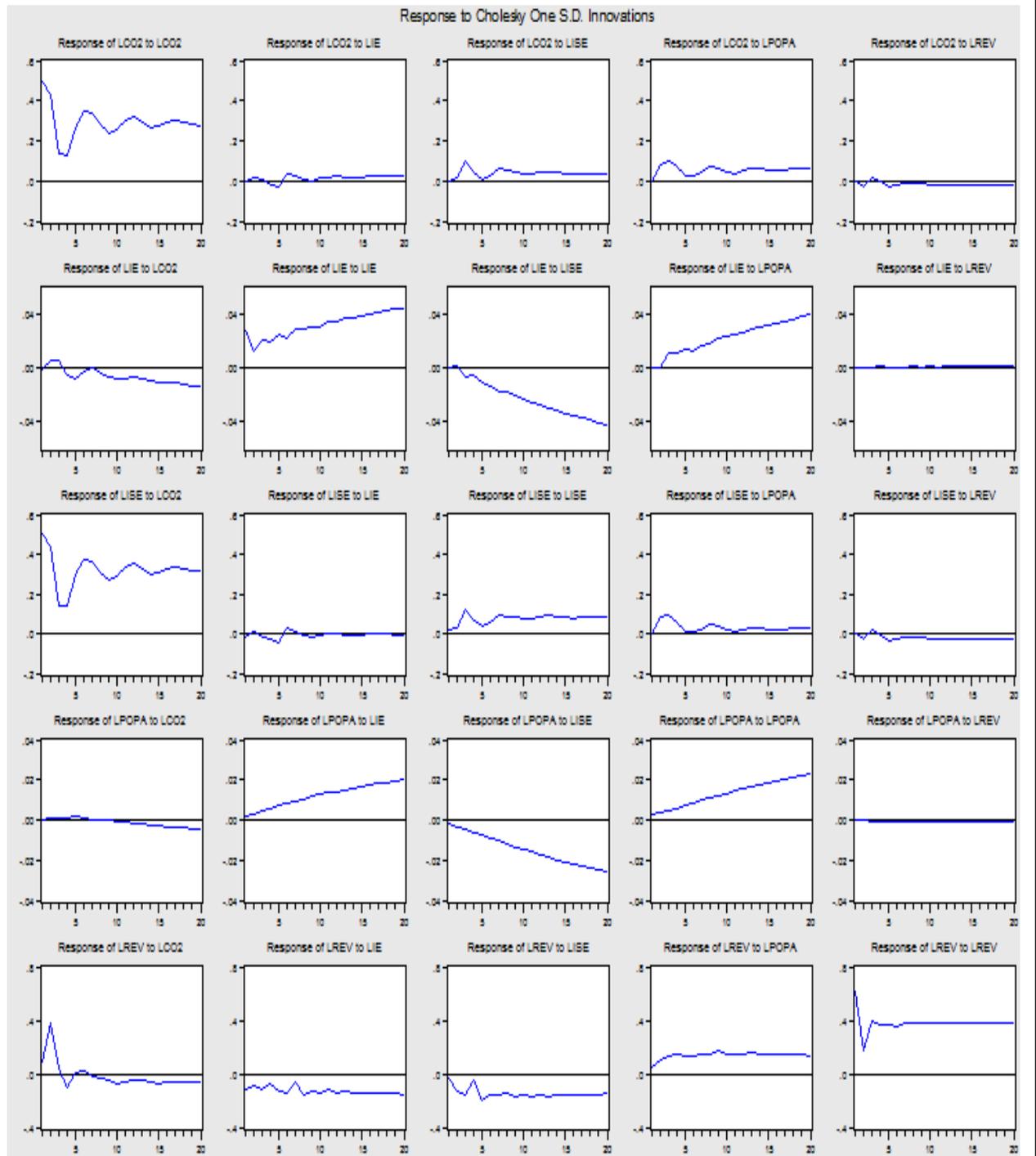
**Tableau 23 : Décomposition des émissions de GES 1971-2004**

	Intensité énergétique	Croissance du PIB par tête %	Population %	Indice de Saleté énergétique %	Émission CO2
<b>1971-1980</b>	0.002	0.406	0.203	0.224	0.837
<b>1980-1990</b>	0.034	0.105	0.244	-0.041	0.338
<b>1990-2003</b>	-0.154	0.345	0.181	0.078	0.45
<b>1971-2003</b>	-0.147	0.906	0.91	0.23	1.9

L'amélioration progressive de l'intensité énergétique au cours du temps reflète donc à la fois l'amélioration des rendements du fait du progrès technique, mais aussi les transformations structurelles des systèmes énergétiques et des activités économiques. Le tableau 3 montre que l'évolution observée des émissions de gaz à effet de serre entre 1971 et 2003 a diminué entre 1971 et 1990 mais a repris sa croissance entre 1990 et 2003, ce qui veut dire que l'économie est devenue plus émettrice par unité de production entre les deux années.

L'étude économétrique a permis de voir que sur la période 1971-2010, l'ensemble des variables permettait d'expliquer de manière très satisfaisante l'émission de GES. En outre, l'analyse des fonctions de réponses impulsionnelles (voir Fig.37) montre qu'à long terme l'intensité énergétique, l'indice de saleté énergétique et dans une moindre mesure le revenu par habitant ont une influence déterminante dans la réduction des émissions de GES. Les prévisions jusqu'à l'horizon 2030 montrent que le gain sur l'intensité énergétique est renforcé mais la tendance des émissions de GES est appelée à croître.

**Fig.37** Fonctions de réponse impulsionnelle 2010-2030



## 4.5. CONCLUSION

Contrôler les émissions des gaz à effet de serre constitue une priorité de premier plan des autorités tunisiennes. Il est donc important de disposer des modélisations permettant de mieux comprendre et prévoir leur évolution. Sur la base d'une équation de type Kaya, nous avons estimé les élasticités de court et long terme des déterminants des émissions de GES. Ces derniers concernent l'intensité en carbone par unité d'énergie, l'intensité énergétique, le revenu par tête et la population active. D'après les estimations obtenues, les élasticités sont significatives et sont plus élevées à long terme. Ces résultats sont corroborés par l'analyse des fonctions de réponses impulsionnelles qui ont montré qu'à long terme l'intensité énergétique, l'indice de saleté énergétique et, dans une moindre mesure, le revenu par habitant ont une influence déterminante dans la réduction des émissions de GES. Ainsi, des mesures axées sur ces facteurs et conjuguées à d'autres réformes devraient sans conteste contribuer à la baisse des gaz à effet de serre pour les horizons futurs.

Après ces deux parties caractérisées par des études quantitatives, il s'avérerait intéressant de passer à une étude qualitative dans la troisième partie de ce travail de recherche afin de savoir la prise en conscience ou non des politiques de maîtrise de l'énergie et de protection de l'environnement par les usagers tunisiens particulièrement ceux de l'espace universitaire à savoir les étudiants et les enseignants.

# **Partie 3 : Etude comportementale qualitative d'un échantillon d'étudiants et d'enseignants face à la consommation de l'énergie et à la protection de l'environnement**

« Un problème sans solution est un problème mal posé » A. EINSTEIN

L'objectif principal de deux premières parties de ce travail de recherche était d'analyser l'effet de la consommation d'énergie sur la croissance économique d'une part et sur la qualité de l'environnement d'autre part en Tunisie. Selon les prévisions calculées, la consommation d'énergie va beaucoup augmenter par rapport aux ressources énergétiques du pays. Suite à ses prévisions, notre conclusion et suggestion était : « Consolider les politiques et les stratégies menées par l'Etat ou les pouvoirs politiques et les agences de service énergétiques (STEG, ANME,...) » afin de réduire la consommation d'énergie en ajustant normalement les prix. Or, l'ajustement des prix peut ne pas avoir l'impact souhaité. Par conséquent, pour limiter le gaspillage et rationaliser davantage la consommation d'énergie il faut sensibiliser les consommateurs tunisiens.

Ainsi, le comportement des usagers est caractérisé par une consommation d'énergie qui ne cesse pas d'augmenter afin de satisfaire leurs besoins et leur bien-être comme il a été montré dans les deux premières parties. Cette augmentation de la consommation d'énergie engendre une augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> et par conséquent des effets sur l'environnement. D'où l'intérêt des politiques énergétiques et environnementales visant à réduire la demande d'énergie et à protéger l'environnement. Cependant, ces politiques comportent des limites puisque même avec ces politiques la situation énergétique tunisienne n'a cessé de s'aggraver (le bilan énergétique tunisien a enregistré un déficit de l'ordre de 1 Mtep en 2011). Pour ces raisons, il s'est avéré nécessaire de penser à une étude du comportement des citoyens face à la consommation d'énergie et à la protection de l'environnement.

Devant l'absence d'études visant à étudier les réactions des consommateurs afin de remédier aux limites des politiques existantes, nous cherchons dans cette partie à savoir et à connaître la conscience et la sensibilité des acteurs de l'espace universitaire vis-à-vis du développement durable. L'ambition est de dresser un état des lieux du niveau de

conscience des étudiants et des enseignants face aux conseils et stratégies énergétiques et environnementaux.

Notre réflexion s'articule en deux axes qui feront l'objet de deux chapitres. Le premier se focalise sur la définition du concept de la responsabilité sociale et le déroulement de notre enquête. Le deuxième sera consacré aux résultats descriptifs de l'enquête ainsi que leur interprétation et analyse via un modèle économétrique qualitatif : le logit.

## **5. CHAPITRE 5 : FORMULATION DU QUESTIONNAIRE, IDENTIFICATION DE L'ECHANTILLON ET DEROULEMENT DE L'ENQUETE**

### **5.1. INTRODUCTION**

Le concept du développement durable, introduit en 1987 dans le « rapport de Brundtland », se résume en un programme d'actions pratiquées par tous les acteurs (citoyens, associations, entreprises, Etat, collectivités locales et internationales,...) afin de satisfaire les besoins de la présente génération sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs (Brundtland, 1987). Ainsi, il est crucial que tous les acteurs aient conscience des enjeux des différentes politiques que ce soit en matière de maîtrise d'énergie ou du lutte contre le changement climatique. C'est dans ce contexte que le thème de la responsabilité sociale de l'entreprise (RSE) et celui de la responsabilité sociale des acteurs (RSA) se sont développés depuis 1950. Le citoyen comme un acteur de RSA doit avoir une prise de conscience du DD via plusieurs stratégies et politiques telles que l'éducation et la formation d'une part et la mise à disposition de l'information au public, des enfants aux jeunes aux adultes. Donc, la question qui se pose est la suivante : quelles sont les actions qui peuvent agir sur le changement du comportement des acteurs afin de rendre le concept du DD ainsi que ses stratégies compréhensibles par tous les acteurs ? Répondre à cette question est crucial puisque la non prise de conscience entraîne une mauvaise compréhension des programmes d'actions et donc une mauvaise pratique. Autrement dit, la réussite des politiques énergétiques et environnementales dans le monde entier et en Tunisie plus particulièrement nécessite une prise de conscience conjuguée d'une participation d'autres acteurs. Et c'est dans ce cadre qu'apparaît notre contribution pour étudier cette prise de conscience ainsi que les facteurs qui l'influent chez un échantillon bien déterminé via une enquête. L'objectif de cette enquête est d'étudier la conscience des utilisateurs vis-à-vis du problème énergétique et environnemental en Tunisie. Car si les stratégies et les politiques à adopter sont déjà connues, elles ne sont pas encore pratiquées dans la vie quotidienne des consommateurs.

## **5.2. DEVELEPOMMENT DURABLE ET RESPONSABILITE SOCIALE**

### **5.2.1. Limites des politiques énergétiques et environnementales tunisiennes**

Atteindre les objectifs des politiques énergétiques et environnementales est un défi pour l'état tunisien puisque leurs enjeux sont multiples. Ces politiques visent à satisfaire la demande énergétique au moindre coût, à améliorer le bilan énergétique et la balance des paiements, à permettre l'accès à l'énergie aux populations rurales des zones isolées et à réduire les émissions polluantes dues à la consommation d'énergie. La principale retombée de ces politiques provient du fait que le coût de la tep économisée est estimé à 152 dinars (76 euros) contre un temps de retour sur investissement de l'ordre de deux ans sur la période 2004-2010. En effet, lors des forums, colloques, congrès et séminaires aux quels nous avons assisté, nous remarquons que les politiques et les stratégies nécessaires sont multiples et diverses. Cependant, ces politiques présentent plusieurs limites à savoir :

- L'absence de prise en compte des avantages de l'utilisation rationnelle de l'énergie et des énergies renouvelables en termes de protection de l'environnement.
- L'insuffisance d'informations de sensibilisation et de promotion auprès des usagers potentiels tant publics que privés : par conséquent les études déjà faites ne peuvent pas répondre aux besoins réels des institutions énergétiques et des ménages.
- Le manque de prise en compte des ménages qui sont eux aussi consommateurs d'énergie en plus des industriels.
- Les énergies renouvelables souffrent encore d'un manque important de sensibilisation et de communication envers le consommateur. L'ANER a fait un grand effort dans ce sens, mais les moyens et les approches de communication utilisées sont souvent peu appropriés. Ce manque de sensibilisation et de communication touche également les autres acteurs susceptibles de participer au développement des énergies renouvelables : décideurs publics, investisseurs, entreprises privées, banques, institutions financières, etc.
- Les instruments mis en place pour ces politiques n'ont pas encore changé les habitudes de production et de consommation ; c'est ainsi que les comportements des industriels, des promoteurs et du grand public sont encore peu changés.

- Le manque d'information, de communication et de sensibilisation que ce soit pour les décideurs politiques ou pour le grand public en ce qui concerne les impacts environnementaux et socio-économiques du problème du changement climatique.
- L'absence d'amélioration et de gestion des connaissances sur les impacts des changements climatiques en Tunisie.

C'est ici qu'apparaît l'utilité du DD dont sa mise en œuvre exige le respect minimum de cinq grands principes de base définis à Rio à savoir : la précaution, la prévention, la responsabilité, la participation et la solidarité.

### 5.2.2. RSE et RSA

Le principe de responsabilité a été défini par Hans Jonas comme étant l'action d'agir « de façon que les effets de ton action soient compatibles avec la permanence d'une vie authentiquement humaine sur terre »<sup>52</sup>. La responsabilité c'est l'un des principes du DD qui correspond au principe 13 de Rio, ou encore au principe de pollueur payeur, qui n'a été que très peu appliqué depuis.

« Les Etats doivent élaborer une législation nationale concernant la responsabilité de la pollution et d'autres dommages à l'environnement et l'indemnisation de leurs victimes. Ils doivent aussi coopérer diligemment et plus résolument pour développer davantage le droit international concernant la responsabilité et l'indemnisation en cas d'effets néfastes de dommages causés à l'environnement dans des zones situées au-delà des limites de leur juridiction par des activités menées dans les limites de leurs juridiction ou sous leur contrôle »<sup>53</sup>.

Dès les années 1950, certaines entreprises ont pris en charge des responsabilités sociales ou environnementales sous l'appellation de responsabilité sociale des entreprises (RES). Durant les années 1970 et 1980, les écologistes, les scientifiques, les économistes et les philosophes ont mis l'accent sur le problème de la dégradation de l'environnement qui génère une insécurité sociale. Ainsi, des organisations non gouvernementales ont discuté l'effet de l'activité économique des firmes multinationales sur le plan social et environnemental pour, pointant du doigt un manque de responsabilité sociale et

---

<sup>52</sup> ALLAL, S., *La sobriété un nouveau paradigme et un nouveau modèle de développement économique*

<sup>53</sup> Merlin-Brogniart, C., M.-H. Depret, and P.L. Masne, *Développement Durable et Responsabilité Sociale des Acteurs*. Marché & ORGANISATIONS, ed. L'Harmattan. 2009.

environnementale chez ces firmes. A partir des années 1990 et en cherchant la reconnaissance sur le marché mondial, ces firmes ont commencé à donner de l'importance au DD le concept responsabilité sociale et environnementale de l'entreprise (RSEE) qui se diffuse après aux grandes entreprises et aux PME. A partir de 2000, la RSE est devenue obligatoire pour les entreprises et d'autres acteurs sont concernés tels que les mouvements de consommateur, les syndicats, les pouvoirs publics locaux, etc. D'où l'apparition de la responsabilité sociale des acteurs (RSA) définie comme « l'ensemble des initiatives prises par les acteurs économiques, sociaux et environnementaux en vue de promouvoir un développement durable ; ces acteurs sont les entreprises (ainsi que les actionnaires), les pouvoirs publics centraux et locaux, les organisations non gouvernementales, les mouvements de consommateurs, les syndicats et divers mouvements sociaux »<sup>54</sup>.

En revanche, le respect du principe de responsabilité sans le respect des autres principes bloque la mise en action du DD. En effet, le principe de participation implique que tous les décideurs et tous les acteurs sont concernés. « La meilleure façon de traiter les questions d'environnement est d'assurer la participation de tous les citoyens concernés, au niveau qui convient. Au niveau national, chaque individu doit avoir dûment accès aux informations relatives à l'environnement que détiennent les autorités publiques, y compris aux informations relatives aux substances et activités dangereuses dans leurs collectivités, et avoir la possibilité de participer aux processus de prise de décision. Les Etats doivent faciliter et encourager la sensibilisation et la participation de public en mettant les informations à la disposition de celui-ci. Un accès effectif à des actions judiciaires et administratives, notamment des réparations, doit être assuré »<sup>55</sup>. Ce principe comprend donc le droit d'information mais également la participation des citoyens aux processus de décision et l'accès aux recours juridiques. L'Etat ne doit pas être le seul responsable du développement durable. Certainement, la réalisation effective des objectifs du DD ne peut aboutir que si l'ensemble des acteurs et la société agissent en commun : les entreprises privées, publiques, les associations, les ONG, les syndicats et les citoyens. Dans ce cadre, l'accès à l'information constitue un « bien public » indispensable à toute évolution du comportement.

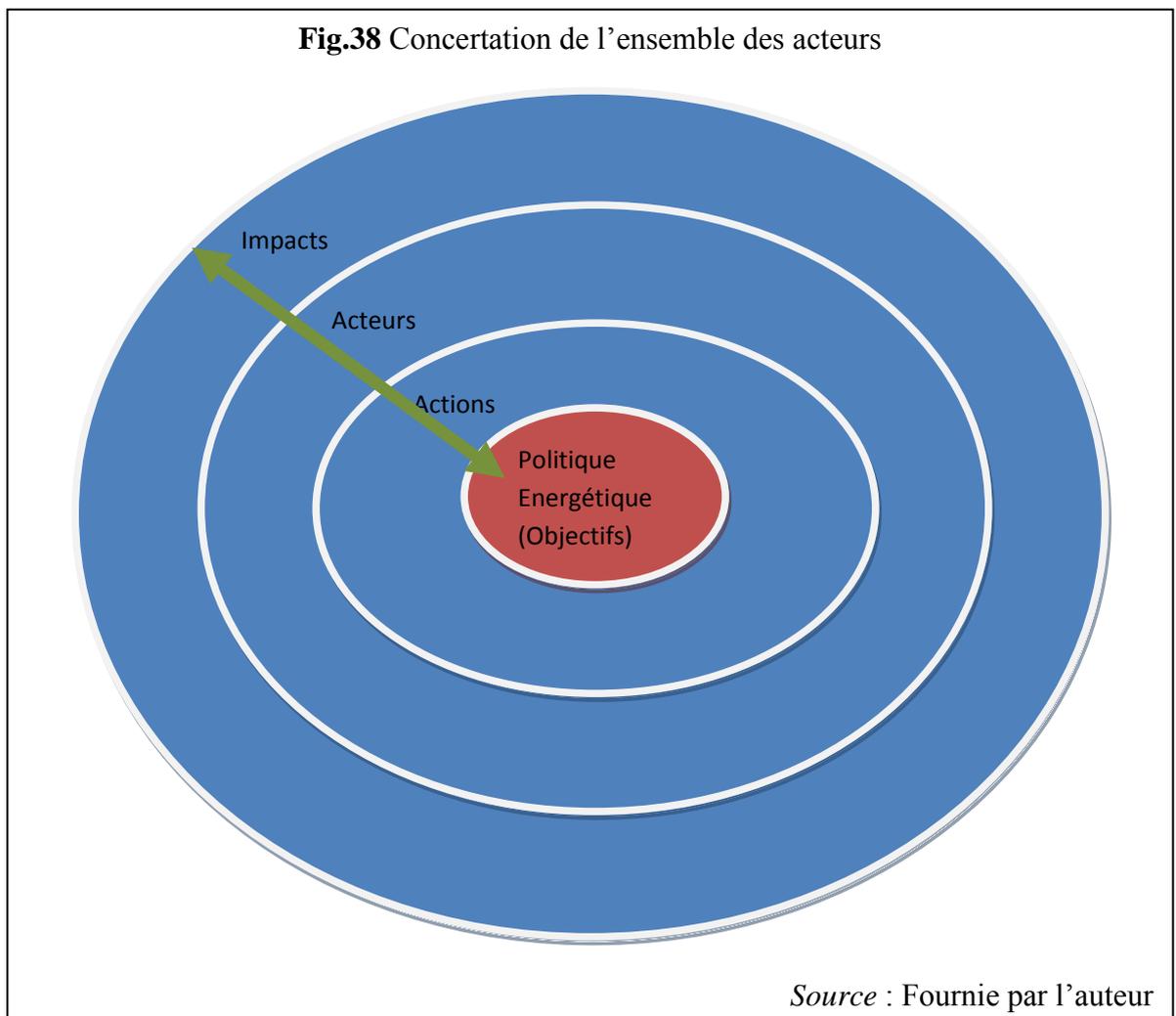
---

<sup>54</sup> Merlin-Brogniart, C., M.-H. Depret, and P.L. Masne, *Développement Durable et Responsabilité Sociale des Acteurs*. Marché & ORGANISATIONS, ed. L'Harmattan. 2009.

<sup>55</sup> Merlin-Brogniart, C., M.-H. Depret, and P.L. Masne, *Développement Durable et Responsabilité Sociale des Acteurs*. Marché & ORGANISATIONS, ed. L'Harmattan. 2009.

### 5.2.3. Politique tunisienne de Sensibilisation

Afin d'assurer la bonne gestion des ressources énergétiques et la rationalisation de leur utilisation, chaque politique doit avoir un ensemble d'actions à pratiquer par tous les acteurs afin de réduire la consommation d'énergie et par la suite réduire les émissions de CO2. Pour ce faire, il faut renforcer la communication et la sensibilisation des différents acteurs et notamment de la société civile (Fig.38). Néanmoins, après une politique de maîtrise de l'énergie durant plus de quinze ans, et malgré des acquis importants, les conséquences restent assez mitigées.



Ainsi, la communication comme outil de sensibilisation constitue une composante essentielle dans le programme national de maîtrise d'énergie. L'action de communication est destinée aux divers consommateurs d'énergie : chefs d'entreprises, ménages, conducteurs de véhicules, enfants et jeunes écoliers, etc. L'objectif de cette

action est d'entretenir la sensibilité des différentes catégories de consommateurs aux notions et réflexes d'économie d'énergie, et de les initier aux comportements rationnels et à l'utilisation des énergies renouvelables et par conséquent lutter contre le changement climatique. Pour cette raison, la Tunisie a lancé en 2013 un débat national sur l'énergie pour définir les objectifs stratégiques de cette nouvelle politique en concertation avec l'ensemble des acteurs concernés.

Les industriels font aussi partie du "grand public" et ils sont réceptifs à tout ce qui relève de l'information générale à travers les media ou les grandes conférences ainsi qu'à la manifestation d'une volonté politique forte. Mais ils ne seront amenés à agir de façon concrète, c'est-à-dire à réaliser des projets, que s'ils perçoivent un message qui leur soit personnellement adressé et qui mette en évidence l'intérêt de l'utilisation rationnelle de l'énergie pour la bonne marche et la rentabilité de leur entreprise.

D'autre part, même si on retrouve certaines techniques ou méthodes d'utilisation rationnelle de l'énergie communes à l'ensemble du secteur industriel et si certaines composantes des programmes d'action ou des moyens d'incitation s'adressent à l'ensemble du secteur de l'industrie (par exemple la procédure d'audit énergétique ou le recours à un Fonds d'investissement), chaque sous-secteur ou branche a ses propres spécificités : la sensibilisation des industriels sera d'autant plus efficace qu'elle sera "personnalisée", c'est-à-dire qu'elle s'adressera de façon particulière à chaque branche. C'est par l'organisation d'un dialogue partenarial que la sensibilisation sera la plus efficace et surtout créera une dynamique d'action.

La démarche que nous proposons se déroulerait selon les étapes présentées dans ce qui suit.

#### 5.2.3.1. Instauration du dialogue par branche

L'ANME, en liaison avec le ministère de l'industrie, organise un dialogue avec chacune des composantes des trois catégories d'industries que nous avons déjà identifiées à partir de leur poids respectif dans la consommation d'énergie du secteur : le ciment, les autres grands consommateurs (IGCE), les industries légères.

Ce dialogue porte sur la situation de chaque industrie, ses perspectives d'évolution et ses besoins. L'avenir de la branche vu par ses industriels est une donnée essentielle pour la politique d'utilisation rationnelle de l'énergie : envisage-t-on de nouvelles installations, dans quelles conditions?

Dans le scénario de prospective énergétique, la production de ciment de la Tunisie devrait environ doubler à l'horizon 2030. Le potentiel d'utilisation rationnelle de

l'énergie dans l'industrie du ciment est de l'ordre de 380 ktep, soit le quart du potentiel de l'industrie. Vu la part de cette branche dans la consommation totale et l'importance de ce potentiel, l'industrie du ciment à elle seule doit constituer un interlocuteur privilégié de l'ANME.

#### 5.2.3.2. Installation des "experts relais" de dialogue et de promotion

Le dialogue ainsi instauré permet de détecter les industries ou les branches qui sont les plus intéressées à aller de l'avant, ce qui permet de définir des priorités d'intervention.

En fonction de ces priorités, l'ANME sélectionne des "expert relais" chargés de suivre les entreprises des branches ainsi sélectionnées.

La proposition de l'installation d'un expert relais pour les branches industrielles vient du fait que les effectifs de l'Agence ne lui permettent pas un suivi des branches, ni une action promotionnelle continue dans leur direction. L'expert relais est un expert extérieur avec lequel l'ANME a un contrat (qui peut être à temps partiel), chargé d'assurer les relations avec une branche industrielle déterminée. Cet expert est particulièrement utile dans le cas des branches de l'industrie légère pour lesquelles le nombre d'entreprises est élevé.

Le profil de l'expert relais n'est pas forcément celui d'un ingénieur connaissant parfaitement les aspects techniques spécifiques du secteur dont il doit assurer le suivi. Le choix d'un tel expert qui serait souvent un "auditeur" poserait d'ailleurs des problèmes de conflit d'intérêt. L'expert relais doit être un bon généraliste capable de comprendre les problèmes des industriels et surtout être apte au dialogue, à la concertation, à l'écoute du partenaire, pouvant faire rapport à l'Agence des difficultés rencontrées et des progrès enregistrés et assurant la promotion des "produits d'incitation" de l'Agence et des pouvoirs publics auprès des industriels.

#### 5.2.3.3. Ateliers de concertation

L'ANME, avec l'aide de l'expert relais, organise un "atelier de concertation" entre des représentants de la branche concernée et un expert connaissant parfaitement les meilleures industries européennes de cette branche ainsi que les procédés et les techniques y permettant la meilleure utilisation de l'énergie. L'Atelier de concertation est une réunion de travail où tous les problèmes sont passés en revue et les expériences

échangées. L'expert spécialiste sera probablement un expert européen. En travaillant avec lui, l'expert relais et le coordinateur de l'ANME augmenteront leur propre capacité. Outre la sensibilisation, cet atelier de concertation sera en particulier la "porte d'entrée" à la réalisation d'audits énergétiques, première étape du passage à la phase de réalisation de projets dans de nombreux cas<sup>56</sup>.

#### 5.2.3.4. Organisation de rencontres de haut niveau

Le milieu industriel, plus sans doute que ceux des autres activités économiques, est très sensible à l'opinion de ses dirigeants sur les orientations de la politique économique et de la politique énergétique. Il sera important, dans le cadre des activités de communication de l'ANME, d'organiser des rencontres avec les cercles des dirigeants de l'industrie et des dirigeants des entreprises énergétiques, ainsi qu'avec les associations professionnelles, pour présenter l'intérêt, les potentiels et les moyens d'intervention de l'utilisation rationnelle de l'énergie, au-delà des concertations directement liées à la mise en œuvre de programmes et de projets.

#### 5.2.3.5. La complémentarité des instruments d'intervention

La démarche proposée met en évidence la complémentarité des instruments de sensibilisation et de promotion. En effet, l'organisation de la concertation fait appel aux techniques et méthodes de la communication tandis que l'intervention des experts spécialisés et soigneusement sélectionnés fait appel à la coopération internationale. La fonction d'accompagnement et de soutien de ces deux activités "horizontales" est bien mise en évidence et l'on voit qu'il est très important que leur intervention soit organisée dès le début de la démarche, comme composante à part entière du programme d'action d'utilisation rationnelle de l'énergie dans l'industrie.

Cette "formation groupée" sera d'autant plus facile si l'audit énergétique est lui-même une opération groupée s'adressant à un groupe d'entreprises de la même branche. L'ANME a par exemple organisé une session de formation de deux jours sur la climatisation solaire dédiée aux ingénieurs des bureaux et de contrôle et aux cadres des entreprises publiques, les 20 et 21 avril 2015 à Hammam Sousse.

---

<sup>56</sup> Mais pas dans tous les cas. Souvent l'industriel sait très bien ce qu'il veut faire (et n'a pas besoin d'un audit) mais réclame de l'expertise (pour l'aider à affiner et optimiser son projet) ou des aides au montage financier de son investissement.

#### 5.2.3.6. Journées de sensibilisation, d'information et de formation

Outre les actions citées au dessus, des journées de sensibilisation, d'information et de formation ont été organisées. En particulier, l'ANME a organisé le 26 mai 2015 à Sousse, une journée de sensibilisation et de formation autour de la qualité d'installation des chauffe-eaux solaires dont les principaux intervenants sont les fournisseurs et les installateurs des chauffe-eaux solaires. En plus, elle a lancé le 21 avril 2015 « Les Journées Techniques de Maîtrise de l'Énergie (JTME) » dont l'objectif était de créer un espace d'échange entre le fournisseur et le consommateur et de permettre aux responsables d'entreprises de découvrir les équipements, les technologies et les outils permettant l'économie d'énergie. Une autre session de formation a été organisée par l'ANME en mobilisant une équipe de formateurs et d'encadreurs professionnels du Ministère de la jeunesse et des Sports du 10 au 12 février 2015 à la maison des jeunes de Bizerte. Cette formation a visé un corps éducatif et enseignant venant de 15 gouvernorats différents et travaillant pour des établissements de l'enfance publics et privés. L'objectif recherché par cette session de formation de trois jours était d'initier les instituteurs et les responsables des garderies scolaires et clubs d'enfants à une culture énergétique approfondie et de leur doter des connaissances et des outils nécessaires pour encadrer les jeunes en matière d'énergies durables. Dans le cadre de cette même formation, les deux autres ateliers du 11 et du 12 février 2015 ont été consacrés à des activités artistiques susceptibles de concevoir et d'élaborer des techniques autour du thème des bonnes pratiques d'énergies durables et des maquettes de bâtiments solaires en carton. Toutes les activités ont été caractérisées par la participation collective des institutions et des cadres pédagogiques participants.

C'est au vu de la nécessité de ce type de sessions de formation auprès de l'espace éducatif, et notamment universitaire, que nous avons pensé à étudier et analyser le comportement des étudiants et enseignants face aux bonnes pratiques de maîtrise de l'énergie et de protection de l'environnement dans le cadre d'une étude de terrain, introduite dans la section suivante.

### **5.3. DEROULEMENT DE L'ENQUETE SUR LE COMPORTEMENT DES ETUDIANTS ET DES ENSEIGNANTS FACE A LA CONSOMMATION D'ENERGIE ET LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT**

C'est dans le cadre des deux principes de responsabilité et de participation du DD cités ci-dessus que s'inscrit notre étude comportementale. Ainsi, à un an de la COP

21 qui se tiendra à Paris, le ministre français a indiqué qu'il était encore temps d'agir : « chacun à son échelle, dans sa vie quotidienne, peut agir efficacement ». Donc, il est temps de s'intéresser aux consommateurs et surtout d'étudier leur comportement face à la consommation d'énergie et face au changement climatique puisque l'énergie se trouve au cœur du problème.

### **5.3.1. Enquêtes antérieures**

Avant d'illustrer les objectifs recherchés par cette étude ainsi que le choix de l'échantillon à enquêter, une petite vision sur les enquêtes antérieures citées s'avère intéressante. Dans ce contexte, des enquêtes antérieures ont été publiées, et notamment l'enquête lancée par l'ANME en collaboration avec la coopération allemande (GIZ). Cette enquête a été menée sur les connaissances, les perceptions et les attitudes des tunisiens par rapport à la maîtrise de l'énergie ; son objectif était l'analyse du comportement des tunisiens par rapport à la maîtrise de l'énergie afin d'améliorer aussi bien les services de l'ANME que ceux des fournisseurs et prestataires des services des différentes filières. Le questionnaire a été adressé à 1000 personnes réparties sur tout le territoire national durant la période allant de Juin à Juillet 2012. Une autre étude a été élaborée par la banque mondiale en 2008 auprès des ménages repartis sur trois quartiers du Grand Tunis, un quartier de la petite ville de Soliman, une zone rurale du Jbel Bargou et une dizaine de chefs d'entreprises gérant des PME à Tunis et Sfax. L'objectif visé par cette étude était d'intégrer la dimension du genre sur l'efficacité énergétique en identifiant les questions d'efficacité énergétique pour chaque genre. Cette enquête a cherché aussi à établir une typologie des problématiques, programmes et approches à développer pour y faire face et à engager la mise en place d'un réseau de personnes et d'institutions. La STEG aussi marquait sa présence dans ce type d'étude comportementale en lançant tous les cinq ans une enquête. L'enquête résidentielle de 2005 sur la consommation de l'électricité en Tunisie a cherché à mieux connaître le comportement des utilisateurs de l'énergie afin de dégager les enseignements nécessaires. Le questionnaire de cette étude a été fondé sur un échantillon composé des données qui ont été recueillies auprès de 2200 clients sur 2200000. Cependant, ces différentes enquêtes n'ont pas pris en considération le côté environnemental ainsi que les outils de sensibilisation dans le comportement des consommateurs. De plus, ces enquêtes n'ont pas visé l'espace universitaire qui représente une bande passante des différentes bonnes pratiques de maîtrise de l'énergie et de protection de l'environnement. Or, les acteurs de l'espace universitaire, notamment les étudiants, sont

des usagers qui font partie d'une famille et qui seront des futurs décideurs, futurs parents, futurs entrepreneurs, etc. Donc, viser cette catégorie nous semble important qu'elle diffuse les conseils de réduction de l'énergie et de préservation de l'environnement et surtout afin de transformer ces conseils en habitudes chez les consommateurs dans leur vie quotidienne.

### **5.3.2. Objectifs**

Dans notre cas, les objectifs recherchés tournent autour d'un objectif principal et global : la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> qui implique la réduction de la consommation d'énergie via la sensibilisation des acteurs. Autrement dit, mettre en place des mesures d'efficacité énergétique est l'une des plus importantes mesures de la stratégie de lutte contre le changement climatique. Atteindre cet objectif permettra de développer une responsabilité sociale énergétique et environnementale. Idéalement, l'objectif à se fixer est de créer un signe d'écologie en Tunisie en utilisant des méthodes statistiques et économétriques, avec beaucoup de prudence dans le choix afin de garantir un certain niveau de certitude des résultats puisque nous savons que la qualité des résultats est sensible à la période, la méthodologie et l'échantillon. Cette enquête pourra avoir un grand intérêt du point de vue de la réduction des coûts dans les agences et institutions énergétiques. En effet, l'Agence Nationale de Maîtrise de l'Energie (ANME) ainsi que ses partenaires nationaux<sup>57</sup> ont été engagé dans un programme national de sensibilisation et d'éducation à la maîtrise de l'énergie en signant des convention-cadres et en organisant des actions communes entre eux. Or, les ressources financières de l'ANME proviennent principalement du budget de l'Etat et de ressources extérieures sous forme des dons et de crédits étrangers octroyés aux programmes d'intervention (Coopération bilatérale et multi-latérale,...). Ainsi, une partie de ces ressources est consacrée aux actions de sensibilisation, de diffusion des informations et d'impression des brochures. Par conséquent, toutes ces dépenses peuvent alourdir le budget de l'Agence et par la suite celui de l'Etat, surtout si ces politiques ne conduisent pas réellement à un changement du comportement des usagers. Donc, bien diffuser l'information pour sensibiliser et éduquer les usagers à travers des associations, des

---

<sup>57</sup> Ces partenaires sont notamment L'ETAP, La STEG, La STIR, La SNDP, La SONEDE, La SNCFT, L'ANPA, Le Ministère de l'Education, Le Ministère du Transport et de l'Aménagement, La Poste Tunisienne, L'ODC Organisation de Défense du Consommateur, Les organes de presse, Les Scouts de Tunisie, Les hypermarchés Carrefour et Champion et la Chaîne des supermarchés « Magasin Général ».

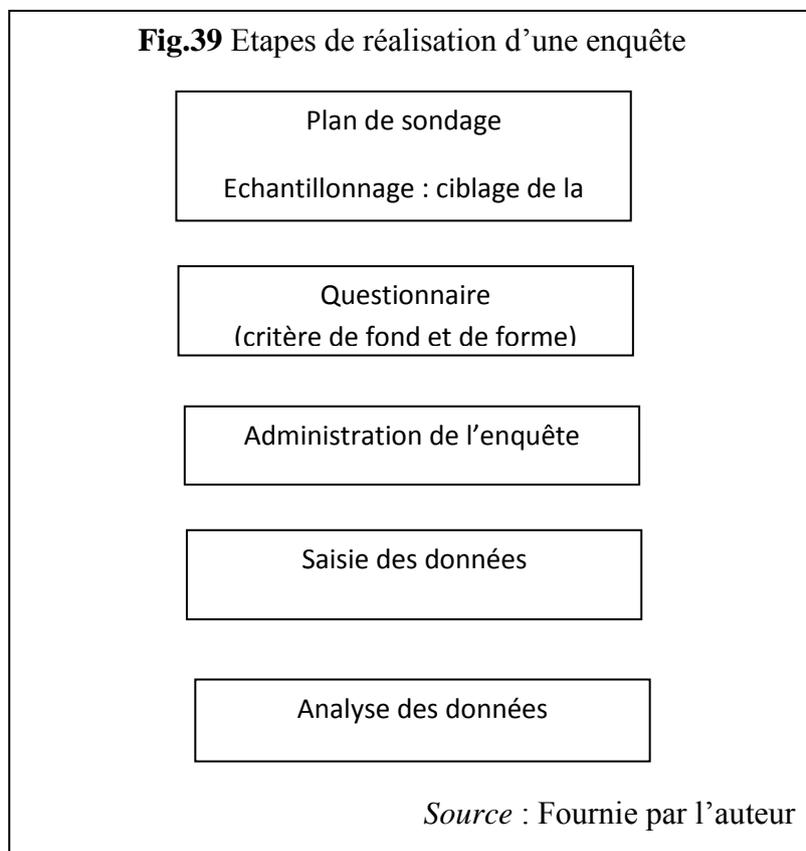
clubs, des réseaux sociaux et Internet permet de diminuer les dépenses des agences énergétiques (ANME, STEG,...) et par conséquent de conserver une partie du budget de l'Etat pour d'autres besoins sociaux, et en particulier l'emploi.

Face aux enjeux du changement climatique, un certain nombre de gens souhaitent agir, mais ne savent que faire concrètement. C'est dans ce cadre que nous proposons cette étude où nous cherchons particulièrement à savoir est-ce que les gens sont conscients du problème énergétique et environnemental en Tunisie tout en visant en même temps à sensibiliser et informer les individus concernés des avantages de l'utilisation rationnelle de l'énergie et des énergies renouvelables en termes de protection de l'environnement. A travers cette étude, nous tentons aussi de déterminer les différentes causes pouvant influencer la prise en conscience des actions énergétiques et environnementales chez les usagers.

Pour résumer pratiquement, nous cherchons par cette étude à atteindre les objectifs suivants:

- Apporter plus de précision au niveau du choix de l'échantillon représentatif exhaustif par rapport aux enquêtes antérieures.
- Arriver à identifier les besoins en formation dans le domaine de la maîtrise de l'énergie et la protection de l'environnement
- Connaître la prise de conscience des étudiants et enseignants, ce qui permettra d'accorder les stratégies nécessaires pour sensibiliser cette catégorie qui représente la bande passante la plus active pour transmettre les conseils et pratiques d'efficacité énergétique et de protection de l'environnement, que ce soit au sein de l'université, de la famille ou même au niveau d'internet via les réseaux sociaux.
- Comprendre les facteurs déterminant la prise de conscience à travers la collecte des informations générales (âge, genre, revenu, état civil, niveau, spécialité,...) de chaque individu de l'échantillon considéré. Ces informations servent après pour estimer un modèle qualitatif qui permet de calculer des élasticités, des effets marginaux et des côtes afin de mieux comprendre le comportement des individus enquêtés. Donc, par quoi la prise de conscience est-elle influencée? Et le changement de l'un de ces facteurs conduit-il au changement de cette prise de conscience? Et dans quel sens? Et avec quel pourcentage (les estimations du modèle Logit)?

Une fois que les objectifs ont été fixé, nous avons opté pour une étude terrain en passant par les différentes étapes à suivre pour lancer une enquête qui sont présentées dans la Fig.39



### 5.3.3. Choix de l'échantillon

Le manque d'information et de communication en tant qu'outils de sensibilisation est clairement visible dans les institutions scolaires et universitaires. Néanmoins, affirmer ou ignorer ce manque ne peut se faire qu'à l'aide d'une étude comportementale au sein des établissements universitaires. D'où la justification de notre choix de l'échantillon visé par notre enquête auprès des étudiants et des enseignants. Ce choix permet de garantir la prise en considération des trois axes du temps à savoir le passé présenté par l'enseignant puisque son comportement reflète le comportement et la conscience du passé projeté dans le présent, le présent par l'étudiant et l'enseignant et le futur par les étudiants puisqu'ils seront des futurs cadres, des futurs enseignants, des futurs décideurs, des futurs entrepreneurs, des futurs parents, etc. Donc, les étudiants représentent la bande passante des signaux des politiques de maîtrise de l'énergie et de protection de l'environnement puisque ce sont eux les futures générations. Ainsi,

sensibiliser et éduquer nos enfants représente la clé du changement du comportement des consommateurs. Former les étudiants et les sensibiliser garantit la qualité et les bienfaits attendus en termes de maîtrise d'énergie et d'usage des énergies renouvelables. Mais le problème est de savoir comment les éduquer, les sensibiliser et les informer. Pour assurer la représentativité de notre échantillon, nous avons utilisé deux méthodes d'échantillonnage à savoir : la stratification et l'échantillonnage systématique. De plus, le choix de l'échantillon ainsi que sa taille s'est basée sur les deux documents disponibles (dépliant et brochure) sur le site du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique en Tunisie au niveau des données de base pour l'année 2012. Ces documents contiennent les statistiques sur l'effectif des étudiants et des enseignants par université, par établissements et par domaine d'études (Voir Annexe)

La population cible dans notre cas représente les étudiants et les enseignants de l'espace universitaire. Elle est très nombreuse avec 339619 étudiants dans le secteur public et 22410 personnel enseignant. Ainsi, pour des raisons de coûts et de délais, il est pratiquement impossible d'étudier tous les individus de cette population c.-à-d. effectuer un recensement. C'est pourquoi, à ce stade de l'enquête, on doit déterminer la taille de l'échantillon à sélectionner pour garantir la représentativité. En fait, nous avons estimé la taille de l'échantillon en utilisant la formule suivante<sup>58</sup> :

$$n = t^2 p(1 - p)/e^2$$

Avec :

- $t$  : niveau de confiance lié à un intervalle de confiance de 95%, soit 1,96 (le calcul est basé sur la loi normale centrée réduite) signifie que  $n$  (échantillon) représente  $N$  (population cible) à 95%.
- $e$  : est généralement égale à 0,05, ce qui signifie que  $n$  représente  $N$  à 95% et qu'il y a 5% de chances que ne soit pas vrai.
- $P=0,5$  : on prend très souvent un écart-type de 50% qui est représenté dans l'équation par  $p=0,5$ . Ainsi, notre échantillon sera constitué de  $n=(1,96)^2*0,5*(1-0,5)/(0,05)^2= 384,16=385$  individus.

Après calcul du taux d'échantillonnage= $n/N=384,16/362029=0,001$ , nous remarquons que ce taux est inférieur à 5%. Dans ce cas, ce n'est pas la peine de redresser l'échantillon<sup>59</sup>.

<sup>58</sup> GANASSALI, S., *Les enquêtes par questionnaire avec Sphinx*, ed. C. Synthex. 2007, Paris.

<sup>59</sup> Si taux >5% alors la taille minimale  $n'=n/(1+(n+1)/N)$ .

Au-delà de la taille de l'échantillon qui détermine sa précision, sa capacité à représenter correctement la population mère auquel il appartient est primordiale. La représentativité des résultats, qui est indépendante de la taille de l'échantillon, est assurée par deux méthodes d'échantillonnage, à savoir stratifié et systématique, en deux étapes :

*Etape 1 : Echantillonnage stratifié*

La démarche de sélection consiste à subdiviser la population cible (étudiants et enseignants) en strates. Dans notre cas, les strates sont les universités (12 universités sans compter l'université virtuelle) et la direction générale des études technologiques (DGET). Proportionnellement à son importance dans la population, on calcule combien il faut d'individus au sein de l'échantillon pour présenter chaque strate (chaque université).

$$ai = \frac{Ni}{N}$$

Avec :

- $ai$  proportion dans l'échantillon
- $Ni$  taille de la strate
- $N$  taille de la population cible
- Taille de l'échantillon de chaque strate

$$ni = ai n \text{ où } n \text{ représente la taille de l'échantillon}$$

*Etape 2 : Echantillonnage systématique*

Pour choisir les établissements on va effectuer un échantillonnage systématique au sein de chaque strate (université ou DGET). En effet, au sein de chaque strate, on trouve un nombre d'établissements. On dispose de la liste numérotée pour chaque strate. On dispose aussi de l'information relative à la taille de l'échantillon à sélectionner au sein de chaque établissement, qui est de 7 (un étudiant par niveau d'étude à savoir 1ère année, 2ème année et 3ème année licence, 1ère année et 2ème année mastère et un doctorant, et un enseignant) pour l'université et de 6 pour la DGET (pas de doctorant). Donc, on va calculer la raison de sondage appelée aussi « pas de sondage »<sup>60</sup> au sein de chaque strate.

$$ri = \frac{ni}{7} \text{ pour l'université}$$

$$ri = \frac{ni}{6} \text{ pour la DGET}$$

---

<sup>60</sup> C'est l'entier voisin de  $n/N$ .

Les strates ont été choisies sur la base de la répartition des étudiants par université et par établissement présentés dans le dépliant de MERS. En plus, l'ordre de la liste des établissements au sein de chaque strate a été choisi comme présenté dans le même document. Lorsqu'on effectue le tirage, il s'agit d'un tirage sans remise. Une fois que la raison est déterminée, on doit choisir au hasard le point de départ qui sera un entier naturel  $d$  compris entre 1 et  $r$ . L'établissement dont le numéro correspond à  $d$  sera le premier établissement et pour passer aux autres établissements de l'échantillon il suffit d'ajouter à  $d$  la raison  $r$ . En effet, le choix du point de départ pour chaque strate a été décidé d'une manière aléatoire, par une autre personne (dans notre cas c'est mon père). Comme exemple, on va montrer comment l'échantillonnage a été effectué pratiquement pour l'université de Sfax et ça sera pareil pour les autres strates.

- $\alpha_{\text{Sfax}} = N_{\text{Sfax}}/N = 0,1027$
- $n_{\text{Sfax}} = \alpha_{\text{Sfax}} * 385 = 39,553$
- $r_{\text{Sfax}} = n_{\text{Sfax}}/7 = 5,714 = 6$  : pas de sondage

Le premier pas au sein de cette strate a été choisi au hasard, c'est «Faculté des lettres et des sciences humaines de Sfax», n°3 dans la liste de MERS. Le deuxième établissement universitaire sera l'I.S.G industrielle : en ajoutant le pas de sondage (6) à 3, on trouve le second établissement qui correspond au n°9 (voir tableau 24).

**Tableau 24:** Echantillonnage Université Sfax

L'échantillonnage	L'ordre	Etablissement
	1	Faculté des sciences Sfax
	2	Faculté des sciences économiques et de gestion de Sfax
1	3	Faculté des lettres et des sciences humaines de Sfax
	4	Faculté de droit de sfax
	5	Faculté de médecine
6	6	I.H.E.C Sfax
4	7	Institut supérieur de musique Sfax
	8	I.S. des arts et métiers Sfax
2	9	I.S.G. industrielle de Sfax
	10	I.S. biotechnologies de Sfax
	11	I.S. d'électronique et de communication Sfax
	12	I. supérieur d'informatique et de multimédia de Sfax
	13	I. supérieur d'administration des affaires de Sfax
5	14	I.P.E.I Sfax
3	15	E.N.I Sfax
7	16	E. Supérieur de commerce de Sfax

Concernant toutes les valeurs nécessaires pour les deux méthodes d'échantillonnage pour les autres universités, elles sont récapitulées dans le tableau 25 (voir Annexe pour les valeurs en détails, par établissement) :

**Tableau 25** : Echantillon par université (taille, poids et raison) N=362029 et n=385

Université	Ni	Ai	ni*	Ri	Pas de sondage
Ezzitouna	1965	0,0054	2,089	0,285	
Tunis	27389	0,0756	29,126	4,14	4
El Manar	42628	0,1177	45,33	6,42	6
Carthage	47451	0,131	50,46	7,14	7
La Manouba	27143	0,0749	28,865	4,14	4
Jendouba	14921	0,041	15,867	2,282	2
Sousse	33407	0,0922	35,526	5,145	5
Monastir	28347	0,0783	30,145	4,288	4
Kairouan	13862	0,0382	14,741	2,142	2
Gabès	22339	0,0617	23,756	3,428	3
Sfax	37193	0,1027	39,55	5,714	6
Gafsa	12248	0,0338	13,025	1,857	2
DGET	28263	0,078	30,056	7,5	8

#### 5.3.4. Elaboration du questionnaire

En rédigeant notre questionnaire, nous avons essayé d'atteindre plusieurs objectifs simultanément à savoir déterminer si l'enquêté est conscient ou non et le sensibiliser et l'informer des différents conseils accordés au sein du guide de l'ANME afin de pratiquer et réaliser concrètement ces petits gestes dans sa vie quotidienne. En effet, plusieurs points ont été pris en considération à savoir : est ce que la personne interrogée sera en mesure de répondre ? Est-ce qu'elle voudra répondre ? Est-ce qu'une seule question sera suffisante pour obtenir une telle information ? Chacune des questions est-elle strictement nécessaire ? Pour bien structurer le questionnaire, nous avons utilisé des questions courtes, faciles et compréhensives. Pratiquement, dans la formulation du questionnaire, nous avons posé des questions sur plusieurs actions du programme d'efficacité énergétique à savoir : l'étiquetage des équipements électroménagers qui indiquent leur niveau de consommation, la diffusion des lampes basse consommation (LBC), la réglementation thermique des bâtiments, l'utilisation rationnelle de l'énergie dans l'éclairage public, le diagnostic des moteurs des automobiles, la substitution énergétique, etc. Les questions ont été créées en se référant au site web de l'ANME, particulièrement à l'étiquette énergie, au guide de Maîtrise de l'Energie (ME), aux conseils pratiques et au livret de

suivi de l'animation VGAS<sup>61</sup>. Les différentes sections du questionnaire représentent les différents domaines d'usage, en y ajoutant d'autres questions qui paraissent nécessaires pour cette étude.

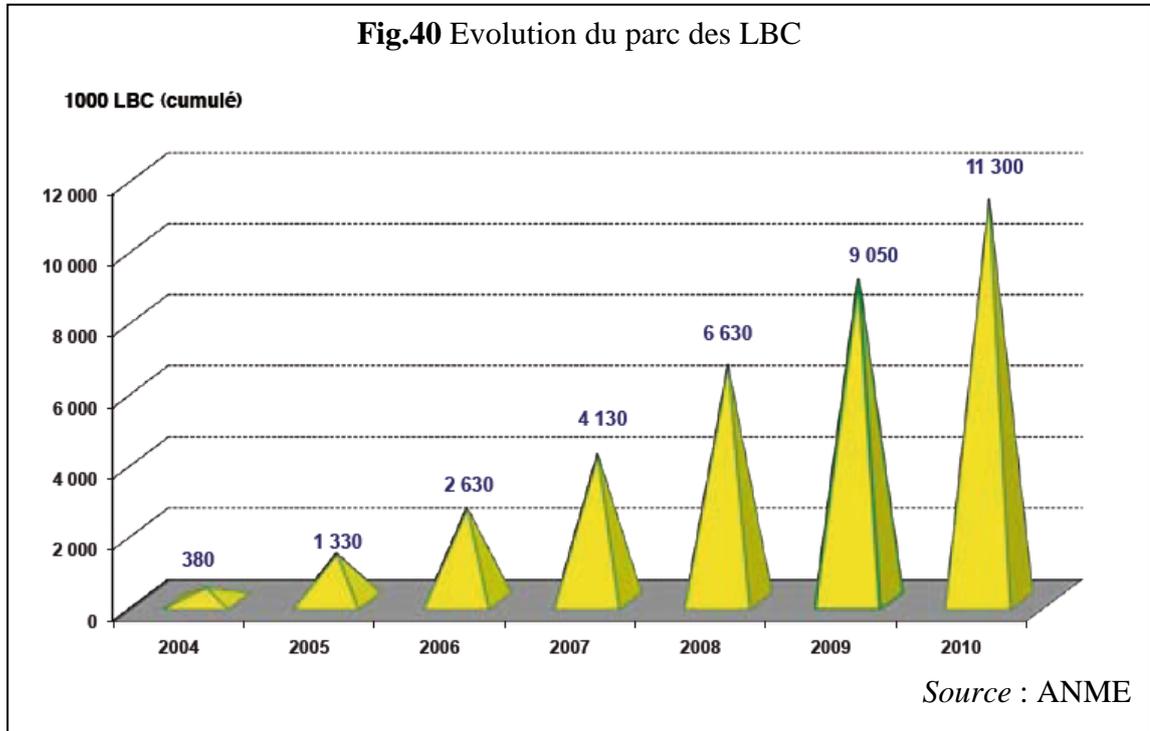
- Etiquette Energie : <http://www.anme.nat.tn/index.php?id=116>
- Guide de ME :  
<http://www.anme.nat.tn/index.php?id=125>  
[http://www.anme.nat.tn/fileadmin/user1/doc/fr/guide\\_me.pdf](http://www.anme.nat.tn/fileadmin/user1/doc/fr/guide_me.pdf)
- Conseils Pratiques : <http://www.anme.nat.tn/index.php?id=140>

Le questionnaire est constitué d'une rubrique consacrée à la collecte des informations générales ou personnelles des enquêtés (Age, revenu, nom, prénom, spécialité, CSP (étudiant ou enseignant), locataire/propriétaire, localisation géographique, etc.) et de douze rubriques représentant les domaines d'usage dont dix domaines de l'énergie, un domaine de l'environnement et un domaine consacré aux outils de sensibilisation. Afin de mieux profiter de cette enquête, d'autres informations ont été demandées et qui apparaissent intéressantes pour l'analyse et l'interprétation des résultats de notre étude. Nous cherchons, par le nombre important des différentes questions posées, d'un côté à évaluer la conscience des individus face à la maîtrise de l'énergie et le changement climatique et d'un autre côté à sensibiliser les consommateurs en donnant la bonne réponse pour chaque question. Dans notre cas, nous désignons par « conscience » du consommateur la prise de conscience des bonnes pratiques et conseils de maîtrise de l'énergie et de préservation de l'environnement. Autrement dit, un individu de l'échantillon est dit conscient ou a pris conscience, c'est un individu qui sait et pratique les conseils souhaités dans sa vie quotidienne dans tous les domaines d'usage. Quant aux domaines d'usage, nous avons essayé de poser le maximum de questions pour que nous puissions évaluer la prise de conscience des enquêtés des pratiques de ME et de protection de l'environnement : c'est pour cela que le questionnaire rassemble beaucoup au test de positionnement. Sensibiliser les citoyens dans un domaine d'usage, l'éclairage par exemple, s'est avéré important du fait que l'action de promotion des Lampes Basse Consommation (LBC) a entraîné une baisse de la puissance appelée de l'ordre de 294 MW en 2010 suite à l'augmentation du parc des LBC qui a atteint 11,3 millions de LBC en 2010. Pour ce domaine d'usage, plusieurs

---

<sup>61</sup> Projet CarboSchools 200-2007, C3ED-UVSQ

questions ont été créées au sein du questionnaire portant sur les habitudes du consommateur dans ce domaine.



Un autre domaine d'usage a été pris en considération, les appareils en veille puisque plusieurs appareils électroménagers restent en veille : le problème qui se pose est qu'ils consomment d'électricité lorsqu'ils sont en veille. Pour tester la prise de conscience des gens de cette information, des questions ont été posées dans ce contexte pour les sensibiliser afin qu'ils ne laissent pas les appareils en veille et par conséquent qu'ils évitent le gaspillage d'électricité. D'autres domaines d'usages de l'énergie ont été pris en considération dans l'élaboration de notre questionnaire à savoir les appareils électroménagers (réfrigérateur, lave-vaisselle, machine à laver, micro-ondes) et le domaine de climatisation. En effet, plusieurs enquêtes de la STEG ont montré que l'électricité est le deuxième type d'énergie consommé par les ménages. Cette augmentation de la consommation d'électricité est due à l'usage accru des appareils électroménagers qui reflète une amélioration du niveau de vie et de niveau d'instruction des ménages. En plus, le prix de ces appareils est en baisse continue ce qui les a rendus à la portée de la majorité des ménages. A côté de cette pénétration rapide de ces appareils, une autre raison justifiant la tendance à l'augmentation de la demande d'électricité est l'accès facile aux NTIC. En outre, ces enquêtes ont montré aussi que la climatisation a évolué de 12,7% en moyenne par an. Ainsi, cette évolution est due à la

forte pénétration de cet appareil chez les ménages et justifiée par un taux d'équipement élevé qui a passé de 2,4% en 1999 à environ 14,6% en 2009.

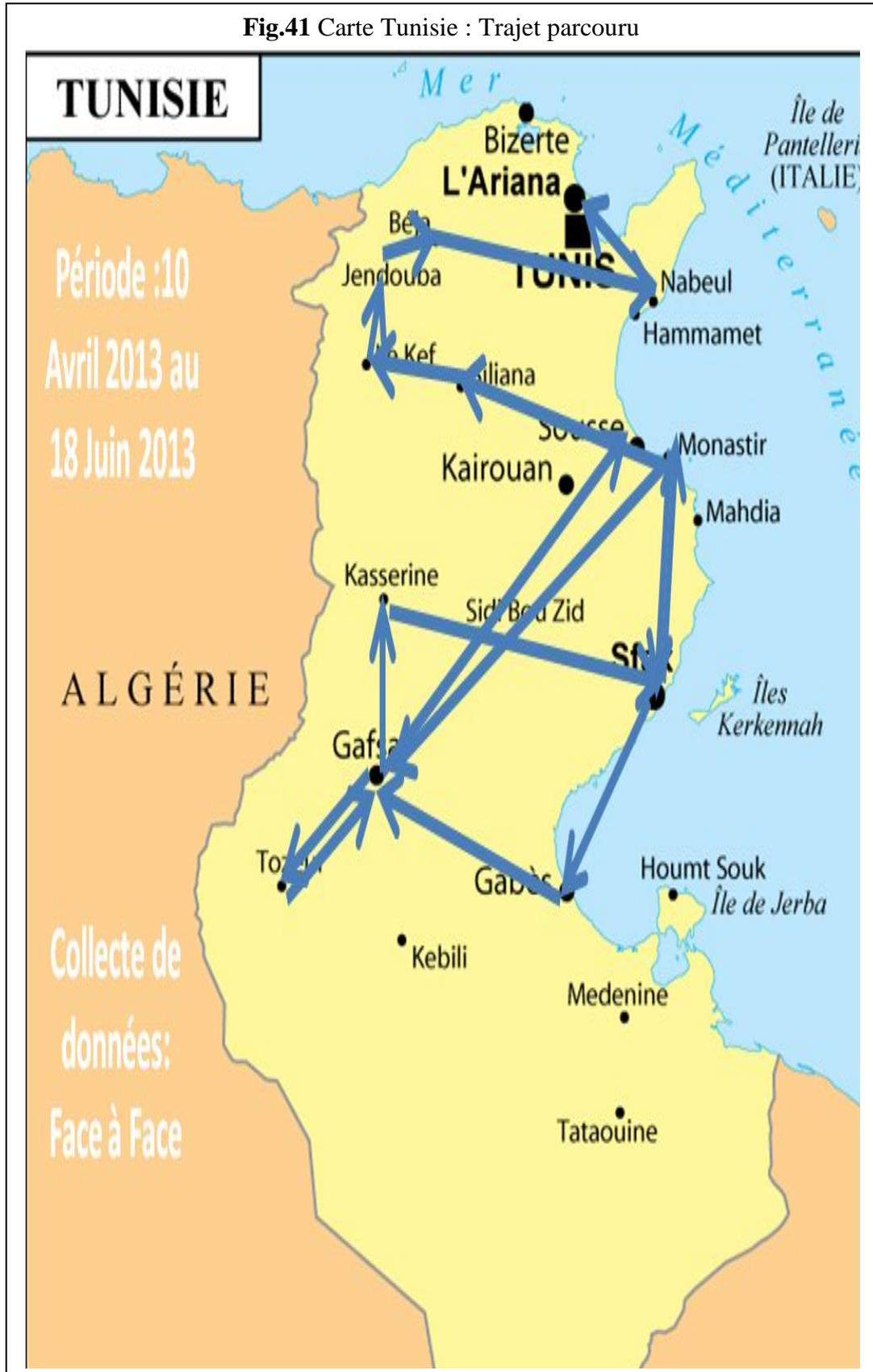
Après élaboration et rédaction du questionnaire, nous sommes passé à la phase suivante de collecte des données auprès des individus de notre échantillon.

### **5.3.5. Collecte des données**

Il s'agit d'une enquête qui avait été réalisée par questionnaire adressé face à face puisque cette méthode de collecte des réponses reste le moyen le plus sûr pour obtenir l'information souhaitée. En effet, la méthode de collecte des données était sous forme d'interview avec les acteurs de l'espace universitaire au cours des plusieurs visites parce que nous voulions par notre questionnaire sensibiliser les individus de notre échantillon, en plus d'évaluer la prise de conscience. La période d'observation directe de la prise de conscience de chaque individu de l'échantillon s'est étendue sur 3 mois durant la période des examens des étudiants, pour garantir un taux de présence le plus élevé possible des étudiants et des enseignants. Le 11 Avril 2013, nous avons commencé la collecte sur terrain en testant le questionnaire pour la première fois à la faculté des sciences de Gafsa afin de vérifier la clarté des questions, la facilité de répondre et la durée de réponse par questionnaire et d'identifier les problèmes qui peuvent être rencontrés lors de l'enquête. Suite à ce test nous avons modifié (supprimer, ajouter, changer) le questionnaire pour avoir notre questionnaire final de 22 pages (voir Annexe) après impression de trois versions du questionnaire (**1-** rempli à Gafsa, **2-** modifié en prenant en considération les problèmes vécus à Gafsa, **3-** modifié lors de la codification). L'étude terrain s'est déroulée du 10 avril jusqu'au 18 juin 2013 en commençant par l'université de Gafsa pour finir par l'université de Monastir. Le trajet parcouru, les distances entre les villes visitées et les dates de visite sont illustrés dans l'annexe. Toutefois, le lancement de l'enquête exige la disposition des ressources humaines : enquêteurs, statisticiens, démographes,... et des ressources matérielles : transport, informatique,... Dans notre étude, il s'agit d'un seul enquêteur (moi) qui s'est déplacé sur le territoire national tunisien en utilisant tous les moyens du transport (bus, train, métro, louage, taxi, les voitures de la famille) pour collecter les réponses en face à face. De plus, l'enquêteur a été obligé de réserver dans des hôtels dans quelques villes comme Gafsa afin de pouvoir se déplacer aux autres villes proches comme Tozeur, Gabès, Kasserine, etc. Ce ci est dû au manque de moyens financiers qui ont représenté une contrainte majeure pour cette étude dont nous avons essayé de minimiser les coûts (voir annexe : frais de l'enquête). Outre ces raisons, nous n'avons pas pu terminer l'enquête et enquêter la taille d'échantillon calculé au début à

la fin de la période de déroulement de l'enquête (période des examens) à cause d'un avancement dans le temps plus lent que prévu sur terrain : les étudiants ont terminé les examens et ils se sont partis en vacances. Pour tous ces raisons, nous n'avons pas pu enquêtés tous les individus de l'échantillon sélectionné (385 individus). Au final, le nombre total des questionnaires rempli était de 160 dont 3 ont été rejetés puisqu'ils ont été rempli partiellement. Ainsi, notre base de données est constituée de 157 individus repartis sur 33 établissements universitaires (sur 67 sélectionnés) de 13 gouvernorats tunisiens sur 24 en total (voir Fig.41).

Fig.41 Carte Tunisie : Trajet parcouru



### **5.3.6. Saisie & Codification**

Pour chaque réponse collectée, l'enquêteur doit attribuer un code qui lui permet de traiter l'information sur le support adopté : SPSS, STATA, Excel, Eviews, Rats, etc. Les réponses sont regroupées en catégories pertinentes. Avant de commencer la saisie, il faut numéroter de 1 à n l'ensemble des observations et garder le corps pour l'entrée des données. Cette identification sert à identifier facilement les erreurs éventuelles de saisie. Dans notre cas nous avons commencé par construire une base de données « sans codification » qui constitue notre base de données référentielle l'on trouve les détails des réponses avec les récitations des enquêtés. Après, nous avons codifié ces réponses pour construire notre base des données à utiliser par le logiciel pour l'analyse descriptive et l'estimation de notre modèle. Cependant, des informations ont été éliminées lors de la codification comme les adresses mail, les noms et les prénoms puisque ces questions avaient pour objectif la traçabilité des questionnaires et sont inutiles pour notre étude, mais seront utiles pour d'autres intérêts comme la création d'une base de données sur Access. Un extrait de notre base de données non codifiée est inséré au sein de l'annexe pour un seul établissement.

## **5.4. GRILLE D'EVALUATION**

Nous proposons dans cette section une lecture et une analyse des réponses collectées à partir de notre enquête. En effet, nous commençons par illustrer la grille d'évaluation qui représente notre première valeur ajoutée apportée par cette enquête. Il s'agit d'un baromètre constitué de douze domaines d'usage dont l'objectif est d'évaluer le comportement du consommateur c.-à-d. voir selon son comportement si le consommateur valide un domaine ou non et par conséquent déterminer si l'individu est conscient ou non dans un domaine particulier, et à la fin voir s'il est conscient globalement pour tous les domaines. Pratiquement, nous avons créé une variable appelée « conscience » pour chaque rubrique (domaine) qui sera codifié en attribuant 1 pour ceux qui sont conscients et 0 pour les non conscients. Dans cette variable, nous avons regroupé toutes les questions relatives aux différentes pratiques des politiques pour chaque rubrique et après nous avons fixé un seuil à partir duquel on classe les individus en « conscient » et « inconscient ». En fait, un individu est conscient dans un domaine d'usage particulier s'il avait la moyenne des bonnes réponses dans ce domaine. Et après, nous avons déterminé la conscience globale pour chaque individu pour tous les

domaines via la moyenne de conscience pour les douze domaines en utilisant une grille d'évaluation. Plus précisément, la codification de cette variable n'est qu'une évaluation de niveau de prise de conscience des individus en ce qui concerne leur comportement face à la consommation d'énergie et la protection de l'environnement. L'évaluation est faite à partir de 12 domaines dont 9 sont les domaines d'usage de l'énergie, à savoir : Eclairage, Appareils en veille, Chauffe-eau, Appareils électroménagers, Chauffage, Climatisation, Cuisson, Bâtiment construction et rénovation et le domaine du transport, et les 3 autres domaines qui sont les domaines relatifs aux énergies renouvelables, à l'environnement et aux outils de sensibilisation et de diffusion des informations énergétiques et environnementales. Notre grille d'évaluation peut être utilisée pour n'importe quel consommateur et elle affiche le résultat immédiatement si l'individu concerné est conscient ou non puisque nous avons utilisé la fonction « Si » d'Excel ; nous espérons prochainement, comme perspective pour ce travail de recherche, créer des interfaces de pilotage d'un logiciel pour une exécution automatique de notre grille d'évaluation.

Pratiquement, après collecte de toutes les réponses, nous avons pu remplir notre grille pour tous les individus afin de connaître leur conscience pour chaque domaine. Comme exemple, le tableau 26 représente la grille d'évaluation des individus sélectionnés pour quatre établissements universitaires dans le sous domaine d'usage ; l'étiquette énergétique du domaine DU 4 appareils électroménagers. D'après ce tableau, l'individu 13 qui fait partie de l'établissement I.S.E.T Siliana est inconscient des bonnes pratiques de ce domaine DU 4.1 puisqu'il a répondu « oui » (codé 1) pour 3 sur 7 informations considérées pour ce domaine et qu'il n'a pas eu la moyenne.

**Tableau 26** : Grille d'évaluation pour le sous domaine DU 4.1 Etiquette Energétique  
(DU 4 Appareils Electroménagers)

Etablissement	Individu	DU 4.1 Etiquette Energétique							Conscient	Conscient
		connaissance la consommation des petits AE dans un ménage	recherche de l'information sur la meilleure utilisation des AE	savoir lire l'Etiquette Energétique EE	nombre de classe dans une EE	la classe la plus conçue	choix d'un appareil classe 1 et plus cher	connaissance de l'économie de l'énergie si le choix est la classe économique		
I.S.E.T Le Kef/ Campus Universitaire Boulifa 7100	1	0	0	0	0	0	1	0	NON	0
	2	0	0	1	0	1	1	0	NON	0
	3	0	0	1	1	1	1	0	OUI	1
	4	0	0	1	0	1	1	0	NON	0
I.S.E.T Jendouba Campus Universitaire Jendouba Nord 8189	5	0	0	0	0	0	1	0	NON	0
	6	0	0	1	1	0	1	0	NON	0
	7	0	0	0	0	0	1	0	NON	0
	8	1	1	1	0	0	1	0	OUI	1
I.S.E.T de Kasserine/ Campus Universitaire Route Feriana	9	0	0	0	0	0	1	0	NON	0
	10	0	0	1	0	1	1	0	NON	0
	11	1	1	0	0	0	1	0	NON	0
	12	0	0	0	0	0	1	0	NON	0
I.S.E.T de Siliana/ Avenue Nouvelle Medina 6100	13	0	0	1	0	1	1	0	NON	0
	14	0	0	0	0	0	0	0	NON	0
	15	0	1	0	0	0	1	0	NON	0
	16	0	0	0	0	0	1	1	NON	0

Après détermination de l'évaluation de l'individu concerné pour tous les domaines d'usage, nous avons déterminé la moyenne de la conscience de tous les DU afin de déterminer la conscience globale de chaque enseignant et étudiant de notre échantillon. Dans le tableau 27 ci-dessous, nous présentons l'évaluation de la conscience globale des étudiants et enseignants de trois établissements universitaires.

**Tableau 27** : Grille d'évaluation de la conscience globale pour tous les DU

		DU 1 Conscient	DU 2 Conscient	DU 3 Conscient	DU 4 Conscient	DU 5 Conscient	DU 6 Conscient	DU 7 Conscient	DU 8 Conscient	DU 9 Conscient	DU 10 Conscient	DU 11 Conscient	DU 12 Conscient	Conscient	Conscient
Etablissement	Individu														
I.S.E.T Le Kef/ Campus Universitaire Boulifa 7100	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	NON	0
	2	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	OUI	1
	3	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	OUI	1
	4	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	NON	0
I.S.E.T Jendouba Campus Universitaire Jendouba Nord 8189	5	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	NON	0
	6	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	NON	0
	7	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	NON	0
	8	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	OUI	1
I.S.E.T de Kasserine/ Campus Universitaire Route Feriana	9	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	NON	0
	10	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	NON	0
	11	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	NON	0
	12	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	OUI	1

D'après ce tableau, pour le premier individu qui appartient à l'I.S.E.T le Kef, il est conscient dans 4 domaines d'usage sur 12 DU au total donc il est non conscient globalement puisqu'il n'a pas eu la moyenne et donc il prend 0 pour la codification.

## 5.5. CONCLUSION

Toutefois, outre les contraintes financières, le manque des moyens humains faisait parti des problèmes rencontrés au cours de cette étude, à savoir : l'enquêteur a pris en charge d'effectuer toutes les phases de l'enquête individuellement avec parfois l'aide de la famille et des amis, soit pour se déplacer, soit pour trouver les étudiants à enquêter. Ainsi, les tâches qui ont représenté des contraintes pour cette étude sont : le test, la modification et le remplissage du questionnaire puisqu'il s'agit d'un questionnaire long et qui prend du temps (en moyenne 45 mn) donc il était difficile de convaincre et garder un enquêté pour cette durée de temps en garantissant sa concentration. A côté des problèmes vécus lors de la collecte des données sur terrain, nous voulions créer une base de données avec les réponses sans codification, ce qui nécessite du temps et de la concentration pour bien saisir les réponses collectées dans un classeur Excel.

Au terme de ce chapitre, nous avons pu parcourir des phases nécessaires au lancement d'une enquête où nous avons trouvé que 32% de notre échantillon sont conscients des bonnes pratiques de maîtrise de l'énergie et de protection de l'environnement. En plus, une grille d'évaluation du comportement du consommateur a été créée, ce qui représente une source d'analyse détaillé des résultats de l'enquête. Ainsi, la pertinence des résultats est garantie par la certitude des données collectées d'une part et la méthodologie utilisée pour l'analyse de ces données d'autre part. Pour ce faire, nous passons dans le dernier chapitre à l'interprétation des résultats en faisant parler le terrain via une analyse descriptive statistique et une estimation d'un modèle économétrique qualitatif : le logit.

## **6. CHAPITRE 6 : ANALYSE EMPIRIQUE ET RESULTATS DE L'ENQUETE SUR LE COMPORTEMENT DU CONSOMMATEUR FACE A LA CONSOMMATION D'ENERGIE ET A LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT**

### **6.1. INTRODUCTION**

Après avoir présenter les différentes étapes de notre enquête au sein du chapitre précédent ainsi que la grille d'évaluation des consommateurs qui représente une des contributions de ce travail de recherche, nous avons trouvé que 32% des étudiants et des enseignants sont conscients des bonnes pratiques de maîtrise de l'énergie et de protection de l'environnement. Ainsi, afin de mieux comprendre comment nous avons pu trouver ce résultat, nous avons pensé à détailler et à déterminer la conscience par domaine d'usage pour les douze domaines considérés pour chaque individu. Une fois nous avons déterminé cette conscience, une question qui s'est posé était ; cette conscience est en fonction de quoi et quels sont les facteurs qui la déterminent ? Pour ce faire, nous avons opté aux modèles économétriques qualitatifs. En effet, l'analyse économétrique de certains phénomènes économiques disposant de données statistiques relatives à des caractères qualitatifs est apparue récemment [Mc Fadden (1974)]. Bien que plusieurs études ont été menées dans les années 1940-1950 concernant des domaines autres que l'économie tels qu'en biologie, en sociologie et en psychologie. Les variables qualitatives catégoriques (non mesurables) permettent de définir une certaine appartenance à une catégorie donnée (entreprise défaillante, entreprise performante) ; de choisir entre plusieurs alternatives (s'endetter ou non) de distinguer certaines caractéristiques d'un certain groupe (entreprise publique, entreprise semi-publique, etc.). Dans notre cas, la variable dépendante sera la conscience ou non qui sera expliquée en fonction des informations personnelles relatives aux enseignants et étudiants de notre échantillon. Pour ce faire, ce chapitre sera constitué de deux sections dont la première sera consacrée à l'analyse et l'interprétation des données collectées via notre enquête présentée au sein du chapitre précédent en ce qui concerne l'étude de la prise en conscience des étudiants et enseignants des bonnes pratiques de maîtrise de l'énergie et la protection de l'environnement, et la deuxième à la détermination des

facteurs influant la conscience des individus en estimant un modèle à variables qualitatives dépendantes à savoir logit et probit.

## **6.2. ANALYSE ET INTERPRETATION DES REPONSES COLLECTEES**

### **6.2.1. Analyse du comportement des étudiants et enseignants par domaine d'usage**

Nous rappelons que les différents conseils de bonnes pratiques de maîtrise de l'énergie et de préservation de l'environnement présentés dans cette section, ont été collectés à partir des différents guides et brochures de l'ANME publiés sous le slogan « Economisez plus...Dépensez moins » ainsi que le livret de suivi de l'animation VGAS auprès de collégiens et de lycéens<sup>62</sup>. D'après les résultats fournis après collecte des réponses, nous avons trouvé que 68% des enquêtés de l'espace universitaire ne sont pas conscients des bonnes pratiques de maîtrise de l'énergie et de protection de l'environnement. Afin d'approfondir et mieux interpréter ce résultat, nous avons déterminé les pourcentages de conscience par domaine d'usage.

#### **6.2.1.1. DU1 Eclairage :**

Avoir un comportement rationnel dans le domaine d'usage éclairage en suivant des bonnes pratiques permet d'économiser jusqu'au 80% de l'énergie consacrée à l'éclairage. En étudiant le comportement des étudiants et enseignants dans ce domaine, nous avons trouvé que 13.4% ne sont pas conscients de ces pratiques. Précisément, 35% de l'échantillon n'utilisent ni les lampes économiques ni les tubes néons et 86% d'entre eux ne pensent pas à les nettoyer. Un résultat inattendu dans les réponses collectées est que 97.2 % de l'échantillon ne savent pas qu'une lampe économique dure 8 fois plus qu'une lampe classique.

#### **6.2.1.2. DU2 Appareils en veille :**

Les appareils électroniques tels que le téléviseur, la chaîne stéréo, l'ordinateur,... consomment également de l'énergie lorsqu'ils restent en mode veille. En effet, 10.8% d'entre eux ne savent pas cette information et 58% ne pensent pas à arrêter complètement les appareils en veille malgré que cette pratique permette d'économiser près de 20% de la consommation d'énergie. En revanche, 17.20% des étudiants et

---

<sup>62</sup> Livret VGAS : Evaluez votre contribution individuelle aux émissions de gaz à effet de serre.

enseignants ne pensent pas à éteindre les ordinateurs à la sortie de la salle dans l'université et 83.4% d'entre eux ne savent pas que l'arrêt complètement de ces appareils économise 30% de l'énergie. Or, la consommation d'électricité d'un appareil en veille par jour est équivalente à la consommation de 4 heures par jour d'un appareil en marche réellement. Mais, nous avons trouvé que 92.4% des individus ne savent pas cette information. D'autres pratiques ont été évaluées sont représentées dans le tableau ci-dessous (tableau 28) ainsi que les différents résultats relatifs à DU2 selon les réponses collectées qui ont permis de trouver que 81.5% de l'échantillon sont conscients dans ce domaine.

**Tableau 28** : DU2 Appareils en veille

<b>Pratiques</b>	<b>Savoir</b>
Arrêt complètement de ces appareils permet de prolonger leur vie	82.8%
Arrêt complètement de ces appareils permet d'assurer des économies d'énergie	94.9%
Arrêt complètement des ces appareils permet de préserver votre porte-monnaie	92.4%

#### 6.2.1.3. DU3 Chauffe-eau :

96.8% des enquêtés sont non conscients. En fait, l'usage du mode de chauffe-eau solaire et de la douche au lieu de bain permet d'économiser jusqu'à 70% des dépenses nécessaires au chauffage de l'eau sanitaire. Néanmoins, 93.6% de l'échantillon, dont 30.6% d'entre eux utilisent le bain au lieu de la douche, ne savent pas cette bonne pratique de maîtrise de l'énergie et 80% n'utilisent pas le chauffe-eau solaire. Pour les 17 individus qui utilisent l'énergie solaire pour le chauffe-eau, 53% d'entre eux leur motif d'usage était économiser leur budget et non l'économie d'énergie.

#### 6.2.1.4. DU4 Electroménagers

Dans ce domaine d'électroménagers, nous avons trouvé que 61.8% des usagers sont non conscients des conseils de bonnes gestes d'économie d'énergie puisque 84.7% ne savent pas que la consommation d'énergie pour les petits appareils électroménagers représente 25% de la consommation dans un ménage. Pratiquement, nous avons étudié cette conscience en examinant la conscience dans six sous domaines dont ci-après les différents résultats. Commençant par le domaine d'étiquette énergétique comme premier sous domine, depuis plusieurs années, l'Etat tunisien a engagé, par l'intermédiaire de l'ANME, des actions et des opérations visant à rationaliser et diminuer la consommation d'électricité. Une des actions est de favoriser l'achat d'appareils performants et informer le consommateur sur la meilleure utilisation possible à travers l'étiquette énergétique qui indique la consommation et les performances des équipements. Mais, réellement 60.5% de notre échantillon ne demandent pas cette information lors de l'achat de leurs appareils électroménagers et ne savent pas lire l'étiquette énergétique. En plus, 86% d'entre eux ne savent pas le nombre de classes dans une étiquette énergétique et 69.4% n'ont pas une idée sur la classe la plus conçue. En effet, à l'achat un appareil classé « 1 » ou « 2 » est parfois plus cher qu'un autre appareil moins classé, mais la différence des prix est rapidement compensée par les économies réalisées en électricité tout au long de l'utilisation de cet appareil. Dans le cas où nous achetons un climatiseur de classe 8 nous pouvons réaliser des économies de 28% dans la consommation d'électricité. D'où, les résultats ont montré que 77% des enquêtés sont non conscients dans ce domaine.

**Tableau 29** : DU 4.1 Etiquette Energétique

Pratiques	Non Savoir
Connaissance de la consommation des petits AE dans un ménage	84.7%
Recherche de l'information sur la meilleure utilisation des appareils électroménagers	60.5%
Savoir lire l'Etiquette Energétique (EE)	60.5%
Nombre de classes dans une Etiquette Energétique	86%
La classe la plus conçue pour une EE	69.4%
Choix d'un appareil classe 1 et plus cher	9.5%
Connaissance du pourcentage d'énergie économisée si le choix est la classe économique	91%

Le second sous domaine d'usage considéré dans notre étude était le lave-linge pour lequel nous avons trouvé que 91.7% sont non conscients. Les résultats de ce domaine, sont résumés dans le tableau 28, montrent que 84% de l'échantillon ne savent pas que la programmation de la température de machine à laver à 40°C au lieu de 60°C permet d'économiser 25% d'énergie consommée et 58.6% d'entre eux ne pensent pas à nettoyer le filtre de leurs machines. Pour ceux qui ont des machines à laver automatiques, 48.4% d'entre eux n'ont pas une idée sur la touche bio ou éco.

**Tableau 30** : DU 4.2 Lave-linge

Pratiques	Non Savoir
Température 40° au lieu de 60 permet d'économie d'énergie (25%)	84%
Température 60° au lieu de 90 permet d'économie d'énergie (50%)	99.8%
Changement du programme usage de la touche bio ou éco	48.4%
Nettoyage filtre	58.6%
Lors d'achat se renseigner du modèle économique	42.7%

Le sèche-linge était le troisième sous domaine qui a été pris en considération dans le DU 4. Réellement, 93.6% de l'échantillon sont non conscients puisque 63.7% d'entre eux utilisent l'option séchage totale du lave-linge ou/et le fer à repasser et 83.4% ne savent pas qu'il y a du nouveau modèle économique du lave-linge

**Tableau 31** : DU 4.3 Sèche-linge

Pratiques	Non Savoir
Sécher le linge (le prendre au jardin)	63.7%
Connaissance du nouveau modèle de lave linge	83.4%

En ce qui concerne le sous domaine Fer à repasser, nous avons trouvé comme résultat que 57.96% sont non conscients. Lors de repassage, 52.2% de l'échantillon laissent le linge trop humide et 17.2% mettent le fer à repasser à basse ou moyenne température.

**Tableau 32 : DU 4.4 Fer à repasser**

<b>Pratiques</b>	<b>Non Savoir</b>
Lors du repassage : linge est trop humide	52.2%
Température de fer à repasser (Basse ou moyenne)	17.2%

Un nouvel appareil électroménager qui commençait avoir sa place dans les besoins du consommateur tunisien même si avec un faible pourcentage (dans notre étude 5.1%), est le lave-vaisselle. Ce dernier fait l'objet du cinquième sous domaine du DU 4 dont les résultats ont montré que 75.8% sont non conscients et surtout que 93.6% des étudiants et enseignants ne savent pas que pour un lave-vaisselle, 80% de l'énergie utilisée sert à chauffer l'eau. C'est pour ça, 46.5% ne pensent pas à le brancher à l'eau chaude par contre les autres pensent à le brancher pour la propreté de vaisselles et non pour économiser de l'énergie.

**Tableau 33 : DU 4.5 Lave-vaisselle**

<b>Pratiques</b>	<b>Non Savoir</b>
Lave-vaisselle consomme plus d'eau que le lave-main	49.7%
Touche éco	19.7%
Branchement à l'eau chaude	46.5%
Connaissance de consommation d'électricité pour chauffer l'eau	93.6%

Le dernier appareil électroménager considéré dans le DU 4, était le réfrigérateur qui représente un besoin nécessaire pour tous les consommateurs et pour notre cas tous

les individus de notre échantillon ont cet appareil chez eux. Pour cela, nous avons trouvé que 71.3% d'entre eux sont conscients. En revanche, 85.35% ne savent pas que la consommation d'un réfrigérateur représente près de 40% de la facture d'électricité d'un ménage. Ainsi, cette consommation augmente si le consommateur ne suit pas les différents conseils de maîtrise de l'énergie relatifs à ce domaine. D'après le tableau 34, plus de 50% de l'échantillon suivent ces conseils sauf pour le contrôle de joint et le nettoyage de grille de condensation pour lesquels plus de 70% de nos consommateurs ne font pas attention à ces pratiques.

**Tableau 34 : DU 4.6 Réfrigérateur**

Pratiques	Non Savoir
Position éloignée du mur	13.4%
Position éloignée de sources de chaleur	10.8%
Déglacer le réfrigérateur	18.5%
Contrôle joint	74.5%
Refroidir les plats avant de les mettre	10.8%
Referme rapide et convenable de la porte	21%
Nettoyage de grille de condensation	70.7%
Pour l'achat quelles références	64.3%
La consommation du réfrigérateur dans un ménage représente 40% de la facture d'électricité	85.3%

#### 6.2.1.5. DU 5 Chauffage

Une information était souvent négligée malgré son importance est que l'augmentation de la température de chauffage de l'habitat de 1 degré entraîne une augmentation d'énergie d'environ 7%. Pour notre étude, nous avons trouvé que tout l'échantillon considéré ne sait pas cette information. Pour éviter ce gaspillage d'énergie, il est conseillé de maintenir la température ambiante sur 20°C et de nettoyer et

entretenir les appareils de chauffage au moins une fois par an. Cependant, 77% des enquêtés n'ont pas une idée sur cette température et 35.7% ne nettoient pas leur appareils de chauffage. D'où 64.33% sont non conscients dans le domaine d'usage le chauffage.

**Tableau 35 : DU 5 Chauffage**

Pratiques	Non Savoir
Energie principale (GPL ou Electricité)	61.1%
Nettoyage appareil de chauffage	35.7%
Fermeture des fenêtres et portes	5.1%
Température de confort	77.7%
7% d'augmentation de la consommation d'énergie en élevant un degré de chauffage	100%
Le mode de chauffage le plus cher	17.2%

#### 6.2.1.6. DU 6 Climatisation

L'amélioration du niveau de vie des ménages et la recherche d'un meilleur confort thermique a contribué à l'évolution annuelle du parc des climatiseurs au cours de ses dernières années. Les appareils de climatisation individuelle ont un impact important sur la demande électrique en pointe en Tunisie. Pour bien choisir un climatiseur, il faut prendre en considération à la fois le coût de fonctionnement de l'appareil et de la consommation d'électricité annuelle. Le climatiseur est l'un des équipements les plus consommateurs d'énergie. Après avoir fait le bon choix climatiseur, des conseils pratiques sont nécessaires afin d'éviter le gaspillage d'électricité (voir questionnaire). Pour savoir si, dans l'espace universitaire, sont conscients de ces conseils, les résultats de notre étude ont montré que 65% de l'échantillon sont conscients des bonnes pratiques dans ce domaine d'usage mais 72% ne règlent pas leurs climatiseurs au 26°C qui permet à la fois d'avoir le confort et

l'économie de l'énergie et 83% ne savent pas ce degré. Et le 1/3 de l'échantillon ne nettoie pas les filtres de leurs climatiseurs.

**Tableau 36 : DU 6 Climatisation**

Pratiques	Non Savoir
Appel de spécialiste pour l'achat	29.9%
Degré de climatiseur lors d'usage	72%
Degré de confort et d'économie d'énergie	83%
Portes et fenêtres fermées	3.8%
Nettoyage du filtre	29.9%
Le climatiseur est parmi les équipements les plus consommateurs d'énergie	3.2%

#### 6.2.1.7. DU 7 Cuisson :

71.34% sont non conscients dans ce domaine d'usage. En effet, des petites pratiques pour la cuisson à savoir fermer la porte du four, utiliser une casserole de la taille des plaques, utiliser une cocotte minute et couvrir les ustensiles de cuisson, peuvent apporter une économie d'énergie de près de 30%. En observant les résultats dans le tableau 37, nous remarquons que 93.63% ne savent pas cette information et que 79% d'entre eux n'utilisent pas la cocotte. En plus, l'utilisation du gaz naturel au lieu du GPL est une opération gagnante aussi bien au niveau du ménage qu'au niveau national mais nous avons trouvé que 42.7% des individus ne savent pas ça. Le gaz naturel est un produit local qui offre de possibilités d'utilisation contrairement au GPL, qui est importé à près de 80%. Du ce fait, un des conseils de l'ANME aux consommateurs est de se brancher au gaz naturel si le réseau est à proximité. Or, 75% de l'échantillon ne savent pas cette information et 76.4% d'entre eux sont prêts de se brancher à un réseau s'il est à côté.

**Tableau 37 : DU 7 Cuisson**

<b>Pratiques</b>	<b>Non Savoir</b>
Ouverture de four lors de cuisson	38.2%
Usage de cocotte	79%
Couvre des instruments lors de cuisson	5.1%
Taille des casseroles selon la taille de plaque diminue la consommation d'énergie	62.4%
Cette méthode permet de diminuer la quantité d'énergie de 30%	93.6%
Connaissance système Duo Rotation (plateau tournant)	60.51%
Ce système permet de diminuer la consommation d'énergie	77.1%
L'utilisation du gaz naturel au lieu de GPL opération gagnante pour l'état et le citoyen	42.7%
Gaz naturel produit local et GPL importé à 80%	75.2%
Prêt de se brancher à un réseau s'il est à côté	23.6%

#### 6.2.1.8. DU 8 Bâtiment : construction & rénovation

L'isolation thermique d'une maison peut engendrer des économies d'énergie allant jusqu'à 30%. En plus, l'investissement nécessaire d'un bâtiment peut être rapidement récupéré sur les économies à réaliser. Pour cela, on voulait savoir par ce domaine si le tunisien donne de l'importance à l'isolation thermique. Les résultats ont montré que 83.4% des enseignants et étudiants sont non conscients dans les conseils du domaine bâtiment construction & rénovation.

**Tableau 38** : DU 8 Bâtiment : construction & rénovation

Pratiques	Non Savoir
Foyer isolé selon les techniques d'isolation thermique	88.81%
Les tunisiens donnent d'importance à l'isolation thermique lors de construction	87.26%
Les techniques d'isol permettent de diminuer la ction d'énergie et assurent un confort naturel	28.66%
Le citoyen tunisien fait appel à un spécialiste d'isolation	86.62%
Prêt de dépenser un surcoût pour l'isolation	21.02%
L'isolation thermique permet de diminuer 30 % de la CE	91.17%
Matériaux de construction du foyer	64.33%

#### 6.2.1.9. DU9 Transport :

Afin de rationaliser la consommation des moyens du transport, plusieurs conseils ont été publiés dans le guide de l'ANME. Parmi ces pratiques ainsi que les résultats d'évaluation du comportement de notre échantillon dans ce domaine d'usage sont récapitulés dans le tableau 39 ci-après. D'après ces résultats, 66.2% de l'échantillon sont non conscients de ces pratiques. En effet, la façon de conduire une voiture a un effet sur la consommation de carburant puisqu'une conduite agressive augmente la consommation de près de 40% mais 91.1% de l'échantillon ne savent pas cette information. En plus, 84.7% d'entre eux ne savent pas qu'à partir d'une vitesse particulière (90 km/h), la consommation de carburant augmente considérablement. Pour les pneus, leur gonflage à la bonne pression assure la sécurité, améliore le comportement et la stabilité routière de la voiture et évite la surconsommation de carburant. Ainsi, 86.6% des individus ne savent pas que le fait de gonfler les pneus à chaud augmente la pression entre 0,2 et 0,3 bar et 91.7% d'entre eux ne savent pas que sous gonfler un pneu de 1 bar entraîne une surconsommation de l'ordre de 10%. La climatisation dans une voiture entraîne aussi une augmentation de la consommation du

carburant pouvant atteindre 40% mais 83.4% de l'échantillon ne connaissent pas cette information. Les résultats ont montré aussi que 52% des étudiants et des enseignants préfèrent les voitures grandes cylindrées mais 85.3% d'entre eux ne savent pas que les grandes cylindrées consomment 40% plus de carburant.

**Tableau 39 : DU 9 Transport**

Pratiques	Non Savoir
Gonflage des pneus à la bonne pression assure la sécurité	10.2%
Gonflage des pneus à la bonne pression améliore le comportement et la stabilité routière	11.5%
Gonflage des pneus à la bonne pression évite la surconsommation de carburant	31.8%
Les pneus gonflés à chaud augmentent la pression entre 0,2 et 0,3 bar	86.6%
Un pneu sous gonflé de 1 bar entraine une surconsommation de 10%	91.7%
La conduite agressive augmente la consommation de 40%	91.1%
A partir de quelle vitesse la consommation de carburant augmente plus vite que la vitesse	84.7%
Le transport des bagages sur le toit augmente la consommation	36.9%
Préférences des voitures grandes cylindrées	52%
Les grandes cylindrées consomment 40 % plus de carburant	85.3%
La consommation augmente avec l'âge de la voiture	12.7%
Pensée au renouvellement	9.5%
Il faut autant d'énergie pour accélérer que pour décélérer	86.6%
Le climatiseur augmente la consommation de 40%	83.4%

#### 6.2.1.10. DU 10 Energies renouvelables

86% de notre échantillon sont conscients dans le DU 10 puisque 95.5% savent la source naturelle de l'énergie solaire et 86.2% sont au courant que cette énergie est déjà utilisée en Tunisie. Par contre, plus de 75% d'entre eux ne savent pas la source naturelle des énergies renouvelables à l'exception de l'énergie solaire.

**Tableau 40** : DU 10 Energies Renouvelables

Pratiques	Non Savoir
Source naturelle d'énergie photovoltaïque	79.6%
Source naturelle d'énergie solaire	4.5%
Source naturelle d'énergie éolienne	74.5%
Source naturelle d'énergie hydraulique	73.9%
Energie photovoltaïque utilisée en Tunisie	70.7%
Energie solaire utilisée en Tunisie	3.8%
Energie éolienne utilisée en Tunisie	26.1%
Energie hydraulique utilisée en Tunisie	34.4%
Connaissance du système photovoltaïque	17.2%
Prêt d'acquérir le système photovoltaïque	14%

#### 6.2.1.11. DU 11 Environnement

65.6% sont non conscients dans le domaine d'environnement. En effet, 75% de l'échantillon n'ont pas une idée sur le problème du changement climatique. Plus de 80% des individus ne savent pas l'origine humaine des gaz à effet de serre. En plus, 77% ne savent pas qu'il y a une relation entre la consommation d'énergie des appareils électroménagers et le problème du changement climatique. Si on parle des effets négatifs sur l'environnement en Tunisie, nous ne pouvons pas passer sans parler des grands groupes chimiques à savoir celui de Gabès, de Sfax et de Gafsa et des usines

comme l'usine de Halfa à Kasserine. Dans ce cadre, nous avons effectué une visite, le 17 Décembre 2012, pour le groupe chimique de Gabès où nous avons observé sur terrain les effets de ce groupe sur l'environnement ; pollution de l'air, pollution de la mer, des effets sur la santé (cancer de peau) qui ont été déclaré par l'un des habitants lors d'une interview, et des effets sur les écosystèmes (voir quelques photos ci-après prises sur terrain). Revenons à notre enquête où les résultats ont montré que plus d'environ 75% des enseignants et des étudiants ne connaissent ni le groupe chimique de Gabès, ni celui de Gafsa, ni celui de Sfax et ni l'usine de Halfa de Kasserine. De même, 75% d'entre eux ne parlaient pas des effets du groupe chimique de Gabès sur la sante et l'environnement. Le tableau 41 fournit plus des résultats sur les autres groupes chimiques et sur l'usine de Halfa.



Source : Photos prises par l'auteur

<b>Pratiques</b>	<b>Non savoir</b>
Connaissance des gaz à effet de serre	38.22%
Maladies infectieuses: conséquences du CC affectant l'homme	14.65%
Vagues de froid et de chaleur: conséquences du CC affectant l'homme	12.10%
Cyclones: conséquences du CC affectant l'homme	27.39%
Inondations: conséquences du CC affectant l'homme	24.84%
Augmentation du nombre des cancers de la peau: conséquences du CC affectant l'homme	87.26%
Effet de serre existe naturellement	43.95%
CO2: origine humaine	85.99%
CH4 (Méthane): origine humaine	92.99%
N2O (Protoxyde d'azote): origine humaine	83.44%
Gaz fluorés: origine humaine	92.36%
Réduire la consommation d'énergie pour l'éclairage permet de réduire les émissions de CO2	71.34%
Relation entre la consommation d'énergie des appareils électroménagers et le changement climatique	77.07%
Groupe chimique de Gabès	35.67%
Groupe chimique de Gafsa	38.85%
Groupe chimique de Sfax	42.68%
Usine de Halfa de Kasserine	35.67%
Parler des effets du groupe chimique de Gabès sur la santé et l'environnement	74.52%
Parler des effets du groupe chimique de Gafsa sur la santé et l'environnement	89.17%

Parler des effets du groupe chimique de Sfax sur la santé et l'environnement	77.07%
Parler des effets de l'Usine de Halfa à Kasserine sur la santé et l'environnement	97.45%
Visite de groupe chimique de Gabès	91.08%
Visite de groupe chimique de Gafsa	94.9%
Visite de groupe chimique de Sfax	95.54%
Visite de l'Usine de Halfa de Kasserine	96.18%

#### 6.2.1.12. DU 12 Outils de sensibilisation

95.54% sont non conscients des outils de sensibilisation existants. En effet, 434% des étudiants et des enseignants ne connaissent pas l'ANME et plus que 95% d'entre eux n'ont pas eu l'occasion ni de la visiter ni d'accéder à son site internet (les différents conseils dans ce site). En ce qui concerne la diffusion de l'information comme outils de sensibilisation, près de 85% de l'échantillon n'ont pas eu l'occasion de lire une brochure des bonnes pratiques de maîtrise de l'énergie, de protection de l'environnement et des énergies renouvelables. Pour la communication, particulièrement le rôle des médias, nous avons trouvé que 94% n'ont pas eu l'occasion de regarder une émission qui parle de ce domaine.

**Tableau 42 : DU 12 Outils de sensibilisation**

<b>Outils</b>	<b>Non Savoir</b>
Connaissance de l'ANME	44%
Visite sur place	98%
Accès au site Internet de l'ANME	97%
Lecture d'une brochure des conseils pratiques de ME	85%
Lecture d'une brochure des conseils de protection de l'environnement	85%
Lecture d'une brochure des conseils de l'utilisation des énergies renouvelables	91%
Suivi d'une émission de télévision sur les conseils pratiques de maîtrise de l'énergie et de protection de l'environnement en Tunisie	94%

### **6.2.2. Préconisations pour quelques domaines d'usage**

Aujourd'hui, le contexte énergétique et environnemental tunisien est très vulnérable, c'est pourquoi il faut mener des actions concrètes et efficaces pour réussir les politiques et stratégies de maîtrise de l'énergie et de lutte contre le changement climatique. Et c'est pour ça, en ce qui concerne nos préconisations, nous nous sommes intéressés aux actions et non aux politiques et stratégies. En effet, nous avons essayé de dégager des actions pour chaque domaine d'usage afin qu'elles soient plus concrètes sur le champ dans la vie quotidienne puisqu'elles se sont tirées de réponses collectées des enseignants et étudiants sur terrain.

#### **6.2.2.1. DU1 Eclairage :**

Parmi les résultats obtenus pour ce domaine d'usage, nous avons trouvé que seulement 13.38% de l'échantillon pensent qu'ils peuvent récupérer dans le long terme le prix payé pour l'achat des lampes économiques dans la facture d'électricité. C'est pour cela, nous proposons de retirer toutes les lampes classiques du marché pour diffuser les lampes économiques. A partir de 01 Janvier 2011, la vente des lampes classiques (puissance 100 Watt) a été interdit mais jusqu'à aujourd'hui, année 2015,

nous retrouvons encore ces lampes donc une action à mettre en œuvre est d'interdire les lampes économiques de toute puissance et de contrôler mieux la mise en vigueur des lois de maîtrise de l'énergie.

Une action particulière, vue intéressante pour le domaine d'usage l'éclairage qui a été observée à Sfax, n'est que l'usage presque chez tous les habitants des tubes néons et des lampes de décoration dans la même pièce de la maison. Avec cette action, ils peuvent économiser de l'énergie en utilisant les tubes néons quotidiennement et choisir la décoration souhaitée via les lampes de décoration pour la forme et non l'usage. Cette habitude a été observée dans d'autres villes chez des habitants qui sont des anciens habitants de Sfax. D'où, notre proposition est de généraliser cette action pour toutes la Tunisie pour encourager l'usage des tubes néons et donc réduire la consommation d'énergie.

#### 6.2.2.2. DU 9 Transport

D'après notre enquête, 63% de l'échantillon sont pas de tout satisfaits du transport commun surtout concernant les horaires, la fréquence de passage et la qualité du service. Ainsi, moins de 50% de l'échantillon sont pour le transport commun (même s'ils ont leurs propres voitures) pour les longues distances, pour partir aux vacances, pour aller à l'université et pour la rencontre des amis, et 52% d'entre eux sont pour le transport commun mais pour les petites distances.

**Tableau 43** : Réseau de vélos : Avis des individus

Actions	Pour
Transport commun bien développé et possession d'une voiture: Petites distances	52%
Transport commun bien développé et possession d'une voiture: Longues distances	35%
Transport commun bien développé et possession d'une voiture: Accès à l'établissement	40%
Transport commun bien développé et possession d'une voiture: Partir aux vacances	24%
Transport commun bien développé et possession d'une voiture: Rencontre des amis	27%

D'où, le développement et l'amélioration du réseau du transport public (plus de bus, plus des métros,...) aura des effets et des avantages du point de vue économie de l'énergie, protection de l'environnement, consolidation des relations humaines, accélération le circuit économique, évite du gaspillage du temps (diminution d'embouteillage des voitures), diminution des maladies respiratoires et ouverture des postes d'emploi dans le domaine du transport. Nous proposons aussi un recyclage de personnels du transport pour mieux contrôler le comportement des citoyens et des conducteurs et garantir le respect entre les deux.

En plus, nous avons collecté les avis des enquêtés vis-à-vis le covoiturage et nous avons trouvé que 80% d'entre eux sont tout à fait d'accord qu'il peut être un moyen de transport qui peut satisfaire les besoins des individus. Donc, il faut encourager le covoiturage avec plus de contrôle et des règles de sécurité à respecter afin de rassurer les passagers.

Une autre préconisation à prendre en considération dans ce domaine d'usage est le développement des réseaux de vélos dans les établissements universitaires puisque 82% sont pour cette action, et dans les villes puisque 87% favorisent ce mode de transport. Concernant l'espace universitaire, 56% sont tout à fait d'accord pour payer un abonnement de vélos pour la prochaine année universitaire. D'ailleurs, Durant l'enquête, nous avons observé un parc des vélos au sein d'un établissement universitaire à l'ISSAT de Gabès (voir Fig.42 ci-dessous).

**Tableau 44** : Réseau de vélos : Avis des individus

Préconisations	Pour
Pour le développement d'un réseau de vélos dans l'établissement	82%
Pour le développement d'un réseau de vélos dans la ville	87%
Réseau de vélos peut diminuer les encombrements	94%
Réseau de vélos peut diminuer la consommation de carburant et donc les émissions de Gaz à Effet de Serre	100%
Réseau de vélos peut diminuer les dépenses d'argent pour le transport	99%
Payer un abonnement de vélos pour la prochaine année universitaire	56% (tout à fait d'accord)
Développement d'un réseau de vélos assure la protection de l'environnement	99%
Développement d'un réseau de vélos assure une diminution des maladies psychologiques (évitant le stress)	93%
Développement d'un réseau de vélos assure une diminution du nombre d'accidents	92%
Développement d'un réseau de vélos assure la santé (sport)	97%

**Fig.42** Range vélos à ISSAT Gabès



*Source* : Photo prise par l'auteur

Néanmoins, les individus de l'échantillon qui sont contre le développement de réseau des vélos dans les villes et les établissements universitaires, ont justifié cet avis par beaucoup des pentes dans certaines villes, Climat, non confort (fatiguant), non rapide, le bus pour tout le monde déjà, timidité des filles, non habitué, mauvaise idée & non confort, pas de besoin (habite à côté), longues distances, pour les filles, pas de prestige, mentalité, les riches ne peuvent pas les utiliser, local du lieu du travail est loin par rapport à l'habitation :10 km, non préférable, rare à utiliser par les étudiants, satisfaction du transport disponible, pas de pistes cyclables. Concernant un autre de mode du transport à proposer, nous avons trouvé que 74% sont pour le développement du réseau de carrioles pour plusieurs domaines selon la région à savoir ; l'agriculture, le tourisme, le commerce surtout pour transporter le ciment et le brique pour la construction des maisons et les pièces auto pour les quincailleries. En effet, 57% de notre échantillon pensent que le climat de la Tunisie favorise l'utilisation de ces modes de transport.

Donc, notre recommandation est de développer des réseaux de vélos dans les villes et les établissements universitaires ainsi qu'aux écoles et lycées. Et pour dépasser

les obstacles précités au-dessus, nous proposons le développement aussi des parcs des vélos électriques qui permettent d'atteindre 35 km/h sans empêcher le cycliste de participer à l'effort : autonomie varie de 20 à 40 km/h (de 50% l'effort nécessaire au pédalage).

### 6.2.2.3. DU 10 Energies renouvelables

Quant aux stratégies, nous commençons par les énergies renouvelables. Pour le chauffe-eau solaire, nous avons trouvé que 38,22% des enquêtés sont prêts pour l'utilisation de ce mode de chauffage d'eau et 10,83% sont déjà des utilisateurs de cette énergie renouvelable. Par contre, 50,96% de notre échantillon sont contre l'installation du chauffe-eau solaire chez eux pour plusieurs raisons. Selon eux, ils ne sont pas prêts à installer ce type de chauffe-eau soit parce qu'il s'agit d'un logement loué, soit parce qu'ils sont satisfaits de mode déjà utilisé (GPL, gaz de ville, électricité)<sup>63</sup>, soit parce que cette technologie est coûteuse (frais d'installation) devant un manque d'argent, soit à cause du manque de confiance de la qualité de matériels à installer, soit parce qu'il ne s'agit pas de priorité, soit parce qu'elle est non rentable et non efficace surtout lorsqu'il ne fait pas beau, soit parce qu'il s'agit d'un appartement dans un bâtiment. Il faut aussi, encourager l'usage de l'énergie solaire pour le chauffe-eau puisque d'après les résultats 52.23% des individus sont prêts à l'installer chez eux immédiatement.

Lors de déroulement de l'enquête des spécificités relatives à des villes particulières ont été enregistrées. Dans les villes de Sud (Gafsa, Sfax, Tozeur et Gabès) en ce qui concerne l'usage du chauffe-eau, il n'y a pas de consommation d'énergie grâce au climat chaud de la région. Du ce fait, à Tozeur et selon les enquêtés, il n'y a ni du gaz naturel comme source d'énergie épuisable ni d'énergie renouvelable comme source d'énergie renouvelable dans le domaine d'usage : chauffe-eau. Pour la même région et quant à la performance des appareils électroménagers, les habitants ne donnent pas d'importance à l'étiquette énergétique puisque pour eux ils arrivent à satisfaire leurs besoins du confort en achetant leurs équipements soit de la Libye soit de l'Algérie pour les régions situées sur les frontières<sup>64</sup> à des prix très moins chers par rapport aux prix

---

<sup>63</sup> Pour les cadres de la STEG, ils sont satisfaits avec le chauffe-eau électrique à cause de la gratuité d'électricité.

<sup>64</sup> Par exemple, pour la ville Gabès, ils achètent leurs électroménagers de la Libye et pour les villes Le kef, Kasserine, Gafsa et Tozeur de l'Algérie.

locaux. Donc, devant l'augmentation d'achat des appareils électroménagers et électriques non performants énergétiquement, nous proposons comme action régionale de politique de maîtrise de l'énergie est d'encourager l'installation du système photovoltaïque en tant que technologie des énergies renouvelables pour la production d'électricité dans ces régions.

Parmi les enquêtés il y a ceux qui ont proposé d'obliger les habitants d'utiliser le chauffe-eau solaire par l'octroi des autorisations de construction des maisons conditionné par l'usage de l'énergie solaire, d'imposer aux hôtels, aux grandes surfaces, aux usines à utiliser les énergies renouvelables et propres (vertes) et de montrer des nombreux cas et expériences concrètes pour aider les différents acteurs dans leurs prises de décision en ce qui concerne les politiques et les actions.

#### 6.2.2.4. DU 11 Environnement

Nous avons trouvé que 92.4% de l'échantillon pensent que résoudre le problème du changement climatique commence du comportement du ménage et 88,5% d'entre eux pensent que ça doit être basé sur l'effort de la collectivité nationale. Les résultats ont montré aussi que plus de 90% des enseignants et des étudiants de notre échantillon n'ont pas visité ni le groupe chimique de Gabès, ni celui de Gafsa, ni celui de Sfax ni l'usine de Half à Kasserine. Donc, afin de rendre les problèmes environnementaux plus visibles chez les individus, nous proposons pour l'établissement universitaire d'organiser des visites à plusieurs zones industrielles à programmer pour chaque année.

#### 6.2.2.5. DU 12 Outils de sensibilisation (communication, information et formation)

D'après notre enquête, nous avons besoin des études stratégiques permettant de sensibiliser à l'utilisation rationnelle de l'énergie et la lutte contre le changement climatique, de communiquer et de former les étudiants et les enseignants. Nous avons donc essayé de tirer quelques actions qui pourront nous aider à trouver comment pouvons-nous impulser une démarche d'éducation aux enjeux du DD dans le comportement du consommateur tunisien en commençant par l'établissement scolaire. En effet, 74,52% de l'échantillon sont tout à fait d'accord que notre questionnaire face à face et ce type d'enquête peuvent aider à sensibiliser les étudiants et les enseignants et par conséquent à changer leurs comportements face à la consommation d'énergie et la

protection de l'environnement. Pour cette raison, nous proposons d'encourager et financer ce type des enquêtes comme action de sensibilisation afin d'habituer les étudiants à répondre à des questionnaires de ce type dans ce domaine et par conséquent les responsabiliser en participant à ces études implicitement. Un résultat à signaler qui est avéré important, est que 94% de l'échantillon ont des comptes sociaux (facebook) mais 93% d'entre eux ne sont pas membre ni dans des groupes ni dans des pages qui s'intéressent à l'énergie ou l'environnement. Donc, notre recommandation est de mieux profiter des NTIC bien développées chez les tunisiens notamment les étudiants pour diffuser les informations relatives au DD et par conséquent les bonnes pratiques de maîtrise de l'énergie et la protection de l'environnement en envoyant ces pratiques par mail puisque 89% des étudiants et des enseignants de notre échantillon souhaitent recevoir les différents conseils présentés dans notre questionnaire. Donc, il faut mettre en action le rôle des réseaux sociaux ainsi que les NTIC pour sensibiliser, informer, consolider, diffuser, concrétiser et réaliser les actions du DD de notre pays.

**Tableau 45** : Préconisations : outils de sensibilisation

Actions	Pour
Compte « facebook »	Oui 94%
Page ou groupe sur fb	Non 93%
Envoi par mail des conseils	Oui 98%
Module des politiques énergétiques et environnementales	Non 90%
Pour l'ajout d'un module	Tout à fait d'accord 71%
Pour la certification énergétique et environnementale aux établissements universitaires	Tout à fait d'accord 78%
Pour l'adhésion à un club de DD	Oui 76%
Pour l'adhésion à un club (association) dont le rôle est la réalisation, le pratique des conseils et des stratégies	Oui 80%
Participation à des activités de sensibilisation dans ce domaine	Jamais 70%
Prêt pour participer à un dialogue dans ce domaine	Oui 89%

Nous avons proposé d'ajouter un module qui s'intéresse aux différentes actions qui permettent de réduire la consommation d'énergie et de protéger l'environnement pour tous les domaines d'études. Les résultats ont montré que 90% de l'échantillon n'étudie pas un module pareil et de ce fait 71% sont tout à fait d'accord avec l'ajout du module. 78% sont tout à fait d'accord avec une certification énergétique et environnementale pour les étudiants et les enseignants comme l'exemple de la certification C2i pour l'informatique.

Nous avons remarqué aussi que 70% de l'échantillon n'ont jamais participé aux activités de sensibilisation des gens dans ce domaine. Pour cela, nous avons vu nécessaire de créer des clubs et des associations dont leur objectif principal est de montrer comment pratiquer les conseils et les actions de développement durable afin de garantir une prise en conscience plus élevée chez les consommateurs surtout que près de 80% des enquêtés sont prêts d'adhérer à ce type des clubs et des associations. Et puisque 89% des enseignants et des étudiants de notre échantillon sont prêts à participer à un dialogue dans ce domaine, nous proposons d'ouvrir un dialogue qui s'intéresse à la consommation d'énergie et leurs effets sur l'environnement, et aux bonnes pratiques qui peuvent réduire ces effets.

## **6.3. APPLICATION : ESTIMATION DU MODELE LOGIT**

### **6.3.1. Méthodologie Econométrique Qualitative**

Dans le cadre de cette section, nous présentons d'abord les limites de la méthode d'estimation des moindres carrés ordinaires (MCO) dans le cadre d'un modèle qualitatif et nous nous intéressons ensuite aux modèles à variables qualitatives dépendantes à savoir le modèle logit et le modèle probit.

#### **6.3.1.1. Limites des MCO dans un cadre du modèle à variable qualitative dépendante.**

Avoir de présenter les limites des MCO nous commençons par présenter les six hypothèses du modèle de régression linéaire qui sont :

**H-1** :  $E(u_i) = 0 \quad \forall i$  L'espérance mathématique de l'erreur est nulle. En moyenne, le modèle est bien spécifié, vu que les effets des variables omises autre que  $x_i$  se compensent.

**H-2 :**  $V(u_i) = E(u_i^2) = \sigma^2 \quad \forall i$  La variance de l'erreur est constante pour toutes les observations. Il s'agit de l'hypothèse d'homoscédasticité des erreurs.

**H-3 :**  $Cov(u_i, u_j) = E(u_i u_j) = 0 \quad \forall i \neq j$  Les erreurs de deux observations différentes ne sont pas corrélées, ou encore elles sont indépendantes.

**H-4 :**  $u_i \rightarrow i.i.d(o, \sigma^2) \quad \forall i \neq j$  Les erreurs sont indépendantes et identiquement distribuées suivant la loi normale, d'espérance mathématique nulle et de variance  $\sigma^2$ .

**H-5 :** Les  $x_i$  sont fixes, non stochastiques. Il s'agit de grandeurs numériques certaines.

**H-6 :**  $Cov(x_i, u_i) = 0 \quad \forall i, j$  Il s'agit de l'indépendance qui existe entre la partie systématique ( $x_i$ ) et la partie aléatoire ( $u_i$ ) du modèle.

En outre, l'estimation des paramètres de réaction par la méthode des moindres carrés permet d'obtenir des estimateurs dits BLUE (meilleurs estimateurs linéaires et centrés) si les hypothèses  $H_1, H_2$  et  $H_3$  sont vérifiées.

### 6.3.1.2. Modèle à probabilité linéaire :

Dans un modèle de probabilité linéaire, la variable dépendante  $y_i$  est dichotomique, elle prend conventionnellement la valeur 1 si l'évènement se produit, et la valeur nulle dans le cas contraire.

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{si l'évènement se produit} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Supposons qu'on dispose d'un échantillon de taille  $N$ , pour chaque observation  $i$ , la variable dépendante linéaire  $y_i \in \{0, 1\}$  est définie par la régression suivante :

$$y_i = \beta' x_i + u_i \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$y_i$  : Variable dépendante à expliquer de l'individu  $i$ .

$x_i$  : Vecteur ligne de  $K$  variables exogènes de l'individu  $i$ .  $x_i = (x_1, x_2, \dots, x_K)$ .

$\beta'$  : Vecteur colonne de paramètres à estimer de taille K.

$u_i$  : Terme d'erreur aléatoire associé à la  $i$ ème observation.

Avec  $E(u_i) = 0$ .

$E(y_i / x_i) = \beta' x_i$  Désigne la probabilité conditionnelle de la production de l'évènement  $y_i$  en présence de la variable  $x_i$ . Cette probabilité est une fonction linéaire des  $x_i$ .

Cependant, les limites du modèle MCO sont :

a) L'approximation linéaire de la variable dichotomique  $y_i$  par le modèle  $\beta' x_i + u_i$  est inadéquate du fait de la difficulté de rejoindre le nuage des points observés  $(x_i, y_i)$  par une seule droite.

b) Les deux membres de l'égalité  $y_i = \beta' x_i + u_i$  sont de nature différente :  $y_i$  est une variable qualitative et  $\beta' x_i + u_i$  est une variable quantitative.

c) Comme  $E(u_i) = 0$  par définition, la variance des erreurs s'écrit :

$$\begin{aligned} V(u_i) &= E(u_i^2) - E(u_i)^2 \\ &= E(u_i^2) \\ &= p_i (1 - x_i' \beta)^2 + (1 - p_i) (-x_i' \beta)^2 \\ &= (x_i' \beta) (1 - x_i' \beta) \\ &= p_i (1 - p_i) \end{aligned}$$

d) D'après la relation précédente, la variance des résidus  $V(u_i)$  valant  $p_i (1 - p_i)$  n'est pas constante pour toutes les observations : on parle d'hétéroscédasticité des erreurs. Ainsi, l'hypothèse d'homoscédasticité des erreurs ( $H_1$ ) n'est pas vérifiée et par conséquent, les estimateurs fournis par la méthode des moindres carrés ordinaires ne sont pas efficaces.

e) L'hypothèse de normalité des erreurs n'est pas vérifiée puisque d'une part la variance des erreurs n'est pas constante  $V(u_i) = p_i (1 - p_i)$ . Et d'autre part, il est difficile d'assurer la nullité de l'espérance mathématique. En effet,

$$\begin{aligned}
E(u_i) &= p_i(1 - \beta'x_i) + (1 - p_i)(-\beta'x_i) \\
&= p_i - \beta'x_i \\
&= p_i - E(y_i / x_i)
\end{aligned}$$

La nullité de l'espérance mathématique se vérifie si et seulement si :

$$E(u_i) = 0 \Leftrightarrow p_i - \beta'x_i = 0 \Leftrightarrow p_i = \beta'x_i \text{ et puisque } 0 \leq p_i \leq 1 \text{ donc } 0 \leq \beta'x_i \leq 1.$$

Or, les  $x_i$  peuvent prendre des valeurs quelconques et on aura alors, dans ce cas, des probabilités qui peuvent se situer en dehors de l'intervalle unitaire.

Pour pallier les inconvénients du modèle à probabilité linéaire, on recourt aux deux modèles se caractérisant par des fonctions de distribution situées entre 0 et 1 : il s'agit du modèle Logit et du modèle Probit.

### 6.3.1.3. Modèle de variable qualitative dichotomique :

Les modèles qualitatifs sont des modèles dont la variable endogène qualitative est représentée quantitativement par des valeurs discrètes. Le caractère qualitatif peut prendre plusieurs modalités disjointes. Dans le cas de K modalités, la variable  $y_i$  est dite polytomique ; s'il s'agit seulement de deux modalités, elle est dite dichotomique.

Modèle Logit :

#### ❖ Présentation du modèle

$$X \square \text{Logistique} \quad \text{ssi} \quad f(x) = \frac{e^x}{(1+e^x)^2} : \text{fonction de densité}$$

$$F(x) = \frac{e^x}{1+e^x} : \text{fonction de répartition}$$

$$\begin{aligned}
&E(x) = 0 \\
\text{Avec} &V(x) = \frac{\pi^2}{3}
\end{aligned}$$

$$\text{Dans notre cas on a : } P(y_i = 1) = p_i = \frac{e^{x_i\beta}}{1+e^{x_i\beta}} = F(x_i\beta)$$

❖ Estimation par la méthode de maximum de vraisemblance :

**Etape 1:** la fonction de vraisemblance :

$$\begin{aligned} L(y_1, y_2, \dots, y_n, \beta) &= \prod_{i=1}^n p_i^{y_i} (1-p_i)^{1-y_i} \\ &= \prod_{i=1}^n \left( \frac{e^{x_i \beta}}{1+e^{x_i \beta}} \right)^{y_i} \left( 1 - \frac{e^{x_i \beta}}{1+e^{x_i \beta}} \right)^{1-y_i} \\ &= \frac{e^{\sum_{i=1}^n \beta' x_i y_i}}{\prod_{i=1}^n (1+e^{x_i \beta})} \end{aligned}$$

**Etape 2:** la fonction de log vraisemblance :

$$\text{Log}L = \beta' \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n \text{Log}(1+e^{x_i \beta})$$

**Etape 3:** le score :

$$\begin{aligned} S(\beta) &= \frac{\partial \text{Log}L}{\partial \beta} = 0 \\ \Leftrightarrow \sum_{i=1}^n \left( y_i - \frac{e^{\beta' x_i}}{1+e^{\beta' x_i}} \right) x_i &= 0 \end{aligned}$$

C'est un système d'équations non linéaires en  $\beta$  à résoudre itérativement :

$$\beta^{(i+1)} = \beta^{(i)} + \left[ \frac{I_n(\beta^{(i)})}{n} \right]^{-1} \frac{S(\beta^{(i)})}{n}$$

Avec :

$$\begin{aligned} I_n(\beta) &= -E \left( \frac{\partial^2 \text{Log}L}{\partial \beta \partial \beta'} \right) \\ &= \sum_{i=1}^n f(\beta' x_i) x_i x_i' \end{aligned}$$

Jusqu'à  $|\beta^{(i+1)} - \beta^{(i)}| < \varepsilon$  (seuil de convergence).

❖ Interprétation :

A partir de la cote  $\frac{p_i}{1-p_i}$  :

$$\frac{p_i}{1-p_i} = (e^{\beta_0}) \cdot (e^{\beta_1})^{x_{i1}} \dots (e^{\beta_k})^{x_{ik}}$$

Un accroissement de la variable  $x_i^{(j)}$  ( $j=1, \dots, K$ ) multiplie la valeur de la cote par  $e^{\beta_j}$ .

Modèle Probit :

❖ Présentation du modèle :

On a  $p_i = P(y_i = 1/x_i) = \Phi(x_i'\beta)$  où  $\Phi \sim N(0,1)$ .

$\phi(x_i'\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(x_i'\beta)^2}$  : Fonction de densité

$\Phi(x_i'\beta) = \int_{-\infty}^{x_i'\beta} \phi(t) dt$  : Fonction de répartition

❖ Estimation par la méthode de maximum de vraisemblance :

**Etape 1:** la fonction de vraisemblance :

$$\begin{aligned} L(y_1, y_2, \dots, y_n, \beta) &= \prod_{i=1}^n p_i^{y_i} (1-p_i)^{1-y_i} \\ &= \prod_{i=1}^n (\Phi(x_i'\beta))^{y_i} (1-\Phi(x_i'\beta))^{1-y_i} \end{aligned}$$

**Etape 2:** la fonction de log vraisemblance :

$$\text{Log}L = \sum_{i=1}^n y_i \text{Log} \Phi(x_i'\beta) + \sum_{i=1}^n (1-y_i) \text{Log} (1-\Phi(x_i'\beta))$$

**Etape 3:** le score :

$$\begin{aligned} S(\beta) &= \frac{\partial \text{Log}L}{\partial \beta} = 0 \\ \Leftrightarrow \sum_{i=1}^n \left( \frac{y_i - \Phi(x_i'\beta)}{\Phi(x_i'\beta)(1-\Phi(x_i'\beta))} \right) \phi(x_i'\beta) x_i &= 0 \end{aligned}$$

C'est un système d'équations non linéaires en  $\beta$  à résoudre itérativement :

$\Rightarrow$  Algorithme numérique :

$$\beta^{(i+1)} = \beta^{(i)} + \left[ \frac{I_n(\beta^{(i)})}{n} \right]^{-1} \frac{S(\beta^{(i)})}{n}$$

$$\text{Avec } I_n(\beta) = \sum_{i=1}^n \frac{\phi^2(x_i'\beta)}{\Phi(x_i'\beta)(1-\Phi(x_i'\beta))} x_i x_i'$$

#### 6.3.1.4. Effets marginaux et Elasticités :

##### ❖ Effets marginaux :

L'effet marginal c'est la réponse à la question : Quelle est la variation de la probabilité de l'évènement ( $y_i = 1$ ) en cas de variation d'une des variables explicatives  $x_i^{(j)}$  ?

$$\frac{\partial p_i}{\partial x_i^{(j)}} = \frac{P(y_i = 1)}{\partial x_i^{(j)}} = \begin{cases} f(x_i; \hat{\beta}) \hat{\beta}_j & \text{cas Logit} \\ \phi(x_i; \hat{\beta}) \hat{\beta}_j & \text{cas Probit} \\ \frac{e^{x_i \hat{\beta}}}{(1 + e^{x_i \hat{\beta}})} \hat{\beta}_j & \text{cas Logit} \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(x_i \hat{\beta})^2} \hat{\beta}_j & \text{cas Probit} \end{cases}$$

L'effet marginal nous donne le signe de l'effet et non la valeur d'accroissement, ce signe dépend du signe de  $\beta_j$ .

Si  $\hat{\beta}_j < 0$  on dit que l'effet est négatif, sinon il est positif.

##### ❖ Elasticités :

L'élasticité c'est la réponse à la question : Quelle est la variation (%) de la probabilité de survenue de l'évènement ( $y_i = 1$ ) suite à une variation de 1% de la  $x_i^{(j)}$  ?

$$\xi = e_{p_i / x_i^{(j)}} = \frac{\partial p_i}{p_i} / \frac{\partial x_i^{(j)}}{x_i^{(j)}} = \frac{\partial p_i}{\partial x_i^{(j)}} \frac{x_i^{(j)}}{p_i}$$

$$= \begin{cases} f(x_i; \hat{\beta}) \hat{\beta}_j \frac{x_i^{(j)}}{F(x_i; \hat{\beta})} & \text{cas Logit} \\ \phi(x_i; \hat{\beta}) \hat{\beta}_j \frac{x_i^{(j)}}{\Phi(x_i; \hat{\beta})} & \text{cas Probit} \\ \frac{x_i^{(j)}}{1 + e^{x_i \hat{\beta}}} \hat{\beta}_j & \text{cas Logit} \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(x_i \hat{\beta})^2} \hat{\beta}_j \frac{x_i^{(j)}}{\Phi(x_i; \hat{\beta})} & \text{cas Probit} \end{cases}$$

### 6.3.2. Application sur le comportement de l'individu à l'égard du développement durable

L'objectif de cette étude est d'essayer de détecter les éléments déterminants le comportement de l'individu face aux principes du DD via des modèles économétriques à variables qualitatives dépendantes sur un échantillon composé de 157 individus questionnés.

#### 6.3.2.1. Modèle dichotomique :

Notre étude est fondée sur un échantillon composé des données qui ont été recueillies auprès des 157 individus. Ces informations ont été obtenues à partir des questionnaires remplis face à face. Ils ont été contactés afin de collecter les données relatives aux variables (informations générales) qui servent à expliquer notre variable dépendante « la conscience ».

L'estimation de notre modèle qualitatif : Logit, dont la variable binaire à expliquer est « conscient » qui prend 1 si oui et 0 sinon, a aboutit aux résultats ci-dessous.

$$y = \text{Consc} \quad \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ si Oui} \\ 0 \text{ sinon} \end{array} \right.$$

$$\text{Consc} = -2,14 + 0,813 * \text{Gr1} + 1,26 * \text{Ens} + 1,024 * \text{Sp2} + 0,97 * \text{Sp3} + 2,149 * \text{Sp4} - 0,704 * \text{Loc}$$

Où Consc : conscience, Gr1 : Genre Femme, Ens : Enseignant, Sp2 : spécialité 2, Sp3 : spécialité 3, Sp4 : Spécialité 4.

#### 6.3.2.2. Interprétation des résultats de l'estimation

En se basant sur le tableau 46 ci-dessous, on peut constater que le genre femme, le statut enseignant et les spécialités 2, 3, 4 et 5 influencent positivement la conscience chez les individus de notre échantillon. Mais, le statut locataire a un effet négatif sur la conscience. Autrement, les résultats ont montré que les femmes sont plus conscientes

que les hommes et qu'être enseignant et non étudiant et propriétaire non locataire ont un effet positif sur la conscience. Les spécialités influencent aussi positivement la conscience notamment la spécialité technique qui regroupe les spécialités d'énergie, environnement, mécanique, génie civile, technologie, etc. Pour ça et dans ce contexte nous proposons d'ajouter un module qui s'intéresse aux conseils de maîtrise de l'énergie et de respect de l'environnement pour toutes les spécialités.

**Tableau 46:** Résultats de l'estimation Logit

<b>Variables</b>	$\beta_i$	<b>Signe de l'effet</b>
<b>Genre1</b>	0,814	Positif
<b>Enseignant</b>	1,26	Positif
<b>Spécialité 2</b>	1,024	Positif
<b>Spécialité 3</b>	0,97	Positif
<b>Spécialité 4</b>	2,149	Positif
<b>Spécialité 5</b>	0,96	Positif
<b>Locataire</b>	-0,704	Négatif

Pour mieux visualiser ces résultats, nous avons fait recours aux odds ratio<sup>65</sup> dont les valeurs sont illustrées dans le tableau 47. D'après le tableau 47, pour 10 femmes conscientes il y a 4 hommes qui sont conscients. Etre enseignant augmente la conscience de près de 4% c-à-d pour 10 enseignants conscients il y a 2 étudiants qui sont conscients. Pour la spécialité 4 (c'est la spécialité qui regroupe toutes les spécialités techniques : énergie, environnement, génie civil, mécanique, électrique, etc) si elle augmente de 1%, la conscience croît de près de 9% par rapport à la spécialité de référence (spécialité 1) n'est que la spécialité littéraire. En fait, pour 10 étudiants de

<sup>65</sup> Appelé aussi rapport de cote, c'est le rapport de cote de l'événement dans le groupé traité divisé par le cote de l'événement dans le groupe de contrôle.

spécialité 4 conscients, il y a un étudiant de spécialité littéraire qui est conscient. Pour cela, nous insistons sur l'ajout du module ou de certification dans ce domaine pour toutes les spécialités afin d'augmenter la prise en conscience de bonnes pratiques de DD chez les acteurs de l'espace universitaire.

**Tableau 47:** Odds ratio

<b>Variables</b>	<b>Effet</b>
<b>Genrel</b>	2,26
<b>Enseignant</b>	3,53
<b>Spécialité 2</b>	2,79
<b>Spécialité 3</b>	2,64
<b>Spécialité 4</b>	8,58
<b>Spécialité 5</b>	2,62
<b>Locataire</b>	0,49

#### **6.4. CONCLUSION**

Après présentation et analyse des résultats de l'enquête dans ce chapitre, nous avons trouvé que 32% de l'échantillon sont conscients. La non conscience est due au manque de l'information au milieu universitaire et à l'absence de la communication avec l'ANME. Les étudiants ainsi que les enseignants (les individus de notre échantillon) sont un peu (voir pas de tout parfois) informés des politiques et conseils de maîtrise et de protection de l'environnement. Donc, la mise en place des programmes de formation et de sensibilisation est vu nécessaire au sein des établissements universitaires ainsi que tous les autres établissements d'éducation et les acteurs de RSA en général. Néanmoins, ces acteurs ne doivent pas agir par obligation mais plutôt ils doivent être convaincus de l'intérêt stratégique des politiques énergétiques et environnementales du pays. Pour cela, nous proposons d'essayer de toucher le quotidien des acteurs en accordant des conseils pratiques spécifiques pour chaque établissement et niveau d'études selon

chaque localisation géographique. Afin d'intégrer le DD dans les établissements universitaires, chaque établissement peut proposer et accorder ses actions selon sa situation et ses besoins. On peut définir dans ce cas une efficacité énergétique pour l'établissement universitaire comme pour l'Etat. Sans oublier le rôle de la communication pour savoir quelle décision à accorder, donc il faut une plateforme pour échanger des informations et qui regroupe l'industrie, le gouvernement et l'université à côté du rôle d'une plateforme internationale à côté.

Nous signalons aussi que c'est important d'«Elaborer une stratégie régionale d'efficacité énergétique et créer des structures régionales et locales chargées de mettre en œuvre des programmes adaptés aux conditions spécifiques de chaque région »<sup>66</sup>.

---

<sup>66</sup> OSMAN, N., *Tunisie: une politique nationale d'efficacité énergétique*. 2012.

# Conclusion Générale

En Tunisie, l'enregistrement d'un accroissement significatif de la consommation d'énergie résulte de l'amélioration du niveau de vie de sa population. Toutefois, cette accélération de la consommation d'énergie s'est accompagnée d'une régression des ressources pétrolières donnant lieu à un déficit de la balance énergétique. L'augmentation de la consommation d'énergie repose sur la combustion des énergies fossiles et s'est traduite par une augmentation des émissions de gaz à effet de serre. En effet, l'objet de la première partie de cette thèse était l'étude la relation entre la croissance économique et la consommation d'énergie afin de prévoir cette dernière sur le long terme en fonction de la croissance économique et de l'évolution du prix de pétrole en prenant en considération les changements de structure qui ont affecté l'activité économique durant la période 1971-2011. Les résultats ont montré que la tendance de la consommation d'énergie va augmenter sur le moyen et le long terme, et compte tenu du fait que le pétrole représente 56,1% de la consommation totale d'énergie, une politique d'utilisation rationnelle de l'énergie axée sur des actions de sensibilisation des consommateurs et la promotion des énergies renouvelables s'impose avec acuité. Cette étude se basait sur les récents progrès de la recherche économétrique dans l'étude des séries temporelles non stationnaires, qui ont permis de développer une nouvelle méthodologie autour des concepts clés de cointégration, de modèle à correction d'erreurs et de causalité. Si le concept de cointégration introduit par Granger (1981), Granger et Weiss (1983), puis Engel et Granger (1987) permet de préciser la réalité et la nature des divergences entre deux séries théoriquement liées entre elles et à modéliser le comportement des ces variables, le modèle à correction d'erreur permet d'en expliquer et d'en déduire le mécanisme.

Dans la deuxième partie, nous avons procédé à l'estimation des élasticités des émissions de CO<sub>2</sub> par rapport à l'intensité énergétique de l'économie, du contenu en gaz à effet de serre de l'énergie, de la production par salarié et de la population active sur la période 1971- 2010. Ces élasticités peuvent être évaluées à la fois sur le long et sur le court terme en se basant sur l'identité de Kaya. Dans le premier cas, elles donnent une indication sur la tendance à la décarbonation

(tendance des intensités en CO<sub>2</sub> par rapport à la croissance économique). Sur le court terme, elles évaluent à l'aide d'un modèle à correction d'erreurs (MCE) les chocs entraînés par chaque facteur sur la trajectoire réelle des intensités en CO<sub>2</sub> (variations autour de la tendance). D'après les estimations obtenues, les élasticités sont significatives et sont plus élevées à long terme. Ces résultats sont corroborés par l'analyse des fonctions de réponses impulsionnelles qui ont montré qu'à long terme l'intensité énergétique, l'indice de saleté énergétique et, dans une moindre mesure, le revenu par habitant ont une influence déterminante dans la réduction des émissions de GES. A l'aide de ce modèle, il devient aisé pour les autorités d'établir des scénarios sur la tendance à court et long terme des émissions de CO<sub>2</sub> en fonction des impératives économiques, politiques et démographiques. Après ces deux premières parties dont on a étudié la relation entre consommation d'énergie et croissance économique dans un premier lieu, et en introduisant à cette relation d'autres aspects ; l'environnement et le social afin d'étudier la relation entre les principaux piliers du développement durable à savoir socio-économique, environnemental, énergétique et économique via les nouvelles méthodes économétriques à savoir la cointégration par changements structurels dans un second lieu. Le CO<sub>2</sub> d'origine énergétique, incluant les émissions liées à la production d'énergie et aux transports, constitue une part importante des émissions de gaz à effet de serre (GES) en Tunisie. Sa part a même augmenté entre 1990 et 2005 en partie du fait du développement des transports. Cette hausse de l'importance relative du CO<sub>2</sub> d'origine énergétique dans l'ensemble des gaz à effet de serre montre l'enjeu de nouvelles mesures contraintes sur les émissions de CO<sub>2</sub> par les autorités. Tous les secteurs économiques sont concernés : l'énergie fossile est utilisée pour la production d'électricité et de chaleur, pour les transports, dans les installations de combustion industrielles etc. La Tunisie a pris conscience de la gravité de cette situation et a signé la Convention cadre des Nations Unies relative aux changements climatiques, et ce, lors du sommet de la Terre à Rio en 1992, ratifiée en juillet 1993. La Tunisie a adhéré, bien entendu, au Protocole de Kyoto dès 2002 avant même son entrée en vigueur en février 2005. Il est utile de savoir aussi que la première communication nationale relative aux changements climatiques a été élaborée en novembre 2001 alors que l'inventaire national sur les gaz à effet de serre et de leurs sources

pour les deux années de référence (1994 et 1997) et pour le secteur de l'énergie pour l'année de référence 2000, a été réalisé avec succès.

Après ces deux premières parties caractérisées par une étude quantitative, il s'avérait intéressant de passer à une étude qualitative afin de connaître le degré de conscience et connaissance face à la consommation d'énergie et à la protection de l'environnement chez les usagers tunisiens, spécifiquement ceux de l'espace universitaire (étudiants et enseignants). Ainsi, devant l'absence des études visant à savoir et à connaître le degrés de conscience et de sensibilité des acteurs de l'espace universitaire vis-à-vis le développement durable, nous proposons ce travail de recherche qui avait pour ambition de dresser un état des lieux du niveau de conscience des étudiants et enseignants face aux conseils et stratégies énergétiques et environnementaux. Cette étude contribue ainsi à l'acquisition d'une meilleure connaissance des facteurs influant cette conscience. C'est pour ces raisons que nous avons passé d'une étude quantitative au sein de deux premières parties à une étude qualitative dans cette partie via une enquête dont les questions portent sur les différentes bonnes pratiques de maîtrise de l'énergie et préservation de l'environnement. Cette étude cherche à savoir si ces pratiques sont biens appropriés par les étudiants et les enseignants en fonction de leur genre, leur spécialité, leur statut, leur logement.

Les deux premières parties ont abouti au calcul des prévisions de la quantité d'énergie qui sera consommée pour atteindre un taux de croissance économique bien prédéfini. Selon les valeurs calculées, la consommation d'énergie va augmenter avec un taux élevé par rapport aux ressources disponibles du pays. Suite à ces prévisions, nous recommandons «La consolidation des politiques et des stratégies menées par l'Etat, les pouvoirs politiques et les agences de service énergétiques (STEG, ANME,...)».

Nous avons aussi remarqué que, lors d'assistance aux forums, aux colloques, aux congrès, aux séminaires, les politiques et les stratégies nécessaires, dans ce contexte, ont été déjà accordées. Cependant, ces politiques portent des limites. En effet, la première limite c'est l'absence de prise en compte des avantages de l'utilisation rationnelle de l'énergie et des énergies renouvelables en termes de protection de l'environnement. En plus, l'insuffisance d'informations de sensibilisation et de promotion auprès des usagers potentiels tant publics que privés, et par conséquent, les études déjà faites ne peuvent

pas répondre aux besoins réels des institutions énergétiques et des ménages. Et surtout le manque des réalisations et des applications des ménages qui sont eux aussi consommateurs d'énergie. Ainsi, ces limites nous ont conduit à étudier le comportement des citoyens face à la consommation d'énergie et la protection de l'environnement. C'est pour ces raisons, que nous sommes passé d'une étude quantitative faisant l'objet de deux premières parties à une étude qualitative via une enquête dont les questions portent sur les différentes stratégies adoptées pour réduire la consommation d'énergie et leur perception par les citoyens (les usagers : enfants, jeunes, adultes, etc.) en fonction de leurs profils (sexe, âge, niveau de vie, niveau d'instruction, spécialité, etc). En fait, l'utilité de cette enquête repose sur deux points. D'un côté, pour le calcul des prévisions au niveau de deux premières parties, nous avons supposé trois scénarios classiques de l'économie tunisienne à savoir une situation de récession (2%), d'expansion (6%) et de croissance accélérée (10%). Or, « la crise économique et financière que subit le monde entier en ce début de 21<sup>ème</sup> siècle et la dégradation de l'environnement font apparaître clairement que l'objectif de maximisation de la croissance économique est devenu « pervers et dangereux » ». Donc, ce que nous cherchons par cette enquête c'est de déterminer des scénarios tirés de la réalité pratique puisque les scénarios déjà proposés sont loin d'être assurés. D'un autre côté, l'Agence Nationale de Maîtrise de l'Energie (ANME) ainsi que ses partenaires nationaux<sup>67</sup> ont été engagés dans un programme national de sensibilisation et d'éducation à la maîtrise de l'énergie en signant de convention-cadres et en organisant des actions communes entre eux. Or, les ressources financières de l'ANME proviennent principalement du budget de l'Etat et des ressources extérieures sous forme des dons et de crédits étrangers octroyés aux programmes d'intervention (Coopération bilatérale et multi-latérale,...). Ainsi, une partie de ces ressources est consacrée aux actions de sensibilisation, de diffusion des informations et d'impression des brochures. Par conséquent, toutes ces dépenses

---

<sup>67</sup> Ces partenaires sont notamment L'ETAP Entreprise Tunisienne d'Activités Pétrolière, La STEG Société Tunisienne de l'Electricité et du Gaz, La STIR Société Tunisienne des Industries de Raffinage, La SNDP Société Nationale de Distribution des Pétroles, La SONEDE Société Tunisienne d'Exploitation et de Distribution des Eaux, La SNCFT Société Nationale des Chemins de Fer Tunisiens, L'ANPA Agence Nationale de la Promotion Audiovisuelle, Le Ministère de l'Education, Le Ministère du Transport et de l'Aménagement, La Poste Tunisienne, L'ODC Organisation de Défense du Consommateur, Les organes de presse, Les Scoûts de Tunisie, Les hypermarchés Carrefour et Champion et la Chaîne des supermarchés « Magasin Général ».

peuvent alourdir le budget de l'Agence et par la suite celui de l'Etat, avec le risque que ces politiques ne conduisent pas réellement au changement du comportement des usagers.

Pour notre étude, les objectifs recherchés tournent autour d'un objectif principal et général qui est la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> qui signifie la réduction de la consommation d'énergie via la sensibilisation des acteurs. Autrement, mettre en place des mesures d'efficacité énergétique est l'une des plus importantes mesure de la stratégie de lutte contre le changement climatique. Atteindre cet objectif permettra de développer une responsabilité sociale énergétique et environnementale. Aussi, créer un signe d'écologie en Tunisie en utilisant des méthodes statistiques et économétriques avec beaucoup de prudence dans le choix afin de garantir un certain niveau de certitude des résultats puisque, nous savons que la qualité des résultats dépend de la période, de la méthodologie et de l'échantillon.

Réellement, nous cherchons simultanément, à travers cette étude, plusieurs objectifs :

- apporter plus de précision au niveau du choix de l'échantillon représentatif exhaustif ;
- identifier les besoins en formation dans le domaine de la maîtrise de l'énergie et la protection de l'environnement ;
- évaluer le niveau de la prise de conscience des étudiants et des enseignants, catégorie représentant la bande passante la plus active pour transmettre les conseils et pratiques d'efficacité énergétique et de protection de l'environnement au sein de l'université, de la famille, et même au niveau d'internet via les réseaux sociaux ;
- identifier les facteurs déterminants le degré de connaissance et de conscience. Ce degré est en fonction de quoi ? Et ceci, c'est à travers la collecte des informations générales (âge, genre, revenu, état civil, niveau, spécialité,...) de chaque individu de l'échantillon considéré. Ces informations servent après pour estimer un modèle qualitatif qui permet de calculer des élasticités, des effets marginaux et des côtes afin de mieux comprendre le comportement des individus enquêtés. Donc, la connaissance et la prise de conscience sont influencées par quoi ? Et le changement de l'un de ces facteurs conduit-il au changement de cette conscience ? Et dans quel sens ? Et avec quel pourcentage ?

Pour évaluer la prise de conscience des consommateurs vis-à-vis du DD, nous avons formulé un questionnaire permettant de bien cerner la connaissance des consommateurs vis-à-vis des conseils pratiques de maîtrise de l'énergie et de protection de l'environnement, et de les sensibiliser et les informer des différents conseils publiés dans le guide de l'ANME.

Le choix des étudiants comme échantillon à enquêter était justifié par le fait que ce groupe peut représenter la bande passante de ces pratiques puisque ces étudiants constituent les futures générations, les futurs décideurs, les futurs parents, les futurs enseignants, les futurs entrepreneurs, etc. Pour garantir la représentativité de l'échantillon à sélectionner, nous avons utilisé l'échantillonnage stratifié et l'échantillonnage systématique. Compte tenu du nombre des variables et des contraintes budgétaires, nous avons opté pour une taille de l'échantillon de 385 individus, à enquêter durant la période des examens afin de garantir un taux de présence plus élevé des étudiants et enseignants. Toutefois, pour des raisons de coûts et de délais, il est pratiquement impossible d'étudier tous les individus de cet échantillon réparti sur toute la Tunisie. Réellement, le nombre final des individus enquêtés face à face était 157.

Après collecte des réponses, nous avons procédé à leur codification afin de déterminer si l'enquêté est conscient ou non. Une grille d'évaluation a été créée afin de déterminer est ce que les gens sont conscients ou non d'une manière générale, et particulièrement étudier cette conscience par domaines d'usages (cités au-dessus). Les résultats ont montré que seulement 32% de notre échantillon sont conscients des conseils de DD. En plus, une grille d'évaluation de niveau de conscience (comportement) des consommateurs a été créée et qui été utilisée après dans l'estimation de notre modèle qualitatif (Logit simple) dont la variable à expliquer est la conscience de l'individu et les variables explicatives sont les informations générales correspondantes à chaque enquêté (âge, genre, état civil,...). Les résultats ont montré que les femmes sont plus conscientes que les hommes et qu'être enseignant et non étudiant et propriétaire non locataire ont un effet positif sur la conscience. Les spécialités influencent aussi positivement la conscience notamment la spécialité technique qui regroupe les spécialités d'énergie, environnement, mécanique, génie civile, technologie, etc. Pour ça et dans ce contexte nous proposons

d'ajouter un module qui s'intéresse aux conseils de maîtrise de l'énergie et de respect de l'environnement pour toutes les spécialités.

Les principales préconisations politiques à tirer de ce travail sont:

- l'ouverture du dialogue des agences tunisiennes d'énergie avec l'université : sensibiliser l'espace universitaire, proposer une certification DD pour les acteurs universitaires, parler d'actions et non de politiques et conseils, mettre en œuvre le rôle des réseaux sociaux, parler des stratégies régionales et non nationales, etc.
- l'identification des besoins en formation dans le domaine de la maîtrise de l'énergie et la protection de l'environnement.
- La communication : Ouvrir le dialogue avec les citoyens (les vrais usagers), Ouvrir le dialogue avec l'université (organiser des dialogues). Penser à des stratégies pour le DD c'est organiser des forums, des colloques, des conférences et des réunions afin d'échanger ces stratégies et expériences entre les différents pays en oubliant de transférer et échanger ses politiques au niveau local et les concrétiser afin d'accélérer la vitesse vers un environnement (contenant des entreprises, industries et services) qui conserve naturellement l'énergie tout en utilisant d'énergie propre. Autrement, bien comprendre pour bien agir localement c'est la ligne à suivre.
- la publication des guides et des conseils spécifiques aux usagers (ne pas considérer les mêmes conseils pour tous les usagers).
- l'exploitation d'autres indicateurs correspondants au niveau des membres de l'espace universitaire.
- le bon choix du modèle à adopter selon les catégories considérées.
- les retombées de point de vue maîtrise d'énergie et de point de vue préserve du budget à travers des gestes donnant lieu à des grands résultats.
- l'apprentissage des étudiants ainsi que des enseignants sur les politiques de l'efficacité énergétique et de protection de l'environnement pour qu'elles deviennent un comportement habituel (habitude).
- la sensibilisation des étudiants à être actifs dans le domaine de l'efficacité énergétique et la protection de l'environnement dont la mission est d'apporter aux usagers (étudiants et enseignants) des conseils pratiques de gestion de l'énergie : la formation des étudiants (futurs cadres, futurs enseignants, futurs employeurs, futurs décideurs,

futurs entrepreneurs, futurs parents,...) et les sensibilisent pour garantir la qualité et les bienfaits attendus.

- la promotion de l'intégration de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables dans les programmes de la formation des étudiants : ajout d'un module et promotion de la certification<sup>68</sup>.
- La création de liens entre les universités et l'industrie pour les spécialités énergétiques.

En ce qui concerne les perspectives de cette thèse, on peut affirmer que cette enquête pourra être utile aussi en termes de détermination des scénarios de prévision de la consommation d'énergie puisqu'au niveau de deux premières parties, nous avons supposé trois scénarios classiques de l'économie tunisienne pour le calcul des prévisions à savoir une situation de récession (2%), d'expansion (6%) et de croissance accélérée (10%). Or, « la crise économique et financière que subit le monde entier en ce début de 21ème siècle et la dégradation de l'environnement font apparaître clairement que l'objectif de maximisation de la croissance économique est devenu « pervers et dangereux ». Donc, à travers cette enquête et dans un futur proche, nous pourrions déterminer des scénarios tirés de la réalité pratique puisque les scénarios déjà proposés sont loin d'être assurés. En outre, les résultats obtenus ainsi que leur interprétation pourront servir comme guide de prise des décisions des autorités (ANEM, STEG, Etat,...) afin de lancer les campagnes de sensibilisation correspondantes telles que les cellules d'accompagnement et de médiation. Cette enquête pourra construire une solide base d'informations sur laquelle les décideurs (pouvoirs publics ou agences) pourront s'appuyer pour construire les actions, définir des prestations et services à offrir aux étudiants (dysfonctionnement des stratégies de sensibilisation adaptées déjà). Une autre perspective de ce travail de recherche est que nous pouvons généraliser cette enquête pour tous les établissements universitaires pour savoir la différence des résultats entre les différentes régions.

---

<sup>68</sup> 90% de l'échantillon considéré n'avaient pas un module qui s'intéresse aux bonnes pratiques de consommation de l'énergie ou de protection de l'environnement.

Selon nous, et vu la vulnérabilité de l'économie tunisienne après quatre ans de la révolution de 14 Janvier 2014, la Tunisie pourra atteindre son objectif déclaré dans le cadre de sa contribution dans la COP 21 sauf si elle se concentre sur les outils de sensibilisation, de communication et d'information. De plus, le Maroc organisant la COP 22, la Tunisie pourra jouer un rôle majeur dans cette conférence via un choix ciblé d'une nouvelle politique de lutte contre le changement climatique. Cette politique, et selon les résultats de cette thèse, pourra être tirée de la vie quotidienne des tunisiens et des traditions de la population tunisienne. Pour ce faire, l'Etat devra prendre en considération les besoins de toutes les régions (nord, centre, sud) du pays afin de créer des actions régionales non nationales.

# Bibliographie

Etude stratégique pour le développement des EnRs en Tunisie, Bilan des réalisations, Rapport final, Alcor – Axenne, Juillet 2003.

Habib NASRI, La STEG : Un demi-siècle au service de la demande nationale d'électricité, Revue de l'électricité et du gaz n°16, Avril 2012.

Tunisie Document de Stratégie pays 2007-2011, Département des opérations pays (Région Nord, ORNA), 2007, Banque Africaine de Développement.

MAINGUY. Y, L'économie de l'énergie, Dunod (collection Finances et Economie), 1967.

Martin, J-M., (1992). Economie et politique de l'énergie. Armond Colin.

Allaire, J., *L'intensité énergétique de la croissance chinoise: Tendances et enjeux*, in *La chine au coeur de la croissance mondiale: concurrence, opportunités, restructuration de réseaux économiques*. 2005: Université de Rennes 1.

Asma, E. and H. Leila, *Croissance économique, consommation d'énergie et développement durable: l'exemple de la région méditerranéenne*, in *Le développement durable: débats et controverses*. 2011: Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.

NASRI, H., *La STEG: Un demi-siècle au service de la demande nationale d'électricité*, in *Revue de l'Electricité et du Gaz REG*. 2012.

MIGNON, V. and S. LARDIC, *Econométrie des séries temporelles macroéconomiques et financières*, ed. Economica. 2002.

FLORENS, J.-P., V. MARIMOUTOU, and A. PEGUIN-FEISSOLLE, *Econométrie Modélisation et inférence*, ed. A. Colin. 2004.

BABUSIAUX, D., *Economie de l'énergie*, Institut français du pétrole.

Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie., *Portefeuille de projets MDP du Plan Solaire Tunisien*, Juin 2011.

Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie., *Maîtrise de l'énergie en Tunisie à l'horizon 2030*, Avril 2006.

Ministre de l'Industrie, de l'Energie et des Petites et Moyennes Entreprises, *Maîtrise de l'énergie: Loi et texte réglementaire*, 2009.

- GHEZAL, A., *Les énergies Renouvelables en Tunisie*, in *7ème Rencontre Tuniso-Allemande sur les Energies Renouvelables*. 2011: Tunis.
- Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie., *Maîtrise de l'Energie en Tunisie: Chiffres Clés*, Juin 2011.
- Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie., *Maîtrise de l'Energie en Tunisie: Chiffres Clés*, Avril 2012.
- Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie., *Maîtrise de l'Energie en Tunisie: Chiffres Clés*, Avril 2010.
- OSMAN, N., *Tunisie: une politique nationale d'efficacité énergétique*, Juillet 2012.
- Ambapour, S. and C. Massamba, *Croissance économique et consommation d'énergie au Congo: une analyse en termes de causalité*, B.d.a.d.m.s.e. informatiques, Editor. 2005.
- SACKO, I., *Analyse des liens entre croissance économique et consommation d'énergie au Mali*, in *CERFOD*. 2004.
- LANTZ, F. and E.S. CHEMIN, *Analyse des tendances et des ruptures sur le marché automobile français: Modélisation du taux de désélimination dans le parc*, in *Les cahiers de l'économie*. 2010, IFP Energies nouvelles, IFP School, Centre Economie et Gestion.
- BOULANGER, P., *Une analyse des taux d'intérêt européens dans le cadre de l'UEM*. 2000, Université de Montréal.
- MATHIEU, Y., *Quelles réserves de pétrole et de gaz ?*, in *Division Géologie-Géochimie-Géophysique*. 2006, Rueil Malmaison.
- NARAYAN, P.K. and R. SMYTH, *Energy consumption and real GDP in G7 countries: New evidence from panel cointegration with structural breaks*. *Energy Economics*, 2007. **30**: p. 2331-2341.
- Belke, A., F. Dobnik, and C. Greger, *Energy consumption and economic growth: New insights into the cointegration relationship*. *Energy Economics*, 2011. **33**: p. 782-789.
- Nguyen-Van, P., *Energy consumption and income: A semiparametric panel data analysis*. *Energy Economics*, 2009. **32**: p. 557-563.
- Yu, W., G. Ju'e, and X. Youmin, *Study on the Dynamic Relationship Between Economic Growth and China Energy Based on Cointegration Analysis and Impulse Response Function*. *CHINA POPULATION, RESOURCES AND ENVIRONMENT*, 2008. **18**(4): p. 56-61.

- Lee, C.C. and C.P. Chang, *Structural breaks, energy consumption, and economic growth revisited: Evidence from Taiwan*. Energy Economics, 2005. **27**: p. 857-872.
- Yoo, S.-H. and So-Yoon Kwak, *Electricity consumption and economic growth in seven South American countries*. Energy Policy, 2010. **38**: p. 181-188.
- Haidar, J.I., *Investor protections and economic growth*. economics letters, 2008. **103**: p. 1-4.
- Iwayemi, A. and B. Fowowe, *Impact of oil price shocks on selected macroeconomic variables in Nigeria*. Energy Policy, 2010.
- Narayan, P.K., S. Narayan, and S. Popp, *A note on the long-run elasticities from the energy consumption–GDP relationship*. Applied Energy, 2009. **87**: p. 1054-1057.
- Apergis, N. and J.E. Payne, *Natural gas consumption and economic growth: A panel investigation of 67 countries*. Applied Energy, 2010. **87**: p. 2759–2763.
- Tang, C.F., *A re-examination of the relationship between electricity consumption and economic growth in Malaysia*. Energy Policy, 2008. **36**: p. 3077– 3085.
- Sharma, S.S., *The relationship between energy and economic growth: Empirical evidence from 66 countries* Applied Energy, 2010. **87**: p. 3565–3574.
- Ahmed, S., *Electricity sector in Tunisia: Current status and challenges—An example for a developing country*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2011. **15**: p. 737–744.
- Akinlo, A.E., *Electricity consumption and economic growth in Nigeria: Evidence from cointegration and co-feature analysis*. Journal of Policy Modeling 2009. **31**: p. 681–693.
- Apergis, N. and J.E. Payne, *Energy consumption and economic growth in Central America: Evidence from a panel cointegration and error correction model*. Energy Economics 2009. **31**: p. 211–216.
- Ouédraogo, I.M., *Electricity consumption and economic growth in Burkina Faso : A cointegration analysis*. Energy Economics, 2010. **32**: p. 524–531.
- Maa, H., L. Oxley, and J. Gibson, *China's energy economy: A survey of the literature*. Economic Systems, 2010. **34**: p. 105-132.
- BRUNEAU, C. and J.-P. NICOLAÏ, *Causalite persistante entre series non-stationnaires : application a l'étude comparée des politiques monetaires des pays du G5*. ANNALES D'ECONOMIE ET DE STATISTIQUE, 1995. **40**: p. 177-206.

- DIALLO, A.M., *Cointégration avec possibilité de changements structurels : Une application sur la masse monétaire, le revenu national et les taux d'intérêts au Canada*, in *Département de Sciences Economiques*. 2000, Université d'Ottawa. p. 66.
- Sadeghi, A. and G. Ramakrishna, *An empirical analysis of imports of Iran : A Gregory Hansen method of cointegration*. American Journal of Business, Economics and Management, 2014. **2**: p. 105-112.
- Colletaz, G., *Les Critères de sélection : Notes de Cours MASTER 1 ESA*. 2007.
- DELL, M., B.F. Jones, and B.A. OLKEN, *Temperature and Income: Reconciling New Cross-Sectional and Panel Estimates*. American Economic Review, 2009. **99**: p. 198-204.
- KANE, C.S., *Demande d'énergie et croissance économique dans l'UEMOA : Une analyse sur panel hétérogène non stationnaire*. Revue africaine de l'Intégration, 2009. **3**.
- STRATEGIE DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE ET SOCIAL 2012-2016*  
M.d.D.R.e.d.l.P. Stratégie, Editor. 2011.
- ENER, M., *L'efficacité Energétique dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée : Panorama des politiques et des bonnes pratiques*, A.M.d.A.N.d.M.d. l'Energie, Editor.
- BANQUE AFRICAINE DE DEVELOPPEMENT., *TUNISIE : DOCUMENT DE STRATEGIE PAYS 2007- 2011*, 2007.
- ALCOR, *Etude Stratégique du Mix Energétique pour la Production d'Electricité en Tunisie*. 2012: Tunis.
- Allal, H.B.J., *Énergie et écodéveloppement en Tunisie*, H. INTERNATIONAL, Editor. 2005-2006, Observatoire de la viabilité énergétique.
- ENERDATA, *Le marché de l'énergie en Tunisie*. 2010.
- MISSAOUI, R., *La maîtrise de l'énergie en Tunisie*, in *DE LA CONFORMITE REGLEMENTAIRE A LA LABELLISATION : OFFRE DU PEE*. 2013.
- Missaoui, R. and S. Amous, *FINANCING THE DEVELOPMENT OF THE RENEWABLE ENERGY IN THE MEDITERRANEAN REGION*, U.N.E.P. (UNEP) and I.a.E. Division of Technology, Editors. 2003.
- Valeria, T., *MAÎTRISE DE L'ENERGIE EN TUNISIE SITUATION & PERSPECTIVES*, in *Conférence MEDNET*. 2004: Athènes.

- Daly, R.B., *LE CONTEXTE ENERGETIQUE TUNISIEN*, in *Débat National sur l'Énergie*. 2013: Tunis.
- MISSAOUI, R., *Expérience Tunisienne en matière de maîtrise de l'énergie* *Stratégie énergétique à faible contenu en carbone*, in *Energaïa*. 2008: Montpellier.
- OSMAN, N., *La Politique d'efficacité énergétique en Tunisie*, in *CONFERENCE ID4D L'efficacité énergétique : dynamiques dans les pays du Sud et réflexions sur la coopération Nord - Sud*. 2013.
- Énergie renouvelable et efficacité énergétique en Tunisie : emploi, qualification et effets économiques*. 2012, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH: Tunis.
- Tounakti, K., *La Concurrence dans le secteur de l'Énergie en Tunisie* *Tunisie*, in *Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement, Réunion du Groupe d'Experts Intergouvernemental du Droit et de la Politique de la concurrence*. 2007: Genève.
- Allal, H.B.J., *Énergie et écodéveloppement en Tunisie*, H. INTERNATIONAL, Editor. 2005-2006, Observatoire de la viabilité énergétique.
- SEVETTE, P., *L'économie de l'énergie dans les pays en voie de développement*. 1963, Paris: TIERS-MONDE.
- Indicateurs nationaux du développement durable: lesquels retenir?*, R.G.d.t. interministériel, Editor.
- BABUSIAUX, D., *Economie de l'énergie*, Institut français du pétrole.
- Stern, S.N., *L'ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES CONSÉQUENCES DU DÉRÈGLEMENT CLIMATIQUE*. 2007.
- Albrecht J. et al. "A Shapley Decomposition of Carbon Emissions Without Residuals", *Energy Policy*, 2002, Vol.30 (9), pp.727-736.
- Agence Nationale pour la maîtrise de l'énergie, (Avril 2006), « Maîtrise de l'énergie en Tunisie à l'horizon 2030 », Tunisie.
- Agence Nationale pour la maîtrise de l'énergie, (Décembre 2005), « Evolution des émissions de GES dues à l'énergie en Tunisie 1990-2003 », Tunisie.
- Agence Nationale des Energies Renouvelables, (juillet 2003), « Etude stratégique pour le développement des EnRs en Tunisie : Bilan des réalisations, Rapport final », Alcor – Axenne.

Agence Nationale des Energies Renouvelables, (juillet 2003), « Etude stratégique pour le développement des EnRs en Tunisie : Expériences étrangères, Rapport final », Alcor – Axenne.

Agence Nationale des Energies Renouvelables, (Octobre 2003), « Etude stratégique pour le développement des EnRs en Tunisie : Potentiels des ENRs et impacts de leur développement, Rapport final », Alcor – Axenne.

Agence Nationale pour la maîtrise de l'énergie, (Septembre 2005), « Stratégie de développement de l'utilisation rationnelle de l'énergie en Tunisie : Prospective énergétique et potentiels d'économie d'énergie», Tome III, Enerdata.

Agence Nationale pour la maîtrise de l'énergie, (Septembre 2005), « Stratégie de développement de l'utilisation rationnelle de l'énergie en Tunisie : Evaluation des réalisations en matière d'utilisation rationnelle de l'énergie en Tunisie», Tome I, Enerdata.

Agence Nationale pour la maîtrise de l'énergie, (Septembre 2005), « Stratégie de développement de l'utilisation rationnelle de l'énergie en Tunisie : Impacts socioéconomiques et environnementaux », Tome IV, Enerdata.

Agence Nationale pour la maîtrise de l'énergie, (Septembre 2005), « Stratégie de développement de l'utilisation rationnelle de l'énergie en Tunisie : Axes et éléments de la stratégie d'utilisation rationnelle de l'énergie», Tome V, Enerdata.

Agence Nationale pour la maîtrise de l'énergie, (Septembre 2005), « Stratégie de développement de l'utilisation rationnelle de l'énergie en Tunisie : Mise en place d'un système de suivi et évaluation », Tome VII, Enerdata.

Ansuategi A. and Escapa M. "Economic Growth and Greenhouse Gas Emissions", *Ecological Economics*, 2002, Vol.40, No.1, pp.23-37.

Birdsall, Nancy. 1992. "Another Look at Population and Global Warming." *Policy Research Working Papers*. No.1020. Washington DC: The World Bank.

Bourbonnais, R. (1998), *Econométrie*, 4<sup>ème</sup> Eds, Dunod, Paris.

Dickey, D. A. and Fuller, W. A.: 1979, Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root, *Journal of the American Statistical Association* 74, 427—431.

Dickey, D. A. and Fuller, W. A.: 1981, Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root, *Econometrica* 49, 1057—1072.

Dyson, T (2005) : « Les conséquences démographiques du réchauffement climatique pourraient aboutir au XXI<sup>e</sup> siècle » Congrès International de Tour sur la population. Juillet 2005.

Engle, R. F. and Granger, C. W. J.: 1987, Co-integration and error-correction: Representation, estimation and testing, *Econometrica* 55, 251—276.

Galip Altinay, Erdal Karagol (2004), « Structural break, Unit root, and the causality between energy consumption and GDP in Turkey », *Energy Economics*.

Gourieroux, CH. & A. Monfort (1995), « Séries temporelles et modèles dynamiques, *Economica*, Paris.

G.S. Maddala and In Mookin, “Unit Roots, Cointegration and Structural Change”, Cambridge.

IEA (2005), *World Energy Statistics and Balances*, International Energy Agency

Johansen S. □1988□, "Statistical Analysis of cointegration vectors", *Journal of Economic Dynamics and Control*, n° 12, pp.231-254.

Johansen S. □1991□ : "Estimation and hypothesis testing of co-integration vectors in gaussian vectors autoregressive models", *Econometrica*, vol 6, pp 1551-1580.

Johansen S. □1992□ : "Cointegration in partial systems and the efficiency of single equation analysis", *Journal of Econometrics*, vol 52, pp 389-402.

Johansen S. □1995□ : "*Likelihood-based inference in co-integrated vector autoregressive models*", Oxford University Press, 267 P.

Johansen S., Jesulius K. □1990□, "Maximum likelihood estimation and inference on cointegration, with application to the demand for money ", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol 52, pp 169-210.

Kaya, Y. “Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth : Interpretation of Proposed Scenarios”, Paper Presented at the IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, 1990, Paris, France.

Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P. and Shin, T.: 1992, Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic series have a unit root? *Journal of Econometrics* 54, 159—178.

Luukkanen, J., Kaivo-oja, J., 2002b. ASEAN tigers and sustainability of energy use—decomposition analysis of energy and CO2 efficiency dynamics. *Energy Policy* 30, 281–292.

Pierre Perron (1989), « The Great Crash, the Oil Price Shock and the Unit Root Hypothesis », *Econometrica*, Vol. 57, 1361-1401.

Shi, A., 2003. The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975–1996: evidence from pooled crosscountry data. *Ecological Economics* 44, 29– 42.

Theodore Panagiotidis, Emilie Rutledge (2007), “Oil and gas markets in the UK: Evidence from a cointegrating approach”, *Energy Economics*, 29, 329-347.

Zivot, E. & D. W. K. Andrews (1992),”Further Evidence on the Great Crash, the Oil-Price Shock, and the Unit-Root Hypothesis”, *Journal of Business and Economic statistics*, Vol.10.

VERBEEK, M., *A guide to modern econometrics*. Copyright, 2008.

Hamida, B. and Ayachi, *Energie, émissions polluantes et développement économique en Tunisie*.

Harbaoui, M. and F. Ayachi, *Croissance, consommation d'électricité et émissions de CO2 dans le bassin méditerranéen*.

Belloumi M. [2009]: “Energy consumption and GDP in Tunisia: cointegration and causality analysis”, *Energy Policy*, Vol. 37, p. 2745-2753.

Chebbi H.E. et Boujelbene Y. [2008]: “CO2 emissions, energy consumption and economic growth in Tunisia” 12th congress of the European Association of Agricultural Economist.

Condo D. et Dinda S. [2002]: “Causality between income and emission: a country group-specific econometric analysis”, *Ecological Economics*, Vol.40, p. 351-367

Hamit-Hagggar, M., *Greenhouse gas emissions, energy consumption and economic growth : A panel cointegration analysis from Canadian industrial sector perspective*. Energy Economics, 2012. **34**: p. 358-364.

# Annexe

## 7. ANNEXE 1

### 7.1. TEST DE RACINE UNITAIRE

#### 7.1.1. Test de racine unitaire des variables en niveau (LCE, LPIBR, LPRIX et LTEMP)

##### 1. ADF

##### LCE

- Modèle avec constante

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series LCE

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-6.269	-6.186	-6.239	-6.301
1	-6.317	-6.191	-6.271	-6.410
2	-6.406*	-6.237*	-6.345*	-6.497*
3	-6.373	-6.159	-6.296	-6.467
4	-6.322	-6.064	-6.230	-6.424
5	-6.279	-5.975	-6.172	-6.387
6	-6.259	-5.907	-6.136	-6.193
7	-6.306	-5.906	-6.167	-6.198

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series LCE

Regression Run From 4 to 41

Observations 39

With intercept with 2 lags on the differences

T-test statistic -3.15044

Critical values: 1% = -3.607 5% = -2.938 10% = -2.607

- Modèle avec constante et tendance

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series LCE

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-6.483	-6.356	-6.437	1784.343
1	-6.653*	-6.483*	-6.592*	1353.655*
2	-6.624	-6.409	-6.548	2812.777
3	-6.589	-6.327	-6.497	2703.965
4	-6.537	-6.229	-6.430	4974.756
5	-6.532	-6.176	-6.409	11979.615
6	-6.440	-6.036	-6.302	15675.512
7	-6.381	-5.927	-6.228	16937.305

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series LCE

Regression Run From 1973:01 to 2011:01

Observations 40

With intercept and trend with 1 lags on the differences

T-test statistic -1.38051

Critical values: 1% = -4.202 5% = -3.525 10% = -3.193

- Modèle sans constante ni tendance

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series LCE

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-6.273	-6.231	-6.258	-4.593
1	-6.291	-6.206	-6.261	-3.482
2	-6.390*	-6.260*	-6.344*	-5.308
3	-6.358	-6.184	-6.297	-5.128
4	-6.303	-6.083	-6.226	-5.550
5	-6.261	-5.994	-6.169	-5.919
6	-6.242	-5.927	-6.135	-5.913
7	-6.301	-5.938	-6.178	-6.127*

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series LCE

Regression Run From 1974:01 to 2011:01

Observations 39

Without intercept or trend with 2 lags on the differences

T-test statistic 2.37303

Critical values: 1% = -2.623 5% = -1.950 10% = -1.620

## **LPIBR**

- Modèle avec constant

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series LPIBR

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-6.917	-6.834	-6.886	-2.030
1	-7.326*	-7.201*	-7.281*	-3.912
2	-7.297	-7.128	-7.235	-2.614
3	-7.224	-7.011	-7.148	-2.800
4	-7.184	-6.926	-7.092	-4.788
5	-7.120	-6.815	-7.012	-5.570
6	-7.033	-6.681	-6.911	-5.295
7	-6.969	-6.569	-6.831	-6.353*

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series LPIBR

Regression Run From 3 to 43

Observations 42

With intercept with 1 lags on the differences

T-test statistic -1.45485

Critical values: 1% = -3.593 5% = -2.932 10% = -2.604

- Modèle avec constante et tendance

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series LPIBR

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-7.239	-7.115	-7.193	4774.150
1	-7.380	-7.213	-7.319	1798.504*
2	-7.451*	-7.240*	-7.375*	4320.817
3	-7.389	-7.133	-7.297	5946.175
4	-7.322	-7.020	-7.215	6408.304
5	-7.239	-6.891	-7.116	7044.091
6	-7.232	-6.836	-7.094	12853.210

7 -7.202 -6.757 -7.048 19138.162

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series LPIBR

Regression Run From 4 to 43

Observations 41

With intercept and trend with 2 lags on the differences

T-test statistic -2.92363

Critical values: 1% = -4.196 5% = -3.522 10% = -3.191

- Modèle sans constante ni tendance

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series LPIBR

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-6.675	-6.633	-6.660	-3.810
1	-7.075	-6.992	-7.045	-1.992
2	-7.125*	-6.998*	-7.079*	-4.731
3	-7.089	-6.918	-7.027	-5.057
4	-7.109	-6.893	-7.032	-5.093
5	-7.063	-6.802	-6.971	-4.770
6	-6.998	-6.690	-6.890	-5.602*
7	-6.957	-6.602	-6.835	-5.028

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series LPIBR

Regression Run From 4 to 43

Observations 41

Without intercept or trend with 2 lags on the differences

T-test statistic 2.95635

Critical values: 1% = -2.620 5% = -1.949 10% = -1.620

## **LPRIX**

- Modèle avec constante

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series LPRIX

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
------	-----	-----	----	------

0	-2.413	-2.330*	-2.382	0.198
1	-2.349	-2.224	-2.304	1.109
2	-2.280	-2.111	-2.219	2.168
3	-2.472	-2.259	-2.396*	-2.112*
4	-2.403	-2.144	-2.311	-1.580
5	-2.474*	-2.169	-2.366	-0.532
6	-2.400	-2.048	-2.277	1.393
7	-2.318	-1.918	-2.180	2.319

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series LPRIX

Regression Run From 5 to 43

Observations 40

With intercept with 3 lags on the differences

T-test statistic -0.53057

Critical values: 1% = -3.602 5% = -2.936 10% = -2.606

- Modèle avec constante et tendance

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series LPRIX

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-2.413	-2.289*	-2.368	7.024
1	-2.351	-2.184	-2.291	9.657
2	-2.285	-2.074	-2.209	13.133
3	-2.481	-2.225	-2.389	4.563*
4	-2.404	-2.102	-2.297	6.015
5	-2.554*	-2.205	-2.431*	20.614
6	-2.530	-2.134	-2.391	40.841
7	-2.451	-2.007	-2.298	57.824

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series LPRIX

Regression Run From 7 to 43

Observations 38

With intercept and trend with 5 lags on the differences

T-test statistic -2.09968

Critical values: 1% = -4.216 5% = -3.531 10% = -3.197

- Modèle sans constante ni tendance

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series LPRIX

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-2.339	-2.298	-2.324	-2.312
1	-2.269	-2.185	-2.239	-2.236
2	-2.198	-2.072	-2.153	-2.160
3	-2.506*	-2.335*	-2.444*	-2.469
4	-2.429	-2.213	-2.352	-2.381
5	-2.495	-2.233	-2.402	-2.524*
6	-2.407	-2.099	-2.299	-2.445
7	-2.325	-1.970	-2.202	-2.350

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series LPRIX

Regression Run From 5 to 43

Observations 40

Without intercept or trend with 3 lags on the differences

T-test statistic 1.12495

Critical values: 1% = -2.621 5% = -1.949 10% = -1.620

## **LTEMP**

- Modèle avec constante

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series LTEMP

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-6.770	-6.687*	-6.739	600.285
1	-6.806	-6.681	-6.761*	353.518

2	-6.731	-6.562	-6.670	362.769
3	-6.785	-6.572	-6.709	219.009
4	-6.826*	-6.567	-6.734	151.143
5	-6.820	-6.515	-6.712	218.368
6	-6.761	-6.409	-6.638	105.274*
7	-6.727	-6.327	-6.589	396.259

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series LTEMP

Regression Run From 3 to 43

Observations 42

With intercept with 1 lags on the differences

T-test statistic -1.43310

Critical values: 1% = -3.593 5% = -2.932 10% = -2.604

- Modèle avec constant et tendance

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series LTEMP

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-7.052*	-6.928*	-7.007*	9746.230
1	-6.983	-6.815	-6.922	9041.878
2	-7.010	-6.799	-6.934	17077.377
3	-6.942	-6.686	-6.850	14547.575
4	-6.895	-6.593	-6.787	10406.043
5	-6.849	-6.501	-6.726	8844.079*
6	-6.815	-6.419	-6.676	11397.634
7	-6.846	-6.402	-6.693	23634.471

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series LTEMP

Regression Run From 2 to 43

Observations 43

With intercept and trend with 0 lags on the differences

T-test statistic -4.61414

Critical values: 1%= -4.184 5%= -3.516 10%= -3.188

- Modèle sans constante ni tendance

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series LTEMP

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-6.710	-6.669	-6.695	-6.740
1	-6.801	-6.717*	-6.771	-6.795*
2	-6.732	-6.606	-6.686	-6.735
3	-6.810	-6.639	-6.749	-6.743
4	-6.861*	-6.646	-6.784*	-6.662
5	-6.851	-6.590	-6.759	-6.456
6	-6.806	-6.498	-6.699	-6.535
7	-6.753	-6.398	-6.631	-6.528

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series LTEMP

Regression Run From 3 to 43

Observations 42

Without intercept or trend with 1 lags on the differences

T-test statistic 1.10165

Critical values: 1%= -2.618 5%= -1.949 10%= -1.620

## 2. PP

### LCE

- Modèle avec constante

Phillips-Perron Unit Root Test, Series LCE

Regression Run From 2 to 41

Observations 41

With intercept , with 4 lags in the error process

T-test statistic -4.59006

Critical values: 1% = -3.597 5% = -2.934 10% = -2.605

- Modèle avec constante et tendance

Phillips-Perron Unit Root Test, Series LCE

Regression Run From 2 to 41

Observations 41

With intercept and trend , with 4 lags in the error process

T-test statistic -1.61371

Critical values: 1% = -4.196 5% = -3.522 10% = -3.191

## **LPIBR**

- Modèle avec constante

Phillips-Perron Unit Root Test, Series LPIBR

Regression Run From 2 to 43

Observations 43

With intercept , with 4 lags in the error process

T-test statistic -2.35595

Critical values: 1% = -3.589 5% = -2.930 10% = -2.603

- Modèle avec constante et tendance

Phillips-Perron Unit Root Test, Series LPIBR

Regression Run From 2 to 43

Observations 43

With intercept and trend , with 4 lags in the error process

T-test statistic -4.48957

Critical values: 1% = -4.184 5% = -3.516 10% = -3.188

## **LPRIX**

- Modèle avec constante

Phillips-Perron Unit Root Test, Series LPRIX

Regression Run From 2 to 43

Observations 43

With intercept , with 4 lags in the error process

T-test statistic -1.91325

Critical values: 1%= -3.589 5%= -2.930 10%= -2.603

- Modèle avec constante et tendance

Phillips-Perron Unit Root Test, Series LPRIX

Regression Run From 2 to 43

Observations 43

With intercept and trend , with 4 lags in the error process

T-test statistic -2.41911

Critical values: 1%= -4.184 5%= -3.516 10%= -3.188

## **LTEMP**

- Modèle avec constante

Phillips-Perron Unit Root Test, Series LTEMP

Regression Run From 2 to 43

Observations 43

With intercept , with 4 lags in the error process

T-test statistic -1.80403

Critical values: 1%= -3.589 5%= -2.930 10%= -2.603

- Modèle avec constante et tendance

Phillips-Perron Unit Root Test, Series LTEMP

Regression Run From 2 to 43

Observations 43

With intercept and trend , with 4 lags in the error process

T-test statistic -4.71075

Critical values: 1%= -4.184 5%= -3.516 10%= -3.188

### 3. KPSS

#### **LCE**

KPSS Test for Stationarity about level, Series LCE

From 1 to 41

Observations 41

Lags= 4 Eta(mu)= 0.913

Critical Level: 0.10 0.05 0.025 0.01

Critical Value: 0.347 0.463 0.574 0.739

KPSS Test for Stationarity about trend, Series LCE

From 1 to 41

Observations 41

Lags= 4 Eta(tau)= 0.207

Critical Level: 0.10 0.05 0.025 0.01

Critical Value: 0.119 0.146 0.176 0.216

#### **LPIBR**

KPSS Test for Stationarity about trend, Series LPIBR

From 1 to 43

Observations 43

Lags= 4 Eta(tau)= 0.092

Critical Level: 0.10 0.05 0.025 0.01

Critical Value: 0.119 0.146 0.176 0.216

KPSS Test for Stationarity about level, Series LPIBR

From 1 to 43

Observations 43

Lags= 4 Eta(mu)= 0.966

Critical Level: 0.10 0.05 0.025 0.01

Critical Value: 0.347 0.463 0.574 0.739

## **LPRIX**

KPSS Test for Stationarity about trend, Series LPRIX

From 1 to 43

Observations 43

Lags= 4 Eta(tau)= 0.123

Critical Level: 0.10 0.05 0.025 0.01

Critical Value: 0.119 0.146 0.176 0.216

KPSS Test for Stationarity about level, Series LPRIX

From 1 to 43

Observations 43

Lags= 4 Eta(mu)= 0.655

Critical Level: 0.10 0.05 0.025 0.01

Critical Value: 0.347 0.463 0.574 0.739

## **LTEMP**

KPSS Test for Stationarity about trend, Series LTEMP

From 1 to 43

Observations 43

Lags= 4 Eta(tau)= 0.093

Critical Level: 0.10 0.05 0.025 0.01

Critical Value: 0.119 0.146 0.176 0.216

KPSS Test for Stationarity about level, Series LTEMP

From 1 to 43

Observations 43

Lags= 4  $\text{Eta}(\mu)= 0.871$

Critical Level: 0.10 0.05 0.025 0.01

Critical Value: 0.347 0.463 0.574 0.739

#### 4. Test de Zivot et Andrews

##### **LCE**

- **Modèle A**

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable LCE

Allowing for Break in Intercept Only

Including 1 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -2.29979 at 1978:01

Critical Values are 1% -5.34 and 5% -4.80

- **Modèle B**

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable LCE

Allowing for Break in Trend Only

Including 1 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -2.46289 at 1980:01

Critical Values are 1% -4.93 and 5% -4.42

- **Modèle C**

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable LCE

Allowing for Break in both Intercept and Trend

Including 1 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -2.52033 at 1978:01

Critical Values are 1% -5.57 and 5% -5.08

## **LPIBR**

- **Modèle A**

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable LPIBR

Allowing for Break in Intercept Only

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -5.03297 at 1986:01

Critical Values are 1% -5.34 and 5% -4.80

- **Modèle B**

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable LPIBR

Allowing for Break in Trend Only

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -4.08079 at 1996:01

Critical Values are 1% -4.93 and 5% -4.42

- **Modèle C**

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable LPIBR

Allowing for Break in both Intercept and Trend

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -5.30233 at 1986:01

Critical Values are 1% -5.57 and 5% -5.08

## **LPRIX**

- **Modèle A**

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable LPRIX

Allowing for Break in Intercept Only

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -3.67296 at 1986:01

Critical Values are 1% -5.34 and 5% -4.80

- Modèle B

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable LPRIX

Allowing for Break in Trend Only

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -3.17737 at 1999:01

Critical Values are 1% -4.93 and 5% -4.42

- Modèle C

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable LPRIX

Allowing for Break in both Intercept and Trend

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -3.08369 at 2004:01

Critical Values are 1% -5.57 and 5% -5.08

## **LTEMP**

- Modèle A

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable LTEMP

Allowing for Break in Intercept Only

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -5.94765 at 2002:01

Critical Values are 1% -5.34 and 5% -4.80

- **Modèle B**

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable LTEMP

Allowing for Break in Trend Only

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -4.82495 at 1995:01

Critical Values are 1% -4.93 and 5% -4.42

- **Modèle C**

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable LTEMP

Allowing for Break in both Intercept and Trend

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -6.80628 at 2002:01

Critical Values are 1% -5.57 and 5% -5.08

### 7.1.2. Test de racine unitaire des variables en différence (dLCE, dLPIBR, dLPRIX et dLTEMP)

#### 1. ADF

##### **dLCE**

- **Modèle avec constante**

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series DLCE

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-6.376	-6.290	-6.345	-0.710
1	-6.427*	-6.298*	-6.381*	-3.741
2	-6.395	-6.220	-6.333	-2.986
3	-6.328	-6.108	-6.252	-3.791

4	-6.276	-6.009	-6.184	-4.707*
5	-6.253	-5.939	-6.146	-4.523
6	-6.306	-5.944	-6.184	-4.646
7	-6.280	-5.868	-6.143	-2.448

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series DLCE

Regression Run From 1974:01 to 2011:01

Observations 39

With intercept with 1 lags on the differences

T-test statistic -3.24790

Critical values: 1% = -3.607 5% = -2.938 10% = -2.607

- Modèle avec constante et tendance

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series DLCE

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-6.651*	-6.523*	-6.606*	3.739
1	-6.586	-6.414	-6.525	1.866*
2	-6.572	-6.355	-6.496	7.176
3	-6.489	-6.225	-6.397	9.207
4	-6.403	-6.092	-6.296	9.021
5	-6.327	-5.968	-6.204	9.134
6	-6.312	-5.903	-6.174	4.598
7	-6.309	-5.851	-6.157	14.164

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series DLCE

Regression Run From 1973:01 to 2011:01

Observations 40

With intercept and trend with 0 lags on the differences

T-test statistic -10.21576

Critical values: 1% = -4.202 5% = -3.525 10% = -3.193

- Modèle sans constante ni tendance

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series DLCE

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-5.777	-5.734	-5.762	-5.162
1	-6.293	-6.207*	-6.262*	-6.173
2	-6.280	-6.149	-6.234	-6.145
3	-6.291	-6.115	-6.230	-6.202
4	-6.289	-6.067	-6.212	-6.222*
5	-6.275	-6.006	-6.183	-6.143
6	-6.348*	-6.030	-6.241	-6.035
7	-6.291	-5.924	-6.169	-5.854

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series DLCE

Regression Run From 1974:01 to 2011:01

Observations 39

Without intercept or trend with 1 lags on the differences

T-test statistic -1.72491

Critical values: 1% = -2.623 5% = -1.950 10% = -1.620

### **dLPIBR**

- Modèle avec constante

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series DLPIBR

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-7.276*	-7.191*	-7.246*	1.999
1	-7.249	-7.120	-7.203	-1.419*
2	-7.191	-7.017	-7.130	-0.573
3	-7.167	-6.947	-7.090	0.003
4	-7.105	-6.839	-7.013	2.633
5	-7.013	-6.699	-6.906	1.104

6 -6.961 -6.598 -6.839 3.229

7 -6.875 -6.462 -6.738 7.614

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series DLPIBR

Regression Run From 1973:01 to 2011:01

Observations 40

With intercept with 0 lags on the differences

T-test statistic -9.02911

Critical values: 1% = -3.602 5% = -2.936 10% = -2.606

- Modèle avec constante et tendance

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series DLPIBR

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-7.276*	-7.148*	-7.230*	3.081
1	-7.262	-7.089	-7.200	0.069*
2	-7.188	-6.970	-7.111	1.272
3	-7.139	-6.875	-7.047	1.560
4	-7.066	-6.755	-6.959	4.095
5	-6.973	-6.614	-6.851	2.417
6	-6.905	-6.497	-6.768	3.912
7	-6.815	-6.357	-6.664	8.040

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series DLPIBR

Regression Run From 1973:01 to 2011:01

Observations 40

With intercept and trend with 0 lags on the differences

T-test statistic -9.21946

Critical values: 1% = -4.202 5% = -3.525 10% = -3.193

- Modèle sans constante ni tendance

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series DLPIBR

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-6.483	-6.440	-6.468	-6.054
1	-7.047	-6.960*	-7.016	-7.002
2	-7.055	-6.925	-7.009	-7.019
3	-7.081*	-6.905	-7.019*	-7.029*
4	-7.013	-6.791	-6.937	-6.950
5	-6.971	-6.702	-6.879	-6.939
6	-6.917	-6.599	-6.810	-6.855
7	-6.810	-6.444	-6.689	-6.747

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series DLPIBR

Regression Run From 1976:01 to 2011:01

Observations 37

Without intercept or trend with 3 lags on the differences

T-test statistic -1.34466

Critical values: 1% = -2.626 5% = -1.950 10% = -1.620

### **dLPRIX**

- Modèle avec constante

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series DLPRIX

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-2.256	-2.171	-2.225	-0.792
1	-2.178	-2.049	-2.132	-0.569
2	-2.455*	-2.280*	-2.393*	-0.245
3	-2.379	-2.159	-2.302	0.020
4	-2.440	-2.174	-2.348	-0.977
5	-2.348	-2.034	-2.241	-1.104*
6	-2.260	-1.898	-2.138	-0.739
7	-2.281	-1.868	-2.144	0.573

### Dickey-Fuller Unit Root Test, Series DLPRIX

Regression Run From 1975:01 to 2011:01

Observations 38

With intercept with 2 lags on the differences

T-test statistic -3.99606

Critical values: 1% = -3.612 5% = -2.940 10% = -2.608

- Modèle avec constante et tendance

### Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series DLPRIX

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-2.208	-2.080	-2.162	-0.773
1	-2.129	-1.956	-2.067	-0.525
2	-2.415*	-2.198*	-2.339*	-0.353
3	-2.333	-2.069	-2.241	-0.029
4	-2.414	-2.103	-2.307	-1.004
5	-2.321	-1.962	-2.199	-1.050*
6	-2.229	-1.821	-2.091	-0.614
7	-2.330	-1.872	-2.178	1.128

### Dickey-Fuller Unit Root Test, Series DLPRIX

Regression Run From 1975:01 to 2011:01

Observations 38

With intercept and trend with 2 lags on the differences

T-test statistic -3.80747

Critical values: 1% = -4.216 5% = -3.531 10% = -3.197

- Modèle sans constante ni tendance

### Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series DLPRIX

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-2.226	-2.184	-2.211	-1.033

1	-2.154	-2.067	-2.123	-1.015
2	-2.464	-2.333*	-2.418*	-0.857
3	-2.382	-2.206	-2.320	-0.834
4	-2.479*	-2.256	-2.402	-1.458
5	-2.391	-2.122	-2.299	-1.543*
6	-2.300	-1.983	-2.193	-1.324
7	-2.321	-1.954	-2.199	-0.344

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series DLPRIX

Regression Run From 1975:01 to 2011:01

Observations 38

Without intercept or trend with 2 lags on the differences

T-test statistic -3.81434

Critical values: 1% = -2.624 5% = -1.950 10% = -1.620

### **dLTEMP**

- Modèle avec constante

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series DLTEMP

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-6.786	-6.701*	-6.756*	-3.294*
1	-6.716	-6.587	-6.670	-2.968
2	-6.790	-6.616	-6.729	1.572
3	-6.826*	-6.606	-6.749	10.351
4	-6.810	-6.544	-6.718	22.587
5	-6.761	-6.447	-6.654	18.423
6	-6.688	-6.325	-6.565	15.514
7	-6.633	-6.221	-6.496	26.663

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series DLTEMP

Regression Run From 1973:01 to 2011:01

Observations 40

With intercept with 0 lags on the differences

T-test statistic -8.73274

Critical values: 1% = -3.602 5% = -2.936 10% = -2.606

- Modèle avec constante et tendance

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series DLTEMP

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-6.736	-6.608*	-6.690*	-3.295*
1	-6.663	-6.491	-6.602	-2.968
2	-6.737	-6.520	-6.661	1.584
3	-6.773*	-6.509	-6.681	10.401
4	-6.761	-6.450	-6.653	22.910
5	-6.703	-6.344	-6.581	18.581
6	-6.631	-6.223	-6.494	16.816
7	-6.575	-6.117	-6.423	29.787

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series DLTEMP

Regression Run From 1973:01 to 2011:01

Observations 40

With intercept and trend with 0 lags on the differences

T-test statistic -8.61055

Critical values: 1% = -4.202 5% = -3.525 10% = -3.193

- Modèle sans constante ni tendance

Information Criteria for ADF Lag Lengths, Series DLTEMP

Lags	AIC	BIC	HQ	MAIC
0	-6.815*	-6.772*	-6.799*	-3.437*
1	-6.750	-6.663	-6.719	-3.244
2	-6.798	-6.667	-6.752	0.425

3 -6.788 -6.612 -6.727 5.920  
4 -6.717 -6.495 -6.640 9.941  
5 -6.727 -6.457 -6.635 5.462  
6 -6.659 -6.341 -6.552 1.393  
7 -6.599 -6.233 -6.477 5.091

Dickey-Fuller Unit Root Test, Series DLTEMP

Regression Run From 1973:01 to 2011:01

Observations 40

Without intercept or trend with 0 lags on the differences

T-test statistic -8.69960

Critical values: 1%= -2.621 5%= -1.949 10%= -1.620

## 2. PP

### **dLCE**

- Modèle avec constante

Phillips-Perron Unit Root Test, Series DLCE

Regression Run From 1973:01 to 2011:01

Observations 40

With intercept , with 4 lags in the error process

T-test statistic -8.08878

Critical values: 1%= -3.602 5%= -2.936 10%= -2.606

- Modèle avec constante et tendance

Phillips-Perron Unit Root Test, Series DLCE

Regression Run From 1973:01 to 2011:01

Observations 40

With intercept and trend , with 4 lags in the error process

T-test statistic -11.05229

Critical values: 1%= -4.202 5%= -3.525 10%= -3.193

## **dLPIBR**

- Modèle avec constante

Phillips-Perron Unit Root Test, Series DLPIBR

Regression Run From 1973:01 to 2011:01

Observations 40

With intercept , with 4 lags in the error process

T-test statistic -9.03207

Critical values: 1%= -3.602 5%= -2.936 10%= -2.606

- Modèle avec constante et tendance

Phillips-Perron Unit Root Test, Series DLPIBR

Regression Run From 1973:01 to 2011:01

Observations 40

With intercept and trend , with 4 lags in the error process

T-test statistic -9.37999

Critical values: 1%= -4.202 5%= -3.525 10%= -3.193

## **dLPRIX**

- Modèle avec constante

Phillips-Perron Unit Root Test, Series DLPRIX

Regression Run From 1973:01 to 2011:01

Observations 40

With intercept , with 4 lags in the error process

T-test statistic -6.56269

Critical values: 1%= -3.602 5%= -2.936 10%= -2.606

- Modèle avec constante et tendance

Phillips-Perron Unit Root Test, Series DLPRIX

Regression Run From 1973:01 to 2011:01

Observations 40

With intercept and trend , with 4 lags in the error process

T-test statistic -6.57775

Critical values: 1%= -4.202 5%= -3.525 10%= -3.193

### **dLTEMP**

- Modèle avec constante

Phillips-Perron Unit Root Test, Series DLTEMP

Regression Run From 1973:01 to 2011:01

Observations 40

With intercept , with 4 lags in the error process

T-test statistic -11.42067

Critical values: 1%= -3.602 5%= -2.936 10%= -2.606

- Modèle avec constante et tendance

Phillips-Perron Unit Root Test, Series DLTEMP

Regression Run From 1973:01 to 2011:01

Observations 40

With intercept and trend , with 4 lags in the error process

T-test statistic -11.43074

Critical values: 1%= -4.202 5%= -3.525 10%= -3.193

## **3. KPSS**

### **dLCE**

KPSS Test for Stationarity about level, Series DLCE

From 1972:01 to 2011:01

Observations 40

Lags= 4 Eta(mu)= 0.631

Critical Level: 0.10 0.05 0.025 0.01

Critical Value: 0.347 0.463 0.574 0.739

KPSS Test for Stationarity about trend, Series DLCE

From 1972:01 to 2011:01

Observations 40

Lags= 4 Eta(tau)= 0.080

Critical Level: 0.10 0.05 0.025 0.01

Critical Value: 0.119 0.146 0.176 0.216

### **dLPIBR**

KPSS Test for Stationarity about level, Series DLPIBR

From 1972:01 to 2011:01

Observations 40

Lags= 4 Eta(mu)= 0.370

Critical Level: 0.10 0.05 0.025 0.01

Critical Value: 0.347 0.463 0.574 0.739

KPSS Test for Stationarity about trend, Series DLPIBR

From 1972:01 to 2011:01

Observations 40

Lags= 4 Eta(tau)= 0.124

Critical Level: 0.10 0.05 0.025 0.01

Critical Value: 0.119 0.146 0.176 0.216

### **dLPRIX**

KPSS Test for Stationarity about level, Series DLPRIX

From 1972:01 to 2011:01

Observations 40

Lags= 4 Eta(mu)= 0.171

Critical Level: 0.10 0.05 0.025 0.01

Critical Value: 0.347 0.463 0.574 0.739

KPSS Test for Stationarity about trend, Series DLPRIX

From 1972:01 to 2011:01

Observations 40

Lags= 4 Eta(tau)= 0.166

Critical Level: 0.10 0.05 0.025 0.01

Critical Value: 0.119 0.146 0.176 0.216

### **dLTEMP**

KPSS Test for Stationarity about level, Series DLTEMP

From 1972:01 to 2011:01

Observations 40

Lags= 4 Eta(mu)= 0.069

Critical Level: 0.10 0.05 0.025 0.01

Critical Value: 0.347 0.463 0.574 0.739

KPSS Test for Stationarity about trend, Series DLTEMP

From 1972:01 to 2011:01

Observations 40

Lags= 4 Eta(tau)= 0.065

Critical Level: 0.10 0.05 0.025 0.01

Critical Value: 0.119 0.146 0.176 0.216

## 4. Zivot et Andrews

### **dLCE**

- Modèle A

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable DLCE

Allowing for Break in Intercept Only

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -10.87927 at 1981:01

Critical Values are 1% -5.34 and 5% -4.80

- Modèle B

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable DLCE

Allowing for Break in Trend Only

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -10.35214 at 1987:01

Critical Values are 1% -4.93 and 5% -4.42

- Modèle C

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable DLCE

Allowing for Break in both Intercept and Trend

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -11.07090 at 1990:01

Critical Values are 1% -5.57 and 5% -5.08

## **dLPIBR**

- Modèle A

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable DLPIBR

Allowing for Break in Intercept Only

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -10.11392 at 1990:01

Critical Values are 1% -5.34 and 5% -4.80

- Modèle B

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable DLPIBR

Allowing for Break in Trend Only

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -9.40220 at 2006:01

Critical Values are 1% -4.93 and 5% -4.42

- Modèle C

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable DLPIBR

Allowing for Break in both Intercept and Trend

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -10.24866 at 1990:01

Critical Values are 1% -5.57 and 5% -5.08

## **dLPRIX**

- Modèle A

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable DLPRIX

Allowing for Break in Intercept Only

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -7.85092 at 1981:01

Critical Values are 1% -5.34 and 5% -4.80

- Modèle B

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable DLPRIX

Allowing for Break in Trend Only

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -7.68923 at 1987:01

Critical Values are 1% -4.93 and 5% -4.42

- **Modèle C**

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable DLPRIX

Allowing for Break in both Intercept and Trend

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -7.75283 at 1981:01

Critical Values are 1% -5.57 and 5% -5.08

### **dLTEMP**

- **Modèle A**

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable DLTEMP

Allowing for Break in Intercept Only

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -8.97869 at 2005:01

Critical Values are 1% -5.34 and 5% -4.80

- **Modèle B**

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable DLTEMP

Allowing for Break in Trend Only

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -8.55990 at 2003:01

Critical Values are 1% -4.93 and 5% -4.42

- **Modèle C**

Zivot-Andrews Unit Root Test

Dependent Variable DLTEMP

Allowing for Break in both Intercept and Trend

Including 0 Lags of Difference Selected by BIC

Minimum T-Statistic -9.17222 at 2005:01

Critical Values are 1% -5.57 and 5% -5.08

III- Test de cointégration : Test de Johansen

Likelihood Based Analysis of Cointegration

Variables: LCE LPIBR LPRIX

Estimated from 1975:01 to 2011:01

Data Points 37 Lags 4 with Constant

Unrestricted eigenvalues and  $-T \log(1-\lambda)$

Rank	EigVal	Lambda-max	Trace	Trace-95%	LogL
0					174.4254
1	0.3458	15.7005	29.5467	29.8000	182.2757
2	0.2297	9.6563	13.8462	15.4100	187.1038
3	0.1071	4.1899	4.1899	3.8400	189.1987

Cointegrating Vector for Largest Eigenvalue

LCE LPIBR LPRIX

9.435672 -13.525560 1.759995

## 7.2. TEST DE COINTEGRATION DE JOHANSEN

Date: 05/12/15 Time: 20:29

Sample (adjusted): 1973 2011

Included observations: 39 after adjustments

Trend assumption: Linear deterministic trend

Series: LCE LPIBR LPRIX

Lags interval (in first differences): 1 to 1

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.443308	36.42689	29.79707	0.0074
At most 1	0.270865	13.58293	15.49471	0.0951

At most 2	0.031865	1.262955	3.841466	0.2611
-----------	----------	----------	----------	--------

Trace test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

\* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

\*\*MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.443308	22.84396	21.13162	0.0284
At most 1	0.270865	12.31998	14.26460	0.0992
At most 2	0.031865	1.262955	3.841466	0.2611

Max-eigenvalue test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

\* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

\*\*MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegrating Coefficients (normalized by b\*S11\*b=l):

LCE	LPIBR	LPRIX
-11.87642	11.78943	-1.253933
-6.746239	9.395219	-0.947605
10.13884	-8.581054	-1.549895

Unrestricted Adjustment Coefficients (alpha):

D(LCE)	0.016717	-0.014586	0.001674
D(LPIBR)	0.003418	-0.004138	0.003988
D(LPRIX)	0.164494	0.072343	0.017225

1 Cointegrating Equation(s):            Log likelihood            175.1345

Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)

LCE	LPIBR	LPRIX
1.000000	-0.992676 (0.04974)	0.105582 (0.03532)

Adjustment coefficients (standard error in parentheses)

D(LCE)	-0.198534 (0.07127)
D(LPIBR)	-0.040596 (0.04893)
D(LPRIX)	-1.953600 (0.50965)

2 Cointegrating Equation(s):            Log likelihood            181.2945

Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)

LCE	LPIBR	LPRIX
1.000000	0.000000	0.019011 (0.17994)
0.000000	1.000000	-0.087209 (0.17077)

Adjustment coefficients (standard error in parentheses)

D(LCE)	-0.100135	0.060043
	(0.07450)	(0.08223)
D(LPIBR)	-0.012678	0.001418
	(0.05543)	(0.06118)
D(LPRIX)	-2.441641	2.618967
	(0.56111)	(0.61929)

### 7.3. VECM :

Vector Error Correction Estimates

Date: 07/16/15 Time: 14:55

Sample (adjusted): 1973 2011

Included observations: 39 after adjustments

Standard errors in ( ) & t-statistics in [ ]

Cointegrating Eq:	CointEq1		
LCE(-1)	1.000000		
LPIBR(-1)	-2.550571		
	(0.80568)		
	[-3.16573]		
LPRIX(-1)	0.175511		
	(0.05240)		
	[ 3.34948]		
@TREND(71)	0.064118		
	(0.03368)		
	[ 1.90372]		
C	-3.085438		

Error Correction:	D(LCE)	D(LPIBR)	D(LPRIX)
CointEq1	-0.164461	0.002856	-2.414751
	(0.08827)	(0.05798)	(0.58355)
	[-1.86321]	[ 0.04925]	[-4.13805]
D(LCE(-1))	-0.223225	0.050914	1.962413
	(0.19091)	(0.12540)	(1.26213)
	[-1.16927]	[ 0.40602]	[ 1.55484]
D(LPIBR(-1))	-0.390076	-0.326555	-6.592869
	(0.28971)	(0.19029)	(1.91531)
	[-1.34644]	[-1.71606]	[-3.44220]
D(LPRIX(-1))	0.028487	0.018927	0.144990
	(0.02309)	(0.01517)	(0.15267)
	[ 1.23355]	[ 1.24775]	[ 0.94968]
C	0.068902	0.054707	0.301571
	(0.01302)	(0.00855)	(0.08605)
	[ 5.29387]	[ 6.39917]	[ 3.50473]

R-squared	0.191177	0.122006	0.371375
Adj. R-squared	0.096021	0.018713	0.297419
Sum sq. resids	0.053213	0.022958	2.325790
S.E. equation	0.039561	0.025985	0.261545
F-statistic	2.009095	1.181159	5.021582
Log likelihood	73.30315	89.69527	-0.358312
Akaike AIC	-3.502726	-4.343347	0.274785
Schwarz SC	-3.289448	-4.130070	0.488062
Mean dependent	0.042537	0.042992	0.087837
S.D. dependent	0.041609	0.026232	0.312031
<hr/>			
Determinant resid covariance (dof adj.)		3.57E-08	
Determinant resid covariance		2.37E-08	
Log likelihood		176.3748	
Akaike information criterion		-8.070502	
Schwarz criterion		-7.260049	

## 7.4. TEST DE CAUSALITE AU SENS DE GRANGER

Pairwise Granger Causality Tests

Date: 07/16/15 Time: 15:37

Sample: 1971 2011

Lags: 1

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
PIBR does not Granger Cause CE	40	0.01526	0.9024
CE does not Granger Cause PIBR		2.87077	0.0986
PRIX does not Granger Cause CE	40	2.22866	0.1439
CE does not Granger Cause PRIX		2.52954	0.1202
PRIX does not Granger Cause PIBR	40	2.37595	0.1317
PIBR does not Granger Cause PRIX		4.65803	0.0375

## 7.5. DECOMPOSITION DE LA VARIANCE

Variance Decomposition of LCE:				
Period	S.E.	LCE	LPIBR	LPRIX
1	0.0350 63	100.0000	0.000000	0.000000
2	0.0383 21	98.82825	0.638983	0.532766

	0.0445			
3	63	98.75661	0.525289	0.718100
	0.0479			
4	22	98.80217	0.459359	0.738474
	0.0517			
5	25	98.61888	0.400793	0.980326
	0.0546			
6	98	98.41762	0.362085	1.220292
	0.0576			
7	25	98.14815	0.331963	1.519891
	0.0602			
8	21	97.88350	0.314583	1.801921
	0.0626			
9	86	97.60829	0.309073	2.082634
	0.0649			
10	66	97.34212	0.317507	2.340376

Variance  
Decomposition  
of LPIBR:

Period	S.E.	LCE	LPIBR	LPRIX
	0.0257			
1	49	34.81303	65.18697	0.000000
	0.0318			
2	88	34.99361	63.31565	1.690744
	0.0367			
3	60	36.07461	62.65315	1.272239
	0.0411			
4	94	35.90128	63.02556	1.073155
	0.0451			
5	41	36.53692	62.40998	1.053102
	0.0485			
6	92	37.22429	61.60501	1.170702
	0.0517			
7	53	38.19476	60.42464	1.380606
	0.0546			
8	19	39.32006	59.04900	1.630944
	0.0572			
9	60	40.60740	57.48595	1.906652
	0.0597			
10	02	41.99746	55.81377	2.188766

Variance  
Decomposition  
of LPRIX:

Period	S.E.	LCE	LPIBR	LPRIX
	0.2637			
1	58	3.849489	8.900630	87.24988
	0.3209			
2	37	2.612256	6.011609	91.37614
	0.3484			
3	59	3.281432	8.626410	88.09216
	0.3734			
4	26	3.654647	13.62679	82.71856
	0.3960			
5	43	4.532919	18.65389	76.81319
	0.4171			
6	41	5.302174	23.86796	70.82987
	0.4373			
7	22	5.976360	28.73196	65.29167
	0.4560			
8	26	6.468988	33.04371	60.48731

	0.4732			
9	53	6.816447	36.79011	56.39344
	0.4888			
10	85	7.022849	40.01643	52.96072

---

Cholesky  
Ordering: LCE  
LPIBR LPRIX

---

## 8. ANNEXE 2

### 8.1. TEST DE RACINE UNITAIRE : NG-PERRON

Null Hypothesis: LCO2 has a unit root  
Exogenous: Constant, Linear Trend  
Lag length: 9 (Spectral GLS-detrended AR based on SIC, MAXLAG=9)  
Sample: 1971 2010  
Included observations: 40

	MZa	MZt	MSB	MPT	
Ng-Perron test statistics	-5.89749	-1.70806	0.28962	15.4375	
Asymptotic critical values*:					
	1%	-23.8000	-3.42000	0.14300	4.03000
	5%	-17.3000	-2.91000	0.16800	5.48000
	10%	-14.2000	-2.62000	0.18500	6.67000

\*Ng-Perron (2001, Table 1)

HAC corrected variance (Spectral GLS-detrended AR)	0.069529
--	----------

Null Hypothesis: LISE has a unit root  
Exogenous: Constant, Linear Trend  
Lag length: 9 (Spectral GLS-detrended AR based on SIC, MAXLAG=9)  
Sample: 1971 2010  
Included observations: 40

	MZa	MZt	MSB	MPT	
Ng-Perron test statistics	-2.67587	-1.15618	0.43208	34.0368	
Asymptotic critical values*:					
	1%	-23.8000	-3.42000	0.14300	4.03000
	5%	-17.3000	-2.91000	0.16800	5.48000
	10%	-14.2000	-2.62000	0.18500	6.67000

\*Ng-Perron (2001, Table 1)

HAC corrected variance (Spectral GLS-detrended AR)

0.032963

Null Hypothesis: LIE has a unit root

Exogenous: Constant, Linear Trend

Lag length: 1 (Spectral GLS-detrended AR based on SIC, MAXLAG=9)

Sample: 1971 2010

Included observations: 40

	MZa	MZt	MSB	MPT	
Ng-Perron test statistics	-1.52905	-0.60921	0.39842	36.2049	
Asymptotic critical values*:					
	1%	-23.8000	-3.42000	0.14300	4.03000
	5%	-17.3000	-2.91000	0.16800	5.48000
	10%	-14.2000	-2.62000	0.18500	6.67000

\*Ng-Perron (2001, Table 1)

HAC corrected variance (Spectral GLS-detrended AR)

0.000623

Null Hypothesis: LPOPA has a unit root

Exogenous: Constant, Linear Trend

Lag length: 1 (Spectral GLS-detrended AR based on SIC, MAXLAG=9)

Sample: 1971 2010

Included observations: 40

	MZa	MZt	MSB	MPT	
Ng-Perron test statistics	-17.1343	-2.70809	0.15805	6.58796	
Asymptotic critical values*:					
	1%	-23.8000	-3.42000	0.14300	4.03000
	5%	-17.3000	-2.91000	0.16800	5.48000
	10%	-14.2000	-2.62000	0.18500	6.67000

\*Ng-Perron (2001, Table 1)

HAC corrected variance (Spectral GLS-detrended AR)

0.000686

Null Hypothesis: LREV has a unit root

Exogenous: Constant, Linear Trend

Lag length: 0 (Spectral GLS-detrended AR based on SIC, MAXLAG=9)

Sample: 1971 2010

Included observations: 40

	MZa	MZt	MSB	MPT	
Ng-Perron test statistics	-18.8654	-3.07111	0.16279	4.83121	
Asymptotic critical values*:					
	1%	-23.8000	-3.42000	0.14300	4.03000
	5%	-17.3000	-2.91000	0.16800	5.48000
	10%	-14.2000	-2.62000	0.18500	6.67000

\*Ng-Perron (2001, Table 1)

---



---

HAC corrected variance (Spectral GLS-detrended AR)	0.794799
--	----------

---



---

## 8.2. TEST ADF (SERIES EN DIFFERENCE)

Null Hypothesis: D(LCO2) has a unit root  
 Exogenous: Constant, Linear Trend  
 Lag Length: 9 (Automatic based on SIC, MAXLAG=9)

---



---

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-7.174012	0.0000
Test critical values: 1% level	-4.309824	
5% level	-3.574244	
10% level	-3.221728	

---



---

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Null Hypothesis: D(LIE) has a unit root  
 Exogenous: Constant, Linear Trend  
 Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=9)

---



---

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-10.49537	0.0000
Test critical values: 1% level	-4.219126	
5% level	-3.533083	
10% level	-3.198312	

---



---

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Null Hypothesis: D(LISE) has a unit root  
 Exogenous: Constant, Linear Trend  
 Lag Length: 9 (Automatic based on SIC, MAXLAG=9)

---



---

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-8.633052	0.0000
Test critical values: 1% level	-4.309824	
5% level	-3.574244	
10% level	-3.221728	

---



---

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Null Hypothesis: D(LPOPA) has a unit root  
 Exogenous: Constant, Linear Trend  
 Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=9)

---



---

	t-Statistic	Prob.*
--	-------------	--------

Augmented Dickey-Fuller test statistic		-4.356917	0.0071
Test critical values:	1% level	-4.219126	
	5% level	-3.533083	
	10% level	-3.198312	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Null Hypothesis: D(LREV) has a unit root  
 Exogenous: Constant, Linear Trend  
 Lag Length: 1 (Automatic based on SIC, MAXLAG=9)

	t-Statistic
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-9.465621
Test critical values:	1% level
	5% level
	10% level

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

### 8.3. COINTÉGRATION ENGLE ET GRANGER

#### 8.3.1. Etape 1:

Dependent Variable: LCO2  
 Method: Least Squares  
 Date: 09/08/15 Time: 14:10  
 Sample: 1971 2010  
 Included observations: 40

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LIE	0.421491	0.100640	4.188114	0.0002
LISE	0.955446	0.013183	72.47330	0.0000
LPOPA	1.614175	0.022354	72.20981	0.0000
LREV	0.009861	0.007311	1.348727	0.1861
C	-17.75045	0.474016	-37.44698	0.0000
R-squared	0.997668	Mean dependent var		9.347950
Adjusted R-squared	0.997402	S.D. dependent var		0.774766
S.E. of regression	0.039491	Akaike info criterion		-3.509023
Sum squared resid	0.054584	Schwarz criterion		-3.297913
Log likelihood	75.18046	Hannan-Quinn criter.		-3.432692
F-statistic	3744.008	Durbin-Watson stat		0.694517
Prob(F-statistic)	0.000000			

### 8.3.2. Etape 2: Test ADF sur les résidus (ECT)

Null Hypothesis: ECT has a unit root  
 Exogenous: None  
 Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.900369	0.0003
Test critical values:		
1% level	-2.625606	
5% level	-1.949609	
10% level	-1.611593	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Valeurs critiques du test ADF de la cointégration d'Engel et Granger

Asymptotic critical values residual-based unit root tests for no cointegration (with constant term)

Number of variables (incl. $Y_t$ )	Significance level		
	1%	5%	10%
2	-3.90	-3.34	-3.04
3	-4.29	-3.74	-3.45
4	-4.64	-4.10	-3.81
5	-4.96	-4.42	-4.13

Source: Davidson, R. and MacKinnon, J. G., (1993), *Estimation and Inference in Econometrics*, Oxford University Press, Oxford. By permission of Oxford University Press.

### 8.4. ECM :

Dependent Variable: D(LCO2)  
 Method: Least Squares  
 Date: 09/08/15 Time: 17:48  
 Sample (adjusted): 1972 2010  
 Included observations: 39 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.014069	0.019868	0.708126	0.4838
D(LIE)	0.721262	0.116825	6.173879	0.0000
D(LISE)	0.972572	0.007848	123.9209	0.0000
D(LPOPA)	1.230938	0.734939	1.674883	0.1034
D(LREV)	0.006168	0.002929	2.105886	0.0429
Z(-1)	-0.391509	0.111192	-3.521013	0.0013
R-squared	0.998056	Mean dependent var		0.046544
Adjusted R-squared	0.997762	S.D. dependent var		0.518365

S.E. of regression	0.024523	Akaike info criterion	-4.437736
Sum squared resid	0.019846	Schwarz criterion	-4.181804
Log likelihood	92.53586	Hannan-Quinn criter.	-4.345910
F-statistic	3389.042	Durbin-Watson stat	1.791696
Prob(F-statistic)	0.000000		

---

---

## 9. ANNEXE 3

### 9.1. ECHANTILLONNAGE STRATIFIE ET SYSTEMATIQUE

Echantillonnage systématique	Ordre	Strates	Effectif	Poids	ni*	Pas de sondage
<b>Université Ezzitouna</b>						
	1	I.S de Théologie	1625			
	2	I.S.Civilisation	340			
		S/Total	1965	0,0054277	2,089681	0,285714
<b>Université de Tunis</b>						
4	1	F.Sc.Humaines et sociales de Tunis	6663			
	2	Institut Supérieur des métiers du patrimoine	412			
	3	Institut Supérieur de musique	456			
1	4	I.S.Beaux Arts de Tunis	2492			
5	5	Institut Supérieur d'art dramatique de Tunis	238			
	6	I.S. des études appliquées en humanités de Zaghouan	287			
	7	I.S. des études appliquées en humanités de Tunis	1087			
2	8	I.S.d'animation culturelle et de la jeunesse Bir el Bey	715			
	9	I.P.E.I de Tunis	1557			
	10	I.S.Etudes Litt. & Sc. Hum. Tunis	628			
	11	I.S.G de Tunis	4465			
3	12	E.S.S.T de Tunis	2866			
	13	E.S.S.E.C de Tunis	4699			
	14	Ecole Normale Supérieure	80			
	15	Institut Supérieur des affaires Tunis	753			
		S/Total	27389	0,0756542	29,12685	4,142857
<b>Université Tunis El Manar</b>						
6	1	F.Sc. Math. Phy.Nat.Tunis	9773			
	2	F.Sc.économiques et de gestion de Tunis	5813			
	3	Faculté de droit et des sciences politiques Tunis	6005			
1	4	Faculté de médecine de Tunis	4212			
3	5	I.S. de biologie appliquée de Tunis	1407			
5	6	Institut supérieur des sciences humaines	3318			
7	7	I.S.Informatique El Manar	2577			
	8	I.P.E.I El Manar	1535			
	9	E.N.I.T	3096			
2	10	I.S sciences infirmières de Tunis	775			
4	11	E.S sciences et techniques de la santé de Tunis	2455			
		S/Total	42628	0,1177475	45,33278	6,428571
<b>Université de Carthage</b>						
	1	Faculté des sciences de Bizerte	4416			

	2	F.Sc.Jur.Pol.Sociales Tunis	2769			
1	3	F.S.E.G Nabeul	4288			
	4	I.H.E.C Tunis	3929			
	5	I.N.S.S.A.T	3617			
	6	I.S. des beaux arts de Nabeul	1218			
6	7	Institut Supérieur des langues	3308			
	8	I.S.L.A.I Nabeul	1359			
	9	I.S.S.A.T de Mateur	1074			
2	10	I.S. commerce et de comptabilité de Bizerte	1005			
	11	I.S.Sc. Techg.Environment de Borj Cédria	1361			
	12	I.S. de bâtiment et d'urbanisme	1232			
	13	I.P.E.I Nabeul	1757			
7	14	I.P.E.I Bizerte	1043			
	15	I.P.E.S.T La Marsa	271			
	16	E.N.A.U Tunis	2578			
3	17	E.S. de l'audiovisuel et du cinéma à Gammarth	86			
	18	E.S. de technologie et d'information à Carthage	2822			
	19	E.S de statistique et d'analyse de l'information	335			
	20	Ecole Polytechniques	401			
8	21	E.N.I Bizerte	246			
	22	I.S.H.E Touris Sidi Dhrif	860			
	23	I.N.A.T	1486			
4	24	I.N.T.E.S	2125			
	25	I.S.Pêche Aqua Bizerte	222			
	26	I.S.E.P. Bio Géó Soukra	605			
	27	I. supérieur des cadres de l'enfance	912			
	28	Ecole supérieur de télécommunication	728			
	29	E.S.A Mograne	434			
	30	E.S.A Mateur	351			
5	31	E.S de l'industrie alimentaire	613			
		S/Total	47451	0,1310696	50,4618	7,142857
<b>Université de La Manouba</b>						
	1	F. des lettres, des arts et des sciences humaines	7510			
1	2	Insitut de presse et des sciences de l'information	875			
4	3	I.S de biotechnologie Sidi Thabet	653			
	4	I. Supérieur des arts du multimédia de Manouba	2436			
	5	I.S.C.A.E	3526			
2	6	Insitut Supérieur de documentation	582			
5	7	Ecole nationale des sciences de l'information	1346			
	8	Ecole Supérieure de commerce de Manouba	5083			
	9	E.S. de commerce électronique	638			
3	10	E.S. Sciences et des technologies du désign	2253			
	11	I.S Pro Handicapés	176			

	12	I.S du sport et d'éducation physique de Ksar Saïd	1606			
	13	E.N.Méd.Vétérinaire	459			
		S/Total	27143	0,0749747	28,86524	4,142857
<b>Université de Jendouba</b>						
	1	F.S.J.E.G. Jendouba	5613			
	2	I.S. musique et de théâtre du Kef	88			
1	3	I.S. des arts et métiers Siliana	309			
	4	I.S. Lang.App.Inf. Béja	847			
2	5	I.S. des sciences humaines de Jendouba	2136			
	6	I.S études appliquées en humanités du Kef	1140			
3	7	I.S. Biotechnologie de Béja	480			
	8	I.S. d'informatique du Kef	1736			
	9	I. sylvo-pastoral Tabarka	144			
	10	I.S des sciences infirmières du Kef	346			
	11	I.S du sport et d'éducation physique du Kef	930			
	12	E.S.A Kef	463			
	13	E.S.Ing.Eq.Rural Medjez El Bab	689			
		S/Total	14921	0,0412149	15,86775	2,285714
<b>Université de Sousse</b>						
1	1	F.Lett.Sc.Hum Sousse	5701			
	2	Faculté de médecine de Sousse	2094			
	3	I.H.E.C Sousse	1659			
	4	I.S. Transport et de la logistique de Sousse	1336			
5	5	I.S. Musique de Sousse	384			
2	6	I.S Beaux Arts Sousse	2386			
	7	I.S.S.A.T de Sousse	2942			
	8	I.S.G Sousse	3513			
	9	I.S.Inform.Tc.Com.Hammam Sousse	1709			
6	10	Ecole Nationale des ingénieurs de Sousse	1135			
3	11	E.S.S.T Hammam Sousse	1313			
	12	F.droit et des sciences politiques de Sousse	3275			
	13	F. sciences économiques et de gestion Sousse	2294			
	14	I.S sciences infirmières de Sousse	454			
	15	E.S.A Chott Mariam	1141			
4	16	I.S sciences et techniques de la santé de Sousse	889			
		S/Total	33407	0,0922771	35,5267	5,142857
<b>Université de Monastir</b>						
	1	Faculté des sciences de Monastir	5268			
	2	F. Sc économie et de gestion mahdia	2882			
1	3	Faculté de médecine Monastir	1616			
5	4	Faculté de pharmacie de Monastir	1911			
	5	F. Médecine dentaire Monastir	1553			
	6	I.S. Métiers de la mode de Monastir	960			

2	7	I.S. des arts et métiers de Mahdia	728			
	8	I. supérieur des langues appliquées de Moknine	1348			
	9	I.S.S.A.T de Mahdia	1138			
	10	I.S. des études appliquées en humanités de Mahdia	1020			
3	11	I.S. Biotechnologie de Monastir	1881			
	12	I.S.Inform.Math.Monastir	1654			
	13	I.S.Inform Mahdia	1174			
	14	I.P.E.I de Monastir	1793			
4	15	E.N.I de Monastir	2061			
	16	I.S sciences et techniques de la santé de Monastir	1360			
		S/Total	28347	0,0783004	30,14564	4,285714
<b>Université de Kairouan</b>						
	1	F. Lettres et des sciences humaines de Kairouan	5228			
1	2	I.S. arts et métiers de Kairouan	1121			
	3	I.S. des arts et métiers de Kasserine	344			
2	4	I.S.Sciences appliquées et technologie de Kairouan	810			
	5	I.S. Math. App.Inform. Kairouan	1770			
3	6	I.S. des études juridiques et politiques de Kairouan	1176			
	7	I.S. des études appliquées en humanités de Sbitla	708			
	8	I.S. d'informatique et de gestion de Kairouan	2397			
	9	I.S. des arts et métiers de Sidi Bouzid	308			
		S/Total	13862	0,0382898	14,74155	2,142857
<b>Université de Gabès</b>						
5	1	Faculté des sciences Gabès	3689			
	2	Inst Sup des systèmes industriels de Gabès	1140			
1	3	I.S des arts et métiers de Gabès	1341			
	4	I.S des arts et métiers Tataouine	231			
	5	I supérieur des langues de Gabès	3216			
2	6	I.S.S.A.T Gabès	2179			
	7	I.S des études juridiques Gabès	1484			
	8	I.S des études appliquées en humanités de Médenine	1147			
	9	I.S. Biologie de appliquées de Médenine	488			
3	10	I.S Informatique et de multimédia de Gabès	1928			
	11	I.S Informatique de Médenine	563			
	12	I.S des sciences et techniques des eaux de Gabès	447			
4	13	I.S.G Gabès	2661			
	14	Ecole Nationale des ingénieurs de Gabès	1574			
	15	I.S des sciences infirmières Gabès	251			
		S/Total	22339	0,061705	23,75643	3,428571
<b>Université de Sfax</b>						
	1	Faculté des sciences Sfax	5459			
	2	Faculté des sciences économiques et de gestion de Sfax	3855			

1	3	Faculté des lettres et des sciences humaines de Sfax	4585			
	4	Faculté de droit de sfax	3427			
	5	Faculté de médecine	1912			
6	6	I.H.E.C Sfax	1348			
4	7	Institut supérieur de musique Sfax	365			
	8	I.S. des arts et métiers Sfax	1898			
2	9	I.S.G. industrielle de Sfax	1177			
	10	I.S. biotechnologies de Sfax	1047			
	11	I.S. d'électronique et de communication Sfax	1432			
	12	I. supérieur d'informatique et de multimédia de Sfax	1968			
	13	I. supérieur d'administration des affaires de Sfax	1742			
5	14	I.P.E.I Sfax	1991			
3	15	E.N.I Sfax	3037			
7	16	E. Supérieur de commerce de Sfax	1950			
		S/Total	37193	0,1027349	39,55292	5,714286
<b>Université de Gafsa</b>						
1	1	Faculté des sciences Gafsa	2949			
	2	I.S des arts et métiers Gafsa	986			
2	3	I.S.S.A.T de Gafsa	1435			
	4	I.S des études appliquées en humanités de Gafsa	3158			
3	5	I.S des études appliquées en humanité de Tozeur	984			
	6	I.S des Sc et des techg de l'énergie de Gafsa	306			
	7	I.S d'administration des affaires de Gafsa	1211			
	8	I.P.E.I Gafsa	638			
	9	I.S du sport et d'éducation physique du Gafsa	581			
		Total	12248	0,0338315	13,02514	1,857143
<b>Direction Générale des Etudes Technologiques</b>						
	1	I.S.E.T Charguia	1268			
1	2	I.S.E.T Kasserine	1006			
	3	I.S.E.T Kairouan	1049			
4	4	I.S.E.T Le Kef	1213			
	5	I.S.E.T Mahdia	1467			
	6	I.S.E.T Béja	1307			
	7	I.S.E.T Tataouine	240			
	8	I.S.E.T Jerba	1027			
7	9	I.S.E.T Jendouba	1292			
2	10	I.S.E.T Rades	2662			
	11	I.S.E.T Zaghouan	1066			
	12	I.S.E.T de Siliana	1012			
5	13	I.S.E.T Sousse	1605			
	14	I.S.E.T Sidi Bouzid	600			
	15	I.S.E.T Sfax	2310			
	16	I.S.E.T Gabès	1479			

	17	I.S.E.T Kébili	454			
3	18	I.S.E.T Ksar Helal	857			
	19	I.S.E.T Gafsa	957			
8	20	I.S.E.T Nabeul	2165			
	21	I.S.E.T Bizerte	1606			
6	22	I.S.E.T de Tozeur	358			
	23	I.S.E.T Communication Gabès	810			
			28263	0,0780683	30,05631	5

\*n<sub>i</sub> :Taille de l'échantillon dans chaque strate

## 9.2. QUESTIONNAIRE

1) Vous êtes :

Homme       Femme

2) Votre âge est :

<20     [20-25[     [25-30[     [30-35[     [35-40[     [40-50[     >50

3) Votre état civil est :

Célibataire     Marié(e)     Divorcé(e)     Veuf (ve)

4) Si marié (e) combien d'enfants avez-vous ?.....

5) Si marié(e)votre conjoint(e) travaille-t-il (elle):

Oui       Non

6) Vous êtes :

Etudiant(e)     Enseignant(e)

7) Si vous êtes étudiant(e) vous êtes en :

1ère année     2ème année     3ème année     Mastère     Doctorat

8) Sinon votre grade est :

Vacataire

PES

- Assistant contractuel
- Assistant
- Maître assistant
- Maître de conférences
- Professeur

9) Votre spécialité est :

.....

10) Votre revenu mensuel (argent de poche pour un étudiant qui ne travaille pas) est :

- <50 DT
- [50,100[
- [100,150[
- [150,200[
- [200,400[
- [400,600[
- [600,800[
- [800,1000[
- [1000,1500[
- Plus de 1500 DT

11) Êtes-vous locataire :

- Oui
- Non

Si oui, combien payez-vous chaque mois ?.....

12) Votre Ville (gouvernorat) :.....

### Domaine d'Usage DU 1 : Eclairage

1) Combien payez-vous pour l'électricité chaque trimestre (en moyenne) ?.....

2) La puissance de la plupart des lampes utilisées chez vous est :

- 40 Watt
- 60 Watt
- 75 Watt
- 100 Watt

3) Lors d'achat des lampes, le choix de leur puissance dépend de :

- Vos besoins d'éclairage (surface de l'endroit)
- La disponibilité aux magasins
- Prix des lampes

4) Changez-vous les lampes à la fin de leur vie ?

- Oui
- Non

La fréquence du changement :.....

5) Savez-vous qu'à la fin de vie des lampes, leur rendement baisse et donc elles consomment plus d'énergie ?

- Oui
- Non

6) Utilisez-vous les lampes basse consommation ?

- Oui
- Non

Dans quels endroits de la maison ?.....

7) A votre avis, le non utilisation de ce type des lampes c'est due à leur prix cher.

Oui       Non

8) Utilisez-vous les tubes néons chez vous ?

Oui       Non

9) Pensez-vous à :

	Jamais	Rarement	Souvent	Très souvent	Régulièrement
éteindre les lampes en quittant la chambre chez vous					
éteindre lumière en quittant la salle (ou le bureau) au sein de votre établissement					
éteindre les lampes dont vous n'avez pas besoin chez vous					
Nettoyer les lampes					
profiter de la lumière naturelle en ouvrant les fenêtres ou en élevant les volets au cours de la journée					

10) Savez-vous qu'utiliser les lampes basse consommation permet de Consommer 5 fois moins d'électricité que les lampes classiques :

Oui  
 Non

11) Savez-vous que les lampes basse consommation durent 8 fois plus que les lampes classiques :

Oui  
 Non

12) Préférez-vous :

- Payer plus pour les lampes basse consommation qui durent plus et économisent la consommation d'énergie.  
 Payer moins pour les lampes classiques qui durent moins et consomment plus d'énergie.

13) Savez-vous qu'en suivant les conseils pratiques d'utilisation rationnelle de l'énergie vous pouvez économiser jusqu'à 80% de l'énergie consacrée à l'éclairage.

Oui  
 Non

### Domaine d'Usage DU 2 : Appareils en veille

1) Savez-vous que les appareils électroniques (TV, chaîne stéréo, ordinateur,...) consomment également de l'énergie lorsqu'ils restent en mode veille ?

Oui  
 Non

2) Arrêtez-vous complètement ces appareils lorsqu'ils ne sont pas utilisés ?

Jamais

- Rarement
  - Souvent
  - Très souvent
  - Régulièrement
- 3) Pensez-vous à éteindre tous les appareils informatiques en sortant de la salle informatique (du bureau) dans votre établissement avant les vacances (y compris le weekend) ?
- Jamais
  - Rarement
  - Souvent
  - Très souvent
  - Régulièrement
- 4) Savez-vous qu'arrêter complètement ces appareils vous permet d'économiser près de :
- 10% de la consommation d'énergie.
  - 20% de la consommation d'énergie.
  - 30% de la consommation d'énergie.
- 5) Savez-vous que lorsque ces appareils restent en veille pendant une journée, consomment autant que lorsqu'ils sont allumés pendant
- 2 heures, soit environ 1 mois par an.
  - 4 heures, soit environ 2 mois par an.
  - 6 heures, soit environ 3 mois par an.
- 6) Arrêter complètement ces appareils permet de
- Prolonger leur vie.
  - Assurer des économies d'énergie.
  - Préserver votre porte-monnaie.

### Domaine d'Usage DU 3 Chauffe-eau

- 1) Pour chauffer l'eau sanitaire vous utilisez :
- Electricité
  - Gaz de ville
  - Bouteille du gaz
  - Solaire
- 2) Si bouteille, combien de bouteille consommez-vous au moyenne par mois pour le chauffe-eau ?.....Et pendant l'été :.....
- 3) Si solaire êtes-vous :
- Pas de tout satisfait (e)
  - Plutôt pas satisfait(e)
  - Plutôt satisfait(e)
  - Tout à fait satisfait(e)
- 4) Si solaire, pour quelle(s) raison(s) vous l'utilisez ?
- Economie d'énergie
  - Economie d'argent

5) Si pas solaire, êtes-vous prêt (e) d'utiliser immédiatement ce mode d'énergie ?

Oui

Non, pourquoi ?.....

6) Selon vous, installer l'énergie solaire est :

Pas de tout cher

Plutôt pas cher

Plutôt Cher

Tout à fait cher

7) Selon vous, installation le gaz de ville est :

Pas de tout cher

Plutôt pas cher

Plutôt Cher

Tout à fait cher

8) A votre avis un chauffe-eau solaire permet d'économiser annuellement et au moyenne l'équivalent de 12 bouteilles de GPL (gaz)

Oui

Non

9) Pour se baigner, vous utilisez souvent :

La douche

Le bain

Combien de fois par semaine ?.....

Et en été ?.....

10) Savez-vous qu'en pratiquant les conseils d'utilisation rationnelle de l'énergie, vous pouvez économiser jusqu'à 80% des dépenses nécessaires au chauffage de l'eau sanitaire ?

Oui

Non

## Domaine d'Usage DU 4: Appareils Electroménagers

### DU4.1 Etiquette

1) Savez-vous que les appareils électroménagers représentent environ 25% (1/4) de la consommation d'énergie d'un ménage?

Oui

Non

2) Lors d'achat de ces appareils, êtes-vous informé(e) sur la meilleure utilisation possible de ces appareils ?

Oui

Non

3) Savez-vous comment lire l'étiquette ?

Oui

Non

- 4) Pour une étiquette, combien de classes contient-elle ?.....
- 5) Quelle est la classe la plus conçue ?.....
- 6) Êtes-vous pour l'achat d'un appareil classé « 1 » ou « 2 » plus cher qu'un autre moins classé, mais la différence de prix sera rapidement compensée par des économies réalisées en électricité tout au long l'utilisation de cet appareil ?
- Oui
- Non

Sinon, pourquoi ?.....

- 7) Savez-vous que si vous achetez un climatiseur de classe 4 au lieu d'un autre de classe 8 vous pouvez réaliser des économies de 28% dans la consommation d'électricité ?
- Oui
- Non

#### DU 4.2 :Lave-linge

- 1) Avez-vous une machine à laver chez vous ?
- Oui
- Non
- 2) Votre machine à laver est programmable ?
- Oui
- Non
- 3) A votre avis, régler le lave-linge à une température de 40° au lieu de 60° permet d'économiser jusqu'à :
- 15% d'énergie.
- 25% d'énergie.
- 35% d'énergie.
- 4) A votre avis, régler le lave-linge à une température de 60° au lieu de 90° permet d'économiser jusqu'à :
- 30% d'énergie.
- 50% d'énergie.
- 70% d'énergie.
- 5) Si vous chargez le lave-linge *partiellement* utilisez-vous la touche économique « éco » ou « bio » (minimum du nombre de tours) :
- Jamais
- Rarement
- Souvent
- Très souvent
- Régulièrement
- 6) Nettoyez-vous le filtre de votre lave-linge :
- Jamais
- Rarement

Souvent

Très souvent

Régulièrement

7) Lors d'un nouvel achat d'une machine à laver, informez-vous sur les modèles économiques au près du vendeur ?

Oui

Non

#### **DU4.3 :Sèche-linge**

1) Pour sécher votre linge vous :

Le prenez au jardin.

Utilisez le lave-linge (option : sécher complètement).

Utilisez le fer à repasser.

2) Savez-vous que certains appareils savent mesurer le niveau d'humidité du linge et arrêter la machine à laver quand celui-ci est sec :

Oui

Non

#### **DU4.4 : Fer à repasser**

1) Lors du lavage du linge vous veillez à ce que le linge :

Soit trop sec

Soit trop humide

Ne soit ni trop sec, ni trop humide

2) Lors du repassage du linge vous commencez à repasser

A basse température

A moyenne température

A haute température

#### **DU4.5 : Lave-vaisselle**

1) Disposez-vous d'un lave-vaisselle

Oui

Non

2) A votre connaissance, un lave-vaisselle moderne consomme plus d'eau que le lave-vaisselle à la main.

Oui

Non

3) Si le lave-vaisselle n'est pas rempli à son maximum ou la vaisselle est légèrement sale, pensez-vous à utiliser le programme « éco »

Oui

Non

4) Lors d'achat d'un lave-vaisselle, c'est préférable de l'équiper d'un branchement d'eau

Chaude :

- Oui
- Non

5) Savez-vous que pour un lave-vaisselle, 80% de l'énergie utilisée sert à chauffer l'eau :

- Oui
- Non

#### DU4.6 : Réfrigérateur

1) Disposez-vous d'un réfrigérateur :

- Oui
- Non

Combien ?.....

2) Votre réfrigérateur est éloigné du mur ?

- Oui
- Non

3) Votre réfrigérateur est éloigné de toute sorte de chaleur (cuisinière, chauffage, etc.) :

- Oui
- Non

4) Veuillez remplir ce tableau :

	Jamais	Rarement	Souvent	Très souvent	Régulièrement
Pensez-vous à déglacer votre réfrigérateur					
Vérifiez-vous le joint de votre réfrigérateur					
Laissez-vous les plats chauds se refroidissent avant les introduire à l'intérieur de votre réfrigérateur					
Refermez-vous rapidement et convenablement le réfrigérateur après chaque utilisation					
Nettoyez-vous la grille de condensation située à l'arrière du réfrigérateur					

5) Lors d'achat d'un réfrigérateur référez-vous (trier par ordre de préférences) :

- A l'étiquette énergétique
- Au prix du réfrigérateur
- A la marque du réfrigérateur
- A la taille du réfrigérateur (capacité)

6) Savez-vous que la consommation du réfrigérateur représente près de 40% de la facture d'électricité du ménage.

- Oui
- Non

#### Domaines d'usage DU 5 Chauffage :

1) Avec quelle énergie principale:

- Electricité
- Gaz de ville (gaz naturel) : chauffage central
- GPL (bouteille du gaz)
- Charbon / Bois
- Fuel / Mazout

Si bouteille, combien de bouteilles consommez-vous au moyenne par mois pour le chauffe-eau ?.....

2) Veuillez remplir ce tableau :

	Jamais	Rarement	Souvent	Très souvent	Régulièrement
Nettoyez-vous les appareils de chauffage					
Lors d'utilisation du chauffage et durant la nuit fermez-vous les rideaux et les volets					

3) A votre avis quelle est la température de chauffage qui permet d'avoir un confort appréciable :

- 16° pour dormir et 19° au cours de la journée.
- 18° pour dormir et 20° au cours de la journée.
- 20° pour dormir et 22° au cours de la journée.

4) Savez-vous qu'en élevant la température de chauffage de l'habitat de 1 degré, la consommation d'énergie augmente d'environ 7%.

- Oui
- Non

5) A votre avis, quelle est le mode de chauffage le plus cher :

- Gaz naturel
- Electricité
- Charbon
- GPL (bouteille du gaz)

#### Domaine d'usage DU 6 Climatisation :

1) Disposez-vous d'un climatiseur :

- Oui
- Non

Combien ?.....

2) Disposez-vous de climatiseur(s) au sein de votre établissement universitaire ?

- Oui
- Non

3) Lors d'achat d'un climatiseur consultez-vous un spécialiste pour savoir la puissance correspondante ?

- Oui

- Non
- 4) Lors du fonctionnement du climatiseur, vous le réglez à quel degré généralement ?.....
- 5) Savez-vous quel est le degré qui permet d'économiser d'énergie et avoir un confort convenable?
  - 18°C
  - 22°C
  - 26°C
- 6) Gardez-vous les portes et les fenêtres des chambres ou des bureaux fermées lors de l'utilisation du climatiseur ?
  - Jamais
  - Rarement
  - Souvent
  - Très souvent
  - Régulièrement
- 7) Utilisez-vous le ventilateur pour se rafraîchir ?
  - Oui
  - Non

Si oui, êtes-vous :

- Pas de tout satisfait (e)
- Plutôt pas satisfait(e)
- Plutôt satisfait(e)
- Tout à fait satisfait(e)
- 8) Nettoyez-vous les filtres du climatiseur :
  - Jamais
  - Rarement
  - Souvent
  - Très souvent
  - Régulièrement
- 9) Savez-vous que le climatiseur est l'un des équipements les plus consommateurs d'énergie :
  - Oui
  - Non

**Domaine d'Usage DU 7 Cuisson :**

- 1) Disposez-vous d'une cuisinière ?
  - Oui
  - Non
- 2) Elle consomme de :
  - Electricité
  - Gaz de ville
  - GPL (bouteille de gaz)
  - Autres :.....

Si GPL, combien de bouteilles (au moyenne) par mois : .....

3) Disposez-vous d'une micro-onde (four micro-onde) ?

- Oui  
 Non

4) Disposez-vous d'un four conventionnel ?

- Oui  
 Non

5) Il fonctionne avec :

- GPL  
 Gaz de ville  
 Electricité  
 Autres : .....

6) Pendant la cuisson,

	Jamais	Rarement	Souvent	Très souvent	Régulièrement
vous ouvrez le four					
Vous utilisez une cocotte					
Vous couvrez les instruments de cuisson					

7) Savez-vous que l'utilisation d'une casserole (d'un récipient) de la taille des plaques permet de diminuer la consommation d'énergie ?

- Oui  
 Non

8) Savez-vous que cette habitude permet de gagner jusqu'à 30% d'énergie ?

- Oui  
 Non

9) Connaissez-vous que le système « Duo Rotation » (antenne et plateau tournant) ?

- Oui  
 Non

10) Savez-vous que ce système garantit une meilleure répartition des fours à micro-ondes, et ainsi une meilleure utilisation de l'énergie

- Oui  
 Non

### Domaine d'usage DU 8 : Bâtiment : construction et rénovation

1) Votre foyer est adapté aux techniques d'isolation thermique?

- Oui  Non

2) Lors de la construction d'une maison, pensez-vous que le citoyen tunisien donne d'importance aux techniques d'isolation thermique ?

- Jamais  
 Rarement  
 Souvent

Très souvent

Régulièrement

3) Saviez-vous qu'une bonne conception du bâtiment au niveau de l'orientation, des ouvertures (proportions de vitrage) et de l'isolation permet d'assurer plus de confort naturel et de minimiser le recours au chauffage ou à la climatisation artificielle ?

Oui  Non

4) A votre avis le citoyen tunisien, pour construire une maison, fait appel à un architecte ou un spécialiste d'isolation :

Jamais

Rarement

Souvent

Très souvent

Régulièrement

5) Êtes-vous prêt(e), de dépenser un surcoût pour l'isolation thermique de votre maison ?

Oui  Non

Sinon, pourquoi ?.....

6) Savez-vous que l'isolation thermique d'un logement (mur, toiture, vitrage et étanchéité des ouvertures) peut engendrer des économies d'énergie allant jusqu'à 30% ?

Oui  Non

7) Votre foyer est construit en :

Brique

Cailloux

### Domaine d'usage DU 9 : Gaz Naturel

1) Savez-vous que l'utilisation du gaz naturel au lieu du GPL est une opération gagnante aussi bien au niveau du ménage qu'au niveau national ?

Oui  Non

2) Savez-vous que le gaz naturel est un produit local qui offre plus des possibilités d'utilisation contrairement au GPL (qui est importé à près de 80%) ?

Oui  Non

3) Si le réseau du gaz naturel est à proximité, pensez-vous se brancher immédiatement ?

Oui

Non,

Sinon, pourquoi ?.....

### Domaine d'Usage DU 10 : Transport

1) Avez-vous une voiture ?

Oui

Non

Si non, passez à la question 13. Si oui, passez à la question suivante

- 2) Quelle est sa marque ?.....
- 3) Quelle est sa puissance (nombre de chevaux) ?.....
- 4) De quel type ?
- Diesel
  - Essence
  - Gaz
  - Electricité
- 5) Votre voiture vous l'avez acheté :
- Neuve
  - Occasion

Année :.....

- 6) Combien dépensez-vous par mois pour sa consommation (en moyenne) ?.....
- 7) Contrôlez-vous la pression des pneus de votre voiture ?
- A froid
  - A chaud
- 8) Contrôlez-vous la pression des pneus de votre voiture ?
- Jamais
  - Rarement
  - Souvent
  - Très souvent
  - Régulièrement
- 9) Changez-vous le filtre à air des véhicules tous les 15000 Km
- Une fois par 2 ans
  - Une fois par an
  - 3 fois par an
  - 4 fois par an
- 10) Transportez-vous des bagages sur le toit de votre voiture
- Jamais
  - Rarement
  - Souvent
  - Très souvent
  - Régulièrement
- 11) Dans votre voiture, le climatiseur fonctionne :
- Jamais
  - Rarement
  - Souvent
  - Très souvent
  - Régulièrement
- 12) Pour :
- Le chauffage
  - Le refroidissement

13) Au sein de votre famille avez-vous de voiture ?

- Oui
- Non

Si non, passez à la question 18. Si oui, passez à la question suivante.

14) Quelle est sa marque ?.....

15) De quel type ?

- Diesel
- Essence
- Gaz
- Electricité

16) Elle est :

- Ancienne
- Nouvelle

17) Les dépenses mensuelles pour sa consommation (en moyenne) sont à l'ordre de combien ?.....

18) A la route, les conducteurs respectent-t-ils la vitesse adaptée aux conditions de la circulation

- Jamais
- Rarement
- Souvent
- Très souvent
- Régulièrement

19) Lors de l'achat d'une voiture, préférez-vous une voiture « Diesel » plus chère avec un coût d'usage plus faible qu'une voiture « Essence » moins chère mais avec un coût d'usage plus élevé ?

- Oui
- Non

20) Savez-vous que le gonflage des pneus à la bonne pression

- Assure la sécurité
- Améliore le comportement routier et la stabilité
- Evite la surconsommation de carburant

21) Savez-vous qu'à chaud cette pression est généralement plus élevée de 0,2 à 0,3 bar qu'à froid ?

- Oui
- Non

22) A votre avis, un pneu sous gonflé de 1 bar entraîne une surconsommation de carburant de l'ordre de :

- 5%
- 10%
- 15%
- Je ne sais pas

23) Selon vous, la conduite agressive augmente la consommation de carburant de près de

- 20%

40%

60%

Je ne sais pas

24) A votre avis, à partir de quelle vitesse la consommation de carburant augmente considérablement (plus vite que la vitesse)

90 Km/h

110 Km/h

120 Km/h

Je ne sais pas

25) Savez-vous que le transport des bagages sur le toit d'une voiture entraîne une surconsommation de carburant

Oui

Non

26) Lors d'achat d'une voiture, préférez-vous les voitures :

Grandes cylindrées (2000 cc)

Petites cylindrées (1000 cc)

Indifférent (e)

27) Savez-vous que les voitures grandes cylindrées consomment environ 40% de plus que les petites cylindrées (1000 cc) ?

Oui

Non

28) Savez-vous que la consommation de carburant augmente avec l'âge de la voiture ?

Oui

Non

29) Pensez-vous au renouvellement ?

Oui

Non

Pourquoi ?.....

30) Savez-vous qu'il faut presque autant d'énergie pour décélérer que pour accélérer ?

Oui

Non

31) Selon vous, le fonctionnement de la climatisation dans une voiture entraîne une augmentation de la consommation de carburant allant jusqu'à :

20%

40%

60%

Je ne sais pas

32) Pour accéder à votre établissement, vous êtes :

A pied / A vélo

En voiture

En scooter (vélo-moteur)

En bus

- En train
- En taxi
- En louage

33) Que pensez-vous de covoiturage et du partage des frais avec les voisins ou les collègues du travail ?

- Pas de tout d'accord
- Plutôt pas d'accord
- Plutôt d'accord
- Tout à fait d'accord

34) Que pensez-vous du transport commun de votre ville, vous êtes :

- Pas de tout satisfait (e)
- Plutôt pas satisfait(e)
- Plutôt satisfait(e)
- Tout à fait satisfait(e)

35) Supposons que le secteur du transport commun est bien développé (qualité service, confort, horaires) dans votre ville vous pensez :

- Le prendre pour les petites distances et laisser ma propre voiture pour les déplacements hors ville
- Le prendre pour les longues distances
- Le prendre pour accéder à mon établissement (au travail)
- Je préfère utiliser ma propre voiture
- Le prendre pour partir aux vacances
- Le prendre pour rencontrer des amis

36) Etes-vous pour le développement d'un réseau des vélos au sein de votre établissement ?

- Oui
- Non

Sinon, pourquoi ?.....

37) Etes-vous pour le développement d'un réseau des vélos au sein de votre ville ?

- Oui
- Non

Sinon, pourquoi ?.....

38) Selon vous le développement d'un réseau des vélos au sein de votre ville peut:

	Pas de tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
diminuer les encombrements dans les zones urbaines				
Diminuer la consommation de carburant et donc réduire les émissions de GES				
Diminuer les dépenses d'argent pour le transport				

39) Si on vous propose de payer un abonnement de vélos qui sera utilisé au même temps pour le bus mais à condition qu'il ne fasse pas beau, seriez-vous :

- Pas de tout d'accord
- Plutôt pas d'accord
- Plutôt d'accord
- Tout à fait d'accord

40) Dans quelle (s) région (s), proposez-vous ces réseaux ?.....

41) Est-il possible dans votre ville

- Oui
- Non

Si oui, Pour quel (s) usage(s) ?.....

Si non, pourquoi ?.....

42) Le développement d'un réseau de vélos assure :

- Protection de l'environnement
- Diminution des maladies psychologiques (en évitant le stress)
- Diminution du nombre d'accidents
- La santé (sport)

43) Êtes-vous pour le développement d'un réseau de carrioles ?

- Oui
- Non

44) Dans quels domaines :

- Tourisme
- Industrie
- Commerce
- Agriculture

45) Considérez-vous que le climat en Tunisie favorise ce mode propre du transport (vélos et carrioles) ?

- Pas de tout d'accord
- Plutôt pas d'accord
- Plutôt d'accord
- Tout à fait d'accord

46) A votre avis, quel est le mode du transport à proposer dans votre ville (région) ?.....

## Energies Renouvelables

1) Indiquez la source naturelle de chaque énergie

Energie photovoltaïque :.....

Energie solaire:.....

Energie éolienne:.....

Energie hydraulique:.....

2) Parmi ces énergies quelles sont celles déjà utilisées en Tunisie :

- Energie photovoltaïque
- Energie solaire
- Energie éolienne
- Energie hydraulique
- Aucune

3) Parmi ces technologies, quelle est la technologie des énergies renouvelables la plus connue pour vous :

- Chauffe-eau solaire
- Système photovoltaïque

4) Connaissez-vous le système photovoltaïque

- Oui
- Non

5) Etes-vous prêt(e) d'acquérir ce type de système ?

- Oui
- Non

6) Selon vous, quelle (s) est (sont) la (les) source (s) d'énergie correspondante(s) à votre région ?

- Hydraulique
- Nucléaire
- Eolienne
- Solaire
- Charbon
- Pétrole
- Gaz naturel
- Gaz schiste

## Environnement

1) Avez-vous eu l'occasion de parler du problème du changement climatique ?

- Oui
- Non

2) A votre avis le changement climatique c'est :

- Un problème environnemental dû à la consommation d'énergie fossile
- Un problème mondial à résoudre par tous les pays
- Un problème local à résoudre par l'Etat

3) Connaissez-vous les gaz à effet de serre ?

- Oui
- Non

4) A votre avis, quelles peuvent être les conséquences des changements climatiques affectant l'homme :

- Maladies infectieuses
- Vagues de froid et de chaleur
- Cyclones
- Inondations
- Augmentation du nombre des cancers de la peau

5) L'effet de serre existe naturellement

- Vrai
- Faux

6) Le trou de la couche d'ozone est responsable de l'effet de serre

- Vrai
- Faux

7) Reliez par une flèche les gaz à effet de serre à leur origine humaine :

- |   |  |
|---|--|
| • Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )   | • Engrais azotes et combustion de la biomasse en agriculture   |
| • Méthane (CH <sub>4</sub> )  | • Combustion des énergies fossiles, déforestation, cheminées d'usine                                       |
| • Protoxyde d'azote (N <sub>2</sub> O)  | • Réfrigération, climatisation aérosols  |
| • Gaz fluorés comme les HFC (Hydrofluorocarbures) et les CFC (chlorofluorocarbures) | • Elevage et culture de riz, décharges d'ordures, exploitation de pétrole et de gaz, extraction du charbon |

8) A votre avis, le fait de réduire la consommation d'énergie pour l'éclairage ça permet de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> (autrement freiner le problème du changement climatique)

- Oui
- Non

9) Selon vous, y-t-il une relation entre la consommation d'énergie des appareils électroménagers et le changement climatique ?

- Oui
- Non

10) A votre avis, résoudre le problème du changement climatique :

- Commence du comportement des ménages
- Se base sur la collectivité nationale

11) Quels sont parmi ces groupes chimiques que vous connaissez en Tunisie ?

- Groupe chimique de Gabès
- Groupe chimique de Gafsa
- Groupe chimique de Sfax
- Usine de Halfa de Kasserine

12) Quels sont parmi ces groupes que vous avez visités ?

.....

13) Avez-vous eu l'occasion de parler des effets de ces groupes chimiques sur l'environnement, la santé et l'air ?

	Jamais	Rarement	Souvent	Très souvent	Régulièrement
Groupe chimique Gabès					
Groupe chimique Gafsa					
Groupe chimique Sfax					
Usine du Halfa à Kasserine					

14) Connaissez-vous comment produire la chaux à Zriba ?

- Oui  
 Non

15) Savez-vous que lors de sa production, les ouvriers utilisent une méthode traditionnelle de combustion des pneus des voitures ?

- Oui  
 Non

16) Savez-vous que cette méthode a des dangers sur :

- La santé  
 L'air  
 L'environnement (émissions de CO2)

### Outils de sensibilisation

1) Connaissez-vous l'ANME ?

- Oui  
 Non

2) Comment vous l'avez connu?

.....

3) Vous vous êtes rendu à cette agence sur place?

- Oui  
 Non

4) Avez-vous accédé au site internet de cette agence ?

- Oui  
 Non

5) Si oui, avez-vous consulté la rubrique des conseils pratiques et le guide ME (au niveau ANME et Vous) pour la maîtrise d'énergie ?

- Oui  
 Non

6) Avez-vous eu l'occasion de lire une brochure ?

	Jamais	Rarement	Souvent	Très souvent	Régulièrement
des conseils pratiques de maîtrise de l'énergie					
des conseils de					

protection de l'environnement					
des conseils de l'utilisation des énergies renouvelables					

7) Avez-vous eu l'occasion de regarder une émission sur télévision qui s'intéresse aux conseils pratiques d'utilisation rationnelle d'énergie et de protection de l'environnement en Tunisie ?

- Jamais
- Rarement
- Souvent
- Très souvent
- Régulièrement

Sur quelles chaînes : .....

### NTIC

1) Quels sont vos principaux usages d'internet ?

- Recherches liées aux études
- Messagerie électronique
- Recherches sans lien avec les études
- Chat, blog, réseaux sociaux, forum
- Téléchargements (films ou musique)
- Jeux en réseaux
- Achats en ligne
- Démarches administratives
- Films, musique, actualités sportives
- Autres : .....

2) Avez-vous un compte sur l'un de ces réseaux sociaux ?

- Aucun réseau
- Facebook
- Twitter
- Youtube
- Autres : .....

3) Si facebook, êtes-vous membre dans un groupe (ou page) dont le centre d'intérêt est : l'énergie, l'environnement et le développement durable :

- Aucun(e) groupe (page)
- Un(e) groupe (page)
- Quelques groupes (pages)
- Plusieurs groupes (pages)

4) Si vous pouvez, citez ce (s) groupe(s)

.....

5) Avez-vous une connexion internet?

	Oui	Non
dans votre établissement		
chez vous		

6) Votre adresse électronique :.....

7) Souhaitez-vous recevoir par mail des informations sur les stratégies de consommation d'énergie et de protection de l'environnement ?

Oui

Non

8) Au sien de votre programme universitaire avez-vous un module qui s'intéresse aux politiques énergétiques et environnementales ?

Oui

Non

9) Si non, êtes-vous pour l'ajout d'un tel module à votre programme ?

Pas de tout d'accord

Plutôt pas d'accord

Plutôt d'accord

Tout à fait d'accord

10) A côté de la certification c2i, êtes-vous pour une certification énergétique et environnementale durant votre cursus universitaire qui reflète vos compétences à ce niveau ?

Pas de tout d'accord

Plutôt pas d'accord

Plutôt d'accord

Tout à fait d'accord

11) Êtes-vous pour l'adhésion immédiate à un club du Développement Durable (DD) au sein de votre établissement universitaire (de votre ville)

Oui

Non

Sinon, pourquoi ?.....

12) Êtes-vous pour l'adhésion immédiate à un club (une association) qui s'intéresse à la réalisation des politiques de réduction d'énergie et de pollution environnementale, au sein de votre établissement universitaire (de votre ville)

Oui

Non

Sinon, pourquoi ?.....

13) Avez-vous participé à des activités de sensibilisation des citoyens à propos de la maîtrise de l'énergie et la protection de l'environnement ?

Jamais

Rarement

Souvent

Très souvent

Régulièrement

14) Êtes-vous prêt(e) pour participer à un dialogue sur les politiques de maîtrise de l'énergie et de lutte contre le changement climatique ?

Oui

Non

### Société civile

1) A votre avis, la révolution tunisienne a un effet sur la liberté des citoyens pour s'exprimer en ce qui concerne la situation énergétique et environnementale du pays ?

Pas de tout d'accord

Plutôt pas d'accord

Plutôt d'accord

Tout à fait d'accord

2) A votre avis la révolution tunisienne peut être considérée comme un facteur positif dans le contexte de maîtrise de l'énergie et de protection de l'environnement

Pas de tout d'accord

Plutôt pas d'accord

Plutôt d'accord

Tout à fait d'accord

3) Selon vous, le présent gouvernement doit donner d'importance à (classez les choix par ordre de priorité)

Emploi

Economie

Education

Energie

Environnement : Pollution

Augmentation des salaires

Loisirs

Infrastructure

4) Savez-vous qu'il y a des lois relatives à la maîtrise de l'énergie ?

Oui

Non

5) A la fin, pensez-vous que ce questionnaire avait sensibilisé les étudiants et les différents acteurs de l'espace universitaire à l'importance des politiques de ME et de lutte contre le changement climatique ?

Pas de tout d'accord

Plutôt pas d'accord

Plutôt d'accord

Tout à fait d'accord

6) Voulez-vous proposer des suggestions et des politiques de ME et de protection de l'environnement ?

### 9.3. COLLECTE DES DONNEES :

- Trajet parcouru

Date	Départ	Arrivée	Distance (km)
10/04/2013	Monastir	Gafsa	275
13/04/2013	Gafsa	Sousse	264
25/04/2013	Monastir	Sfax	134
30/04/2013	Sfax	Gabès	136
04/05/2013	Gabès	Gafsa	150
06/05/2013	Gafsa	Tozeur	214
06/05/2013	Tozeur	Gafsa	214
07/05/2013	Gafsa	Kasserine	111
07/05/2013	Kasserine	Sfax	192
08/05/2013	Sfax	Monastir	134
10/05/2013	Monastir	Siliana	171
10/05/2013	Siliana	Le Kef	73
13/05/2013	Le Kef	Jendouba	56
13/05/2013	Jendouba	Le Kef	56
14/05/2013	Le Kef	Béja	102
14/05/2013	Béja	Le Kef	102
15/05/2031	Le Kef	Nabeul	238
15/05/2013	Nabeul	Tunis	67
18/05/2013	Tunis	Monastir	160
21/05/2013	Monastir	Tunis	160
27/05/2013	Tunis	Monastir	160
01/06/2013	Monastir	Ksar Helal	25
04/06/2013	Monastir	Tunis	160
08/06/2013	Tunis	Monastir	160
10/06/2013	Monastir	Tunis	160
13/06/2013	Tunis	Monastir	160
15/06/2013	Monastir	Sousse	27

- Frais d'enquête

	Charges	Avec facture	Sans facture	Totaux		
<b>Charges (en Dinars Tunisien)</b>	Hôtel (à la ville de Gafsa)	146		146	<b>Total charges en Euros 452,48</b>	<b>Total charges en Dinars Tunisien 982,44</b>
	Transport (train & louage)	146,28	19,5	165,78		
	Transport (bus & métro)	10,350 (23*0,450)	10	20,35		
	Transport (Taxi)		100 (50 Tunis+50 Autres villes)	100		
	Transport (Essence)		20	20		
	Téléphone		40	40		
	Photocopie & impression		123,750(250*0,045*11)	123,75		
<b>Charges en Euros (DT)</b>	billet(aller/retour)	169 Euros(99/70)		169 Euros (366,56 DT)		

#### 9.4. SAISIE DES DONNEES COLLECTEES

	N° Etab	1			
	Etablissement	I.S.E.T Le Kef/ Campus Universitaire Boulifa 7100			
	Individu	1	2	3	4
	Date	11/05/2013	11/05/2013	11/05/2013	11/05/2013
<b>Informations générales</b>	Genre	1	0	1	1
	Age	20-25	20-25	20-25	30-35
	Etat Civil	0	0	0	1
	Nombre Enfants				1
	Travail Conjoint				Oui
	Etudiant/ Enseignant	Etudiant	Etudiant	0	1
	Niveau	1ère	2ème	3ème	
	Grade				Technologue
	Spécialité	Gestion	Construction métallique	Système embarqué et mobile	Informatique
	Revenu	50-100	<50	100-150	1000-1500
	Locataire	Non	Oui	Oui	Oui
	Frais Logement		50 DT	120 DT (pour un an)	210 DT
	Locali Géog	Le Kef	Tunis	Jendouba:Ghar dima (30km) et après El Héfaya (5km) transport urbain	Le Kef

	Numéro Téléphone				
	Compte Facebook/Adresse Electronique	<a href="mailto:Manacha1993@yahoo.fr">Manacha1993@yahoo.fr</a>	<a href="mailto:medam@outlook.fr">medam@outlook.fr</a>	<a href="mailto:mersniahlem@gmail.com">mersniahlem@gmail.com</a>	<a href="mailto:hela.elmannai@gmail.com">hela.elmannai@gmail.com</a> / <a href="mailto:hhalloula79@gmail.com">hhalloula79@gmail.com</a> (fb)
	Nom			Mersni	Elmannai
	Prénom		Med Amine	Ahlem	Héla
<b>DU1 Domaine d'usage 1:Éclairage</b>	facture élect	100 à 120	10	30 DT (à Jendouba) et rien au kef au foyer	40 DT
	Puissance des lampes	Pas d'infos	60 Watt	Pas d'infos	75 Watt
	Choix de puissance	Besoins d'éclairage	Besoins d'éclairage	Disponibilité aux magasins	Disponibilité aux magasins
	changement des lampes	Non	Oui	Non	Non
	fréquence du changement	1 à 2 / mois	1 / an	Pas d'infos	1/3mois
	Savoir durée de vie de la lampe	Non	Oui	Oui	Non
	Usage lampes économiques	Non	Oui	Oui	Non (peur du champ magnétique)
	Endroits	Tous les endroits sauf à l'extérieur	chambre à coucher	Tous les endroits	
	Cause de non usage des LE: Prix cher	Oui	Oui	Non(habitude avec les lampes classiques)	Oui
	Usage tube néon	Oui	Non	Oui	Non
	Etiendre lumière hors en quittant la chambre	Régulièrement	Régulièrement	Régulièrement	Jamais
	Etiendre lumière hors en quittant la salle à la fac	Rarement	Jamais	Régulièrement	Régulièrement
	Etiendre la lumière dont pas besoin	Très souvent	Régulièrement	Jamais	Régulièrement
	Nettoie des lampes	Jamais	Jamais	Très souvent	Jamais
profiter de la lumière naturelle la journée	Régulièrement	Régulièrement	Régulièrement	Régulièrement	

	Savoir l'économie d'énergie apportée par une LE	50%	5 fois	Pas d'infos	Pas d'infos
	Savoir la durée de vie d'une LE par rapport à une classique	Pas d'infos	6 fois	Pas d'infos	6 fois
	Pensée à LT dans le choix des lampes	Oui	Oui	Oui	Oui
	Pratique des conseils de ME dans DU1 permet d'économiser de l'E	50%	20%	Pas d'infos	50%
<b>DU 2 Domaine d'usage 2: Appareils en veille</b>	AV consomme d'élec	Oui	Oui	Oui	Non
	Arrêt complètement des Appareils	Jamais	Rarement	Jamais	Jamais
	Pensée à eteindre les ordinateurs à la sortie de la salle	Régulièrement	Régulièrement	Régulièrement	Régulièrement
	Arrêt complètement des ces appareils économise 30% de l'énergie	Pas d'infos	20%	Pas d'infos	Pas d'infos
	Consommation d'un AV est l'équivalent de 4 heures/jour	Pas d'infos	2 heures	Pas d'infos	1 heure
	Arrêt complètement de ces appareils permet de prolonger leur vie	Oui	Oui	Oui	Oui
	Arrêt complètement des ces appareils permet d'assurer des économies d'énergie	Oui	Oui	Oui	Oui

		Arrêt complètement des ces appareils permet de préserver votre porte- monnaie	Oui	Oui	Oui	Oui
<b>DU 3 Domaine d'usage 3: Chauffe-eau</b>		mode de chauffe-eau	Solaire	GPL	GPL	Electricité
		nombre bouteille de gaz		1/ 2mois	Pas d'infos	Pas d'usage
		Prêt pour l'utilisation de l'énergie solaire		Oui	Oui	Non (logement loué)
		satisfaction énergie solaire	Plutôt satisfait			
		motif d'usage énergie solaire	Economie d'argent			
		coût d'installation énergie solaire	Plutôt pas cher	Tout à fait cher	Plutôt pas cher	Plutôt pas cher
		coût d'installation du gaz de ville	Pas d'infos	Plutôt pas cher	Pas d'infos	Plutôt pas cher
		chauffe-eau solaire et GPL	Non	Non	Non	Non
		mode de bain	Le bain	La douche	La douche	La douche
		nombre de fois par semaine	1 à 2 (Hamam)	chaque 2 jours	2	1
		nombre de fois par semaine en été	7	14	7	3 à 4
		connaissance de pourcentage d'économie pour les dépenses de chauffe eau en utilisant énergie solaire	Non	Non	Non	Non
<b>DU 4 Domaine d'usage 4: Appareils Electroménagers</b>	<b>DU 4.1 Etiquette Energétique</b>	connaissance la consommation des petits AE dans un ménage	Non	Non	Non	Non
		recherche de l'information sur la meilleur utilisation des AE	Non	Non	Non	Non
		savoir lire l'Etiquette Energétique EE	Non	Oui	Oui	Oui

		nombre de classe dans une EE	Pas d'infos	5	8	4 à 5
		la classe la plus conçue	Pas d'infos	1	3	1 ou 2
		choix d'un appareil classe 1 et plus chère	Oui	Oui	Oui	Oui
		connaissance de l'économie de l'énergie en si le choix est la classe économique	Non	Non	Non	Non
	<b>DU 4.2 Lave-linge &amp; fer à repasser</b>	possession de lave-linge	Oui	Non chez moi Oui chez la famille	Oui	Oui
		programmable(automatique)	Oui	oui	Oui	Oui
		température 40° au lieu de 60 permet d'économie d'énergie	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos
		température 60° au lieu de 90 permet d'économie d'énergie	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos
		changement du programme usage de la touche bio ou éco	Très souvent	Pas d'infos	Très souvent	Régulièrement
		Nettoyage filtre	Jamais	Rarement	Rarement	Rarement
		lors d'achat se renseigner du modèle économique	Non	Oui	Oui	Non
		sécher le linge	Utiliser le lave linge Prendre au jardin	Utiliser le lave linge Prendre au jardin	Utiliser le lave linge (hiver) Prendre au jardin	Utiliser le lave linge Prendre au jardin
		connaissance du nouveau modèle de lave linge	Non	Oui (hightech)	Non	Non
		Pour le repassage linge est	Trop sec	ni trop sec ni trop humide	Trop sec	Trop sec
température de fer à repasser	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Haute		
<b>DU 4.3 Lave-</b>	possession lave-vaisselle	Non	Non	Non	Non	

	<b>vaisselle</b>	lave-vaisselle consomme plus d'eau que le lave-main	Non	Non	Oui	Oui
		touche éco	Oui	Oui	Oui	Oui
		branchement à l'eau chaude	Oui	Non	Oui (plus efficace)	Oui (graisse)
		connaissance de consommation d'électricité pour chauffer l'eau	Non	Non	Non	Non
	<b>DU 4.4 Réfrigérateur</b>	possession de réfrigérateur	Oui	Oui	Oui	Oui
		nombre de réfrig	2	1	2 (1 frigo)	1
		position du mur (éloigné)	Oui	Oui	Oui	Oui
		position de sources de chaleur	Oui	Oui	Oui	Oui
		déglacer le réfrigérateur	Pas d'infos	Souvent	au vapeur	au vapeur
		contrôle joint	Très souvent	Jamais	Rarement	Très souvent
		refroidir les plats avant de les mettre	Rarement	Régulièrement	Régulièrement	Régulièrement
		referme rapide et convenable de la porte	Très souvent	Régulièrement	Régulièrement	Régulièrement
		nettoyage grille de condensation	Rarement	Rarement	Très souvent	Jamais
pour l'achat quelles références		Taille, marque, prix & étiquette	Etiquette, Prix, taille & marque	Etiquette, marque, Prix & taille	Marque, étiquette, taille & prix	
connaissance de % de consommation du réfrig dans un ménage	Non	Non	Non	Non		
<b>DU 5 Domaine d'usage 5: Chauffage</b>	Énergie principale	Fuel	GPL	GPL	Electricité	
	Nombre bouteille GPL		1/mois pour chauffe eau et chauffage	2/ hiver		
	nettoyage appareil de chauffage	Rarement	Jamais	Très souvent	Jamais	
	fermeture des fenêtres et portes	Très souvent	Très souvent	Très souvent	Régulièrement	
	température de confort	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos	28°	

	connaissance de % d'élevage de la cation d'énergie en éleventat un degrés de chauffage	Non	Non	Non	Non
	le mode de chauffage le plus cher	Electricité	Electricité	Electricité	Electricité
<b>DU 6 Domaine d'usage 6: Climatisation</b>	possession de climatiseur à domicile	Non	Oui (à la famille)	Oui	Non
	Nombre	0	1	1	0
	Possession du climatiseur à la fac	Oui (labo info)	Oui	Oui	Oui (labo info)
	Appel de spécialiste pour l'achat	Oui	Oui	Pas d'infos	Oui
	dégres de clim lors d'usage	Pas d'usage	25	Pas d'usage	Pas d'usage
	dégres de confort et d'économie d'énergie	20 à 23	25	Pas d'infos	23°
	les portes et fenêtres fermées	Pas d'usage	Régulièrement	Pas d'usage	Pas d'usage
	usage ventilateur	Oui	Non	Non	Oui
	satisfaction du ventilateur	Plutôt satisfait	Pas d'usage	Pas d'usage	Pas de tout satisfait
	nettoyage du filtre	Pas d'usage	Jamais	Pas d'usage	Pas d'usage
	le climatiseur est parmi les équipements les plus consommateurs d'énergie	Oui	Oui	Oui	Oui
	<b>DU 7 Domaine d'usage 7: Cuisson</b>	possession cuisinière	Oui	Oui	Oui
Mode d'énergie		GPL	GPL	GPL	GPL
Nombre de bouteilles GPL		1 à 2/mois	1/2mois	2	1/1,5 mois
Possession micro-onde		Oui	Non	Oui	Oui
Possession four		Oui	Oui (à la famille)	Oui	Non
Mode d'énergie		Electricité	Electricité	Electricité	
Ouverture de four lors de cuisson		Très souvent	Rarement	Rarement	Très souvent

	usage de cocotte	Très souvent	Rarement	Rarement	Jamais
	couvre des instruments lors de cuisson	Régulièrement	Régulièrement	Régulièrement	Régulièrement
	taille des casseroles selon la taille de plaque diminue la consommation d'énergie	Non	Oui	Non	Oui
	cette méthode permet de diminuer de combien en %	Non	Non	Non	Non
	connaissance système Duo Rotation(plateau tournant)	Oui	Non	Oui	Oui
	ce système permet de diminuer la consommation d'énergie	Oui	Non	Non	Non
	l'utilisation du gaz naturel au lieu de GPL opération gagnante pour l'état et le citoyen	Oui	Non	Oui	Oui
	gaz naturel produit local et GPL importé à 80%	Non	Non	Non	Oui
	Prêt de se bracher à un réseau s'il est à côté	Oui	Oui	Non (Risqué)	Oui
<b>DU 8 Domaine d'usage 8: Bâtiment construction &amp; rénovation</b>	foyer isolé selon les techniques d'isolation thermique	Non	Non	Non	Non
	Les tunisiens donnent d'importance à l'isolation thermique lors de construction	Rarement (selon le budget)	Jamais	Très souvent	Rarement
	les techniques d'isol permettent de diminuer la consommation d'énergie et assurent un confort naturel	Non	Oui	Oui	Oui

	le citoyen tunisien fait appel à un spécialiste d'isolation	Rarement	Jamais	Très souvent	Rarement
	prêt de dépenser un surcoût pour l'isolation	Oui	Oui	Oui	Oui
	l'isolation thermique permet de diminuer 30 % de la CE	Non	Non	Non	Non
	matériaux de construction du foyer	Brique	Brique	Brique	Brique
<b>DU 9 Domaine d'usage 9: Transport</b>	Possession de voiture	Non	Non	Non	Non
	marque				
	puissance				
	Type				
	Neuve/ Occasion				
	Année				
	dépenses consommation				
	contrôle des pneus à Froid / chaud				
	contrôle pression des pneus				
	changement filtre à air				
	transport des bagages sur le toit				
	climatiseur fonctionne				
	chauffage/ refroidissement				
	Possession de voiture par autre membre de la famille	Oui	Non	Oui	Oui
	Marque	Peugeot		Clio	Peugeot 206
	Type	Diesel		Essence	Essence
	Ancienne/ Nouvelle	Nouvelle		Nouvelle	Ancienne
	Dépenses consommation /mois	80 DT		80 DT	300 à 400 DT

	respect de vitesse pour les conducteurs	Rarement	Jamais	Rarement	Rarement
	préférences voiture Diesel plus chere	Non (bruit pour Diesel)	Non (Problème pour Diesel s'il y a la pluie)	Oui	Oui
	gonflage des pneus à la bonne pression assure la sécurité	Oui	Oui	Oui	Oui
	gonflage des pneus à la bonne pression améliore le comportement et la stabilité routier	Oui	Oui	Oui	Oui
	gonflage des pneus à la bonne pression évite la surconsommation de carburant	Oui	Oui	Oui	Oui
	les pneus gonglés à chaud augmente la pression entre 0,2 et 0,3 bar	Non	Non	Non	Non
	Un pneu sous gonflé de 1 bar entraine une surconsommation de combien%	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos
	la conduite agressive augmente la ction de combien	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos	30%
	A partir de quelle vitesse la consommation de carburant augmente plus vite que la vitesse	90 km/h	90 km/h	Pas d'infos	120km/h
	le transport des bagages sur le toit augmente la ction	Oui	Oui	Non	Oui

	préférences des voitures grandes cylindrées	Non	Oui	Non	Non
	les grandes cylindrées consomment 40 % plus de carburant	Non	Non	Non	Non
	la cation augmente avec l'âge de la voiture	Non	Oui	Oui	Oui
	pensée au renouvellement	Oui (modèle)	Oui (frais de réparation augmentent)	Oui (Nouveauté)	Oui (Maintenance)
	il faut autant d'énergie pour accélérer que pour décélérer	Non	Non	Non	Oui
	le climatiseur augmente la cation de combien%	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos	20%
	Mode d'accès à l'établissement	Bus	Louage transport urbain	A pied	Louage transport urbain
	satisfaction du transport commun	Pas de tout satisfait (horaires)	Tout à fait satisfait	Plutôt satisfait	Pas de tout satisfait
	Transport commun bien développé et possession d'une voiture: Petites distances	Transport commun	Transport commun	Propre voiture	Transport commun
	Transport commun bien développé et possession d'une voiture: Longues distances	Transport commun	Propre voiture	Propre voiture	Transport commun
	Transport commun bien développé et possession d'une voiture: Accès à l'établissement	Propre voiture	Transport commun	Propre voiture	Transport commun

	Transport commun bien développé et possession d'une voiture: Partir aux vacances	Propre voiture	Transport commun	Propre voiture	Propre voiture
	Transport commun bien développé et possession d'une voiture: Rencontre des amis	Propre voiture	Transport commun	Propre voiture	Propre voiture
<b>DU 10 Domaine d'usage 10: Energies Renouvelables</b>	Source naturel d'énergie photovoltaïque	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos
	Source naturel d'énergie solaire	soleil	soleil	soleil	Soleil
	Source naturel d'énergie éolienne	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos	Vent
	Source naturel d'énergie hydraulique	Pas d'infos	huile	Pas d'infos	Eau
	Energie photovoltaïque utilisée en Tunisie	Oui	Oui	Oui	Non
	Energie solaire utilisée en Tunisie	Oui	Oui	Oui	Oui
	Energie éolienne utilisée en Tunisie	Oui	Oui	Oui	Oui
	Energie hydraulique utilisée en Tunisie	Non	Oui	Oui	Oui
	Technologie plus connue	Chauffe-eau solaire	Chauffe-eau solaire	Chauffe-eau solaire	Chauffe-eau solaire
	connaissance du système photovoltaïque	Non	Non	Non	Non
	Prêt d'acquérir le système photovoltaïque	Oui	Oui	Oui	Oui
	les sources d'énergie correspondante à votre région (ville)	Hydraulique, Eolienne, Solaire, Charbon, Gaz naturel	Hydraulique, Eolienne, Solaire, Pétrole, Gaz naturel	Hydraulique, Eolienne, Solaire, Charbon, Gaz naturel	Hydraulique, Eolienne, Solaire, Charbon, Gaz naturel
	Gaz shiste	Non entendu	Non entendu	Non entendu	

<b>DU 11 Domaine d'usage 11: Environnement</b>	Parler du changement climatique	Oui	Oui	Oui	Oui
	Le CC est un problème dû à la combustion d'énergie fossile	Oui	Oui	Oui	Oui
	Le CC est un problème mondial à résoudre par tous les pays	Oui	Oui	Oui	Oui
	Le CC est un problème local à résoudre par l'Etat	Oui	Oui	Non	Non
	connaissance des gaz à effet de serre	Oui (entendu)	Oui (entendu)	Oui (entendu)	Oui (entendu)
	Maladies infectieuses: conséquences du CC affectant l'homme	Oui	Oui	Oui	Oui
	Vagues de froid et de chaleur: conséquences du CC affectant l'homme	Oui	Oui	Oui	Oui
	Cyclones: conséquences du CC affectant l'homme	Non	Oui	Oui	Oui
	Inondations: conséquences du CC affectant l'homme	Oui	Oui	Oui	Oui
	Augmentation du nombre des cancers de la peau: conséquences du CC affectant l'homme	Oui	Oui	Oui	Oui
	Effet de serre existe naturellement	Pas d'infos	Oui	Oui	Oui
	Le trou de la couche d'ozone est responsable de l'effet de serre	Oui	Oui	Oui	Oui
	CO2: origine humaine	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos

	CH4 (Méthane): origine humaine	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos
	N2O (Protoxyde d'azote): origine humaine	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos
	Gaz fluorés: origine humaine	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos	Pas d'infos
	Réduire la CE pour l'éclairage permet de réduire les émissions de CO2	Non	Non	Non	Non
	Relation entre la CE des appareils électroménagers et le CC	Non	Non	Non	Non
	Résoudre le problème du CC commence du comportement du ménage	Oui	Oui	Oui	Oui
	Résoudre le problème du CC se base sur la collectivité nationale	Oui	Oui	Oui	Oui
	connaissance de groupe chimique de Gabès	Non	Oui	Non	Oui
	connaissance de groupe chimique de Gafsa	Non	Non	Non	Oui
	connaissance de groupe chimique de Sfax	Non	Non	Non	Non
	connaissance de l'Usine de Halfa de Kasserine	Oui	Oui	Oui	Oui
	Groupes visités	Non	Non	Non	Non
	Parler des effets du groupe chimique de Gabès sur la santé et l'environnement	Jamais	Rarement	Jamais	Jamais

	Parler des effets du groupe chimique de Gafsa sur la santé et l'environnement	Jamais	Jamais	Jamais	Jamais
	Parler des effets du groupe chimique de Sfax sur la santé et l'environnement	Jamais	Jamais	Jamais	Jamais
	Parler des effets de l'Usine de Halfa à Kasserine sur la santé et l'environnement	Jamais	Jamais	Jamais	Jamais
	Connaissance de la méthode de production de la Chaux à Zriba	Non	Non	Non	Non
	Connaissance de l'utilisation des pneus des voitures pour la production	Non	Non	Non	Non
	Cette méthode a des dangers sur la sante	Oui	Oui	Oui	Oui
	Cette méthode a des dangers sur l'air	Oui	Oui	Oui	Oui
	Cette méthode a des dangers sur l'environnement	Oui	Oui	Oui	Oui
<b>DU 12 Domaine d'usage 12: Outils de sensibilisation</b>	Connaissance de l'ANME	Oui	Oui	Non	Oui
	comment?	Tv	Publicité		Publicité
	Visite sur place	Non	Non	Non	Non
	Accès au site Internet de l'ANME	Non	Non	Non	Non
	Si oui, consultation des conseils pratique et le guide				

	Lecture d'une brochure des conseils pratiques de ME	Rarement (STEG)	Rarement (STEG)	Jamais	Rarement (à la fac ANME)
	Lecture d'une brochure des conseils de protection de l'environnement	Rarement (association)	Jamais	Jamais	Rarement (ANME)
	Lecture d'une brochure des conseils de l'utilisation des énergies renouvelables	Jamais	Jamais	Jamais	Rarement
	Suivi d'une émission sur télévision sur les conseils pratiques de l'URE et de protection de l'environnement en Tunisie	Rarement	Très souvent	Jamais	Rarement
	Quelle chaîne	Nationale 1	Nationale 1		Nationale 1
<b>NTIC</b>	Pincipaux usages d'Internet	Recherches liées et sans non liées aux études Chat, blog, réseaux sociaux, forum, Téléchargements films et musique	Recherches liées et sans non liées aux études, Messagerie électronique Chat, blog, réseaux sociaux, forum, Téléchargements films et musique, actualités sportives	Recherches liées et sans non liées aux études, Messagerie électronique Chat, blog, réseaux sociaux, forum, Téléchargements films et musique, jeux en ligne	Recherches liées et sans non liées aux études, Messagerie électronique Chat, blog, réseaux sociaux, forum, Téléchargements films et musique, jeux en ligne
	Compte facebook	Oui	Oui	Oui	Oui
	Compte Twitter	Non	Oui	Non	Non
	Compte Youtube	Non	Oui	Non	Non
	Autres	Non	Non	Non	Non
	si Facebook, membre dans un groupe ou page dont le centre d'intérêt est Energie, environnement et DD	Non	Non	Non	Non

	Si oui, nom du groupe ou de page				
	Connexion Internet à l'établissement	Oui	Oui	Oui	Oui
	Connexion Internet à domicile	Oui	Oui	Oui (foyer)	Oui
	Souhait de recevoir par mail des infos	Oui	Oui	Oui	Oui
	Module des politiques énergétiques et environnementales	Non	Non	Non	Non
	Pour l'ajout d'un module	Tout à fait d'accord (option pour la culture générale)	Tout à fait d'accord	Tout à fait d'accord	Tout à fait d'accord
	Pour la certification énergétique et environnementale aux établissements universitaires	Tout à fait d'accord	Tout à fait d'accord	Tout à fait d'accord	Tout à fait d'accord
	Pour l'adhésion à un club de DD	Oui	Oui (s'il y a le temps)	Oui	Oui
	Pour l'adhésion à un club (association) dont le rôle est la réalisation, le pratique des conseils et des stratégies	Oui	Oui	Oui	Oui
	Participation à des activités de sensibilisation dans ce domaine	Jamais	Très souvent (Activités avec "Kachéfa": M ou 5yem au Na7éli)	Rarement (à l'école)	Jamais
	Prêt pour participer à un dialogue dans ce domaine	Oui	Oui	Oui	Oui

<b>Société Civile</b>	révolution a un effet sur la liberté d'expression des citoyens dans ce domaine	Tout à fait d'accord	Pas de tout d'accord	Tout à fait d'accord	Tout à fait d'accord
	révolution a joué un rôle positif dans ce domaine	Pas de tout d'accord	Pas de tout d'accord	Pas de tout d'accord	Pas de tout d'accord
	classement des priorités des problèmes à résoudre par le présent gouvernement	1Infrastructure 2Emploi 3Energie 4Environnement 5Augmentation des salaires 6Loisirs 7Education 8Economie	1Education 2Infrastructure 3Environnement 4Loisirs 5Emploi 6Economie 7Energie 8Augmentation des salaires	1Emploi 2Education 3Augmentation des salaires 4Economie 5Energie 6Infrastructure 7Loisirs 8Environnement	1Economie 2Emploi 3Education 4Energie 5Infrastructure 6Environnement 7Augmentation des salaires 8Loisirs
	Existence des lois de la ME	Non	Oui	Non	Non
<b>Stratégies à proposer</b>	Avis pour le covoiturage	Tout à fait d'accord	Tout à fait d'accord	Plutôt pas d'accord	Tout à fait d'accord
	Pour le développement d'un réseau de vélos dans l'établissement	Oui	Non (beaucoup des pentes au Kef)	Non (Climat, non conforton rapide)	Oui
	Pour le développement d'un réseau de vélos dans la ville	Oui	Non (beaucoup des pentes au Kef)	Non (Climat, non conforton rapide)	Oui
	Réseau de vélos peut diminuer les encombrements	Oui	Oui	Oui	Oui
	Réseau de vélos peut diminuer la cation de carburant et donc les émissions de Gaz à Effet de Serre	Oui	Oui	Oui	Oui
	Réseau de vélos peut diminuer les dépenses d'argent pour le transport	Oui	Oui	Oui	Oui

	Payer un abonnement de vélos pour la prochaine année universitaire	Tout à fait d'accord	Pas de tout d'accord	Pas de tout d'accord	Tout à fait d'accord
	Régions ou villes où sera possible	Nabeul et où il y a des surfaces plates	Sahel	Jendouba	Grand Tunis, Sahel
	Possible à votre ville	Plus au moins	Non (beaucoup des pentes au Kef)	Non (Climat, non conforton rapide)	Oui
	Usagers	Tous			Tous
	Développement d'un réseau de vélos assure la protection de l'environnement	Oui	Oui	Oui	Oui
	Développement d'un réseau de vélos assure une diminution des maladies psychologiques (évitant le stress)	Oui	Oui	Oui	Oui
	Développement d'un réseau de vélos assure une diminution du nombre d'accidents	Oui	Oui	Oui	Oui
	Développement d'un réseau de vélos assure la santé(sport)	Oui	Oui	Oui	Oui
	Pour le développement du réseau de carrioles	Non	Oui	Non	Non
	Dans quels domaines		Commerce		
	Le climat de la Tunisie favorise l'utilisation de ces modes de transport	Plutôt pas d'accord (il fait soit très froid soit très chaud)	Tout à fait d'accord	Pas de tout d'accord (très froid ou très chaud)	Tout à fait d'accord
	Le mode du transport proposé dans votre région ou ville	Transport urbain, Bus	Taxis, Métro à Tunis	A pied	Bus privé

	Suggestions des politiques et gestes	Zones vertes, pobelles aux couloirs, Education, Matière, activités sur terrain, brochures, TV	Théâtre	Affiches Communication au sein de la famille	Site web Journées clubs Eduquer les élèves à l'école(matière) communication
<b>Avis</b>	Ce questionnaire peut aider à sensibiliser les étudiants et les enseignants dans ce domaine	Tout à fait d'accord	Tout à fait d'accord	Tout à fait d'accord	

## 9.5. ESTIMATION LOGIT

```

log: C:\Documents and Settings\Administrateur\Bureau\Doctorants\hanene\
> bettaieb.smc1
log type: smc1
opened on: 4 Sep 2015, 13:39:46

```

```

. xi:logit conscient genre1 i.etens i.spec i.locat
i.etens      _Ietens_1-2      (naturally coded; _Ietens_1 omitted)
i.spec       _Ispec_1-5       (naturally coded; _Ispec_1 omitted)
i.locat      _Ilocat_1-2      (naturally coded; _Ilocat_1 omitted)

```

```

Iteration 0: log likelihood = -98.236756
Iteration 1: log likelihood = -84.096484
Iteration 2: log likelihood = -83.711856
Iteration 3: log likelihood = -83.707761
Iteration 4: log likelihood = -83.70776

```

```

Logistic regression                                Number of obs = 157
                                                    LR chi2(7) = 29.06
                                                    Prob > chi2 = 0.0001
Log likelihood = -83.70776                        Pseudo R2 = 0.1479

```

conscient	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
genre1	.8139652	.3997872	2.04	0.042	.0303967	1.597534
_Ietens_2	1.260331	.5198811	2.42	0.015	.2413825	2.279279
_Ispec_2	1.024733	.688005	1.49	0.136	-.3237322	2.373198
_Ispec_3	.9702277	.6359582	1.53	0.127	-.2762275	2.216683
_Ispec_4	2.149109	.6810358	3.16	0.002	.8143032	3.483914
_Ispec_5	.9617245	.7168476	1.34	0.180	-.443271	2.36672
_Ilocat_2	-.7045762	.4318937	-1.63	0.103	-1.551072	.1419199
_cons	-2.14851	.5948036	-3.61	0.000	-3.314304	-.9827165

```

. xi:logit conscient genre1 i.etens i.spec i.locat, or
i.etens      _Ietens_1-2      (naturally coded; _Ietens_1 omitted)
i.spec       _Ispec_1-5       (naturally coded; _Ispec_1 omitted)
i.locat      _Ilocat_1-2      (naturally coded; _Ilocat_1 omitted)

```

```

Iteration 0: log likelihood = -98.236756
Iteration 1: log likelihood = -84.096484
Iteration 2: log likelihood = -83.711856
Iteration 3: log likelihood = -83.707761
Iteration 4: log likelihood = -83.70776

```

```

Logistic regression                                Number of obs = 157
                                                    LR chi2(7) = 29.06
                                                    Prob > chi2 = 0.0001
Log likelihood = -83.70776                        Pseudo R2 = 0.1479

```

conscient	Odds Ratio	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
genre1	2.256839	.9022552	2.04	0.042	1.030863	4.940831
_Ietens_2	3.526588	1.833406	2.42	0.015	1.273008	9.769635
_Ispec_2	2.786351	1.917023	1.49	0.136	.7234439	10.73165
_Ispec_3	2.638545	1.678004	1.53	0.127	.7586403	9.176839
_Ispec_4	8.577211	5.841387	3.16	0.002	2.257602	32.58703
_Ispec_5	2.616204	1.87542	1.34	0.180	.6419332	10.66236
_Ilocat_2	.494318	.2134928	-1.63	0.103	.2120205	1.152484

# Glossaire

## I- Les processus TS et DS :

Depuis Nelson et Plosser (1982) les cas de non stationnarité en moyenne sont analysés à partir de deux types de processus :

- Processus TS (Trend Stationary) : qui représente le processus caractérisé par une non stationnarité de nature déterministe.
- Processus DS (Difference Stationary): qui représente le processus dont la non stationnarité est de nature stochastique.

### I-1 Processus TS :

Un processus TS s'écrit sous la forme suivante :  $X_t = f(t) + \varepsilon_t$ .

Où :

- $f(t)$  : Est une fonction polynomiale du temps (déterministe du temps),
- $\varepsilon_t$  : Est un processus stationnaire ( $N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ )

Le processus TS le plus simple est représenté par une fonction polynomiale de degré 1, on a:

$$X_t = \alpha + \beta t + \varepsilon_t$$

#### I-1-1 Les caractéristiques statistiques d'un processus TS :

Pour simplifier supposons que  $\varepsilon_t \sim BB(0, \sigma_\varepsilon^2)$ , dans ce cas les moments de  $X_t$  sont :

- $E(X_t) = \alpha + \beta t$ ,
- $V(X_t) = E[X_t - E(X_t)]^2 = E(\varepsilon_t)^2 = V(\varepsilon_t) = \sigma_\varepsilon^2$ ,
- $\text{cov}(X_t, X_{t+h}) = E[(X_t - E(X_t))(X_{t+h} - E(X_{t+h}))] = E(\varepsilon_t \varepsilon_{t+h}) = 0 \forall t, \forall h > 0$ .

L'espérance de  $X_t$  dépend du temps donc ce processus TS est non stationnaire mais sa variance est constante au cours du temps donc ce processus est stationnaire en variance.

I-1-2 L'influence des innovations stochastiques  $\varepsilon_t$  :

Elle représente l'une des propriétés importantes de ce type de processus. En effet, l'influence d'un choc  $\varepsilon_t$  à une date T sur un processus  $X_t$  défini par:  $X_t = f(t) + z_t$ , avec  $z_t$  stationnaire et  $E(z_t) = 0$ , est transitoire.

Pour un processus TS,  $E(X_{t+K})$  (avec  $K > 0$ ) est une fonction croissante de l'horizon  $K$ , mais la variance de l'erreur de prévision reste constante quelque soit l'horizon étudié. On peut alors dire que l'incertitude est en quelque sorte bornée. Donc dans ce type de modèle l'effet produit par un choc à l'instant t est transitoire c'est à dire que l'effet de ce choc tend à disparaître au fur et à mesure que le temps passe : c'est la propriété de non persistance des chocs.

Economiquement, cela signifie que la trajectoire de long terme de la série est insensible aux aléas conjoncturels. Cela signifie qu'à la suite d'un choc la série revient à son niveau pré-choc. On dit que la série a une mémoire finie des chocs.

## I-2 Processus DS :

Un processus DS s'écrit sous la forme suivante :

$$X_t = \rho X_{t-1} + \beta + \varepsilon_t \quad (X_t \square AR(1))$$

Par récurrence on obtient :

$$X_t = \rho^\tau X_{t-\tau} + \beta \sum_{j=0}^{\tau-1} \rho^j + \sum_{j=0}^{\tau-1} \rho^j \varepsilon_{t-j} \quad \text{Avec } \tau : \text{nombre de retards.}$$

Si l'on suppose  $|\rho| = 1$  et  $\tau = t$ , on peut écrire :

$$X_t = X_0 + t\beta + \sum_{j=1}^t \varepsilon_j \quad \text{Où } X_0 : \text{le premier terme de la série } X_t .$$

Si  $\rho = 1$  et  $\varepsilon_t \square BB$  alors l'équation s'écrit :

$$X_t = X_{t-1} + \beta + \varepsilon_t$$

L'introduction de la constante  $\beta$  dans le processus DS permet de définir deux processus différents :

- Si  $\beta = 0$  : le processus DS est dit sans dérive, il s'écrit :  $X_t = X_{t-1} + \varepsilon_t$

Comme  $\varepsilon_t$  est un  $BB$ , ce processus DS porte le nom du modèle de marche au hasard ou de marche aléatoire (ou martingale) sans dérive.

- Si  $\beta \neq 0$  : le processus DS est connu sous le nom de marche aléatoire avec dérive, il s'écrit :  $X_t = X_{t-1} + \beta + \varepsilon_t$

I-2-1 Les caractéristiques statistiques d'un processus DS :

On a :

$$X_t = X_0 + t\beta + \sum_{j=1}^t \varepsilon_j$$

Supposons que  $\varepsilon_t \square BB(0, \sigma_\varepsilon^2)$ , on a alors

- $E(X_t) = E(X_0 + t\beta + \sum_{j=1}^t \varepsilon_j) = X_0 + t\beta$
- $V(X_t) = E[X_t - E(X_t)]^2 = E(\sum_{j=1}^t \varepsilon_j)^2 = V(\sum_{j=1}^t \varepsilon_j) = \sum_{j=1}^t V(\varepsilon_j) = t\sigma_\varepsilon^2$

L'espérance et la variance d'un processus DS dépendent du temps. Le processus DS est caractérisé à la fois par une non stationnarité de nature :

- Déterministe par le biais de l'espérance qui est fonction d'une tendance linéaire.
- Stochastique par le biais des perturbations ( $\varepsilon_t$ ) dont la variance suit une tendance linéaire.

I-2-2 L'influence des innovations stochastiques  $\varepsilon_t$  :

Elle représente une des principales propriétés qui permet de distinguer entre les deux processus TS et DS. En effet, l'influence d'une innovation  $\varepsilon_t$  à une date T sur un processus I (d) :

$$(1-L)^d X_t = \theta(L)\varepsilon_t$$

est permanente. On a ainsi une propriété de persistance des chocs ou d'hystérésis.

Pour un processus DS la variance de l'erreur de prévision n'est plus constante mais croît avec l'horizon  $K$ . Ainsi chaque choc aléatoire a un effet durable sur le comportement de la série.

Economiquement, cela signifie qu'à suite d'un choc la série ne revient jamais à son niveau pré-choc. On dit que la série a une mémoire infinie des chocs.

Après l'étude de la stationnarité des deux processus TS et DS, on a conclu que ces deux processus sont non stationnaires. Le problème qui se pose maintenant, comment stationnariser ces deux processus ?

### **I-3 Stationnarisation des deux processus TS et DS :**

Les méthodes de stationnarisation se différencient selon le cas à savoir s'il s'agit d'un processus TS ou d'un processus DS.

#### **I-3-1 Cas d'un processus TS :**

On peut stationnariser un processus TS par une régression sur une tendance déterministe. Cette méthode consiste à estimer la tendance et retrancher cette dernière de la série brute. En effet on a :

$$X_t = \alpha + \beta t + \varepsilon_t$$

Alors la série  $Y_t = X_t - \alpha - \beta t = \varepsilon_t$  est possiblement stationnaire, avec  $\alpha$  et  $\beta$  sont les estimateurs des Moindres Carrées Ordinaires (MCO).

#### **I-3-2 Cas d'un processus DS :**

On peut stationnariser un processus DS par l'utilisation d'un filtre aux différences :

$$(1-L)^d X_t = \beta + \varepsilon_t$$

Avec:

- $\varepsilon_t$  est un processus stationnaire.
- $d$  est l'ordre de différenciation (ou d'intégration) du filtre aux différences.

Si  $d = 1$  le processus est dit processus intégré d'ordre 1.

❖ **Définition d'une série intégrée :**

Le concept de série intégrée a été introduit par Granger (1980). Une série  $X_t$  est dite intégrée d'ordre  $d$ , ce que l'on note  $X_t \sim I(d)$ , s'il est nécessaire de la différencier  $d$  fois pour la rendre stationnaire. En d'autres termes :

$$X_t \sim I(d) \text{ Si et seulement si } (1-L)^d X_t \sim I(0)$$

Les cas les plus utilisés sont ceux des séries  $I(0)$  et  $I(1)$  :

- $X_t \sim I(0)$ : Il s'agit d'une série stationnaire qui fluctue autour de son premier moment sans jamais trop s'en écarter. Il y a une convergence continue autour de la moyenne.
- $X_t \sim I(1)$ : Signifie que la variance évolue dans le temps.

Propriétés des séries intégrées :

- Si  $X_t \sim I(d)$  alors  $a + bX_t \sim I(d)$  où  $a$  et  $b$  sont des constantes, avec  $b \neq 0$ .
- Si  $X_t \sim I(0)$  et  $Y_t \sim I(0)$  alors  $aX_t + bY_t \sim I(0)$  où  $a$  et  $b$  sont des constantes.
- Si  $X_t \sim I(0)$  et  $Y_t \sim I(1)$  alors  $aX_t + bY_t \sim I(1)$  où  $a$  et  $b$  sont des constantes, avec  $b \neq 0$  ( $I(1)$  est une propriété dominante).
- Si  $X_t \sim I(d_1)$  et  $Y_t \sim I(d_2)$  alors  $aX_t + bY_t \sim I(\max(d_1, d_2))$  où  $a$  et  $b$  sont des constantes non nulles.

L'importance du bon choix de la méthode adéquate de stationnarisation de chaque type de processus résulte des différentes conséquences statistiques et économiques d'un mauvais choix de cette méthode.

**I-4 Conséquences d'une mauvaise stationnarisation d'un processus :**

Certains auteurs (Chan, Hayya et Ord (1977)) et Nelson et Kang (1981) ont étudié les conséquences d'un mauvais choix de la technique de stationnarisation pour un processus.

I-4-1 Les conséquences statistiques :

➤ Conséquences sur un processus TS d'une stationnarisation de type DS:

Soit un processus TS :

On applique à ce processus un filtre aux différences premières

$$\Delta X_t = \alpha + \beta t + \varepsilon_t \quad \text{Où } \varepsilon_t \square BB(0, \sigma_\varepsilon^2).$$

On applique à ce processus un filtre aux différences premières

$$\Delta X_t = (1-L)X_t = X_t - X_{t-1} = \beta + \varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}$$

On étudie les caractéristiques statistiques :

- $E(\Delta X_t) = \beta$
- $V(\Delta X_t) = E[\Delta X_t - E(\Delta X_t)]^2 = E(\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1})^2$  Comme  $\varepsilon_t \square BB(0, \sigma_\varepsilon^2)$  alors  
 $V(\Delta X_t) = 2\sigma_\varepsilon^2$
- $\text{cov}(\Delta X_t, \Delta X_{t+h}) = E[(\Delta X_t - E(\Delta X_t))(\Delta X_{t+h} - E(\Delta X_{t+h}))]$   
 $= E[(\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1})(\varepsilon_{t+h} - \varepsilon_{t+h-1})]$

D'où on a :

$$\gamma_h = \text{cov}(\Delta X_t, \Delta X_{t+h}) = \begin{cases} 2\sigma_\varepsilon^2 \text{si } h = 0 \\ -\sigma_\varepsilon^2 \text{si } h = \pm 1 \\ 0 \text{sin on} \end{cases}$$

Soit la fonction d'auto corrélation :

$$\rho_h = \frac{\gamma_h}{\gamma_0} = \begin{cases} 1 \text{si } h = 0 \\ -1/2 \text{si } h = \pm 1 \\ 0 \text{sin on} \end{cases}$$

On constate que le processus  $\Delta X_t$  n'a pas les caractéristiques d'un bruit blanc. L'application d'un filtre aux différences sur le processus TS a créé une perturbation artificielle puisqu'il apparaît une auto-corrélation des erreurs à l'ordre 1 égale à 1/2.

➤ Conséquences sur un processus DS d'une stationnarisation de type TS:

Supposons que l'on applique la technique des MCO à un processus DS. Nelson et Kang ont montré que les résidus de la régression sont bien d'espérance nulle mais leur covariance dépend de la taille de l'échantillon et du temps. Ils montrent, à partir des simulations, que l'application des MCO à un processus DS crée artificiellement une forte auto-corrélation des résidus pour les premiers retards.

#### I-4-2 Les conséquences économiques :

En point de vue macroéconomique les conséquences sont également importantes. Considérons, par exemple, une variable macroéconomique. Si cette variable est DS plutôt que TS, il est alors nécessaire de remettre en cause la décomposition traditionnelle (tendance et cycle) et sa justification théorique (l'indépendance des schémas explicatifs). Si cette variable est en effet DS, la croissance et le cycle sont liés et ne peuvent être en conséquence étudiés de façons séparées. Or, d'après les travaux de Nelson et Plosser (1982) sur des chroniques macro-économiques américaines, la variabilité constatée de la composante conjoncturelle serait due à une structure DS. En effet, l'analyse de cette variable s'effectuait à partir du résidu d'une régression sur une tendance déterministe cela implique que l'on surestimait l'amplitude du cycle et que l'on sous-estimait l'importance de la tendance. Sur ce constat, Beveridge S. et Nelson C.R. (1981) proposent une décomposition des processus selon une tendance stochastique (permanente) qui obéit à une marche aléatoire avec ou sans dérive et une composante stationnaire (transitoire).

D'où la procédure de stationnarisation doit être basée sur le comportement des séries étudiées et non sur des considérations à priori. Ainsi les deux types des processus (TS et DS) peuvent se comporter de manière identique alors qu'ils demandent des méthodes différentes pour éliminer la tendance. Nelson et Plosser utilisent un test développé par Dickey et Fuller pour déterminer s'il s'agit d'une série temporelle différentielle ou tendancielle.

## **II- Régression fallacieuse**

Pour se rendre compte de ce phénomène, nous allons nous reprendre l'exemple donné dans Maddala et Kim (1998). En effet :

➤ Soient les deux marches aléatoires :

$$\begin{aligned}
 y_t &= y_{t-1} + u_t & u_t &\square \text{iid } (0, \sigma_u^2) \\
 x_t &= x_{t-1} + v_t & v_t &\square \text{iid } (0, \sigma_v^2)
 \end{aligned}$$

➤ Soit la régression de  $y_t$  en fonction de  $x_t$  :

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t + \varepsilon_t$$

Après l'estimation de la régression, on s'attend à ce que le  $R^2$  soit proche de 0 et que  $\beta$  est statistiquement nul. Mais, les auteurs trouvent un  $R^2$  proche de 1,  $\beta$  est statistiquement différent de 0 et DW est proche de 0.

➤ Aussi, Granger et Newbold (1974) ont considéré les processus suivants :

$$\begin{aligned}
 y_t &= \rho_y y_{t-1} + u_t & u_t &\square \text{iid } (0, \sigma_u^2) \\
 x_t &= \rho_x x_{t-1} + v_t & v_t &\square \text{iid } (0, \sigma_v^2)
 \end{aligned}$$

Comme  $|\rho_y| < 1$  et  $|\rho_x| < 1$ , la régression de  $y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t + \varepsilon_t$  donne un  $R^2$  élevé et DW faible. Mais, en passant à la régression des variables en différence, on trouve un  $R^2$  faible et  $DW \square 2$ .

D'où d'après Phillips (1986), avec 2 marches aléatoires (\*) on aura les résultats suivants :

- $\beta_0$  diverge.
- $\beta_1$  converge vers une marche aléatoire.

Pour cela l'inférence statistique n'est plus standard.

## II-1 Définition :

Pour définir cette régression Phillips (1986) a proposé le théorème suivant :

Considérons un vecteur  $Y_t = (y_{1t}, \dots, y_{nt})' = (y_{1t}, Y_{2t}')'$  dont les éléments sont tel que :

$$\Delta Y_t = \Psi(L)\varepsilon_t \quad \text{avec } \varepsilon_t \square \text{ iid } (0, \Sigma)$$

- S'il n'existe pas de combinaison linéaire dont les  $Y_t$  sont I(0).
- S'il n'existe pas de  $Y_t$  qui sont I(0).

Les estimateurs des MCO des coefficients de la régression :

$$y_{1t} = Y_{2t}'\lambda + u_t$$

Sont caractérisés par des lois asymptotiquement non standards.

D'où dans le cas où il n'existe pas une de  $\lambda$  tel que  $y_{1t} - Y_{2t}'\lambda = u_t \square I(0)$  alors la régression de  $y_{1t}$  sur  $Y_{2t}$  est dite fallacieuse.

## II-2 Les solutions proposées au cas de régression fallacieuse

On est dans le cas de régression donnant un  $R^2$  élevé et DW faible. Les solutions proposées dans ce cadre sont :

### ❖ Considérer la régression en première différence :

On va se trouver avec des variables transformées qui sont stationnaires et donc le problème d'inférence est résolu, on revient à l'inférence statistique standard. Mais, on ne peut pas avoir la solution d'équilibre de long terme.

En effet :

$$\Delta y_t = \beta \Delta x_t + \varepsilon_t$$

A l'équilibre :

$$\Delta y_t = 0 \Leftrightarrow y_e = y_t = y_{t-1}$$

$$\Delta x_t = 0 \Leftrightarrow x_e = x_t = x_{t-1}$$

### ❖ Dans le cas des processus générés comme avec Granger et Newbold, la solution proposée consiste à appliquer Cochrane et Orcutt :

Si  $\hat{u}_t$  est le résidu de la MCO de l'estimation de la régression, alors le coefficient  $\hat{\rho}$  de la régression de  $\hat{u}_t = \rho \hat{u}_{t-1} + \varepsilon_t$  converge vers 1.

Asymptotiquement cette solution est équivalente à la précédente.

### III- Représentation d'un modèle VAR

Les processus VAR d'ordre p, noté VAR(p), sont une extension des processus AR (p) à un vecteur de N séries temporelles à p décalages. Dans un modèle VAR chaque variable est régressée sur son propre passé et le passé de toutes les autres variables considérées.

#### III-1 La représentation générale

Les modèles vectoriels autorégressifs (VAR) ; le terme autorégressif tient à l'apparence de valeur décalée de la variable dépendante dans le membre droit et le terme vectoriel est dû au fait qu'on a affaire à plusieurs variables vectorielles ; ont une représentation générale qui s'écrit sous la forme matricielle :

$$X_t = \Phi_0 + \Phi_1 X_{t-1} + \dots + \Phi_p X_{t-p} + \varepsilon_t$$

Avec :

$$X_t = \begin{pmatrix} x_{1t} \\ \vdots \\ x_{Nt} \end{pmatrix}, \varepsilon_t = \begin{pmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \vdots \\ \varepsilon_{Nt} \end{pmatrix}, \Phi_0 = \begin{pmatrix} a_1^0 \\ \vdots \\ a_N^0 \end{pmatrix}, \Phi_p = \begin{pmatrix} a_{1p}^1 & \dots & a_{1p}^N \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{Np}^1 & \dots & a_{Np}^N \end{pmatrix}$$

- $\varepsilon_t$  est un bruit blanc de matrice variance covariance  $\Sigma_\varepsilon$ .

Toutes les variables endogènes de ce système VAR(p) sont régressées sur les mêmes régresseurs. Ainsi, un processus VAR(p) est un système d'équations simultanées qui exprime les variables endogènes à l'instant t en fonction de leurs retards, des termes constants et des variables exogènes.

Cette représentation peut s'écrire à l'aide de l'opérateur retard comme suit :

$$\begin{aligned} X_t &= \Phi_0 + \Phi_1 X_{t-1} + \dots + \Phi_p X_{t-p} + \varepsilon_t \\ \Leftrightarrow X_t - \Phi_1 X_{t-1} - \Phi_2 X_{t-2} - \dots - \Phi_p X_{t-p} &= \Phi_0 + \varepsilon_t \\ \Leftrightarrow (I - \Phi_1 L - \Phi_2 L^2 - \dots - \Phi_p L^p) X_t &= \Phi_0 + \varepsilon_t \\ \Leftrightarrow \Phi(L) X_t &= \Phi_0 + \varepsilon_t \end{aligned}$$

Avec :

- L est l'opérateur retard,
- $\Phi(L) = I - \sum_{i=1}^p \Phi_i L^i$ ,

#### III-2 Conditions de stationnarité d'un processus VAR :

Les graines des conditions de stationnarité étaient déjà semées dans le premier chapitre. Donc, la condition de stationnarité du second ordre est identique à celle du cas des processus uni variés. En effet, un processus VAR est stationnaire s'il satisfait les trois conditions suivantes :

- $E(X_t) = \underset{(n,1)}{\boldsymbol{\mu}} \quad \forall t,$
- $V(X_t) < \infty \quad \forall t,$
- $\text{cov}(X_t, X_{t+h}) = E[(X_{t+h} - \mu)(X_t - \mu)'] = \underset{(n,n)}{\boldsymbol{\gamma}}(h) \quad \forall t, \forall h > 0,$

Il a été démontré que ces conditions de stationnarité reviennent à imposer des conditions sur les racines du polynôme caractéristique  $\Phi(L)$ .

En effet, considérons un processus VAR(p) :

$$\Phi(L)X_t = \Phi_0 + \varepsilon_t$$

Avec :

$$\Phi(L) = I - \sum_{i=1}^p \Phi_i L^i,$$

- Si toutes les racines du déterminant de  $\Phi(L)$  (appelé polynôme caractéristique) sont en module à l'extérieur du cercle unité alors le processus VAR(p) est stationnaire.
- Si au moins une des racines du déterminant de  $\Phi(L)$  est égale à 1 alors le processus n'est plus stationnaire.

L'étude de la stationnarité des séries temporelles d'un processus VAR est nécessaire pour l'estimation des paramètres de ce processus qui ne peut l'être que sur des séries stationnaires ou stationnalisées. Nous intéressons donc, dans le paragraphe suivant, à l'estimation.

#### **IV- Estimation des paramètres d'un VAR(p) :**

Tout comme les processus AR univariés, plusieurs méthodes d'estimation sont envisageables pour les processus VAR. Ils peuvent être estimés soit par les MCO soit par maximum de vraisemblance.

##### **IV-1 Estimation par la méthode du maximum de vraisemblance :**

Considérons un processus VAR(  $p$  ) centré :

$$X_t = \Phi_1 X_{t-1} + \Phi_2 X_{t-2} + \dots + \Phi_p X_{t-p} + \varepsilon_t$$

Où  $\varepsilon_t$  est un bruit blanc de matrice variance covariance  $\Sigma_\varepsilon$ .

❖ *Les étapes de l'estimation :*

**Etape 1** : la fonction de vraisemblance :

On écrit la vraisemblance conditionnelle à toutes les valeurs passées du processus :

$$L(X_1, \dots, X_T) = \prod_{t=1}^T L(X_t / X_{t-1}, \dots, X_{t-p})$$

On a alors :

$$L(X_1, \dots, X_T) = \prod_{t=1}^T \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^N \sqrt{\det \Sigma_\varepsilon}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \sum_{t=1}^T (X_t - \Phi_1 X_{t-1} - \dots - \Phi_p X_{t-p})' \Sigma_\varepsilon^{-1} (X_t - \Phi_1 X_{t-1} - \dots - \Phi_p X_{t-p}) \right]$$

**Etape 2** : la fonction de log-vraisemblance :

On déduit l'expression de la log-vraisemblance :

$$\text{Log} L(X_1, \dots, X_T) = -\frac{NT}{2} \text{Log} 2\pi - \frac{T}{2} \text{Log} \det \Sigma_\varepsilon - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \varepsilon_t' \Sigma_\varepsilon^{-1} \varepsilon_t$$

**Etape 3** : le score :

On maximise la log-vraisemblance pour obtenir les estimations de  $\Phi_1, \dots, \Phi_p$  et de  $\Sigma_\varepsilon$  à travers l'écriture du score.

Ces méthodes d'estimation sont utilisées pour avoir les estimations  $\hat{\Phi}_1, \dots, \hat{\Phi}_p$  et  $\hat{\Sigma}_\varepsilon$  qui seront utiles dans la détermination de l'ordre du modèle VAR.

Avant d'estimer le modèle VAR, il faut décider de la longueur maximale du retard  $p$ . Si on introduisait trop de termes décalés on consommerait des degrés de liberté, sans parler de la possibilité de multi-colinéarité. Introduire trop peu de décalages amènerait à

des erreurs de spécification. L'un des moyens de décider l'utilisation d'un critère tel que celui d'Akaike ou Schwarz est de choisir le modèle qui fournit les plus faibles valeurs de ces critères.

Puisque le choix du nombre de coefficients de retard, aussi bien que le degré du polynôme, sont à la discrétion du chercheur, des essais et erreurs sont inévitables en dépit de l'exploitation des données. C'est ici que les critères d'information d'Akaike et de Schwartz peuvent être utiles.

#### **IV-2 Détermination du nombre de retards du processus VAR (ou l'ordre $p$ du VAR) :**

Pour la détermination de l'ordre  $p$  du processus VAR, on peut utiliser des critères d'information. La procédure de sélection de cet ordre consiste à estimer un certain nombre des modèles VAR pour un ordre  $p$  allant de 0 à  $h$  où  $h$  est le retard maximum. On retient le retard  $p$  qui minimise les critères  $AIC$ ,  $SC$  et Hannan-Quinn ( $HQ$ ) définis comme suit :

$$AIC = \text{Log det } \hat{\Sigma}_{\varepsilon} + \frac{2N^2 p}{T}$$

$$SC = \text{Log det } \hat{\Sigma}_{\varepsilon} + N^2 p \frac{\text{Log} T}{T}$$

$$HQ = \text{Log det } \hat{\Sigma}_{\varepsilon} + N^2 p \frac{2\text{Log}(\text{Log} T)}{T}$$

Avec :

- $N$  est le nombre des variables du système.
- $T$  est le nombre d'observations.
- $\hat{\Sigma}_{\varepsilon}$  est un estimateur de la matrice de variance-covariance des résidus.

Les critères  $SC$  et  $HQ$  conduisent à des estimateurs convergents de  $p$  et le critère  $AIC$  donne des estimateurs efficaces de  $p$ .

#### **IV-3 Test du rapport de maximum de vraisemblance :**

On peut effectuer des tests sur l'ordre  $p$  du VAR. La procédure de ce test se résume comme suit :

❖ L'hypothèse nulle et l'hypothèse alternative du test :

On teste :

$$\begin{cases} H_0 : \Phi_{p+1} = 0 : \text{processus VAR}(p) \\ H_1 : \Phi_{p+1} \neq 0 : \text{processus VAR}(p+1) \end{cases}$$

La matrice d'information de Fisher est difficile à calculer, ce qui explique l'utilisation du test du rapport de maximum de vraisemblance. La technique consiste à estimer un modèle contraint et un autre non contraint et à effectuer le rapport de log-vraisemblance.

❖ La log-vraisemblance estimée du modèle contraint :

$$\text{Log}L^c = -\frac{NT}{2} \text{Log} 2\pi - \frac{T}{2} \text{Log} \det \hat{\Sigma}_\varepsilon^c - \frac{1}{2} NT$$

Où  $\hat{\Sigma}_\varepsilon^c$  est l'estimateur de la matrice de variance covariance des résidus du modèle contraint.

❖ La log-vraisemblance estimée du modèle non contraint :

$$\text{Log}L^{nc} = -\frac{NT}{2} \text{Log} 2\pi - \frac{T}{2} \text{Log} \det \hat{\Sigma}_\varepsilon^{nc} - \frac{1}{2} NT$$

Où  $\hat{\Sigma}_\varepsilon^{nc}$  est l'estimateur de la matrice de variance covariance des résidus du modèle non contraint.

❖ La statistique du test :

Sous  $H_0$  :

$$\xi = T \log \left( \frac{\det \hat{\Sigma}_\varepsilon^c}{\det \hat{\Sigma}_\varepsilon^{nc}} \right) \square \chi^2 (r)$$

Où r désigne le nombre de contraintes.

❖ La règle de décision du test :

- Si l'on accepte l'hypothèse nulle, on peut effectuer un deuxième test :

$$\begin{cases} H_0 : \Phi_p = 0 : \text{processus VAR}(p-1) \\ H_1 : \Phi_p \neq 0 : \text{processus VAR}(p) \end{cases}$$

Ce test s'effectue de la même façon que ci-dessus. On a ainsi, une séquence de tests emboîtés dont le but est de déterminer l'ordre  $p$  du processus VAR.

Après l'estimation du modèle VAR (les  $\hat{\Phi}_i$  et  $\hat{\Sigma}_\varepsilon$  ont été estimés) et le choix de l'ordre  $p$  du modèle on s'intéresse maintenant à la prévision de ce modèle.

## V- Prévision du processus VAR :

On considère un processus VAR( $p$ ) estimé (centré) :

$$X_t = \hat{\Phi}_1 X_{t-1} + \dots + \hat{\Phi}_p X_{t-p} + \varepsilon_t$$

Pour réaliser des prévisions il faut tout d'abord vérifier que le processus VAR est stationnaire (les racines de  $\det \Phi(L) = 0$  sont bien à l'extérieur du cercle unitaire). Si tel est le cas, alors la prévision de  $X_t$  à l'horizon  $h$  à  $T$  est :

$$\hat{X}_T(h) = \hat{X}_{T+h} = E(X_{T+h} / X_T)$$

Avec  $X_T$  désigne le passé de  $X$  jusqu'à la date  $T$  incluse.

Soit encore :

$$\hat{X}_T(h) = E(X_{T+h} / X_T, X_{T-1}, \dots, X_1)$$

Pour  $h = 1$

$$\begin{aligned} \hat{X}_{T+1} &= E(X_{T+1} / X_T) \\ &= \hat{\Phi}_1 X_T + \dots + \hat{\Phi}_1 X_{T-p+1} \end{aligned}$$

L'erreur de prévision s'écrit :

$$\begin{aligned} X_{T+h} - \hat{X}_{T+h} &= X_{T+h} - E(X_{T+h} / X_T) \\ &= X_{T+h} - E(X_{T+h} / \varepsilon_T, \varepsilon_{T-1}, \dots, \varepsilon_1) \end{aligned}$$

Pour calculer cette erreur de façon plus facile on utilise la représentation VMA ( $\infty$ ) d'un processus VAR c'est à dire on a :

$$X_t = \sum_{j=0}^{\infty} \theta_j \varepsilon_{t-j} = \theta(L)\varepsilon_t$$

Donc l'erreur de prévision s'écrit :

$$\begin{aligned} X_{T+h} - \hat{X}_{T+h} &= X_{T+h} - E(X_{T+h} / \varepsilon_T, \varepsilon_{T-1}, \dots, \varepsilon_1) \\ &= \sum_{j=0}^{h-1} \theta_j \varepsilon_{T+h-j} \end{aligned}$$

Cette erreur de prévision a une espérance nulle et la matrice de variance-covariance de cette erreur est donc :

$$\begin{aligned} E[(X_{T+h} - \hat{X}_{T+h})(X_{T+h} - \hat{X}_{T+h})' / X_T, X_{T-1}, \dots, X_1] &= E[(\varepsilon_{T+h} + \theta_1 \varepsilon_{T+h-1} + \dots + \theta_{h-1} \varepsilon_{T+1}) \times (\varepsilon_{T+h} + \theta_1 \varepsilon_{T+h-1} + \dots + \theta_{h-1} \varepsilon_{T+1})'] \\ &= \Sigma + \sum_{i=1}^{h-1} \theta_i \Sigma(\theta_i)' \end{aligned}$$

Avec  $\Sigma$  est la matrice variance-covariance des résidus.

Après présentation et estimation du processus VAR une des questions que l'on peut se poser est de savoir s'il existe une relation de causalité entre les différentes variables du système.

## VI- Causalité

La recherche du sens de causalité entre les variables est aussi importante que la mise en évidence d'une liaison entre eux. Il existe plusieurs définitions de la causalité, nous nous limiterons à l'exposer une parmi eux qui est : la causalité au sens de Granger (1969).

### VI-1- Définition de la causalité :

La question est de savoir si la variable  $X$  cause ou non la variable  $Y$ .

On dit que la variable  $Y$  cause au sens de Granger la variable  $X$  si et seulement si la connaissance du passé de  $Y$  améliore la prévision de  $X$  à tout horizon. Autrement :

❖  $Y$  cause  $X$  à la date  $t$  si et seulement si :

$$E(X_t / X_{t-1}, Y_{t-1}) \neq E(X_t / X_{t-1})$$

Avec :

- $X_{t-1} = \{X_{t-1}, X_{t-2}, \dots\} = \{X_{t-i}, i \geq 1\}$ ,
- $Y_{t-1} = \{Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots\} = \{Y_{t-i}, i \geq 1\}$ ,

❖  $Y$  cause  $X$  instantanément à la date  $t$  si et seulement si :

$$E(X_t / X_{t-1}, Y_t) \neq E(X_t / X_{t-1}, Y_{t-1})$$

Avec :

$$Y_t = \{Y_t, Y_{t-1}, \dots\} = \{Y_{t-i}, i \geq 0\}$$

Il résulte des propriétés de la régression linéaire théorique qu'une prévision d'une variable fondée sur plus d'information est nécessairement meilleure. Ainsi on a toujours :

$$V_\varepsilon(X_t / X_{t-1}, Y_{t-1}) \leq V_\varepsilon(X_t / X_{t-1})$$

Avec  $V_\varepsilon$  désigne la matrice de variance covariance de l'erreur de prévision.

Donc on peut présenter la condition de non causalité. En effet :

$Y$  ne cause pas  $X$  à la date  $t$  si :

$$V_\varepsilon(X_t / X_{t-1}, Y_{t-1}) = V_\varepsilon(X_t / X_{t-1})$$

## VI-2 Mesures de la causalité :

On peut définir des mesures de causalité :

❖ *Mesure de causalité de  $Y$  vers  $X$  :*

$$C_{Y \rightarrow X} = \text{Log} \left[ \frac{\det V_\varepsilon(X_t / X_{t-1})}{\det V_\varepsilon(X_t / X_{t-1}, Y_{t-1})} \right]$$

Si  $Y$  ne cause pas  $X$  alors  $C_{Y \rightarrow X} = 0$  sinon  $C_{Y \rightarrow X} > 0$ .

❖ *Mesure de causalité instantanée de  $Y$  vers  $X$  :*

$$C_{Y \rightarrow X} = \text{Log} \left[ \frac{\det V_\varepsilon(X_t / X_{t-1}, Y_{t-1})}{\det V_\varepsilon(X_t / X_{t-1}, Y_t)} \right]$$

### VI-3 Test de non causalité :

On peut tester l'hypothèse nulle de non causalité au moyen de la statistique du ratio du maximum de vraisemblance :

On teste  $H_0 : X_t$  ne cause pas  $Y_t$

$$\begin{aligned} L^* &= (N - C)C_{Y \rightarrow X} \\ &= (N - C) \left[ \text{Log} \det V_\varepsilon(X_t / X_{t-1}) - \text{Log} \det V_\varepsilon(X_t / X_{t-1}, Y_{t-1}) \right] \\ &= (N - C) \left[ \text{Log} \det \Sigma_{RVAR} - \text{Log} \det \Sigma_{UVAR} \right] \end{aligned}$$

Avec :

- $L^* \square \chi^2(2p)$
- $N$  : nombre d'observations.
- $C$  : nombre des paramètres dans chaque équation du modèle.
- $\Sigma_{RVAR}$  : matrice variance-covariance des résidus du modèle contraint.
- $\Sigma_{UVAR}$  : matrice de variance-covariance des résidus du modèle non contraint.

❖ *La règle de décision :*

- Si  $L^* \geq \chi^2$  lu dans la table, on rejette l'hypothèse nulle d'absence de causalité.

- Si  $L^* \leq \chi^2$ , on accepte l'hypothèse nulle en faveur de l'hypothèse alternative de présence de causalité.

Dans le cas d'un modèle VAR ( $p$ ) à 2 variables  $X_t$  et  $Y_t$  on a :

$$\begin{pmatrix} Y_t \\ X_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_0 \\ b_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_1^1 & b_1^1 \\ a_1^2 & b_1^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_{t-1} \\ X_{t-1} \end{pmatrix} + \dots + \begin{pmatrix} a_p^1 & b_p^1 \\ a_p^2 & b_p^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_{t-p} \\ X_{t-p} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \end{pmatrix}$$

Pour tester l'absence de causalité de  $X_t$  vers  $Y_t$ , on effectue un test de restriction sur les coefficients des variables  $X_t$  de la représentation VAR :

$X_t$  Ne cause pas  $Y_t$  si on accepte l'hypothèse nulle  $H_0 : b_1^1 = b_2^1 = \dots = b_p^1 = 0$ .

$Y_t$  Ne cause pas  $X_t$  si on accepte l'hypothèse nulle  $H_0 : a_1^2 = a_2^2 = \dots = a_p^2 = 0$ .

Ces tests peuvent être conduits à l'aide d'un test de Fisher classique de nullité des coefficients équation par équation ou directement en utilisant le ratio de vraisemblance défini précédemment.

## VII- Les outils d'analyse du modèle VAR :

Les modèles VAR ont comme but d'étudier l'impact des chocs exogènes sur un modèle à travers l'analyse du multiplicateur dynamique et la décomposition de la variance.

### VII-1 Analyse du multiplicateur dynamique :

Puisque les coefficients individuels dans les modèles VAR estimés sont souvent difficiles à interpréter, les praticiens de cette technique estiment souvent la fonction de réponse impulsionnelle. Cette fonction expose la réponse de la variable dépendante d'un système.

L'analyse du multiplicateur dynamique, appelée aussi analyse des fonctions de réponse aux impulsions, est un instrument privilégié pour interpréter les interrelations

entre les variables dans un modèle dynamique. Elle permet, en effet, de retracer la réaction dynamique des variables (PIB, inflation,...) suite à un choc exogène, ou innovation, sur une variable (dépenses du gouvernement, offre de monnaie,...). Sims (1980), propose d'utiliser ce type d'analyse afin d'examiner aussi bien l'effet que la datation d'un choc sur une variable importante de point de vue politique économique.

Le point de départ de cette analyse est la représentation VMA ( $\infty$ ) et le VAR structurel. Le suivant point de cette analyse est l'orthogonalisation des chocs de manière à pouvoir interpréter économiquement les chocs transformés.

### VII-2 Représentation VMA ( $\infty$ ) d'un processus VAR :

Tout comme dans le cas univarié, sous *la condition de stationnarité*, il est possible d'appliquer le théorème de Wold et de représenter  $X_t$  sous la forme d'un processus vectoriel moyenne mobile infini VMA ( $\infty$ ).

L'utilité de cette représentation est vue dès lors qu'on parle d'analyse impulsionnelle.

En effet, considérons la représentation VAR( $p$ ) stationnaire :

$$X_t = \Phi_0 + \Phi_1 X_{t-1} + \dots + \Phi_p X_{t-p} + \varepsilon_t$$

Soit encore :

$$X_t = \Phi_0 + \sum_{i=1}^p \Phi_i X_{t-i} + \varepsilon_t$$

Dans ce cas, selon le théorème de Wold ce processus peut être écrit sous la forme d'un processus VMA infini :

$$X_t = \mu + \sum_{j=0}^{\infty} \theta_j \varepsilon_{t-j} = \mu + \theta(L)\varepsilon_t$$

Avec :

- $\mu = E(X_t) = I - \phi_1 - \phi_2 - \dots - \phi_p,$

- $\theta(L) = \sum_{j=0}^{\infty} \theta_j L^j,$
- $\theta_0 = I,$
- $\theta_j = \sum_{i=1}^{\min(p,j)} \hat{\phi}_i \theta_{j-i}, \quad j=1,2,\dots$

Ainsi, au sien de cette représentation  $\varepsilon_t$  représente le vecteur des innovations canoniques du processus.

Les innovations canoniques représentent la plus petite partie non prévisible de chacune des variables composant le système VAR. Ces innovations peuvent être interprétées comme des chocs dont la propagation est caractérisée par la dynamique.

Sous cette forme la matrice  $\theta_i$  apparaît comme « *un multiplicateur d'impact* ». C'est au travers de ces matrices qu'un choc se répercute tout le long du processus.

On caractérise les réponses des différentes séries  $X_{it}$  ( $i=1,\dots,N$ ) aux différentes innovations  $\varepsilon_{js}$  ( $s \leq t$ ) à partir des multiplicateurs dynamiques ou les réactions aux impulsions. La variable :

$$\theta_{ij,t-s} = \frac{\partial X_{it}}{\partial \varepsilon_{js}}$$

représente l'effet du choc  $j$  sur la variable  $i$ ,  $t-s$  périodes après le choc.

Ainsi, lors de l'interprétation des chocs un problème marque sa présence ; c'est la présence d'effets immédiats entre les variables du système qui se traduit par des corrélations instantanées au niveau des innovations  $\varepsilon_{it}$  des différentes équations. En d'autres termes, un choc sur l'innovation d'une variable se traduit instantanément par des chocs sur les innovations des autres variables.

L'approche des modèles VAR structurels répond à cette critique en permettant d'identifier les chocs interprétables économiquement.

### VII-3 Représentation VAR structurel :

Une autre représentation utile dérivée du VAR est le processus VAR structurel.

Soit  $\omega_t$  le vecteur des chocs structurels. Cette représentation se déduit de la représentation générale d'un VAR sous la *condition de stationnarité* de ce processus tout en supposant que le vecteur des innovations  $\varepsilon_t$  est une combinaison linéaire des innovations structurelles  $\omega_t$  de la même date :

$$\varepsilon_t = P\omega_t \text{ avec } P \text{ est la matrice de passage inversible de dimension } N \times N.$$

• Les étapes permettant d'avoir le VAR structurel :

➤ soit la représentation canonique<sup>69</sup> du VAR(p) suivante :

$$X_t = \sum_{i=1}^p \Phi_i X_{t-i} + \varepsilon_t$$

➤ On pré multiplie les 2 membres par la matrice  $\hat{P}^{-1}$  :

$$\hat{P}^{-1}X_t = \hat{P}^{-1} \sum_{i=1}^p \Phi_i X_{t-i} + \hat{P}^{-1}\varepsilon_t$$

➤ On ajoute aux 2 membres  $X_t$  :

$$\Leftrightarrow X_t + \hat{P}^{-1}X_t = \hat{P}^{-1} \sum_{i=1}^p \Phi_i X_{t-i} + \hat{P}^{-1}\varepsilon_t + X_t$$

$$\Leftrightarrow X_t = X_t - \hat{P}^{-1}X_t + \hat{P}^{-1} \sum_{i=1}^p \Phi_i X_{t-i} + \hat{P}^{-1}\varepsilon_t$$

$$\Leftrightarrow X_t = (I - \hat{P}^{-1})X_t + \sum_{i=1}^p \hat{P}^{-1}\Phi_i X_{t-i} + \hat{P}^{-1}\varepsilon_t$$

➤ On aura donc le VAR structurel suivant :

$$X_t = \psi_0 X_t + \sum_{i=1}^p \psi_i X_{t-i} + \omega_t$$

$$\Leftrightarrow X_t = \sum_{i=0}^p \psi_i X_{t-i} + \omega_t$$

---

<sup>69</sup>C'est la représentation générale d'un VAR sous la condition de stationnarité

Avec :

- $\hat{P}$  est un estimateur de P,
- $\omega_t = \hat{P}^{-1} \varepsilon_t$ ,
- $\psi_i = \hat{P}^{-1} \Phi_i$  pour  $1 \leq i \leq p$ ,
- $\psi_0 = (I - \hat{P}^{-1})$ ,

On constate que l'estimation VAR structurel est acquise dès que la matrice P a été estimée. De même dès que P est estimée, l'identification des chocs est réalisée puisqu'il est possible de passer des chocs estimés aux chocs structurels par :

$$\hat{\omega}_t = \hat{P}^{-1} \hat{\varepsilon}_t$$

Cette transformation permet d'orthogonaliser les innovations corrélées. La signification originelle des modèles structurels peut être retrouvée dans Hurwicz (1962), où un modèle structurel est défini comme un modèle qui permet de prévoir les effets des interventions, nous permettant d'évaluer si et comment de telles interventions affectent certains éléments du modèle (paramètres, équations, variables, etc.). Dans ce sens les décompositions présentées dans la littérature moderne tendent à rapprocher les modèles VAR structurels à la définition proposée par Hurwicz.

#### VII-4 Orthogonalisation des chocs :

En général, on choisit  $P$  telle que :

$$P^{-1}V(\omega_t)P^{-1} = I, \text{ où } I \text{ est la matrice identité}$$

Alors, les nouvelles innovations estimées  $\omega_t = P^{-1} \varepsilon_t$  sont orthogonales et non corrélées aussi bien dans le temps qu'entre les équations :

- $E(\omega_t) = 0$
- $V(\omega_t) = E(\omega_t' \omega_t) = I$

La matrice de passage  $P$  comprend  $N^2$  paramètres inconnus. En général, pour faciliter l'identification de ces paramètres on suppose que :  $V(\omega_t) = I$

Ceci signifie que les différents chocs structurels à une même date ne sont pas corrélés entre eux et ont une variance unitaire.

Soit  $\Sigma_\varepsilon$  la matrice de variance covariance des innovations canoniques  $\varepsilon_t$ . On a alors :

$$\begin{aligned} V(\varepsilon_t) &= V(P\omega_t) \\ &= PV(\omega_t)P' \\ &= PIP' \\ &= PP' \\ &= \Sigma_\varepsilon \end{aligned}$$

Puisque la matrice  $\Sigma_\varepsilon$  est symétrique, on impose avec l'hypothèse  $V(\omega_t) = I$  seulement

$\frac{N(N+1)}{2}$  contraintes sur les éléments de la matrice  $P$ .

Ainsi, il existe plusieurs méthodes pour imposer les  $\frac{N(N-1)}{2}$  contraintes identifiantes permettant d'identifier les chocs comme la décomposition de Cholesky et la décomposition de Blanchard et Quah.

#### ❖ La décomposition de Cholesky :

Cette méthode est préconisée par Sims (1980). Pour imposer les  $\frac{N(N-1)}{2}$  contraintes identifiantes Sims a proposé d'utiliser comme matrice de passage  $P$  la décomposition de Cholesky de la matrice de variance covariance des innovations canoniques  $\Sigma_\varepsilon$ .

$\Rightarrow$  La décomposition de Cholesky fournit l'unique matrice triangulaire inférieure  $P$  tels que  $PP' = \Sigma_\varepsilon$ .

Donc est  $P$  une matrice triangulaire inférieure dont les termes diagonaux sont ceux de  $\Sigma_\varepsilon^{1/2}$ .

On estime  $\frac{N(N+1)}{2}$  contraintes d'identification (d'orthogonalisation). Il reste  $\frac{N(N-1)}{2}$

contraintes identifiantes structurelles.

La matrice  $P$  correspondant à la décomposition de Cholesky est définie de manière unique pour un ordre donné des composantes du VAR.

considérons par exemple un VAR (2) :

$$X_t = (X_{1t}, X_{2t})$$

➤ En représentation canonique, ce processus s'écrit :

$$\begin{pmatrix} \phi_{11}(L) & \phi_{12}(L) \\ \phi_{21}(L) & \phi_{22}(L) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{1t} \\ X_{2t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \end{pmatrix}$$

➤ La représentation VAR structurelle :

$P$  est la matrice de passage issue de la décomposition de Cholesky de  $\Sigma_\varepsilon$  et tel que  $\varepsilon_t = P\omega_t$  on a donc :

$$\underbrace{\begin{pmatrix} \phi_{11}(L) & \phi_{12}(L) \\ \phi_{21}(L) & \phi_{22}(L) \end{pmatrix}}_{\varepsilon_t} \begin{pmatrix} X_{1t} \\ X_{2t} \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} P_{11} & 0 \\ P_{21} & P_{22} \end{pmatrix}}_P \underbrace{\begin{pmatrix} \omega_{1t} \\ \omega_{2t} \end{pmatrix}}_{\omega_t}$$

La seconde innovation structurelle  $\omega_{2t}$  n'a aucun impact courant sur la première ( $\omega_{1t} = 0$ ) . Ce choix se justifie par le fait que les séries sont influencées par un nombre croissant de variables de plus en plus « endogènes ». Donc cette méthode ne requiert comme à priori que le choix de l'ordre des séries qui doivent être rangées de la plus exogène à la plus endogène.

Ainsi, l'inconvénient de cette méthode est qu'on ne peut pas déduire d'interprétation économique des impulsions obtenues puisque l'ordre établi des variables n'est justifié que par des méthodes purement statistiques.

La décomposition de Blanchard et Quah répond à cette critique en permettant d'identifier les chocs interprétables économiquement, puisque la matrice  $P$  d'orthogonalisation est choisie de manière à pouvoir interpréter économiquement les chocs transformés.

#### ❖ La décomposition de Blanchard et Quah :

D'un point de vue purement technique, la décomposition Blanchard et Quah (1989) est un cas spécial de modèle VAR structurel bien qu'elle propose une approche complètement différente dans l'interprétation des VAR structurels. Ainsi, si la majorité des décompositions proposées a comme but d'étudier l'impact des chocs exogènes sur un modèle à travers l'analyse impulsionnelle et la décomposition de la variance, la décomposition de Blanchard Quah se propose plutôt de fournir une décomposition historique entre composante permanente et transitoire du modèle.

- Blanchard et Quah font les hypothèses suivantes :

Dans un modèle VAR structurel incluant une variable d'activité économique (comme le PIB) et une ou plusieurs variables mesurant différents aspects macroéconomiques tels que le marché du travail, la dynamique des prix, etc.

On peut identifier deux grandes catégories de chocs :

- La première catégorie n'a pas d'effet de long terme ni sur la variable d'activité économique ni sur les autres variables du système. Donc il s'agit d'un effet transitoire
- La seconde peut avoir des effets de long terme sur la variable d'activité économique mais pas sur les autres variables du système. Donc, il s'agit des effets permanents.

Ces deux catégories de choc, dénommées respectivement choc de demande et choc d'offre sont non corrélées à tous retards aussi bien positifs que négatifs. Ces restrictions en effet définissent les deux catégories de choc.

Nous dérivons le processus conjoint suivi par les séries impliquées dans les hypothèses de Blanchard et Quah. Nous nous référons ici pour simplifier et pour être complètement cohérents avec les applications présentées par la suite à un modèle simple et bivarié où  $X_1$  représente notre variable d'activité économique et  $X_2$  l'autre variable utilisée pour nous guider dans *la décomposition entre effet permanent et transitoire*. Nous assumons que, si nécessaire, aussi bien  $X_1$  que  $X_2$  ont été rendues stationnaires, en moyenne et en variance, grâce à l'application de transformations appropriées.

Soient maintenant  $\varepsilon_d$  et  $\varepsilon_s$  respectivement la série des chocs de demande et d'offre.

Définissons les vecteurs :

- $X = (X_1, X_2)'$
- $\varepsilon = (\varepsilon_d, \varepsilon_s)'$

Les hypothèses précédentes impliquent que  $X$  suit un processus stationnaire décrit par l'équation :

$$X_t = \sum_{j=0}^{\infty} A_j \varepsilon_{t-j} \quad *^{70}$$

Avec :

- $E(\varepsilon \varepsilon') = I,$
- $\sum_{j=0}^{\infty} a_{11,j} = 0,$

Ce qui montre que les chocs de demande n'ont pas d'effet sur le niveau de l'activité économique.

Maintenant nous montrons brièvement comment récupérer cette représentation à partir des données. Vu que  $X$  est stationnaire, elle admet, selon le théorème de Wold, une représentation moyenne mobile infinie, à savoir:

- $X_t = v_t + C_1 v_{t-1} + \dots = \sum_{j=0}^{\infty} C_j v_{t-j}, **$
- $E(vv') = \Sigma,$

En comparant l'équation \*\* à la\*, nous observons que le vecteur des innovations et le vecteur des chocs originaux sont liés par :

- $v = A_0 \varepsilon,$
- $A_j = C_j A_0 \quad \forall j,$

Ces connaissances de  $A_0$  permettent d'obtenir  $\varepsilon$  de  $v$  et  $A_j$  de  $C_j$ .

---

<sup>70</sup> Représentation VMA ( $\infty$ ).

En résumant, la procédure suggérée par Blanchard et Quah consistant à estimer une représentation vectorielle autorégressive pour  $X$  et à la transformer par inversion en une représentation moyenne mobile infinie comme la\*\*. Ensuite nous construisons la matrice  $A(0)$  et grâce à elle nous obtenons  $A_j = C_j A_0$  ce qui nous permet de passer de la \*\* à la\*. Cette représentation explique les variables du vecteur  $X$  par une combinaison de chocs, courants et passés, de demande et d'offre.

Une fois les estimations obtenues, on peut construire les composantes de la demande de  $X_1$  et  $X_2$  grâce à une décomposition historique de la variance. Ces composantes représentent le chemin temporel de  $X_1$  et  $X_2$  qui serait obtenu en l'absence de choc d'offre. De manière similaire, en remettant à 0 les chocs temporaires (chocs de demande), on peut dériver la série temporelle de composante d'offre aussi bien d'  $X_1$  que d'  $X_2$  .

## VII-5 Décomposition de la variance :

L'analyse de la décomposition de la variance de l'erreur de prévision est un autre moyen susceptible de nous renseigner sur le comportement dynamique des variables dans un système VAR. Elle consiste à mesurer, pour un horizon de prévision donné, la contribution de chaque innovation structurelle dans la variance de l'erreur de prévision de la variable en question.

On considère le processus  $\{X_t, t \in \mathbb{Z}\}$  satisfaisant la représentation VAR(p) suivante :

$$\Phi(L)X_t = c + \varepsilon_t$$

On suppose que les innovations  $\varepsilon_t$  sont *iid*  $(0, \Omega)$  . Ce processus est stationnaire et peut être représenté sous la forme d'un VMA ( $\infty$ ) :

$$X_t = \sum_{j=0}^{\infty} \theta_j \varepsilon_{t-j} = \theta(L)\varepsilon_t \text{ avec } \theta_0 = I,$$

➤ L'erreur de prévision à l'horizon  $h$  s'écrit :

$$\begin{aligned}
X_{t+h} - \hat{X}_{T+h} &= X_{t+h} - E(X_{t+h} / X_T, X_{T-1}, \dots, X_1) \\
&= X_{t+h} - E(X_{t+h} / \varepsilon_T, \varepsilon_{T-1}, \dots, \varepsilon_1) \\
&= \sum_{j=0}^{h-1} \theta_j \varepsilon_{T+h-1}
\end{aligned}$$

Cette erreur de prévision a une espérance nulle.

La matrice de variance covariance de l'erreur de prévision est :

$$E\left[(X_{t+h} - \hat{X}_{T+h})(X_{t+h} - \hat{X}_{T+h})'\right] = \Sigma + \sum_{j=1}^{h-1} \theta_j \Sigma(\theta_j)'$$

Cette erreur de prévision est donc exprimée en fonction de la matrice de variance covariance  $\Sigma$  non diagonale des résidus  $\varepsilon_t$ .

Pour obtenir une décomposition de la variance du vecteur  $X_t = (x_{1t}, \dots, x_{nt})'$  il suffit de réexprimer cette matrice de variance covariance sous la forme d'une combinaison linéaire des variances des innovations orthogonales  $\omega_t$  :

$$\omega_t = P^{-1} \varepsilon_t \Leftrightarrow \varepsilon_t = P \omega_t$$

Avec  $P$  est la matrice issue de l'orthogonalisation de  $\Sigma$ .

On suppose que  $\forall t \in \square$  :

$$\varepsilon_t = \begin{pmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \\ \vdots \\ \varepsilon_{nt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_1 & p_2 & \dots & p_n \\ (n,1) & (n,1) & \dots & (n,1) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_{1t} \\ \omega_{2t} \\ \vdots \\ \omega_{nt} \end{pmatrix}$$

Avec  $p_i$  désigne la  $i$ ème colonne de la matrice  $P$ . Donc on a :

$$\Sigma = E(\varepsilon_t \varepsilon_t') = p_1 p_1' V(\omega_{1t}) + p_2 p_2' V(\omega_{2t}) + \dots + p_n p_n' V(\omega_{nt})$$

En substituant cette expression dans la variance de la prévision pour un horizon  $h$  donné permet de réexprimer cette variance en fonction de la variance des innovations orthogonales :

$$\begin{aligned}
E\left[(X_{t+h} - \hat{X}_{T+h})(X_{t+h} - \hat{X}_{T+h})'\right] &= \Sigma + \sum_{j=1}^{h-1} \theta_j \Sigma (\theta_j)' \\
&= \sum_{i=1}^n \left\{ V(\omega_{it}) \sum_{j=1}^{h-1} \theta_j [p_j p_j'] \theta_j' \right\}
\end{aligned}$$

A partir de cette formule on est en mesure de calculer la contribution d'une innovation pure<sup>71</sup>  $\omega_{it}$  à la variance totale de la prévision à un horizon h :

$$V(\omega_{it}) = [p_i p_i' + \theta_1 [p_i p_i'] (\theta_1)' + \dots + \theta_{h-1} [p_i p_i'] (\theta_{h-1})']$$

L'étude des modèles VAR et leur estimation peuvent être attachées à l'existence des séries brutes non stationnaires ce qui fait appel à la technique d'intégration et la théorie de cointégration et ensuite à la déduction des modèles à correction d'erreur (ECM). Ceux-ci représentent les différentes sections du prochain chapitre.

---

<sup>71</sup> C'est-à-dire orthogonale.