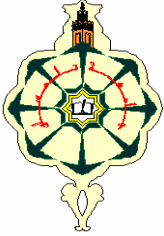


Université Abou Bekr Belkaid
Tlemcen Algérie

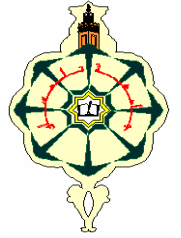


جامعة أبي بكر بلقايد

تلمسان الجزائر



MINISTÈRE DES ETUDES SUPERIEURES
ET DES RECHERCHES SCIENTIFIQUES



UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID-TLEMEN
FACULTE DES SCIENCES ECONOMIQUES,
DE GESTION ET DES SCIENCES COMMERCIALES

Thèse de Doctorat

En Sciences Economiques

Economie de la Firme et des Marchés « Economie Quantitative »

Sous le thème

« Modélisation Dynamique de la Trajectoire Energétique : Analyse de la relation causale par le Recours à la Cointégration en Données de Panel »

Présentée par :

M^r. GUELLIL Mohammed Seghir

Soutenu le 16/01/2016 devant le Jury composé de :

BENBOUZIANE Mohamed	Professeur	U. Tlemcen	Président
BELMOKADDEM Mostéfa	Professeur	U. Tlemcen	Directeur de Thèse
BETTAHAR Samir	Professeur	U. Tlemcen	Examineur
SOUAR Youcef	Professeur	U. Saida	Examineur
MOKHTARI Fayçal	Maitre de conférences A	U. Mascara	Examineur
François BENHMAD	Maitre de conférences	U. Montpellier	Examineur

Année universitaire : 2015/2016

« تعلموا العلم وعلموه الناس، وتعلموا الوقار والسكينة، وتواضعوا لمن تعلمتم منه
ولمن علمتموه، ولا تكونوا جبارة العلماء فلا يقوم جلالكم بعلمكم. »

- عمر ابن الخطاب -

Remerciements

« Grâce à Allah vers lequel sont toutes les louanges, ce travail s'est accompli. »

Au terme de cette thèse, je souhaite tout d'abord remercier vivement Monsieur le Professeur BELMOKADDEM Mostefa mon directeur de thèse qui a accepté de m'encadrer dans ce travail de recherche. Il a su à sa manière me faire bénéficier de ses précieux conseils et de ses grandes connaissances.

Je n'oublierais jamais de transmettre mes remerciements à Monsieur François BENHMAD maître de conférences à l'université de Montpellier, de m'avoir aidé dans ce travail de thèse ; je lui exprime ici mes sentiments les plus sincères.

Par ailleurs, j'exprime ma gratitude à Monsieur BENBOUZIANE Mohamed d'avoir accepté de présider ma soutenance de thèse, sans oublier les membres de jury, messieurs ; BETTAHAR Samir professeur à l'université de Tlemcen, SOUAR Youcef professeur à l'université de Saida, MOKHTARI Fayçal maître de conférences A à l'université de Mascara et François BENHMAD maître de conférences à l'université de Montpellier pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Je tiens aussi à exprimer ma reconnaissance à BELMOKADDEM Mostéfa, GHOUALI Yassine Zakarya et Sahraoui Mohammed Abbes pour avoir accepté de collaborer dans la rédaction de mes articles.

Je souhaite également remercier tous les enseignants, les membres du laboratoire et le personnel administratif de la faculté des sciences économiques, Commerciales et des sciences de gestion qui ont su par leurs efficacités résoudre les petits tracas quotidiens.

Ces remerciements ne pourraient être complets sans témoigner ma reconnaissance à mes proches et mes amis qui m'ont supporté (et ont su me supporter) et avec qui j'ai partagé de très bons moments. Tout au long de mon parcours, le soutien de ma famille m'a été précieux. Merci en particulier à mes parents, à ma femme, à mes frères et mes sœurs ainsi qu'à mes beaux frères et mes belles sœurs, pour leur motivation, et surtout leur confiance en moi, qui permet de balayer certains moments de doute.

Enfin, je ne peux clore ces remerciements sans penser à la patience dont ont ma fait preuve mes amis mais à vrai dire mes frères Samir et Zaki, pour m'accompagner dans le processus de rédaction de cette thèse... Les mots me manquent pour vous exprimer toute ma gratitude.

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...
Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour,
Le respect, la reconnaissance...
Aussi, c'est tout simplement que*



Je dédie cette

Thèse... 

Ma mère,

Mon père,

Ma femme,

Mes Frères et Mes Sœurs,

Tous les autres membres de ma famille.

Sommaire

Introduction générale 1

Chapitre I : L'Énergie : «Economie, Politique et Aspects Environnementales».

I. Introduction.....5

II. Contexte5

II.1 Qu'est-ce que l'énergie ?5

II.1.1 L'énergie est plus ou moins élevée.....6

II.1.2 L'énergie se transforme6

II.1.3 L'énergie se conserve6

II.1.4 L'énergie se mesure6

II.1.5 La puissance7

II.2 Les diverses formes d'énergie7

II.2.1 Énergie cinétique7

II.2.2 Énergie de gravitation7

II.2.3 Énergie élastique7

II.2.4 Travail8

II.2.5 Énergie calorifique.....8

II.2.6 Énergie électrique.....8

II.2.7 Énergie radiative.....8

II.2.8 Énergie chimique8

II.2.9 Énergie nucléaire.....9

II.3 La sécurité énergétique.....9

II.3.1 Le concept 'Sécurité Énergétique'9

II.3.2 La sécurité énergétique : entre évocation et conceptualisation..... 10

III. Economie de l'énergie	11
III.1 La demande d'énergie	11
III.1.1 La consommation d'énergie.....	11
III.2 L'offre et ses déterminants	14
III.2.1 Les déterminants potentiels de l'offre / la production énergétique	14
III.3 Bilans énergétiques	19
III.4 Indicateurs énergétiques à dimension macroéconomique	19
III.4.1 Intensité de l'énergie primaire	19
III.4.2 Intensité de l'énergie finale.....	20
III.4.3 Ratio de la consommation d'énergie finale en énergie primaire.....	20
III.4.4 Part de la facture énergétique dans le PIB.....	20
III.4.5 Facteur moyen des émissions de CO2.....	20
III.4.6 Taux de dépendance énergétique.....	20
III.5 L'ENERGIE DANS LA FONCTION DE PRODUCTION : « L'analyse des substitutions Energie-Capital-Travail »	21
III.6 Les modèles de prévision utilisée dans le secteur d'énergie.....	22
III.6.1 Les modèles «Top down».....	22
III.6.2 Les Modèles «Bottom up».....	23
III.6.3 Les Modèles «Hybrides».....	24
IV. Politique Énergétique	
IV.1 Les axes de politiques.....	25
IV.1.1 Prix de l'énergie.....	26
IV.1.2 sécurité de l'approvisionnement.....	26
IV.1.3 Efficacité énergétique : quoi, pourquoi, comment?.....	28
IV.2 Initiative Diplomatique : Le Protocole de Kyoto (1997).....	30
IV.2.1 Définition et catégories.....	30
IV.2.2 Enjeux par rapport à l'énergie.....	30
IV.2.3 Acteurs majeurs.....	31
IV.2.4 Unités de mesure et chiffres clés.....	31
IV.2.5 Passé et présent.....	31
IV.2.6 Futur.....	32
IV.3 Faire face à la dépendance énergétique est une nécessité grandissante : Prise de conscience de la dépendance énergétique.....	33
IV.4 Transition énergétique:« Avenir à Bâtir -Voie à Tracer».....	34
IV.4.1 Transition énergétique : un concept estompé en vertu de la variété des formes d'énergie, des coûts et des prix.....	34

IV.4.2 Des objectifs énergie-climat européens mais des stratégies de transition énergétique nationales.....	35
V. Aspects Environnementales.....	36
V.1 Progrès technologique.....	36
V.1.1 Economie d'énergie.....	36
V.1.2 Capture et stockage du CO2 (CSC).....	37
V.1.3 Le stockage de l'énergie.....	38
V.1.4 Transport de l'énergie.....	39
V.1.5 Le problème de l'hydrogène et la pile à combustible.....	40
V.2 Modélisation du système climatique et de sa réponse à une augmentation de l'effet de serre.....	40
V.2.1 Variation du climat au cours du temps géologique.....	41
V.2.2 Modélisation du climat et projection vers le futur.....	42
V.3 Objectifs, Stratégies et Mesures énergétiques.....	44
VI. Revue De La Littérature.....	44
VI.1 Hypothèse entre consommation d'énergie et-croissance économique.....	44
VI.2 Étude de la littérature sur l'énergie et la croissance.....	45
VI.2.1 Le travail des pionniers.....	45
VI.2.2 Synthèse des travaux récents sur la relation entre l'énergie et le revenu.....	45
VI.2.3 Les études multi-pays sur la consommation d'énergie de croissance.....	45
VI.2.4 Etude de la littérature sur l'énergie et la croissance.....	47
VII. Conclusion.....	48

Chapitre II : L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives».

I. Introduction.....	49
II. Situation mondiale de l'énergie	49
II.1 La carte énergétique mondiale	49
II.1.1 Production mondiale d'énergie primaire	49
II.1.2 Evolution de la demande énergétique mondiale	50
II.2 Consommation d'énergie mondiale	51
II.2.1 Evolution de la consommation dans le monde	53
II.2.2 Répartition de la consommation	54
II.2.3 Scénario d'évolution de la consommation d'énergie	55
II.3 Les combustibles fossiles : où en sommes-nous des réserves	56
II.3.1 Des énergies fossiles amenées à disparaître.....	57

II.3.2 Vers une modification fondamentale des schémas énergétiques mondiaux	57
II.4 Perspectives et enjeux énergétiques mondiaux : un nouveau paradigme	58
II.4.1 Quelles solutions explorer pour faire face à cette situation ?.....	57
II.4.2 Recommandations du conseil mondial de l'énergie	60
III. L'énergie dans différentes zones continentales : situations et perspectives	61
III.1 Situation énergétique dans la zone africaine	61
III.1.1 Situation énergétique : Algérie.....	61
III.1.2 Situation énergétique : Libye.....	63
III.1.3 Situation énergétique : Maroc.....	63
III.1.4 Situation énergétique : Mauritanie.....	64
III.1.5 Situation énergétique : Tunisie.....	65
III.1.6 Situation énergétique : Cote d'ivoire.....	66
III.1.7 Situation énergétique : Gabon.....	66
III.1.8 Situation énergétique : Egypt.....	67
III.2 Situation énergétique dans la zone des Amériques	67
III.2.1 Situation énergétique : Amérique Centrale.....	67
III.2.2 Situation énergétique : Cuba.....	69
III.2.3 Situation énergétique : Canada.....	69
III.2.4 Situation énergétique : TRINIDAD-TABAGO ET BARBADE.....	70
III.3 Situation énergétique dans le continent Asiatique	71
III.3.1 Situation énergétique : Arabie Saoudite.....	71
III.3.2 Situation énergétique : L'Inde.....	71
III.3.3 Situation énergétique : l'Irak.....	72
III.3.4 Situation énergétique : La chine.....	72
III.3.5 Situation énergétique : Situation énergétique : LA MEDITERRANNEE ORIENTALE : « LIBAN, JORDANIE, SYRIE, PALESTINE ».....	73
III.3.6 Situation énergétique : Singapoure.....	73
III.3.3 Situation énergétique : La Russie.....	73
III.4 Situation énergétique dans la zone Européenne.....	74
III.4.1 Situation énergétique : L'Allemagne.....	74
III.4.2 Situation énergétique : La turquie.....	75

III.4.3 Situation énergétique : Pays de l'est.....	75
III.4.4 Situation énergétique : Royaume Unie.....	76
III.4.5 Situation énergétique : Grece.....	76
III.4.6 Situation énergétique : Norvege.....	76
III.4.7 Situation énergétique : Europe Centrale.....	76
III.4.8 Situation énergétique : Péninsule Iberique.....	77
III.5 Situation énergétique dans l'Océanie	77
III.5.1 Situation énergétique : Australie.....	77
IV. Les marchés énergétiques.....	78
IV.1 Les marchés (Régionaux) des énergies de réseaux	78
IV.1.1 Le gaz naturel aux Etats-Unis.....	78
IV.1.2 L'électricité aux Etats-Unis.....	78
IV.1.3 L'électricité en Europe.....	78
IV.1.2 Le gaz naturel en Europe.....	79
IV.2 Les marchés Internationaux.....	79
IV.2.1 Les marchés pétroliers	79
IV.2.2 Les marchés du Gaz.....	80
IV.2.3 Les marchés du Charbon.....	80
IV.2.4 Les marchés de l'uranium.....	80
V. ORIENTATIONS TECHNOLOGIQUES.....	80
VII. Conclusion.....	81

Chapitre III : Économétrie des données de Panel.

I. Introduction.....	83
II. Econométrie des Données de Panel.....	83
II.1 Introduction	83
II.2 Histoire des données de panel selon Nerlove (2000)	84
II.3 Définitions et Terminologies.....	85
II.4 Avantages et inconvénients des données de panel	86
II.4.1 Les avantages de donnés de panel.....	86
II.4.2 les inconvénients des données de panel	88
II.5 Spécifications et tests d'homogénéités	88
II.5.1 Exemple introductif.....	88
II.5.2 La méthode SUR	89
II.5.3 Le modèle linéaire simple	90
II.5.4 Test d'homogénéité globale	92

II.5.5 L'exemple d'une fonction de production	92
II.6 Procédure séquentielle de tests	92
II.7 Homogénéité des données : la décomposition de la variance.....	94
III. Spécification et estimation des modèles à effet individuels.....	96
III.1 Le modèle a effets fixes	96
III.1.1 Spécification du modèle	97
III.1.2 L'approche par le théorème de Frisch –Waugh : estimateur intra-individuelle « estimation within ».....	99
III.1.2.1 Propriétés des estimateurs	101
III.1.3 Panel non cylindrés	101
III.1.4 Le modèle à effets fixes temporelles	102
III.1.5 Le modèle a effets fixes individuels et temporels.....	103
III.1.6 Limites des méthodes à effets fixes	104
III.2 Le modèle a erreurs composées	105
III.2.1 Spécification du modèle	106
III.2.2 L'estimateur des MCG	109
III.2.2.1 Propriétés de l'estimateur des MCG.....	109
III.2.3 L'estimateur des MCQG	110
III.2.4 D'autres estimateurs	111
III.3 Un prolongement des modèles de panel : les modèles à coefficient variables.....	113
III.3.1 Le modèle à coefficient composées	114
III.3.2 Le modèle à coefficients aléatoires	115
III.3.3 Le modèle en première différence	115
III.3.4 Les modèles dynamiques	115
III.3.5 L'estimateur convergent de la méthode des moments généralisé (Arellano et Bond–1991).....	116
III.4 Effets fixes ou effets aléatoire : le test de Hausman	117
III.5 Les régressions de données sur panel : Conclusion et Quelques commentaires finaux.....	118

Chapitre IV : Économétrie des données de Panel non stationnaire.

I. Introduction.....	119
II. Econométrie des données de panel non stationnaire	119
II.1 Introduction	119
II.2 Pourquoi tester la racine unitaire en panel ?.....	120
II.2.1 Quelles sont les différences fondamentales entre les tests de racine unitaire en Panel et en séries temporelles ?.....	120
II.3 Les tests de première génération.....	120

II.4 Les tests de deuxième génération.....	122
III. Tests de racine unitaire en Panel.....	123
III.1 Les tests de non stationnarité	123
III.1.1 Les tests de Levin et Lin (Levin, Lin et Chu 2002)	123
III.1.2 Les tests d’Im, pesaran et shin (IPS)	129
III.1.3 Le test de Maddala et Wu	132
III.2 Tests de deuxième génération	133
III.2.1 le test de choi (2002)	133
III.2.2 Le test de Pesaran (2003)	135
IV. Les tests de cointégration en panel	137
IV.1 Relations de cointégration intra et interindividuelles	137
IV.1.1 Hétérogénéité / homogénéité des relations de cointégration	138
IV.1.2 Dépendance inter-individuelle	138
IV.2 Hypothèse nulle d’absence de cointegration	138
IV.2.1 Les tests de Pedroni	139
IV.3 L’estimation de la relation de long terme	142
IV.4 Panel Granger Causalité	144
V. Conclusion	144

Chapitre V : Cadre Pratique.

I. Introduction.....	146
II. Présentation du modèle.....	146
III. Données et Méthodologie.....	147
III.1 Analyse des Données	147
III.2 Méthodologie.....	148
IV. Résultats empirique	148
IV.1 Afrique.....	148
IV.1.1 Tests de Racine Unitaire	148
IV.1.2 Cointegration.....	150
IV.1.3 Estimation de la relation à long terme avec les méthodes FMOLS et DOLS.....	150
IV.1.4 Panel Granger causalité	152
IV.2 L’amerique.....	153
IV.2.1 Tests de Racine Unitaire	153
IV.2.2 Cointegration.....	154
IV.2.3 Estimation de la relation à long terme avec les méthodes FMOLS et DOLS.....	154
IV.2.4 Panel Granger causalité	156

IV.3 Asie et Oceanie.....	157
IV.3.1 Tests de Racine Unitaire	157
IV.3.2 Cointegration.....	158
IV.3.3 Estimation de la relation à long terme avec les méthodes FMOLS et DOLS.....	158
IV.3.4 Panel Granger causalité	160
IV.4 Eurasie.....	161
IV.4.1 Tests de Racine Unitaire	161
IV.4.2 Cointegration.....	162
IV.4.3 Estimation de la relation à long terme avec les méthodes FMOLS et DOLS.....	162
IV.4.4 Panel Granger causalité	164
IV.5 Europe.....	165
IV.5.1 Tests de Racine Unitaire	165
IV.5.2 Cointegration.....	166
IV.5.3 Estimation de la relation à long terme avec les méthodes FMOLS et DOLS.....	166
IV.5.4 Panel Granger causalité	168
IV.6 Moyen Orient.....	168
IV.6.1 Tests de Racine Unitaire	169
IV.6.2 Cointegration.....	170
IV.6.3 Estimation de la relation à long terme avec les méthodes FMOLS et DOLS.....	170
IV.6.4 Panel Granger causalité	172
V. Conclusion	173
Conclusion générale	175
Liste des Tableaux	179
Liste des Figures	181
Bibliographie	182
Liste des Publications	188

Introduction Générale

Le développement économique moderne tel que nous le connaissons aujourd'hui, issu du processus d'industrialisation des deux derniers siècles, se nourrit avant tout de ressources minérales non renouvelables extraites de la lithosphère (croûte terrestre). Il bénéficie d'une énergie relativement abondante et bon marché provenant des combustibles fossiles – pétrole, gaz naturel et charbon – et dans une moindre mesure de combustibles fossiles comme l'uranium. Les autres sources d'énergie, dites traditionnelles, comme la biomasse, l'éolien ou l'hydraulique, ont été marginalisées dans le « mix énergétique » des pays industrialisés.

Depuis les années 1970, les débats font rage entre les optimistes, qui font confiance aux forces du marché, à la capacité d'innovation et à l'ingéniosité technologique de l'homme pour surmonter ces obstacles, et les pessimistes (qui se veulent néanmoins réalistes), pour qui il est urgent de prendre au sérieux la double menace de l'après-pic pétrolier et du réchauffement climatique. Les pessimistes en appellent à corriger les excès de la société de consommation qui mettent à mal l'équilibre écologique de la terre. Sur le plan de la réflexion académique, ils militent pour changer de paradigme épistémologique dans la science économique afin d'y intégrer les apports pertinents des sciences de la nature. Ce combat, de nature épistémologique, confronte les visions et impératifs politiques et économiques à court terme avec les perspectives écologiques à long terme.

De nos jours, cet enjeu énergétique est bien aligné cordialement avec nos besoins, où cette importante ressource contribue à la satisfaction des indigences primaires tels que : se nourrir, se déplacer, se communiquer etc....

Avec l'évolution de la technique et la technologie, la consommation énergétique mondiale ne cesse d'augmenter. Toutefois, la prise de conscience des risques engendrés par l'utilisation massive de certaines de ces ressources (accidents, pollutions, tensions géopolitiques) a conduit de nombreux états à développer de nouvelles sources d'énergie. Malgré ces évolutions récentes, le modèle énergétique de demain reste à définir afin de répondre à l'augmentation de la consommation mondiale tout en limitant les risques pour la planète et ses habitants.

La question énergétique est donc centrale lorsque l'on aborde aujourd'hui le sujet du développement économique et social des pays émergents. La demande de ces derniers en la matière est en train d'exploser, comme le soulignent tous les observateurs. La transition énergétique représente un immense défi pour ces nations mais celui-ci ne doit pas être relevé à n'importe quel prix : si les énergies renouvelables ont un grand rôle à jouer dans le développement des pays émergents, leur développement doit être concerté, progressif et maîtrisé par les acteurs publics.

La question d'accéder à l'économie à travers la marque énergétique est un point fondamental dans le défi mondial du développement, car l'énergie tient une place particulière dans l'économie des pays du fait de ses caractéristiques propres. L'énergie peut être utilisée comme bien de consommation finale (éclairage, chauffage, transport...) ou comme facteur de production ou encore comme bien de consommation intermédiaire.

Notre travail s'articule sur cette thématique. Pour cela, on a consacré nos études sur les interactions qui peuvent exister entre la consommation totale d'énergie primaire engagée par les gouvernements, le PIB, l'exportation de la haute technologie, les émissions totales de dioxyde de carbone (CO₂) provenant de la consommation d'énergie, la population, l'indice des prix de l'énergie. Nous commençons par examiner très brièvement l'évolution de ces interactions dans une perspective historique et nous nous penchons sur le fossé qui sépare, dans le monde académique actuel, les sciences de l'homme et les sciences de la nature. Nous présentons aussi très succinctement les contributions des quelques pionniers qui ont tenté de jeter des ponts en s'aventurant dans un nouveau dialogue interdisciplinaire autour de l'économie et l'enjeu énergétique pour chaque continent.

Sachant qu'il existe des liens importants entre la trajectoire énergétique et la croissance économique des pays, cette croissance a des répercussions sur plusieurs aspects : social, technologique et énergétique etc. Il s'agit donc de porter un essai de réponse à la question fondamentale suivante :

Quelle trajectoire pour un enjeu énergétique se référant à une analyse basée sur l'aspect économique, politique et l'aspect technico-environnemental ?

Autrement dit : « *Une analyse dynamique multidimensionnelle est-elle nécessaire pour résoudre profondément les lacunes provoquées lors de l'analyse de la trajectoire énergétique ?* »

Une compréhension globale de la question nécessite :

- a) Des études au niveau macroéconomique qui impliquent la construction de modèles macroéconométriques appropriés nécessaires à l'analyse des différents impacts de l'aspect économique et l'aspect environnemental tels que : le climat, la technologique et les politiques énergétiques sur la trajectoire énergétique ainsi que sur la croissance économique.
- b) Une enquête technico-environnemental sera effectuée afin d'obtenir des informations récentes sur le cours de la consommation ainsi que la production énergétique (renouvelables ou fossiles qui peuvent varier comme l'indique le schéma suivant) et la croissance économique.

Pour répondre à cette problématique notre travail s'articule autour des hypothèses suivantes :

Première hypothèse :

Avec des ressources inégalement réparties entre les différents continents, est-ce que la trajectoire d'énergie à long terme dépend des mêmes aspects dans différentes zones, c'est-à-dire une coopération énergétique plus large et plus profonde est-elle nécessaire entre ces zones ?

Deuxième hypothèse :

Chaque continent détient des ressources énergétiques naturelles différentes de l'autre, est-ce que, sur le long terme, une efficacité énergétique et le mix énergétique approprié conduirait la consommation des états à de meilleures performances ?

Troisième hypothèse :

Utiliser une analyse multidimensionnelle est-elle nécessaire pour pouvoir faire une modélisation dynamique et comparative entre les continents lors d'une analyse de la relation causale ?

Quatrième hypothèse :

Le modèle économétrique choisi est-il valable et explicite pour tous les continents ?

Pour répondre à ces questions nous allons tenter d'appliquer de nouveaux tests en économétrie des panels. L'économétrie des données de panel a connu ces vingt dernières années à la fois un très vif engouement et un profond renouvellement, engouement qui s'est traduit par une véritable explosion du nombre de travaux académiques fondés sur des données panel.

Un des aspects essentiels de ce renouvellement fut la transposition des problématiques des séries temporelles aux panels. Ainsi, progressivement sont apparus dans la littérature des tests de racine unitaire en panel (Levin & Lin (1992) ; Im, Pesaran & Shin (1997)), des tests de stationnarité en panel (Hadri 2000), des tests de cointégration (Pedroni 1999) des tests de causalité en panel (Hurlin 2005).

La situation de l'économie mondiale renforce la nécessité d'une relation plus forte entre les différents aspects de l'énergie et de l'économétrie. L'économétrie devrait permettre d'améliorer la compréhension de nombreux marchés de l'énergie, reliés entre eux, et de fournir des arguments quantitatifs qui facilitent le processus de prise de décision pour les entreprises et les états. L'économétrie est un outil utilisé pour répondre à l'énergie et les défis énergétiques du vingt et unième siècle.

Clive Granger (2003) symbolise cette évolution récente et l'importance de l'économétrie dans l'analyse économique moderne. Pour les économistes de l'énergie, face à un nombre croissant de données, l'utilisation d'outils sophistiqués économétriques devient essentielle et peut être facilement atteinte par la navigation Web simple. Grâce à l'Internet, ils peuvent accéder aux données et lancer la mise en œuvre d'estimation des modèles.¹

La disponibilité des données statistiques portant sur l'énergie et la croissance s'est améliorée ces dernières années, même si une insuffisance persiste en termes de collecte et de traitement des données. Plusieurs organismes nationaux et internationaux recueillent des données sur l'énergie et la croissance. On peut citer notamment : La Banque Mondiale, l'Agence Internationale de l'Énergie

¹Jean-Marie Chevalier Op.cité page 2

La méthodologie suivie dans notre étude se divise en deux étapes :

- ✓ Descriptive – Analytique : pour décrire et analyser le côté théorique de cette étude comme : les aspects énergétiques- la situation mondiale et continentale de l'énergie- l'économétrie- ...
- ✓ Statistique – Quantitative : faire une projection claire sur l'analyse du côté théorique de cette étude afin de faire apparaître des résultats quantitatifs et pour extraire en même temps des résultats réels et concrets.

En premier lieu, nous allons essayer de présenter les différents aspects de l'énergie adoptés dans notre étude, ensuite éclaircir la situation mondiale et continentale concernant le secteur de l'énergie.

Le premier chapitre est consacré à une présentation du contexte économique, politique et l'aspect environnementale de l'énergie ainsi que la revue de littérature sur la consommation d'énergie. Dans un premier temps nous développons un contexte détaillé de l'énergie, ensuite nous procédons à l'économie de l'énergie en détaillant les principaux concepts, nous aborderons par la suite la politique de l'énergie et l'aspect environnemental .Enfin nous mettons en évidence les liens qui existent entre la consommation de l'énergie et les différents aspects en se basant sur une revue de littérature détaillée.

Dans le deuxième chapitre, nous mettrons l'accent sur la situation mondiale et continentale de l'énergie en précisant l'évolution et les perspectives. En ce qui concerne les continents, on fera un tour complet de quelques pays de chaque zone et leur situation énergétique que ce soit les réserves, la consommation ou encore la production en mettant l'accent sur les échanges énergétiques et la place de l'énergie dans les balances commerciales des pays et son impact en mettant en œuvre les scénarios et les perspectives du secteur de l'énergie.

Le troisième et le quatrième chapitre seront dédiés respectivement à l'économétrie des données de panel et l'économétrie des données de panel non stationnaire.

Dans le dernier chapitre, nous présenterons une analyse empirique des pays dans différentes zones continentales classées en panel afin de sortir avec des conclusions et implications.

L'Énergie : «Economie, Politique et Aspects Environnementales»

I. Introduction :

De tout temps, l'homme a eu besoin de l'énergie pour se nourrir, se mouvoir. Celle-ci existe sous plusieurs formes. Aujourd'hui, la technologie permet d'en produire en grande quantité, en utilisant toutes les ressources possibles (fossiles, eau, vent, soleil...). À l'aube du XXI^e siècle, l'énergie reste un enjeu majeur, l'homme a eu besoin de l'énergie tant au niveau politique, économique, et social... Parmi les diverses propriétés des objets matériels, l'énergie est l'une des plus importantes.

« L'énergie est essentielle à l'homme. Elle représente un enjeu majeur dans les domaines politique, économique et social. »

II. Contexte :

II.1 Qu'est-ce que l'énergie ?

L'un des concepts les moins bien compris et les plus subtils en physique est l'énergie, la confusion entourant cette notion est attribuable à plusieurs fausses croyances, pour bien comprendre ce qu'est l'énergie nous allons tenter de cerner ses multiples facettes par quelques repères.²

Le mot énergie vient du latin « **énergia** » lui-même issu du grec ancien « **énergeia** » et qui veut dire « puissance physique qui permet d'agir et de réagir ».³

L'énergie, c'est ce qui donne la capacité de produire un mouvement, de changer la température, de modifier la matière.⁴

On pourrait aussi dire de façon très simple que « c'est ce qui fait marcher les machines que nous utilisons dans la vie quotidienne pour faire un travail pénible à notre place ».⁵

Cette énergie est présentée dans la nature sous différentes formes : c'est le bois, le soleil, le vent, le pétrole, le gaz, cette énergie se traduit sous différentes formes : l'énergie mécanique, l'énergie chimique, l'énergie électrique.⁶

À partir des différentes définitions données à l'énergie, nous pouvons en conclure les caractéristiques suivantes :⁷

²Chems-eddinechitour « l'énergie les enjeux de l'an 2000 » office des publications universitaires 2000 page6

³<http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie>

⁴Mouvement national de lutte pour l'environnement « qu'est-ce que l'énergie » MNLE 2009 page 1

⁵Chems-eddinechitour idem. Page 7

⁶Mouvement national de lutte pour l'environnement idem page1

⁷Commissariat à l'Énergie Atomique, 2002 Direction de la communication Bâtiment Siège - 91191 Gif-sur-Yvette cedex www.cea.fr ISSN 1637-5408.

II. 1. 1 L'énergie est plus ou moins élevée :

L'existence de l'énergie peut apparaître sous des masques divers et on peut ainsi sentir de quelle manière elle dépend de la situation. Une voiture possède une énergie d'autant plus élevée qu'elle roule plus vite ; cette énergie est inférieure à celle d'un camion allant à la même vitesse. Un ressort, lorsqu'il est comprimé, a une énergie plus grande que lorsqu'il est détendu. L'énergie d'une pile électrique avant sa mise en service est plus grande que lorsqu'elle est déchargée. L'énergie d'une casserole d'eau augmente lorsqu'on la chauffe. L'énergie se présente ainsi sous des formes très diverses. Pour chacune d'entre elles, les comparaisons effectuées montrent que l'énergie d'un système physique dépend de l'état dans lequel il se trouve. Dans les exemples ci-dessus, cet état est caractérisé par la vitesse et la masse du véhicule, la déformation du ressort, la charge.

II. 1. 2 L'énergie se transforme :

L'énergie peut se transmettre d'un système à un autre : sous forme de chaleur, elle passe d'un radiateur à l'air d'une pièce. Elle peut aussi se transformer en changeant de nature. Dans un jouet mécanique, le ressort se détend en provoquant un mouvement. L'énergie associée au mouvement d'un vélo se transforme, lorsqu'on freine, en chaleur communiquée aux patins des freins et à la jante des roues. Dans une centrale thermoélectrique, l'énergie stockée dans le carburant (énergie chimique dans le charbon et le pétrole, ou énergie nucléaire dans l'uranium) est transformée (par combustion ou par réaction nucléaire) en chaleur ; puis une partie de cette chaleur est récupérée dans les turbines sous forme mécanique ; enfin, cette énergie mécanique est convertie en énergie électrique dans les alternateurs. C'est à travers de telles transformations ou de tels transferts que l'énergie se manifeste à nous.

II. 1. 3 L'énergie se conserve :

« **L'énergie se conserve : rien ne se perd, rien ne se crée. C'est le premier principe de la thermodynamique.** » La caractéristique la plus remarquable de l'énergie est qu'elle se conserve toujours. Lorsqu'elle est transférée d'un système à un autre, ou lorsqu'elle change de nature, il n'y a jamais ni création ni destruction d'énergie. Si un objet a perdu de l'énergie, la même quantité d'énergie a obligatoirement été gagnée par un autre objet en communication avec le premier. De même, **lorsque l'énergie change de forme, le bilan est toujours exactement équilibré.** C'est donc par abus de langage que les journaux, les économistes ou les hommes politiques parlent de « production d'énergie », ou de « pertes d'énergie », puisque l'énergie ne peut être ni créée ni perdue. En réalité, dans une centrale thermoélectrique, on ne « produit » pas d'énergie, mais on transforme l'énergie chimique ou nucléaire en énergie électrique et calorifique. **Le bilan global de cette conversion est caractérisé par un rendement.**

II. 1. 4 L'énergie se mesure :

C'est la propriété de conservation de l'énergie qui nous permet de mesurer, à l'aide d'une seule et même unité, les diverses formes de l'énergie. L'énergie, dite cinétique, associée au mouvement d'un objet de masse « m » et de vitesse « v » vaut $E = 1/2 mv^2$; lorsque la masse est exprimée en kilogrammes et la vitesse en mètres par seconde, cette formule donne l'énergie en joules (J), unité légale dans le système international. À l'époque où l'on n'avait pas encore reconnu que la chaleur était une forme de l'énergie, l'étude des échanges thermiques avait conduit à introduire une unité de chaleur, la calorie, définie comme la quantité de chaleur à fournir à 1 gramme d'eau pour élever sa température de 1 degré Celsius. L'expérience a montré que les transformations d'énergie mécanique en chaleur, ainsi que les transformations inverses, se faisaient toujours avec le même rapport, à savoir 1 calorie pour 4,18 joules. Il y a donc équivalence entre ces deux formes d'énergie (mécanique et chaleur). Ceci a permis d'abandonner la calorie et de mesurer la chaleur et toutes les autres formes d'énergie, en joules.

II. 1. 5 La puissance :

Les échanges d'énergie sont caractérisés, non seulement par la quantité d'énergie transférée ou transformée, mais aussi par la durée du processus. **La notion de puissance est ainsi définie comme une quantité d'énergie échangée par unité de temps. L'unité de puissance, le watt, est donc le joule par seconde.** Un radiateur électrique de 1500 W consomme durant chaque seconde une énergie électrique de 1500 J, et par suite, durant chaque heure (3600 secondes), une énergie électrique de $3600 \times 1500 \text{ J} = 5400000 \text{ J}$, transformée en énergie calorifique « **L'Américain consomme en moyenne environ deux fois plus d'électricité que le Français, lequel consomme quatorze fois plus d'électricité que l'Africain.** ». Cet exemple montre que le joule est une unité d'énergie trop petite pour nos usages courants ou parmi les unités universelles on trouve le KWh (Kilowatt/ heure). Les trois quarts de l'électricité produite en France sont d'origine nucléaire, le dernier quart se partageant entre hydroélectrique et thermique (charbon, pétrole). Mais cette électricité représente elle-même moins de la moitié de notre consommation totale. Le reste fait appel à une utilisation directe de pétrole (essence, fioul), de gaz et de charbon ; le tiers de nos besoins concerne, en effet, le chauffage des locaux, et le quart concerne les transports.

II. 2 Les diverses formes d'énergie :⁸

L'ÉNERGIE SE MANIFESTE DANS UN MOUVEMENT, UNE RÉACTION CHIMIQUE, UN RAYONNEMENT, UN DÉGAGEMENT DE CHALEUR, UN SYSTÈME ÉLECTRIQUE OU LA FISSION D'UN ATOME.

II. 1. 1 Énergie cinétique :

C'est l'énergie associée au **mouvement** d'un objet. On a vu qu'elle était proportionnelle à la masse « m » et au carré de la vitesse « v » de l'objet (à condition que cette vitesse soit faible devant celle de la lumière, 300000 km/s).

II. 1. 2 Énergie de gravitation :

Deux corps massifs s'attirent. Cette force, dite de gravitation, est faible pour de petits objets, mais devient importante pour des astres. Ainsi le Soleil et la Terre, la Terre et la Lune, s'attirent ; la pesanteur n'est autre que la force de gravitation exercée par la Terre sur les objets dans son voisinage. À cette force correspond une énergie de gravitation, plus élevée lorsque les corps sont éloignés l'un de l'autre que lorsqu'ils sont proches. L'énergie de gravitation est dite **potentielle**, parce qu'elle ne se manifeste à nous que lorsqu'elle se convertit en une autre forme d'énergie. L'énergie potentielle d'une cabine d'ascenseur est plus grande au sixième étage qu'au rez-de-chaussée, car elle est alors plus éloignée du centre de la Terre qui l'attire. Si l'on coupait le câble en neutralisant les freins de sécurité, la cabine tomberait en s'accélération, son énergie potentielle se transformerait alors en énergie cinétique, plus visible. De même, l'énergie d'une masse de 1 kg d'eau à la surface d'un lac de barrage est plus élevée que son énergie lorsqu'elle est au pied du barrage. En effet, pour une différence d'altitude de 100 m, la différence d'énergie potentielle est de 981J. C'est cette énergie qui est exploitée dans une centrale hydroélectrique, où la chute de l'eau actionne des turbines qui entraînent des alternateurs.

II. 1. 3 Énergie élastique :

Il s'agit encore d'une énergie potentielle, associée cette fois aux déformations des objets élastiques, par exemple à la tension d'un ressort ou à la compression d'un gaz.

⁸ Commissariat à l'Énergie Atomique, 2002, idem.

II. 1. 4 Travail :

Ce terme désigne un transfert d'énergie réalisé en exerçant une force dont le point d'action se déplace. En soulevant un poids, par exemple en remontant de l'eau depuis la base jusqu'au sommet d'un barrage, on lui fournit un travail, qui lui permet d'acquérir une énergie potentielle plus élevée ; le travail fourni à une pompe qui comprime un gaz accroît l'énergie élastique de celui-ci et contribue à l'échauffer. Les formes d'énergie énumérées jusqu'ici sont des **énergies mécaniques**.

« L'énergie peut changer de forme. Par exemple, la combustion du pétrole se convertit en chaleur. »

II. 1. 5 Énergie calorifique :

À l'échelle atomique, la chaleur se traduit par un mouvement désordonné et plus ou moins rapide des molécules. À notre échelle, elle constitue la forme d'énergie mise en jeu lorsque la température varie ou lorsqu'un matériau change d'état (fusion de la glace, évaporation de l'eau). Elle peut se transférer de proche en proche sans se transformer en une autre forme d'énergie (conduction calorifique). Elle peut aussi se convertir en énergie mécanique, dans une turbine, une machine à vapeur, ou un réacteur d'avion, mais nous verrons que cette conversion ne peut être que partielle.

II. 1. 6 Énergie électrique :

Les particules chargées exercent les unes sur les autres des forces électriques. De même qu'une énergie potentielle de gravitation était associée aux forces de gravitation ou de pesanteur, une énergie potentielle électrique est associée aux forces électriques entre charges. Le déplacement de celles-ci dans un circuit s'accompagne de transferts plus ou moins rapides d'énergie, mesurés par la puissance électrique. Une énergie électrique peut se transformer en chaleur dans une résistance (radiateur, réchaud), en travail dans un moteur.

II. 1. 7 Énergie radiative :

Un rayonnement transporte de l'énergie, même à travers le vide. Le Soleil nous transmet une puissance de l'ordre de 1 kW par mètre carré, sous forme de lumière visible et de rayonnement infrarouge. Un radiateur nous communique sa chaleur par l'intermédiaire de l'air ambiant, mais aussi directement sous forme de rayonnement infrarouge. Dans le filament d'une ampoule électrique, l'énergie électrique se transforme en chaleur, puis cette chaleur est évacuée principalement sous forme d'énergie radiative, lumineuse et infrarouge. Un four à micro-ondes communique de la chaleur aux aliments à partir d'une énergie électrique, par l'intermédiaire d'un rayonnement dit de micro-ondes, analogue à celui d'un radar. Inversement, on peut convertir en énergie électrique une partie de l'énergie lumineuse en provenance du Soleil à l'aide de photopiles solaires. Les ondes radio transportent aussi une énergie, certes faible, mais suffisante pour véhiculer du son, des images ou de l'information.

II. 1. 8 Énergie chimique :

L'énergie chimique est associée à la liaison des atomes dans les molécules. Elle est plus élevée lorsque ces atomes sont séparés que lorsqu'ils sont liés en molécules, et cet écart est d'autant plus grand que la liaison est plus forte. Puisqu'elle modifie l'énergie chimique des corps, une réaction chimique s'accompagne d'une transformation de cette énergie en une autre forme d'énergie, le plus souvent en chaleur. Un réchaud à gaz produit ainsi une certaine quantité d'énergie calorifique, égale à la différence entre l'énergie chimique du gaz et de l'oxygène consommés et celle des produits de

Figure 1 1 : Transformation de l'énergie



Combustion (vapeur d'eau et dioxyde de carbone). Dans une centrale thermique au charbon ou au fioul, une fraction de la chaleur de combustion est transformée en énergie électrique. Dans un accumulateur ou une pile électrique, une partie de l'énergie chimique libérée par la réaction est directement récupérée sous forme électrique. Bien que d'apparence dissemblable, les énergies calorifique, électrique, radiative et chimique ont une origine commune : à l'échelle microscopique, toutes sont reliées aux forces électriques entre des particules chargées.

II. 1. 9 Énergie nucléaire :

L'énergie nucléaire est localisée dans les noyaux des atomes. Ces noyaux, 100000 fois plus petits que les atomes eux-mêmes, sont constitués de particules plus élémentaires – les protons et les neutrons – très fortement liés entre eux. De même que la liaison des atomes en molécules est la source de l'énergie chimique, la liaison des protons et neutrons en noyaux par des forces nucléaires est la source de l'énergie nucléaire. Une réaction nucléaire, en transformant les édifices des noyaux atomiques, s'accompagne ainsi d'un dégagement de chaleur. C'est ce mécanisme qui produit au cœur du Soleil, par fusion des noyaux d'hydrogène en noyaux d'hélium, la chaleur qui sera ensuite rayonnée. Dans nos centrales électronucléaires, nous utilisons une autre réaction nucléaire, la fission des noyaux d'uranium, qui les transforme chacun en deux autres noyaux environ deux fois plus petits ; une partie de la chaleur produite (33 % comme nous l'avons déjà noté page 6) est convertie en électricité.

II. 3 La sécurité énergétique :

II. 1. 1 Le concept 'Sécurité Énergétique'

La notion '*Sécurité Énergétique*' a émergée durant les années 70 et surtout après les deux chocs pétroliers successifs que le monde a connus et qui ont mis une résiliation à l'époque d'énergie bon marché et un approvisionnement centralisé en pétrole.

Depuis lors, l'expression '*Sécurité Énergétique*' ne cesse pas d'apparaître dans tous les discours et orientations politiques dans le domaine de l'énergie sans pour autant vouloir dire la même chose dans les différents contextes où elle est présentée.

La '*Sécurité Énergétique*' est, en effet, un concept assez complexe, mais généralement utilisé dans un sens limité à la stabilité de l'approvisionnement en énergie. Dans ce sens particulier, la sécurité énergétique est confondue avec la notion dépendance énergétique vis-à-vis de l'extérieur. Mais, au sens large, ce concept peut inclure la sécurité mutuelle de l'offre et de la demande sous tous ses aspects, compte tenu des dynamiques économiques, écologiques, sociales et géopolitiques.

Ainsi, il n'existe pas de définition universelle de la Sécurité Énergétique. Si pour les USA la Sécurité Énergétique voudrait dire "Produire l'énergie au niveau national et réduire la dépendance de l'extérieur" dans un contexte où la sécurité énergétique et sécurité nationale semblent être indissociables, pour la Chine, ce concept semble vouloir dire "Acheter des actions dans les domaines pétroliers à l'étranger", tandis que pour la Russie, elle insinue "restriction de l'investissement étranger dans les secteurs du pétrole et du gaz au niveau national". Pour le Japon, l'accent est plutôt mis sur la compensation de la rareté des ressources nationale à travers la diversification, le commerce et l'investissement", tandis que pour les Mexicains, le concept chevauche celui de la souveraineté nationale et soulèvent la nécessité de trouver à brèves échéances des ressources suffisantes pour répondre à la demande énergétique mexicaine croissante⁹.

Le tableau suivant, présente la typologie des différents éléments permettant d'affiner la définition de la Sécurité Énergétique et de définir les priorités requises partant des différentes situations économiques, énergétiques. Cette classification, établie par la Banque Mondiale, repose sur trois grands critères : i) le niveau de développement économique, ii) l'existence de ressources énergétiques, iii) l'impact potentiel sur la demande globale en énergie¹⁰.

Tableau 1 1 : La sécurité énergétique selon les contextes des pays

La Sécurité Énergétique selon les contextes pays

	Caractéristiques	Priorités de la sécurité énergétique
Importateurs industrialisés d'énergie nette	PIB par habitant supérieur à 10.065 dollars (1) Consommation d'énergie par habitant élevée : plus de 3.000 kg par an (2) Tendances décroissantes de l'intensité énergétique ; Fossé croissant entre l'offre et la demande énergétiques domestiques, avec une demande augmentant plus lentement que le taux de croissance annuel mondial de 1,7, prévu % à l'horizon 2030 (3) ; Infrastructure énergétique bien établie (par exemple accès presque universel à l'électricité) (4) ; L'économie et les ménages relativement peu touchés par les fluctuations des cours de l'énergie (par exemple une hausse de 10 % du prix du pétrole provoque une baisse de moins de 0,5 % du PIB) (5)	Éviter les disfonctionnements de approvisionnement en énergie ; Diversifier les sources d'approvisionnement en énergie ; Veiller à la sécurité des infrastructures énergétiques ; Solutions technologiques pour réduire la dépendance vis-à-vis des importations d'énergie
Principaux pays exportateurs d'hydrocarbures	PIB par habitant variant de 260 dollars (Tchad) à 52.000 dollars (Norvège) ; Importantes variations de la consommation énergétique annuelle par habitant- de 262 (Congo) à 26.888 kg (Qatar) ; tendances mitigées de l'intensité énergétique ; Approvisionnements suffisants en ressources énergétiques (principalement les hydrocarbures) dans un avenir prévisible ; Besoin de développement d'infrastructures principalement tournés vers les exportations d'énergie ; Les économies affectées par les alternances de forte expansion et de récession dépendant des cours mondiaux de l'énergie (par exemple une hausse de 10 dollars du pétrole résulte à une croissance de 30 % du PIB de l'Angola).	Marchés à long terme à des prix raisonnables Diversification des marchés d'exportation des ressources énergétiques ; Obtention de capital et financement des investissements dans le développement des ressources et les infrastructures Pour les pays les moins avancés du groupe : satisfaction des besoins énergétiques primaires et création d'une demande effective de services énergétiques
Grands marchés émergents à demande énergétique galopante	PIB par tête d'habitant variant de 620 dollars (Inde) à 6.770 dollars (Mexique), Consommation annuelle d'énergie par d'habitant variant de 514 kg (Inde) à 2.425 kg (Afrique du Sud), Tendances mitigées de l'intensité énergétique ; Demande de croissance dépassant considérablement le taux de croissance annuel mondial de 1,7 % prévu à l'horizon 2030 (par exemple hausse de 14 % de la demande de la Chine en 2003) ; Croissance rapide des infrastructures énergétiques domestiques, bien qu'insuffisamment développées (par exemple 57 % de la population indienne et 34 % de celle sud-africaine n'ayant pas accès à l'électricité) L'économie et les ménages relativement vulnérables aux fluctuations du prix de l'énergie (par exemple une hausse de 10 dollars du prix du pétrole provoque une baisse de moins de 0,5 % du PIB, selon la taille de l'économie et l'intensité énergétique).	Capacité à satisfaire la demande croissante en énergie par des sources importées ; Diversification des sources d'approvisionnement en énergie ; Obtention du capital et financement des investissements dans le développement des ressources et les infrastructures Solutions technologiques pour réduire la dépendance vis-à-vis des sources d'approvisionnements importées Satisfaction des besoins énergétiques élémentaires des personnes création d'une demande effective de services énergétiques
Importateurs d'énergie nette à revenu intermédiaire	PIB par habitant compris entre 826 et 10.065 dollars ; Pour la plupart des pays, consommation annuelle d'énergie par habitant avoisinant la moyenne mondiale de 1.631 kg, Tendances mitigées de l'intensité énergétique ; Demande de croissance dépassant le taux de croissance annuel mondial de 1,7 % prévu à l'horizon 2030 ; infrastructure énergétique sous-développée (par exemple plus de 10 % de la population en moyenne n'ayant pas accès à l'électricité) ; L'économie et les ménages relativement vulnérables aux fluctuations du prix de l'énergie (par exemple une hausse de 10 dollars du prix du pétrole provoque une baisse de plus de 0,5 % du PIB, selon la taille de l'économie et l'intensité énergétique)	Capacité à satisfaire la demande énergétique croissante par des sources importées ; Obtention de capital et financement des investissements dans le développement des ressources et les infrastructures Satisfaction des besoins énergétiques élémentaires des personnes et création d'une demande effective de services énergétiques
Importateurs d'énergie nette à revenu faible	PIB par habitant inférieur à 826 dollars ; Consommation annuelle d'énergie par habitant avoisinant ou excédant 500 kg, Tendances généralement mitigées de l'intensité énergétique ; Demande de croissance dépassant le taux de croissance annuel mondial de 1,7 % prévu à l'horizon 2030 ; infrastructure énergétique très peu développée (par exemple 30 % de la population seulement ayant accès à l'électricité) ; L'économie et les ménages hautement vulnérables aux fluctuations du cours de l'énergie (par exemple une hausse de 10 dollars du prix du pétrole provoque en moyenne une baisse de plus de 0,75 % du PIB)	Capacité à satisfaire la demande croissante en énergie par des sources importées ; Obtention de capital et financement des investissements dans le développement des ressources et les infrastructures Satisfaction des besoins énergétiques élémentaires des personnes et création d'une demande effective de services énergétiques

II. 1. 2 La sécurité énergétique : entre évocation et conceptualisation :

⁹NAfiNA, Les Energies Renouvelables : Au Coeur de la Sécurité Énergétique Nord Américaine, Octobre 2004.

¹⁰The World Bank, Energy Security Issues, December 2005.

La notion de sécurité énergétique est traditionnellement invoquée pour désigner trois types distincts de préoccupations. Le premier concerne l'ensemble des questions liées à la garantie l'approvisionnement en énergie. Tout Etat, qu'il possède ou non des ressources d'énergies fossiles, un parc nucléaire, des capacités hydroélectriques ou encore en matière d'énergies renouvelables, se trouve confronté à la nécessité d'assurer de façon stable et continue son approvisionnement en hydrocarbures et en électricité.

Tous se révèlent donc dépendants de l'extérieur – bien que dans des proportions très variables – que cela soit en termes d'importations d'énergies primaires ou finales. La stabilité des prix et le rendement économique sont ici compris comme variables dépendantes de la sécurité d'approvisionnement.

Le deuxième rassemble les questions touchant à la sécurité environnementale, à la protection de l'atmosphère, à la préservation des biotopes, à la lutte contre le changement climatique. Est ici concerné la pollution émanant à la fois de la consommation d'énergie mais également de ses conditions d'exploitation, de production, de transformation et de transport. Comment limiter les émissions de gaz à effet de serre ? Quelles normes de sécurité appliquer aux programmes nucléaires civils ? Quel impact la mise en place d'immenses programmes hydroélectriques peut-il avoir sur l'environnement ? Tels sont les exemples de questions susceptibles d'être soulevées dans ce cadre.

Le troisième type regroupe l'ensemble des préoccupations liées à l'efficacité énergétique. Celle-ci consiste à réduire les consommations d'énergie et à diminuer, à niveau de productivité égal, les coûts environnementaux, économiques et sociaux liés à la production et à la consommation d'énergie. La Commission européenne résuma parfaitement cette notion dans le titre de son Livre Vert sur l'efficacité énergétique : « *Comment consommer mieux avec moins ?* »¹¹. La course technologique et aux investissements qu'elle implique tend à concilier les deux impératifs contenus dans les deux pôles précédents. Plutôt que de voir se développer un dilemme qui forcerait les acteurs à choisir entre développement économique et protection de l'environnement, la notion d'efficacité énergétique souligne le fait qu'à moyen terme, coût économique et environnemental seront inévitablement indissociables du fait d'une part de la raréfaction annoncées des réserves d'hydrocarbures et, d'autre part, du stress environnemental croissant causé par une consommation intensive d'énergies polluantes.

III. Economie de l'énergie :

III. 1 La demande d'énergie :

III. 1. 1 La consommation d'énergie :

En 1999, les consommations mondiales d'énergie primaire commercialisable s'élevaient, avec les conventions de l'AIE¹²(Agence Internationale de l'Énergie) à 8,5 Gtep (milliards de tonnes d'équivalent pétrole) contre 4,4 en 1970 et de l'ordre de 3 en 1960, la part du pétrole étant de 40 %, du gaz de 24 %, du charbon 25 %, de l'électricité nucléaire 8 %, hydraulique 3 %. À ceci il convient d'ajouter l'énergie non commercialisée (bois de feu essentiellement) estimée à 1 Gtep environ.

Les principaux déterminants de la demande d'énergie sont l'évolution démographique et le développement économique. C'est ainsi que la consommation par habitant varie de 0,3 tep en Afrique à 6,3 en Amérique du Nord, elle est de 3,1 en Europe, la moyenne mondiale se situant à 1,4.

¹¹ LIVRE VERT sur l'efficacité énergétique ou *Comment consommer mieux avec moins*, Bruxelles, Commission européenne, le 22 juin 2005. [COM(2005) 265 final du 22 juin 2005].

¹² Coefficients d'équivalence utilisés par l'AIE (équivalence à l'utilisation) :

. pour l'électricité d'origine hydraulique 1 terawatt-heure : 0,086 Mtep

. pour l'électricité nucléaire avec l'hypothèse d'un rendement des centrales de 33 %, 1Twh = 0,26 Mtep

Dans les pays en phase de développement industriel, l'élasticité¹³ des consommations d'énergie au PIB est voisine de 1, parfois supérieure. Dans les pays industrialisés l'élasticité (globale) est par contre inférieure à 1 (de l'ordre de 0,85 à 0,9) pour différentes raisons dont la part croissance dans le PIB des activités tertiaires faiblement consommatrices et le progrès technique permettant de meilleurs rendements. Quant à l'élasticité aux prix, elle est très faible à court terme (de l'ordre de -0,1), les consommations étant fortement dépendantes des équipements. Ce n'est pas le cas à long terme : les hausses de prix liées aux deux chocs pétroliers, associées à des politiques de maîtrise de l'énergie, ont entraîné des investissements en équipements permettant des économies d'énergie. L'intensité énergétique (ratio de la consommation d'énergie au PIB) a ainsi diminué entre 1973 et 1995 de 30 % environ.

Une analyse plus détaillée des évolutions des consommations énergétiques passe nécessairement par des études usage par usage ou par type de services (l'AIE en distingue 4) et/ou des études sectorielles. Ces dernières prennent en compte à la fois les modifications de la part de chaque secteur dans le PIB (baisse de la part de l'industrie) et celles de leur contenu en énergie. Les principales variables exogènes des modèles économétriques utilisés en prévision, plus ou moins détaillés, sont généralement relatives à la croissance économique et aux prix.

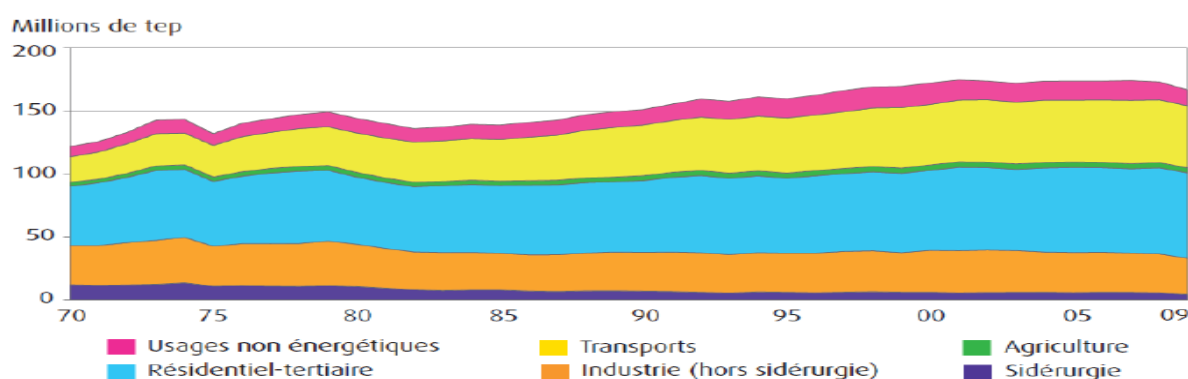
Pour le long terme, une approche complémentaire peut être donnée par les modèles technico-économiques du type MEDEE reposant sur une description analytique détaillée de l'évolution des besoins en énergie utile et donc des consommations spécifiques par usage et par type d'équipement.

La part des consommations du *secteur transport* est en forte croissance et la poursuite de cette augmentation paraît inéluctable pour les deux premières décennies du 21^{ème} siècle, à moins que ne soient menées des politiques très volontaristes pour réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Exemple 1 : La consommation énergétique dans un pays européen « La France »

Sur la période 1973-2009, l'industrie et la sidérurgie ont fortement baissé leur consommation énergétique (passage de 36 à 23% de la consommation) pour deux raisons principales : l'amélioration de l'efficacité énergétique des procédés et la désindustrialisation des activités productives en France. Le résidentiel tertiaire est quant à lui resté relativement stable (42-43% de la consommation nationale).

Figure 1 2 : Consommation d'énergie finale par secteur



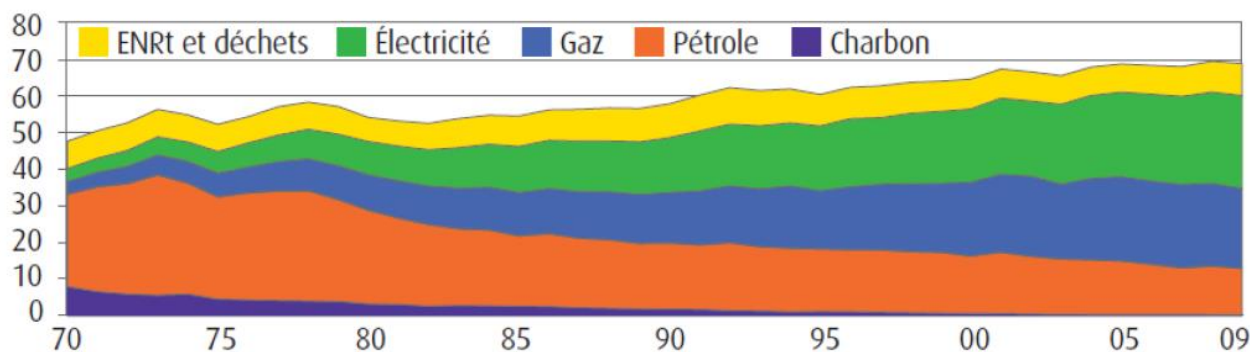
(Source : CGDD chiffres clés de l'énergie 2010)

¹³ Cette élasticité est définie, pour de petites variations, comme le rapport de la variation relative des consommations

C à la variation relative du Produit Intérieur Brut B : $\frac{\Delta C}{C} \cdot \frac{\Delta B}{B}$

En revanche, la part du transport, à 97 % dépendant du pétrole, a augmenté (de 19 à 31%), avec une certaine stabilisation depuis 2000. Ceci peut s'expliquer par une mobilité urbaine plus contrainte, même si la mobilité longue distance semble continuer à progresser. En effet, il apparaît que le progrès continu sur la consommation des véhicules a été obéré par l'accroissement de la mobilité (et des kilomètres parcourus).

Figure 1 3: Consommation d'énergie primaire dans le secteur résidentiel et tertiaire



(Source : CGDD chiffres clés de l'énergie 2010)

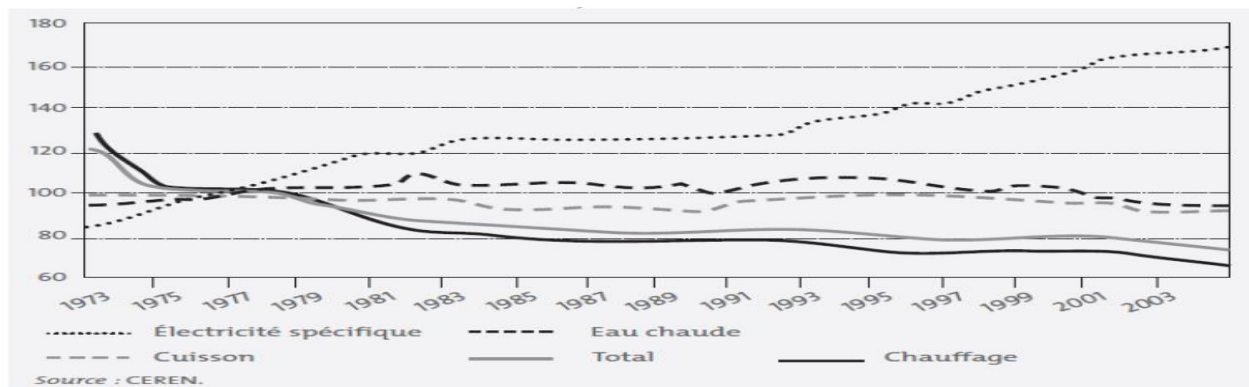
La structure en énergie primaire de la consommation des bâtiments a fortement évolué notamment suite aux chocs pétroliers des années 70. Le pétrole (et le charbon) a fortement diminué pour chauffer les bâtiments au profit du gaz et de l'électricité. On notera que l'utilisation d'énergies renouvelables, réseaux de chaleur, géothermie et bois énergie, est restée stable sur la période – ceci avec une incertitude sur le bois énergie (près de la moitié des énergies renouvelables produites en France - 9 Mtep sur 20), qui est mal comptabilisé car transite peu par les circuits commerciaux.

Les bâtiments

En termes d'usage, la consommation énergétique des bâtiments est surtout liée au chauffage ou aux besoins de chaleur en général (chauffage, eau chaude, cuisson). En 30 ans (voir Figure 1.4), la consommation unitaire de l'habitat pour le chauffage n'a baissé que de 10%, la cuisson est restée stable. L'autre poste est l'électricité spécifique dont la demande a fortement augmenté avec la généralisation de l'équipement des ménages en appareil électroménagers puis plus récemment les équipements informatique (et leur périphériques), les écrans plats, les appareils en veille ou rechargés sur le secteur. La climatisation peut aujourd'hui être majoritairement associée à de l'électricité spécifique (les climatiseurs sont électriques).

D'autres voies de climatisation sont aujourd'hui émergentes : le refroidissement de bâtiments en zone littorale avec de l'eau fraîche pompée en profondeur marine, la végétalisation de toitures ou la « climatisation solaire », permettant une climatisation avec une moindre consommation électrique.

Figure 1 4: Évolution des consommations unitaires des résidences principales en kWh/m² à climat normal, bois inclus, base 100 en 1976 :

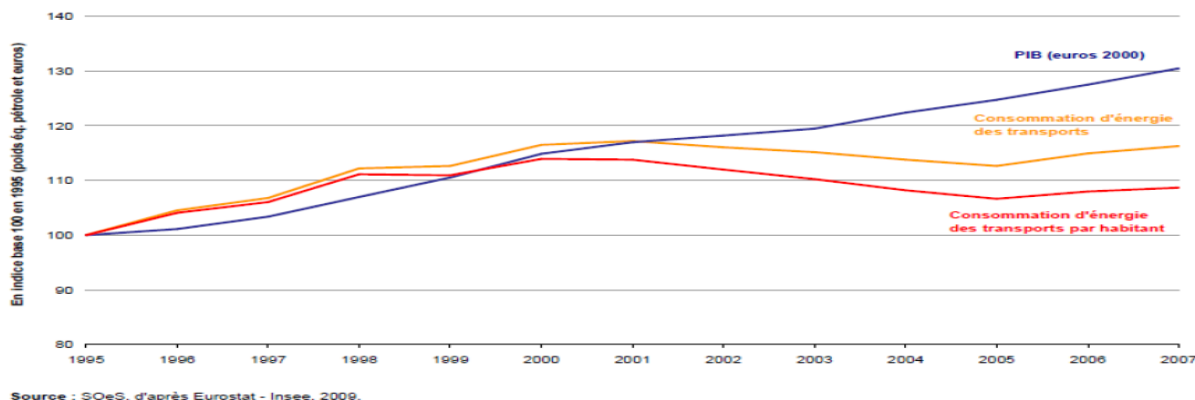


Source : « Les besoins énergétiques des bâtiments » MH Laurent, N. Recrosio, Futuribles N° 327, février 2007

Le transport

En France, 82% du transport intérieur de voyageurs est effectué en voiture en 2008, mais cette proportion tend à diminuer depuis 1995, parallèlement à l'augmentation de la part des transports en commun ferroviaires. En revanche, le transport de marchandises par route continue de progresser. En 2008, il représente 83% du trafic mesuré en tonnes-km, tandis que la part du fret non-routier (ferroviaire + fluvial) s'élève à 12%. L'objectif de la loi Grenelle est d'augmenter cette part de 25% en 2012 par rapport à 2006.

Figure 1 5: Consommation d'énergie des transports et PIB en France



La baisse récente de la consommation énergétique du transport est attribuée :

- à la baisse régulière de la consommation unitaire des voitures (moyenne des voitures vendues : 176 g CO₂ en 1995 à 149 g CO₂ en 2006)
- au prix des carburants qui conduit les ménages modestes (d'autant qu'ils habitent en périurbain) à limiter les déplacements non nécessaires
- au respect des limitations de vitesse (radars automatiques) et la baisse des vitesses réglementaires en ville (zones 30 km/h),
- au report sur les TGV pour certains trajets.

Ceci le parc français ne progresse plus que par la multi-motorisation des ménages et de nombreuses tendances conduisent à une moindre augmentation voire à une stabilisation de la mobilité

- le vieillissement de la population
- le taux de motorisation des ménages est élevé (plus de 80%)
- certains déplacements (contraints) sont et seront remplacés par un accès virtuel (banque et administration, loisirs comme la vidéo à la demande, télétravail...).

III. 2 L'offre et ses déterminants :

III. 2. 1 Les déterminants potentiels de l'offre / la production énergétique :

À rythme d'exploitation inchangé et dans les conditions techniques et économiques d'aujourd'hui, les réserves prouvées de l'énergie tels que : le pétrole (environ 1000 milliards de barils ou 140 milliards de tonnes) correspondent à une quarantaine d'années de production, à plus d'une soixantaine pour le gaz naturel, à plus de deux siècles pour le charbon, et de 60 à 120 ans (suivant les hypothèses de prix) pour l'uranium. A ce qui suit nous allons prendre l'énergie pétrolière comme exemple.

a- L'estimation des réserves de pétrole :

La question des réserves restant à découvrir, très controversée, revêt une importance particulière pour le pétrole, compte tenu d'une part du niveau (relativement bas) des réserves prouvées et de la dépendance des économies contemporaines à la disponibilité et, dans une moindre mesure, aux prix des produits pétroliers.

Les "*pessimistes*" observent que le renouvellement des réserves des dernières décennies est dû essentiellement à des réévaluations de découvertes anciennes, effectuées dans certains cas de façon arbitraire pour des raisons politiques, parce qu'utilisées au sein de l'OPEP (Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole) pour définir des quotas de production. Le nombre et le volume des *nouvelles* découvertes est par contre en forte diminution. Par extrapolation, ils estiment que la pointe de production de pétrole conventionnel (celui qui peut être produit avec des techniques classiques) se situera entre les années 2000 et 2005.

Les "*optimistes*", de leur côté, constatent que dans le passé les craintes d'épuisement comme celles concernant le charbon au 19^{ème} siècle n'ont jamais été justifiées, que le ratio réserves/production au niveau mondial a toujours oscillé entre une vingtaine et une quarantaine d'années. Enfin et surtout, l'évolution des techniques (sismique 3D, forage horizontal, ...) permet de trouver des gisements plus difficiles à découvrir et conduit à des améliorations sensibles des taux de récupération. Le maximum de production de pétrole conventionnel pourrait alors être repoussé jusque vers les années 2020.

Quoi qu'il en soit, pour pouvoir répondre à la demande, il faudra vraisemblablement dès les premières décennies du 21^{ème} siècle *faire appel aux sources de pétrole "non conventionnel"*. Remarquons que la frontière entre "conventionnel" et "non conventionnel" devient, grâce au progrès technique, moins marquée. Le problème de la tranche d'eau en off-shore profond est résolu au moyen de techniques en constante amélioration. La différence entre coûts de production en mer et à terre diminue. Les huiles extra-lourdes de l'Orénoque au Venezuela étaient jusqu'aux années 1990 considérées comme exploitables seulement pour un prix élevé (30 \$ ou plus) du baril de brut. Elles le sont maintenant à partir d'un prix du brut de l'ordre de 15 \$/b, voire inférieur. La réduction des coûts d'exploitation des sables asphaltes de l'Athabasca au Canada, bien que moins spectaculaire, est cependant sensible. Or les réserves récupérables de l'Orénoque et de l'Athabasca sont du même ordre de grandeur que celles du Moyen-Orient (de l'ordre de 600 milliards de barils).

La production d'hydrocarbures liquides à partir du gaz naturel fait l'objet de plusieurs projets en Indonésie, au Bangladesh, en Egypte (Shell), en Alaska, au Qatar (Exxon-Mobil),... A plus long terme, on peut envisager un recours aux schistes bitumeux dont les réserves sont considérables, voire un appel aux procédés de liquéfaction du charbon. La disponibilité d'hydrocarbures liquides ne devrait donc pas poser de problèmes majeurs pendant encore un certain nombre de décennies. Ce sont vraisemblablement les contraintes environnementales (réduction des émissions de gaz à effet de serre) qui conduiront à limiter leur utilisation.

b- Localisation des réserves et production :

Épuisables, *les ressources énergétiques sont aussi très inégalement réparties* sur la planète, ce qui est source d'un certain nombre de problèmes géopolitiques bien connus (guerre du Golfe,...). Les pays de l'OPEP détiennent par exemple plus de 75 % des réserves pétrolières et environ 42 % des réserves de gaz naturel. Parmi ces pays, l'Arabie Saoudite regroupe, à elle seule, 25 % des réserves pétrolières mondiales. Notons cependant que les évolutions techniques (offshore) ont permis une croissance des productions des pays non OPEC et que les privatisations et l'ouverture par de nombreux pays producteurs de leurs secteurs pétroliers et gaziers offrent de nouvelles opportunités diversifiées aux opérateurs internationaux.

Les pays de l'ex-URSS possèdent, de leur côté, plus de 40 % des réserves de gaz et près d'un quart de celles du charbon. Les réserves d'uranium sont relativement plus réparties. L'Australie et le Kazakhstan en possèdent chacun environ 20 %.

Par ailleurs, les coûts de production sont très dispersés, engendrant différentes rentes (s'ajoutant à d'éventuelles rentes de qualité). Grâce aux progrès techniques et organisationnels, ils ont été au cours des années 1990 orientés à la baisse pour l'ensemble des énergies fossiles. Le coût technique d'exploitation des gisements pétroliers est de 2 \$ par baril environ en Arabie Saoudite, de 8 à 10 \$ en Mer du Nord. Des écarts de 10 à 100 \$/t peuvent être constatés entre les coûts de production de charbon à ciel ouvert en Afrique du Sud ou en Australie et l'exploitation des mines souterraines européennes.

Si les *coûts de transport* ne sont pas déterminants dans le cas du pétrole (environ 1 à 2 \$ par baril), ils sont primordiaux dans le cas du charbon et du gaz. La somme des coûts logistiques du départ de la mine jusqu'à un utilisateur final européen de charbon représente de 70 à 80 % du coût total. Dans le cas du gaz naturel liquéfié, ils peuvent atteindre l'équivalent de 10 \$ par baril.

c- L'offre de produits raffinés

Enfin, pour caractériser l'offre d'énergie, il convient encore de tenir compte des *coûts de transformation* et de distribution. L'industrie du raffinage de pétrole brut a dû et devra continuer à faire appel à des techniques toujours plus complexes pour répondre aux modifications de la demande, en quantité (baisse des consommations de fuel lourd) et en qualité (protection de l'environnement).

La détermination du coût des produits pétroliers pose la question de l'affectation des coûts totaux de traitement en raffinerie à des produits liés. Il existe naturellement une infinité de clefs de répartition permettant de définir des coûts moyens. Par contre, le calcul des coûts marginaux des différents produits est facilité par l'utilisation des modèles (le plus souvent de programmation linéaire) auxquels font appel la quasi-totalité des raffineurs pour optimiser leurs programmes de fabrication. Il s'agit de variations duales associées aux équations de la demande. Les modèles d'investissement donnent des coûts marginaux de long terme qui, sous certaines hypothèses, ont une structure de coûts moyens et fournissent donc une clef de répartition de l'ensemble des dépenses (modélisées) particulièrement pertinente.

d- L'offre d'électricité

Parmi les éléments marquants relatifs à la production d'électricité, il convient bien sûr de mentionner les inquiétudes du public relatives au nucléaire qui, à la suite des accidents de T.M.I. et de Tchernobyl, a conduit à un ralentissement et, dans certains pays, à un arrêt total des constructions de centrales nucléaires. Dans ce domaine la France occupe une place à part avec 75 % à 80 % de la production d'électricité d'origine nucléaire contre 22 % aux États-Unis et 35 % au Japon.

Dans le futur, la conception de réacteurs à « sûreté passive » peut limiter les craintes d'accident. Par ailleurs, le recours au nucléaire contribue sensiblement à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Mais le problème du traitement, du transport et du stockage des déchets est

au cœur des préoccupations de certains défenseurs de l'environnement. Fortes sont donc les incertitudes concernant l'avenir de cette industrie, et en particulier en France, la politique de renouvellement du parc qui doit intervenir à partir des années 2005-2010, car aux considérations environnementales s'ajoute la concurrence du gaz naturel.

En effet, une autre évolution notable, à partir du milieu des années 1980, est celle relative aux *centrales au gaz à cycle combiné* et aux procédés de *cogénération* (chaleur et électricité). Le progrès technique a permis une amélioration des rendements telle que le gaz naturel est retenu pour la majorité des projets de construction de nouvelles centrales. En fonction des hypothèses concernant l'évolution des prix du gaz et le taux d'actualisation (le coût d'investissement représente 60 % environ du coût de production nucléaire contre 25 % pour les cycles combinés à gaz), le gaz peut devenir compétitif en base par rapport au nucléaire même dans les pays comme la France où le coût du kWh nucléaire est bas.

Pour analyser les prix d'offre de l'électricité, il faut rappeler qu'il s'agit d'une énergie qui ne peut pratiquement pas être stockée. Les opérateurs doivent donc répondre à la demande à tout moment (à l'exception de celle des clients avec lesquels ont été passés des contrats d'effacement). Les *coûts marginaux de court terme* à un instant donné correspondent aux coûts d'exploitation (frais variables) de la dernière centrale appelée, les centrales étant classées par coûts (variables) croissants : hydraulique, nucléaire, thermique classique moderne, thermique ancien, turbines à gaz. Ils peuvent donc prendre des valeurs très différentes suivant l'heure, le jour et la saison. Les *coûts marginaux de long terme*, qui constituent la référence pour la tarification d'un service public ou pour la définition d'une politique commerciale, peuvent être obtenus, comme dans le cas du raffinage, à partir des résultats des modèles d'optimisation du parc de production. Que ces modèles fassent appel à la programmation linéaire ou à la théorie du contrôle, comme le modèle d'Investissement d'Électricité de France, les coûts marginaux correspondent aux variables duales associées aux contraintes de satisfaction de la demande.

Les modèles les plus complets tiennent compte du caractère aléatoire des consommations ce qui correspond à retenir autant d'équations de demande que de postes horo-saisonniers et d'aléas considérés pour chaque poste. Ils fournissent les bases nécessaires à l'élaboration d'une politique de prix qui peuvent être modulés selon les heures et les saisons, mais également en temps réel suivant les options définies avec les clients.

Enfin, remarquons que pour limiter des productions « inutilement » coûteuses, des politiques de gestion de la demande (Demand Side Management) et de programmation intégrée des ressources peuvent inciter les clients à acheter des équipements plus économes en énergie.

III. 3 Bilans énergétiques :

A partir des statistiques annuelles établies en quantités physiques pour chaque forme d'énergie dans une certaine zone géographique donnée (nation, région, monde), grâce à un système d'équivalence énergétique spécifique, on peut quantifier dans la même unité (GJ ou Mtep) les flux d'énergie du niveau primaire au niveau final. Ainsi chaque année, on établit un **bilan énergétique** à la fois pour les énergies primaires et pour les usages finals en assurant la consistance entre eux.

L'objectif des bilans énergétiques est de fournir des informations pour répondre aux questions relevant de la politique énergétique dans la zone considérée.

Le bilan des énergies primaires d'un pays, est reparti selon les différentes formes d'énergie, se compare avec celui de la production nationale. On met ainsi en évidence les points forts et les points faibles du système d'approvisionnement national, et, par la, de façon globale, le taux d'indépendance énergétique. Ce bilan permet de mesurer d'autres indicateurs, comme la facture énergétique, l'intensité énergétique... (Voir tableau 1.2)¹⁴.

¹⁴ Gilbert NAUDET et Paul REUSS, « Énergie, électricité et nucléaire », EDP SCIENCES, France, 2008, page 52.

Le bilan des consommations finales d'énergie est présenté soit selon les différentes catégories d'énergies, soit selon les divers secteurs économiques : sidérurgie, industrie, résidentiel, tertiaire, transport. Ce bilan nous offre la possibilité de suivre l'évolution de la demande par type d'énergie ou par secteur, et de mesurer ainsi l'efficacité d'une politique énergétique, notamment celle relative aux économies d'énergie.

L'élaboration de ces bilans est assez complexe. Elle prend en compte plusieurs données tels que : les importations et exportations d'énergie, les variations de stocks, les pertes de conversion et de transport, ainsi que l'autoconsommation du secteur de l'énergie. Pour assurer une comparaison très cohérente au fil des ans, une correction climatique est mise en place. Les produits énergétiques utilisés comme matières premières par l'industrie sont comptabilisés à part. A titre d'illustration, le bilan de la France en 2004 est donné dans les tableaux « 1.3 et 1.4 »¹⁵.

Tous les bilans énergétiques établis dans le monde ne sont pas directement comparables. Le système d'équivalence n'est pas forcément similaire d'un pays à l'autre et même d'une période à l'autre. On doit s'interroger si les consommations finales non énergétiques sont prises en compte ou non, et surtout si l'on a tenu compte des énergies non commerciales, particulièrement importantes en valeur relative dans les pays en voie de développement.

L'énergie commerciale est par définition celle qui fait l'objet d'échanges commerciaux comptabilisés, et de ce fait facile à quantifier.

L'énergie non commerciale est produite hors les circuits commerciaux normaux et est constituée principalement de la biomasse exploitée localement. Les quantités correspondantes ne sont estimées qu'approximativement. Elles sont relativement importantes si l'on considère que 2,5 milliards d'hommes sur une population mondiale de 7 milliards n'ont pas encore accès à l'énergie commerciale ; cette proportion reste la même depuis une trentaine d'années.

La lecture du tableau 1.4 des consommations d'énergie en France nécessite quelques précisions. Dans la consommation de la branche énergie, on spécifie à part la consommation (et la production) des raffineries en produits pétroliers et en électricité ; dans les usages électriques internes de la branche, on exclut donc la consommation des raffineries, on inclut celle de l'industrie du combustible nucléaire (2,07 Mtep), la consommation interne des centrales électriques à laquelle s'ajoute l'énergie de pompage de l'eau des réservoirs de stockage (2,75 tep). Le poste « pertes et ajustements » comprend les pertes du réseau électrique, et, pour chacune des énergies, les «**ajustements statistiques** », qui correspondent à l'écart entre le total des usages hors corrections climatiques et le total des disponibilités en énergie primaire.

Les **corrections climatiques** consistent à admettre que la consommation de chauffage est proportionnelle à l'indice de rigueur de l'hiver. Celui-ci est le rapport entre un indicateur de climat observé sur la période annuelle de chauffe et un indicateur de climat de référence calculé entre 1961 et 1990.

¹⁵Gilbert NAUDET et Paul REUSS, page 54-55.

Tableau 1 2: Systeme d'équivalences énergétiques utilise en France

Énergie	Unité physique	Gigajoules GJ (PCI)	tep (PCI)
Charbon			
Houille	1 t	26	26/42 = 0,619
Coke de houille	1 t	28	28/42 = 0,667
Agglomérés, briquettes de lignite	1 t	32	32/42 = 0,762
Lignite, produits de récupération	1 t	17	17/42 = 0,405
Pétrole brut et produits pétroliers			
Pétrole brut, gazole, fioul domestique, produits à usage non énergétiques	1 t	42	1
GPL	1 t	46	46/42 = 1,095
Essence moteur et carburacteur	1 t	44	44/42 = 1,048
Fioul lourd	1 t	40	40/42 = 0,952
Coke de pétrole	1 t	32	32/42 = 0,762
Électricité			
Production d'origine nucléaire	1 MWh	3,6	0,086/0,33 = 0,2606
Production d'origine géothermique	1 MWh	3,6	0,086/0,10 = 0,86
Autres types de production, échanges avec l'étranger, consommation	1 MWh	3,6	3,6/42 = 0,086
Gaz naturel et industriel			
1 MWh PCS		3,24	3,24/42 = 0,077
Bois	1 stère	6,17	6,17/42 = 0,147

Tableau 1 3: Approvisionnement énergétique de la France en 2004 (en Mtep)

	Charbon		Pétrole		Gaz		Électricité		Erth	Total
	Houille Lignite	Coke Agglo.	Brut	Raffiné	Nat.	Indust.	Product. brute	Consom.		
Production énergie primaire	0,39		1,14	0,29	1,12		H : 5,68 N : 116,81		12,67	138,10
Importations	12,21	0,92	85,17	29,63	38,79		0,56			167,28
Exportations	-0,06	-0,56		-21,31	-0,35		-5,90		-0,09	-28,27
Stocks	+0,17	+0,05	+0,35	+0,24	+0,44				-0,07	+1,18
Soutes mar. internat.				-2,97						-2,97
Total des disponibilités	13,12		86,66	5,88	40,00		117,15		12,51	275,32

(Source : Les bilans de l'énergie 1970-2004, DGEMP, Observatoire de l'énergie).

H : production hydraulique (y compris celle des auto-producteurs), éolienne et marémotrice.

N : production nucléaire brute.

Erth : énergies renouvelables autres qu'hydraulique, éolien et photovoltaïque.

Stocks : les stockages sont précédés du signe moins, les déstockages du signe plus.

Tableau 1 4: Consommation d'énergie en France en 2004 (en Mtep)

	Charbon		Pétrole		Gaz		Électricité		Erth	Total
	Houille Lignite	Coke Agglo.	Brut	Raffiné	Nat.	Indust.	Product. brute	Consom.		
Consommation de la branche énergie										
Raffinage			86,83	-81,82			-0,13	0,32		5,20
Production élect. thermique	5,53			1,35	2,03	0,75	-4,86		1,26	6,06
Usages internes	3,79	-3,22		0,10	0,54	-0,32		4,82	0,24	5,95
Pertes et ajustements	0,62	-0,04	-0,17	0,05	-0,06			80,02	0,77	82,19
Total A	9,94	-3,26	86,66	-80,32	2,51	0,43	-4,99	86,16	2,27	99,40
Consommation finale d'énergie (corrigée du climat)										
Sidérurgie	1,57	3,00		0,07	0,58	-0,43		1,01		5,80
Industrie	0,88	0,45		6,12	12,17			10,99	1,31	31,92
Résidentiel et tertiaire	0,34	0,07		15,40	22,54			22,78	8,67	69,80
Agriculture				2,28	0,30			0,28	0,06	2,92
Transports (a)				49,35	0,04			1,04	0,35	50,78
Total B	2,79	3,52		73,22	35,63	-0,43		36,10	10,39	161,22
Consommation non énergétique										
Total C	0,14			13,24	2,18					15,56
Consommation totale d'énergie primaire (corrigée du climat)										
Total A+B+C	13,13			92,80		40,32		117,27	12,66	276,18
Dont corrections climatiques	0,01			0,26		0,32		0,12	0,15	0,86

(Source : Les bilans de l'énergie 1970-2004, DGEMP, Observatoire de l'énergie)

(a) hors soutes maritimes internationales

III. 4 Indicateurs énergétiques à dimension macroéconomique :¹⁶

L'intensité énergétique du PIB peut être calculée soit en considérant la consommation annuelle d'énergie primaire d'un pays (évaluée en tep¹⁷) ramenée au PIB estimé en monnaie, soit en prenant compte l'énergie finale qui s'obtient en déduisant de l'énergie primaire l'autoconsommation du secteur énergétique et les pertes liées à la transformation de l'énergie primaire en énergie finale. Le rapport qui existe à un moment donné entre l'énergie primaire et l'énergie finale traduit l'efficacité du système énergétique du pays. En ce qui suit une présentation de quelques indicateurs énergétiques à dimension macro-économique.

III. 4. 1 Intensité de l'énergie primaire IEP :

L'intensité de l'énergie primaire est un indicateur qui mesure l'efficacité énergétique de notre économie. Elle résume l'information sur l'énergie consommée par unité de valeur ajoutée dans notre territoire, donc une hausse de cet indicateur signifie qu'on consomme plus pour produire une unité de valeur ajoutée (U.M 1998).

Il donne une idée sur le niveau de déprédation de l'énergie dans le processus de la production de la valeur ajoutée.

C'est un rapport de la consommation intérieure brute et le PIB à prix constant (U.M de 1998), il est donné en Tep/U.M.

$$IEP = \frac{\text{Consommation Intérieur Brute}}{\text{PIB (U.M 1998)}}$$

U.M : Unité Monétaire exprimée en Monnaie Locale du Pays, généralement en Dollars.

III. 4. 2 Intensité de l'énergie finale :

L'intensité de l'énergie finale est un indicateur qui mesure l'efficacité énergétique de notre économie concernant la consommation finale énergétique dispatchée par la suite sur les secteurs économiques. Elle résume l'information sur l'énergie finale consommée par unité de valeur ajoutée dans notre territoire, donc une hausse de cet indicateur signifie que les secteurs consomment plus pour produire une unité de valeur ajoutée (U.M 1998).

$$IEF = \frac{\text{Consommation finale de l'énergie}}{\text{PIB (U.M 1998)}}$$

III. 4. 3 Ratio de la consommation d'énergie finale en énergie primaire :

Ce ratio correspond au rapport de la consommation finale de l'énergie sur la consommation intérieure brute (Production primaire + importations – exportations + variation des stocks – soutes maritimes internationales), il permet de savoir à quel degré la transformation est rentable.

$$RCEFEP = \frac{\text{Consommation finale de l'énergie}}{\text{Consommation Intérieur Brute}}$$

Plus cet indicateur est proche de 1, plus notre transformation énergétique a moins de pertes.

¹⁶ Analyse des indicateurs énergétique, Direction de l'Observation et de la Programmation, Ministère de l'énergie ; des mines ; de l'eau et de l'environnement, Département de l'énergie et des mines, Royaume du Maroc, Avril 2013.

¹⁷tep : Tonne Equivalent Pétrole.

III. 4. 4 Part de la facture énergétique dans le PIB :

Le ratio de la part de la facture énergétique dans le PIB représente en pourcentage la part des dépenses de l'énergie par rapport au produit intérieur brute (prix courant).

La formule est donnée comme suit :

$$PFE = \frac{\text{Montant de la facture énergétique (U.M Courante)}}{\text{PIB (U.M Courante)}}$$

III. 4. 5 Facteur moyen des émissions de CO2 :

Le facteur moyen des émissions de CO2 est un facteur combinant toutes les sources de l'énergie donnant la quantité globale du CO2 émise par rapport à la consommation de l'énergie primaire, il est en teCO2/tep :

$$FE\ CO2 = \frac{\text{Quantité total émise de CO2 due à l'utilisation de l'énergie}}{\text{Consommation Intérieur Brute}}$$

Il nous renseigne sur la performance environnementale du secteur de l'énergie. Une diminution de ce facteur entre deux périodes où l'énergie primaire consommée est de 1 Tep est interprétée comme suit : la première période a connu une plus grande émission de CO2 que la seconde période en maintenant fixe la quantité d'énergie consommée. Autrement dit, le processus d'utilisation de l'énergie dans le secteur énergétique dans la première période est plus polluant que dans la seconde.

III. 4. 6 Taux de dépendance énergétique :

Le Taux de dépendance énergétique est un indicateur qui mesure le degré de la dépendance énergétique du Maroc par rapport à l'étranger. Il est donné comme suit :

$$IDE = 1 - \frac{\text{Production total de l'énergie}}{\text{Consommation Intérieur Brute}}$$

Il nous clarifie le besoin énergétique à combler hors production par rapport à la consommation intérieure brute.

III. 5 L'ÉNERGIE DANS LA FONCTION DE PRODUCTION : « L'analyse des substitutions Energie-Capital-Travail »

La fonction de production est tout simplement l'expression mathématique des relations qui, à un moment donné, peuvent être mises en place entre un output (le PIB ou la VA d'une branche) et l'ensemble des facteurs de production nécessaires à l'octroi de cet output. Les facteurs fondamentaux de production (le capital K, le travail L, l'énergie E et les matières premières non énergétiques M) peuvent être intégrés dans des proportions variables, dans le temps et dans l'espace, sous l'effet du progrès technique et en fonction du niveau des prix relatifs de chacun d'eux. Certaines fonctions de production supposent une stricte complémentarité entre K, L, E et M, tandis que d'autres admettent une substituabilité partielle voire quasi parfaite entre ces facteurs. Il y eut beaucoup de travaux dans le domaine à la fois théoriques et économétriques autour de ces fonctions KLEM dans les années 70 et 80. Il faut reconnaître que ces fonctions ont en pratique un double intérêt :¹⁸

¹⁸Jacques Percebois, L'APPORT DE LA THEORIE ECONOMIQUE AUX DEBATS ENERGETIQUES, Centre de Recherche en Economie et Droit de l'Energie, UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER I, Cahier n° 99.11.15, Novembre 1999, Page 06.

- d'une part elles permettent, grâce au concept d'élasticité de substitution, de mesurer le degré de substituabilité entre les facteurs de production, à court terme comme à long terme ;
- d'autre part elles permettent de se baser, sur un plan analytique et statistique, les fonctions de demande de ces divers facteurs. Ainsi la relation entre demande d'énergie et niveau d'activité économique est "médiatisée" par le recours à des équipements plus ou moins économes en travail.

Le recours à des fonctions tels que "Putty-Putty" (qui supposent une substituabilité ex ante et ex post entre facteurs), "Clay -Clay" (soulignent une complémentarité ex ante et ex post) ou "putty-clay" (ce type de fonctions prend en compte un pudding entre les deux types précédents c'est à dire une substituabilité ex ante mais complémentarité ex post), l'utilisation de fonctions à générations de capital ont permis de mieux comprendre, mesurer et quantifier les relations entre l'énergie et les autres facteurs de production au sein du processus productif, à un niveau agrégé comme au niveau désagrégé.

Une célèbre altercation théorique a opposée à la fin des années 70 BERNDT et WOOD, d'un côté, GREGORY-GRIFFIN de l'autre. Pour les premiers le capital et l'énergie sont avant tout complémentaires ; pour les seconds ils sont largement substituables. Cette controverse a été alimentée par de nombreuses "vérifications empiriques" (cf. J. PERCEBOIS) mais les tentatives de "réconciliation" ont permis de dépasser cette opposition. En utilisant les fonctions de production translog explicitées par W. DIEWERT (1974) et L. CHRISTENSEN, D. JORGENSON et L. LAU (1975) et en tenant compte du théorème de la dualité de SAMUELSON-SCHEPARD, on peut déterminer une fonction de coût translog de la forme :

$$\ln C = \ln \alpha_0 + \ln Y + \sum_i \alpha_i \ln p_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j b_{ij} \ln p_i \ln p_j$$

Où $i, j = K, L, E, M$ et où Y représente l'output et p le prix des facteurs de production (cas d'une fonction de production associée homogène de degré 1). On peut ainsi calculer des élasticités partielles de substitution au sens d'ALLEN entre l'input i et l'input j . Elle est égale à l'élasticité croisée de la demande d'input i par rapport au prix de l'input j divisée par la part du coût de l'input j dans le coût total de production :

$$\sigma_{ij} = \frac{\eta_{ij}}{S_j} = \frac{\delta \ln q_i}{\delta \ln p_j} \cdot \frac{\sum p_i q_i}{p_j q_j}$$

Dans le cas d'une fonction translog, UZAWA a montré que l'on obtient

$$\sigma_{ij} = \frac{\beta_{ij} + S_i S_j}{S_i S_j} \text{ avec } i \neq j$$

$$\text{où } S_i = \frac{p_i q_i}{C} = \alpha_i + \sum_j \beta_{ij} \ln p_j \text{ avec } \sum S_i = 1$$

Les travaux empiriques ont aidés à montrer que le capital et le travail peuvent être considérés comme substituables ($\sigma > 0$) dans l'industrie et il en va de même pour l'énergie et le travail. C'est au niveau des relations énergie-capital que les résultats économétriques divergent. Au-delà des explications "statistiques" liées notamment à des approches différentes (time séries ou cross-section, périodes de référence non identiques), BERNDT et WOOD ont suggérés une explication "théorique simple" de ces divergences. Ces divergences tiennent à la façon dont a été résolu le problème de la séparabilité au sein de la fonction de production et de la fonction de coût duale qui lui est associée. Il ne faut donc pas confondre entre la "substituabilité technique brute" et la "complémentarité économique nette". L'énergie et le capital peuvent donc fortement bien être des substituts bruts au sens technique du terme ; il n'en demeure pas moins vrai qu'ils sont généralement des compléments nets au sens économique du terme (cf. J. PERCEBOIS 1989).

III. 6 Les modèles de prévision utilisés dans le secteur d'énergie :

On distingue traditionnellement trois familles de modèles ¹⁹:

- Les modèles « Top down »
- Les modèles « Bottom-Up »
- Les modèles « Hybrides »

III. 6. 1 Les modèles « Top-down » :

Ces modèles partent d'un équilibre macroéconomique qui est progressivement désagrégé. Comme le rappelle P.Zagamé (2008), « ces modèles décrivent donc a priori le système énergétique à partir des fonctions de production, où l'énergie figure de façon plus ou moins détaillée, comme un facteur de production substituable ou complémentaire avec d'autres facteurs comme le travail et les autres produits intermédiaires. Dans les représentations traditionnelles de ces modèles, ces fonctions de production sont à progrès technique exogène ; c'est ainsi qu'apparaît dans les simulations un trend d'efficacité énergétique autonome, c'est-à-dire indépendant des conditions économiques prévalentes. L'endogénéisation n'est apparue que tardivement ».

Ces modèles sont souvent caractérisés par un haut niveau d'agrégation et les relations entre variables macroéconomiques sont supposées suffisamment stables dans le temps pour réaliser des prévisions. Sur la base des prix relatifs des divers inputs, les élasticités de substitution permettent de simuler diverses combinaisons productives et des coefficients exogènes d'amélioration de l'efficacité énergétique permettent de faire évoluer l'intensité énergétique des divers produits au cours du temps. Il est en revanche difficile de prendre en considération des ruptures technologiques dans ce genre de modèles. Il existe deux catégories principales de modèles « top-down » :

a) Les modèles macro économétriques :

Dont l'horizon temporel se limite généralement dix ou quinze ans, car on considère que les structures économiques se modifient trop pour que les estimations économétriques conservent la validité au-delà. Ces relations sont estimées à partir des séries temporelles ou de données de panel et on s'appuie souvent sur des matrices «input – output» pour modéliser les relations interindustrielles.

b) les modèles d'équilibre général calculable (MEGC) :

Qui supposent que les agents économiques maximisent ou minimisent leurs fonctions de préférence (maximisation d'une fonction d'utilité pour les ménages, maximisation d'une fonction de profit ou minimisation d'une fonction des coûts pour les entreprises). Les relations sont en général, « calibrées » sur des séries statistiques et non pas estimées économétriquement. A chaque itération, ces modèles établissent l'équilibre sur l'ensemble des marchés grâce à un ajustement par les prix, mais ils ne fournissent pas d'information sur le cheminement vers cet équilibre. L'horizon temporel des « MEGC » est, en général, plus éloigné que celui des mesures de politique énergétique.

III. 6. 2 Les Modèles «Bottom-up» :

Ces modèles partent d'une description détaillée du système énergétique en insistant sur l'éventail des technologies disponibles ou qui le seront. La demande d'énergie est appréhendée par secteur économique et par usage énergétique (parfois en termes d'énergie utile). Grâce à cette à cette représentation détaillée des diverses technologies, ces modèles permettent de mettre en évidence la marge de manœuvre dont disposent les divers acteurs pour satisfaire leurs besoins.

¹⁹Jean-Pierre Hansen – Jacques Percebois, Énergie « Économie et politiques » Édition de Boeck université, 1^{ère} édition, Bruxelles 2^{ème} tirage 2011, p28.

En fonction d'hypothèses exogène sur la croissance économique et sur le progrès technique, on peut tracer une image cohérente du système énergétique futur dès lors que l'on suppose que la fonction « objectif » des agents est connue. Il s'agit en général d'une fonction de coût que l'on cherche à minimiser. En pratique, on distingue deux types principaux de modèles :

a) Des modèles de stimulation :

Qui envisagent plusieurs scénarios technologiques avec des hypothèses contrastées de croissance économique et de prix des énergies.

b) Des modèles d'optimisation :

Qui supposent que le comportement des agents est rationnel et cherche à maximiser un profit ou à minimiser un coût, dès lors que l'environnement économique est donné (croissance des activités économique, prix relatifs).

Ces modèles ne permettent toutefois pas de prendre en compte les interactions entre secteurs économiques ni les rétroactions macroéconomiques liées au choix techniques.

Tableau 1 5: Quelques exemples de modèles utilisés dans l'union européenne (avec l'indication de l'institution qui les a élaborés).²⁰

	Modèles Top-down		Modèles Bottom-Up
Modèles macroéconomique	HERMES ⁽¹⁾ NEMESIS ⁽²⁾	Modèles de simulation	MEDEE ⁽⁶⁾ POLES ⁽⁷⁾
Modèles d'équilibre général calculable	GEM-E3 ⁽³⁾ GEMINI ⁽⁴⁾ IMACLIM ⁽⁵⁾	Modèles d'optimisation	MARKAL ⁽⁸⁾ EFOM ⁽⁹⁾ PRIMES ⁽¹⁰⁾ TIMES ⁽¹¹⁾

- (1) : Harmonized Economic Research for Modelling Economic systems (ERASME) .
- (2) : New Economic Model for Environment strategies Implementation for Sustainable Development (ERASME)
- (3) : General Equilibrium Model Energy-Economy- Environment Interactions (NTVA Et ERASME)
- (4) : General Equilibrium Model of International- National Interactions between Economy, Energy and the Environment (A.BernardetM.Vielle).
- (5) : Modele d'interaction energie –climat (CIRED).
- (6) : Modele d'évolution de la demande d'énergie (à long terme) (ENERDATA).
- (7) : Prospective outlook on long term Energy systems (LEPii)
- (8) : Market Allocation (Ecole des mines de Paris).
- (9) : EnergyFlows optimisation Model (LEPii et comission européenne).
- (10) : Projections of integrated Modelling Energy systems (NTVA)
- (11) : The integratedMarket- EFOM System (Ecole des mines de Paris).

III. 6. 3 Les Modèles « Hybrides » :

Comme le rappelle P.Zagamé (2008), on peut trouver plusieurs façons de concilier les deux

²⁰ Tableau A : Jean pierre Hansen-Jacques Percebois . Energie « Economie et Politique », idem , p 29 .

Approches (cf. Boehring, 1998 et Loulou 2005) :

« Tout d'abord, prolonger « vers le bas » un modèle macro-sectoriel par un modèle énergie décrivant de façon détaillée les technologies ; mais cette opération est limitée par la lourdeur de la mise en œuvre (...) pousser « vers le haut » un modèle bottom up (...) en y ajoutant un module macroéconomique agrégé(...) Enfin, il y a la possibilité de faire dialoguer deux modèles ou plus, de façon centralisée, et organisant un linkage par les itérations ».

L'ambition des modèles Hybrides consiste à combiner une représentation détaillée des technologies et usage de l'énergie avec une représentation détaillée des interactions entre le système énergétique et le reste de l'économie. Mais les approches de l'ingénieur ne coïncident pas toujours avec les contraintes de l'économiste.

IV. Politique Énergétique :

L'énergie constitue un enjeu majeur de l'intégration mondiale depuis la création de plusieurs Communautés tels que la communauté européenne du charbon et de l'acier (CECA). Deux tendances ont ainsi décrit l'action de l'Union : la création d'un marché concurrentiel unique de l'énergie et la lutte contre le changement climatique, laissant malheureusement de côté les aspects essentiels que constituent l'accessibilité, la sécurité et la fiabilité énergétiques. Les coûts croissants de l'énergie à titre d'exemple en Europe, notamment en Allemagne, conduisent progressivement à un déplacement des industries à forte intensité énergétique et, par conséquent, à la suppression du premier maillon de la chaîne de valeur industrielle. C'est un des risques les plus importants en matière de croissance et de compétitivité pour nos pays. L'Allemagne a pris un tournant unilatéral en matière de politique énergétique en mettant en place un système singulier de tarification de rachat d'électricité et en accordant un accès prioritaire au réseau à la part croissante des énergies renouvelables à production fluctuante. Cette inflexion est contraignante pour les pays voisins. De manière générale, la divergence des conceptions énergétiques nationales n'est pas correctement prise en compte au niveau européen, continental ou mondial.

IV. 1 Les axes de politiques :

IV. 1. 1 Prix de l'énergie :

a. Définition de la variable :

À l'échelle mondiale les énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon) fournissent 80% des besoins énergétiques primaires, le complément étant fourni par l'énergie traditionnelle qu'est la biomasse, par le nucléaire et par l'hydroélectricité. La contribution des autres énergies renouvelables reste très faible (éolien, solaire) malgré leur fort développement ces dernières années.

Le pétrole comme le charbon s'échange à l'échelle mondiale, aussi leur prix tend à être un prix mondial (à la nuance près que le transport par bateau du charbon est plus cher que celui du pétrole par joule ou par quantité d'énergie transportée, et que le pétrole se transporte aussi par oléoduc). Le marché du gaz est davantage un marché régional car il est plus souvent transporté par gazoduc. En effet, le transport de gaz par méthanier implique de sacrifier 12% du gaz transporté dans l'énergie nécessaire à sa liquéfaction.

Enfin, l'électricité peut être produite par toutes les énergies fossiles dans des centrales thermiques et, dans ce cas, le coût de l'électricité est très dépendant du coût de l'énergie fossile utilisée dans la centrale (70% du coût du KWh pour le gaz et 40% pour le charbon). Le cas du nucléaire est différent puisque ce sont davantage l'amortissement d'importants investissements, les coûts d'exploitation et de sécurité des centrales qui forment le coût du KWh, plus que le coût du combustible (moins de 20% du coût du KWh). Mais le prix des énergies ne dépend pas que de la balance ressource – offre / demande.

- A l'échelle européenne, depuis l'accord de Kyoto, les émissions de dioxyde de carbone ont un prix (et 80% des émissions anthropiques de carbone sont liées à la combustion des énergies fossiles).

- La politique d'ouverture des marchés de l'énergie à l'échelle de l'Europe peut conduire à une convergence des prix à son échelle.

- La fiscalité (taxe intérieure sur les produits pétrolier, la TIPP) peut modifier radicalement le prix pour le consommateur

Cette fiche s'attache en priorité aux évolutions possibles du prix de l'électricité et des carburants car si une part de carburants est remplacée par des agrocarburants de l'eau pourrait être consommé pour ces cultures spécifiques et la production d'électricité (nucléaire, thermique) utilise l'eau pour son refroidissement quand l'hydroélectricité utilise directement la force de cours d'eau donc son débit pour produire de l'énergie.

b. Indicateurs pertinents : (permettant de suivre l'évolution de la variable dans le temps)

- prix et disponibilité des énergies primaires (fossile, biomasse).
- maturité des technologies, progrès attendus.
- fiscalité sur les produits énergétiques.

c. Incertitudes et signaux faibles : (incertitudes majeures pour l'avenir et « signaux faibles » de changement)

- **Prix du pétrole et de l'électricité**

Tendances :

Le prix du pétrole va augmenter à 2030 mais il pourrait baisser à 2050 en raison d'une moindre utilisation (alternatives agro carburants et électricité) Le prix du gaz augmente dans un premier temps (suit le prix du pétrole) mais un découplage est possible si exploitation des gaz de schiste. Le prix de l'électricité suit le prix des combustibles fossiles avec la libéralisation du secteur de l'électricité en Europe.

- WEO 2008, **les prix de l'électricité** montent avec les matières premières énergétiques et les coûts de construction des infrastructures. En 2030 : prix 2006 + 11%
- Au moins + 25 % à court terme (Cf http://www.observatoiredeleurope.com/Pourquoi-lesprix-de-l-electricite-et-du-gaz-vont-s-envoler_a1165.html)
- prix concurrentiel / Europe dépend davantage du prix « fossile » (+ quotas d'émissions CO2)
- 2020-2030 : renouvellement du parc nucléaire en France

Donc à 2030 le prix de l'électricité va augmenter pour deux raisons : alignement sur le prix des hydrocarbures dans un tarif européen et anticipation des investissements pour remplacer les centrales nucléaires en fin de vie avec une incertitude sur la durée de vie des centrales voire sur leur remplacement ou non (effet Fukushima).

- **Fiscalité énergétique**

Tendance lourde : la fiscalité du diesel rejoint celle de l'essence pour les carburants. L'incertitude est sur la fiscalité des autres usages de l'énergie (peu taxés en France par rapport aux autres pays). Une autre incertitude est sur l'instauration d'une taxe carbone au niveau européen ou national qui augmenterait encore la fiscalité tant sur les carburants sur la combustion d'énergie fossile pour le chauffage ou la production électrique.

IV. 1. 2 sécurité de l'approvisionnement

a. Définition :

Cependant, avant d'illustrer les deux dimensions de la sécurité de l'approvisionnement, il faut tout d'abord définir et comprendre bien le vrai concept de « la sécurité de l'approvisionnement énergétique » tel qu'il est utilisé dans les politiques mises en place par les gouvernements. Ce n'est pas aussi simple qu'il n'y paraît. La sécurité de l'approvisionnement énergétique peut prendre différentes significations selon les personnes. Un expert en politique étrangère n'exposera pas le sujet de la même manière qu'un ingénieur réseau ou qu'un économiste. De nombreux experts ont tenté de donner leur propre définition de cette notion mais elles sont souvent trop abstraites pour traiter ce problème concret qui est intrinsèquement lié aux préférences géopolitiques, aux choix technologiques stratégiques et aux orientations fondamentales de la politique sociale. Ces définitions peuvent également différer d'un pays à l'autre. Par exemple, un pays ayant un accès limité aux infrastructures énergétiques transfrontalières mais ayant une base importante de ressources nationales anticipera la sécurité de son approvisionnement énergétique autrement qu'une économie de petite taille, ouverte et étroitement liée ses voisins mais possédant peu de ressources. Tout comme la notion de « durabilité », autre aspect clé de la politique énergétique des pays de l'OCDE, le concept de sécurité de l'approvisionnement énergétiques s'applique souvent aux moyens utilisés pour soutenir les différents objectifs politiques.

Généralement, la définition consensuelle suivante sert de point de départ : « La sécurité de l'approvisionnement énergétique est la capacité du système énergétique à résister aux événements uniques et inattendus qui menacent l'intégrité physique du flux d'énergie ou qui mènent à une augmentation des prix de l'énergie discontinue et indépendante des fondamentaux économiques. » La « dépendance aux importations et la diversification », l'« intensité en carbone et ressources » ainsi que l'« adéquation des infrastructures » sont trois paramètres clés qui peuvent être vérifiés et qui sont présents dans cette définition générale. Cependant, il ne faut pas oublier que ces trois paramètres ne constituent pas à eux seuls la sécurité de l'approvisionnement énergétique, mais leurs caractéristiques et leurs conceptualisations sont importantes pour chaque cas individuel.

b. Deux dimensions clés de la sécurité de l'approvisionnement énergétique :

La question de la sécurité de l'approvisionnement énergétique est un exemple classique d'une externalité, c'est-à-dire d'un impact sur le bien-être des individus et de la société établi par une activité économique dont le prix n'a pas encore été évalué sur le marché. Le risque d'approvisionnement énergétique étant devenu une externalité négative, il représente un grand problème politique. Cela signifie que des personnes privées ne peuvent pas se prémunir contre de tels risques car ils sont très complexes et non quantifiables. C'est là que les gouvernements doivent agir contre des risques aussi pareils.

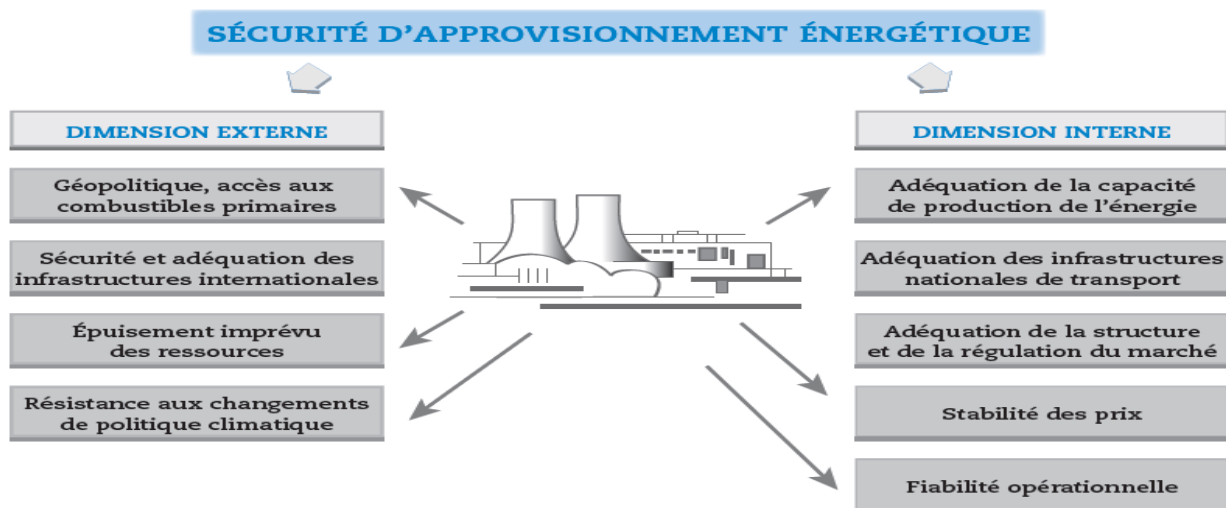
Les risques d'approvisionnement énergétique peuvent être évalués essentiellement dans deux dimensions :²¹

- La dimension externe, ou géopolitique.
 - La dimension interne qui comprend les aspects technique, financier et économique.
- L'énergie nucléaire peut jouer un rôle constructif dans les deux cas (voir Figure 1.6).²²

²¹R. Cameron et J.H. Keppler, La sécurité d'approvisionnement énergétique et le rôle du nucléaire, AEN Infos 2010-N° 28.2, Page 4.

²²Ibid, Page 5.

Figure 1 6 : Les dimensions de la sécurité énergétique et le rôle potentiel de l'énergie nucléaire



➤ **Dépendance aux importations, épuisement des ressources et politique à l'égard des émissions de carbone : « la dimension externe »**

Le risque géopolitique fait presque toujours référence aux sources d'énergie primaire (pétrole, gaz, charbon, uranium ou énergies renouvelables) puisque leur emplacement géographique dépend des vicissitudes climatiques et géologiques. La production et la consommation ont donc lieu souvent très loin physiquement, dans des pays et des régions de cultures, d'histoires et de valeurs différentes. Hormis l'exploration et la production, toutes les autres étapes de la chaîne de production énergétique, comme le raffinage ou l'enrichissement, la conversion et la distribution, peuvent être délocalisées à proximité de l'utilisateur final ou sont directement sous son contrôle, telle la consommation.

L'éloignement physique des centres de production et de consommation de l'énergie primaire étant la cause fondamentale du risque géopolitique d'approvisionnement, on peut être tenté de traiter le problème en s'efforçant de produire cette énergie sur le territoire national (« l'indépendance énergétique »). Ce sont la position géographique d'un pays, sa propre dotation en énergie, l'état de ses infrastructures de transport et de stockage, la diversification de ses approvisionnements, la volonté de sa population d'accepter des prix moyens à long terme plus élevés pour plus de constance, et bien d'autres aspects qui en feront une bonne approche ou non.

Dans un monde idéal, la sécurité de l'approvisionnement énergétique ne serait pas mise sur un pied d'égalité avec l'indépendance énergétique ou l'autosuffisance. Le libre-échange mondial de l'énergie sur des marchés compétitifs fonctionnant bien garantirait la livraison en temps utile de toutes les ressources énergétiques nécessaires. La plupart des pays se reposent, et continueront à se reposer, partiellement sur le commerce international de l'énergie. Mais la question de l'autosuffisance prend une signification particulière sur le marché de l'électricité puisqu'elle n'est transportée que sur des distances relativement faibles en raison des défis techniques et économiques liés à son stockage. Dans des pays insulaires comme le Japon ou l'Australie, ou des pays isolés de facto comme la République de Corée, la production nationale d'électricité doit pouvoir répondre à la demande nationale.

➤ **Les conditions techniques, financières et économiques de la sécurité énergétique : « la dimension interne »**

La sécurité énergétique commence à l'intérieur du pays. A titre d'exemple, pour les gouvernements des pays de l'OCDE, la plus grande responsabilité consiste à définir un cadre approprié pour inciter les acteurs privés à implanter sur le territoire des installations adaptées à la production, au transport, à la conversion et à la consommation de l'énergie. La stabilité réglementaire, l'organisation du marché, la cohérence fiscale et la prévisibilité de la politique

environnementale sont des éléments importants de cette stratégie. Si on se penche par exemple sur le secteur électrique, le plus difficile dans ce secteur est de créer un cadre :

- qui ne crée pas de discrimination relative aux sources d'énergie à faibles émissions de carbone produites sur le territoire national, comme le nucléaire ou les énergies renouvelables ; et
- qui permet de construire des infrastructures de transport, de production et de conversion avec le soutien de dispositions financières adaptées sur la durée.

La mise en place de conditions de marché permettant d'accéder à des technologies à faibles émissions de carbone avec des risques d'approvisionnement inférieurs à un même niveau de compétitivité relève donc de la responsabilité des gouvernements de l'OCDE. Ceux-ci ont également un rôle à jouer pour mettre en place la capacité nécessaire pour le transport, la distribution et la conversion. Cette capacité peut en partie être générée par les marchés eux-mêmes mais dans d'autres cas, elle devra être réglementée et supervisée. D'une part, la réglementation doit définir des conditions financières suffisamment intéressantes pour attirer les investissements vers les infrastructures de transport et de conversion. D'autre part, les projets doivent bénéficier d'un soutien politique national pour lutter contre des retards excessifs. Ce soutien passe par des processus réglementaires appropriés et des arrêtés de zonage mais également des mécanismes efficaces de consultation, de médiation et de compensation.

IV. 1. 3 Efficacité énergétique : quoi, pourquoi, comment ?

Une hausse du coût de l'énergie comme motivation à consommer moins

L'augmentation du coût de l'énergie est aujourd'hui inéluctable, notamment sur les matières premières fossiles que sont le gaz, le pétrole ou le charbon. L'impact est direct sur le budget des ménages comme des entreprises, et donc sur l'importance que chacun porte à l'énergie consommée. Ces tarifs en hausse peuvent en effet être la principale motivation d'un changement de comportement de la part des utilisateurs. Face à cette prise de conscience motivée par des questions pécuniaires, les lois environnementales ont un poids d'autant plus grand sur la réduction des consommations, en imposant l'émergence de bâtiments éco-performants.

Qu'est-ce que l'efficacité énergétique ?

En termes scientifiques, l'efficacité énergétique illustre le rapport de l'énergie consommée sur l'énergie produite. *En d'autres termes, l'efficacité énergétique d'un champ est sa propension à gérer sa propre énergie, à optimiser les flux, à en produire pour la renouveler, à la mesurer, la répartir, l'optimiser²³.*

Un secteur assurant d'une bonne efficacité énergétique est un secteur qui s'étend à l'équilibre entre production et consommation d'énergie.

Le but, est d'intégrer des solutions permettant l'optimisation des consommations sans influence sur le confort des utilisateurs et occupants, ni compromis sur les capacités techniques des outils propres à l'activité du bâtiment.

²³ Le livre blanc de l'Efficacité énergétique, **Schneider Electric France**, Direction Communication et Promotion, Centre PLM, F - 38050 Grenoble cedex 9, Février 2011, P13.

Pourquoi l'efficacité énergétique ?

D'ici 2030 « AIE, World Energy Outlook 2009 » :

- Sur plus de 8 milliards d'habitants, 60 % habiteront dans les villes et 2 milliards feront partie de la classe moyenne,
 - La demande d'électricité sera de 76 % supérieure à celle de 2007.
 - A elles seules, la Chine et l'Inde représenteront plus de 50 % de la demande d'énergie supplémentaire,
 - 1,3 milliard de personnes n'auront toujours pas accès à l'électricité, essentiellement en Afrique et en Inde,
 - Les véhicules électriques représenteront 60 % des ventes mondiales de véhicule individuel,
 - Les énergies renouvelables représenteront 22 % du mix énergétique mondial.
-

Comment atteindre un idéal d'efficacité énergétique ?

En faisant surgir, par les entreprises du marché de l'énergie comme par les politiques publiques, des solutions permettant de consommer moins, de produire mieux.



57 % de la réduction des émissions mondiales de GES découleront des solutions d'efficacité énergétique d'ici à 2030²⁴.

Pour parvenir à cet objectif au sein d'un bâtiment, deux types de leviers complémentaires peuvent être activés :

- l'efficacité énergétique passive : obvier les pertes en renforçant la performance thermique du bâtiment (isolation, parois vitrées)
- l'efficacité énergétique active : rabaisser les consommations d'énergie en optimisant le fonctionnement des équipements et des systèmes.

Les solutions optimales d'efficacité énergétique passent notamment par l'implantation de systèmes intelligents (Smart Grids) de mesure, de contrôle et de régulation (chauffage/climatisation, éclairage, ventilation et appareillages). Cette solution est bien évidemment la plus efficace et la principale source de résultats en matière de renouvellement énergétique.

Impliquer le citoyen

Les solutions techniques sont au premier lieu des actions en vue d'atteindre un fonctionnement énergétique efficace dans la mesure où elles vont ancrer la maîtrise des consommations dans le temps.

Mais il est nécessaire également d'impliquer le citoyen dans cette démarche d'efficacité énergétique. Car la sensibilisation aux gestes écoresponsables est indispensable à la pérennité du processus de réduction des consommations et des émissions de GES.

²⁴AIE, www.iea.org

IV. 2 Initiative Diplomatique : Le Protocole de Kyoto (1997)

IV. 2. 1 Définition et catégories

Le protocole de Kyoto est un traité international ayant pour but de réduire serre. Annoncé en 1997, il est le prolongement de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) adoptée en 1992 lors le sommet de la Terre à Rio de Janeiro (Brésil). L'objectif du protocole de Kyoto est de parvenir durant la période d'engagement 2008-2012 à la réduction des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique de 5,5% en moyenne (dans les pays engagés) par rapport aux niveaux de 1990. Une seconde période d'engagement a été fixée lors du sommet de Doha en Décembre 2012. Elle s'étend du 1er Janvier 2013 au 31 Décembre 2020.

Le protocole a été signé le 11 Décembre 1997 lors de la troisième conférence annuelle de la Convention à Kyoto (Japon). Pour entrer en vigueur, il devait être adopté par 55 pays développés générant en consolidé au moins 55% des émissions de CO₂ du monde en 1990. Il est entré en vigueur le 16 Février 2005.

A ce jour, 195 « Parties » (194 États et l'Union européenne) ont déposé leurs instruments de ratification²⁶, d'accession, d'approbation ou d'acceptation, à l'exception notable des Etats-Unis. En effet, le protocole a été signé sous la présidence Clinton mais n'a pas été ratifié par le Sénat américain.

Seulement, 37 pays industrialisés se sont réellement mis d'accord sur les objectifs de ce dispositif. En pratique, les pénalisations consécutives à la défaillance du protocole de Kyoto n'ont jamais été clairement définies. Dans les faits, l'accord n'est légalement pas contraignant à ce jour.

IV. 2. 2 Enjeux par rapport à l'énergie :

Enjeux environnementaux

Certains scientifiques estiment que le réchauffement moyen à l'horizon de 2100 sera de 1,4 à 5,8°C par rapport aux températures de 1990²⁷. Les conséquences d'une telle augmentation pourraient être considérables : désertification, inondations, dissémination des maladies, disparitions d'espèces animales. Le réchauffement climatique est donc considéré par beaucoup comme le défi environnemental du XXIe siècle. Le protocole de Kyoto illustre l'importance que les pays mondiaux accordent à l'environnement et à la relation entre l'humanité et l'équilibre naturel de la planète.

Enjeux économiques

La mise en place du marché de permis d'émission de CO₂ soulève de nombreuses questions économiques sur les implications financières pour les pays signataires du protocole de Kyoto. Comment les entreprises intégreront-elles la contrainte CO₂ dans leurs comptes financiers et dans leurs prévisions de développement ? Quelles contreparties financières seront associées à l'engagement des pays en voie de développement de participer à l'effort collectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre ?

Par ailleurs, le protocole de Kyoto redessine le clivage Nord-Sud. Il exonère les pays en développement et les pays émergents des responsabilités climatiques cruciales, sans contrepartie financière. Les pays en développement ont pourtant une démographie et une consommation énergétique en forte croissance. Les pays industrialisés sont incités à financer des « projets

²⁵La période de référence diffère en Bulgarie (1988), en Hongrie (moyenne de 1985 à 1987), en Pologne (1988), en Roumanie (1989) et en Slovaquie (1986). [Manuel de référence du protocole de Kyoto \(p. 55\)](#).

²⁶Un instrument de ratification est un document par lequel un chef d'Etat ou une autorité compétente confirme la validité de la signature que son plénipotentiaire a apposée au bas d'un accord ou d'un traité international

²⁷[Enjeux et outils de la réduction des émissions de CO₂](#), Sénat

propres » dans des pays en développement s'ils ne parviennent pas à atteindre leurs objectifs nationaux.

IV. 2. 3 Acteurs majeurs :

Entre sa signature en 1997 et son entrée en vigueur en 2005, le protocole de Kyoto a été ratifié en plusieurs phases successives.

A l'heure actuelle, 195 « Parties » (194 pays et l'Union européenne) ont déposé leurs instruments de ratification, d'accession, d'approbation ou d'acceptation du protocole de Kyoto.

Toutefois, le protocole n'engage réellement que 37 pays industrialisés. Selon la convention sur le changement climatique de 1992, les pays développés doivent être à l'avant-garde de la lutte contre les changements climatiques. Les pays en développement, y compris le Brésil, la Chine, l'Inde et l'Indonésie, sont également parties prenantes au protocole mais ne sont pas concernés par l'engagement de réduction d'émissions de GES.

IV. 2. 4 Unités de mesure et chiffres clés :

Exemples d'objectifs fixés (2008-2012)

- ❖ Les États-Unis qui ont uniquement signé le protocole (et non ratifié) ont manifesté l'intention de réduire leurs émissions de 7%.
- ❖ L'Union européenne s'est engagée à réduire ses émissions de 8%.
- ❖ Le Japon et le Canada doivent réduire leurs émissions de GES de 6%²⁸. Ces deux pays ne participent pas à la seconde période d'engagement du protocole de Kyoto.

Les unités du marché du carbone

- ❖ Unité de Quantité Attribuée (UQA) : il s'agit de la quantité d'émissions attribuée par pays de l'Annexe B, répartie en tonnes d'équivalent CO₂.
- ❖ Unité de Réduction des Emissions (URE) : ce sont les crédits attribués pour des réductions d'émissions réalisées dans le contexte de la mise en œuvre conjointe (MOC). Cette unité équivaut à une tonne métrique d'équivalent de CO₂.
- ❖ Unité de Réduction Certifiée des Emissions (URCE) : ce sont des crédits attribués pour des réductions d'émissions réalisées dans le contexte du mécanisme de développement propre (MDP). Cette unité équivaut à une tonne métrique d'équivalent de CO₂.

IV. 2. 5 Passé et présent :

Les Sommets de la Terre sont des rencontres entre les dirigeants mondiaux ayant lieu tous les 10 ans depuis 1972. Ils ont pour but de stimuler le développement durable au niveau mondial. Le premier sommet a eu lieu à Stockholm (Suède) en 1972, le deuxième à Nairobi (Kenya) en 1982, le troisième à Rio de Janeiro (Brésil) en 1992, le quatrième et dernier avant Kyoto à Johannesburg (Afrique du Sud) en 2002.

Le Sommet de 1992 a donné naissance à la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) et a vu l'adoption de la Convention sur le Climat. Celle-ci confirme la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre et a abouti à la signature en 1997 du protocole de Kyoto.

La négociation de Bonn finalisée à Marrakech en 2001 a permis la ratification par de nombreux pays en 2002 : par exemple, l'Union européenne alors composée de 15 États membres le 31 mai 2002, le Japon le 4 juin 2002. Par la suite, la Russie a ratifié le protocole le 22 octobre 2004 et cela a permis l'entrée en vigueur du protocole le 16 février 2005. En effet, pour entrer en vigueur, le

²⁸ Émissions de gaz à effet de serre en 2011,

<http://www.eea.europa.eu/fr/pressroom/newsreleases/emissions-de-gaz-a-effet>

protocole de Kyoto devait d'abord être ratifié par 55 pays représentant 55 % des émissions totales de GES en 1990.

IV. 2. 6 Futur :

En décembre 2009, la Conférence de Copenhague a abouti à un accord a minima non contraignant visant à réduire de moitié les GES en 2050 par rapport à 1990. L'objectif est de limiter à 2°C l'augmentation de la température du globe par rapport au début de l'ère industrielle.

En décembre 2010, la Conférence de Cancun a réaffirmé cet objectif et mis en place l'allocation d'un Fonds Vert de 100 milliards de dollars par an pour aider les pays en voie de développement à lutter contre les changements climatiques et la déforestation. Cette conférence a par ailleurs révélé un point de désaccord sur la question de la prolongation du protocole de Kyoto, dont la première phase doit s'achever en 2012 : le Japon, la Russie et le Canada réclamaient la ratification des deux principaux pays consommateurs mondiaux, la Chine et les États-Unis.

Lors de la Conférence de Durban en décembre 2011, les Parties se sont entendues sur une feuille de route visant un accord en 2015 englobant tous les pays pour lutter contre le réchauffement climatique. Cet accord devrait entrer en vigueur à partir de 2020.

En 2012, la prolongation du protocole de Kyoto a été actée lors de la Conférence de Doha en décembre 2012. Le Japon, la Russie et le Canada ont refusé de poursuivre leurs efforts de réduction dans un cadre ne s'appliquant pas à la Chine et aux États-Unis. La seconde période d'engagement concerne 37 pays dont les membres de l'Union européenne et l'Australie.

IV. 3 Faire face à la dépendance énergétique est une nécessité grandissante : Prise de conscience de la dépendance énergétique :

Nous citons ci-dessous les différents éléments²⁹ et actions montrant la prise de conscience par une zone donnée tel que par l'Europe de sa dépendance énergétique :

Le **livre vert de novembre 2000 sur la sécurité d'approvisionnement énergétique**³⁰ a posé les premières étapes de la politique énergétique européenne. Il fait l'accent sur l'ensemble des indigences énergétiques de l'UE, sans pour autant trancher sur les choix à faire par les États membres, pour garantir leur indépendance énergétique. Ce livre vert propose des orientations et montre que la dépendance à l'égard de sources extérieures d'énergie devrait croître.

Le **livre vert de juin 2005 sur l'efficacité énergétique**³¹ détermine les obstacles à l'amélioration de l'efficacité énergétique. Il propose cependant d'introduire de nouvelles actions dans chacun des secteurs économiques gros consommateurs d'énergie. Par ce livre vert, la commission cherche à organiser une consultation publique à grande échelle. Ce document retrace un certain nombre d'options sur lesquelles elle sollicite l'avis des institutions.

La **Directive 2005/32/CE du Parlement européen et du Conseil**³² définit les principes conditions et critères fixant les exigences environnementales que les produits consommateurs

²⁹ A.DJEMAA, "Modélisation Bottom-Up, un outil d'aide à la décision long terme pour les mesures politiques en matière d'énergie et d'environnement - Le modèle TIMES appliqué aux industries grandes consommatrices d'énergie (IGCE)", Thèse de Doctorat, ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES DE PARIS, 7 mai 2009, P28.

³⁰ Livre vert de la Commission du 29 Novembre 2000 : « Vers une Stratégie Européenne de sécurité d'approvisionnement »

www.ec.europa.eu/energy/green-paper-energy-supply/doc/green_paper_energy_supply_fr.pdf

³¹ Livre vert de la Commission du 22 juin 2005 : « l'efficacité énergétique ou comment consommer mieux avec moins »

www.energie-cites.eu/IMG/pdf/2005_06_green_paper_text_fr.pdf

³² Directive 2005/32/CE du parlement européen et du conseil, du 06 juillet 2005, établissant un cadre pour la fixation

d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits consommateurs d'énergie www.europa.eu.int/eurllex/

d'énergie doivent remplir pour leur mise sur le marché et/ou en service. Pour autant, cette directive ne prévoit pas de dispositions directement contraignantes pour des catégories de produits spécifiques, mais énonce plutôt des conditions et des critères relatifs aux caractéristiques environnementales et énergétiques des produits. En principe, la directive applique à tout produit utilisant de l'énergie et qui est mis sur le marché européen ou importé, hors les moyens de transport de personnes ou de marchandises. L'objectif principal de cette directive est d'assurer la libre circulation des produits consommateurs d'énergie au sein du marché intérieur de l'UE, et par ailleurs à améliorer leur efficacité énergétique.

Le **Mémoire français**³³ sensibilise les institutions européennes sur un certain nombre de mécanismes mis en œuvre en France : réflexion prospective sur la sécurité d'approvisionnement, amélioration de l'efficacité énergétique et le développement du nucléaire. Ce mémoire proposait également une politique énergétique commune.

Le **livre vert de mars 2006 sur la politique européenne de l'énergie**³⁴ lance le débat sur une future politique européenne commune dans le domaine de l'énergie, permettant ainsi à l'UE de s'exprimer d'une seule voix sur la scène internationale. Il suggère, entre autres, d'harmoniser le marché intérieur de l'énergie, d'intensifier les relations avec les principaux fournisseurs d'énergie comme la Russie et l'OPEP, d'utiliser des énergies renouvelables, l'efficacité énergétique et de faire la recherche sur les technologies faibles en carbone.

La **Directive 2006/32/CE du Parlement européen et du Conseil**³⁵ a pour objectif de rendre l'utilisation finale d'énergie plus économique et plus efficace. La directive vise la vente au détail, la fourniture et la distribution des grands vecteurs énergétiques dépendant d'un réseau, comme l'électricité et le gaz naturel, ainsi que d'autres types d'énergie à l'exclusion des activités soumises au système d'échange de quotas de gaz à effet de serre. En terme d'objectif, les Etats membres doivent atteindre une économie d'énergie de 9% d'ici 2015. Ils doivent également se fixer un objectif indicatif national intermédiaire à atteindre en 2009. En France, cette directive impacte directement EDF.

La **Communication de la Commission, « Plan d'action pour l'efficacité énergétique »**³⁶ fixe les actions d'une utilisation rationnelle de l'énergie. Le plan propose d'agir de façon ciblée sur la consommation et l'approvisionnement, afin de parvenir à économiser 20% de la consommation annuelle d'énergie primaire d'ici à 2020³⁷.

La **Communication de la Commission au Conseil Européen et au Parlement Européen, « Une politique énergétique pour l'Europe »**³⁸ introduit le paquet intégré de mesures définissant la

[lex/LexUriServ/site/fr/oj/2005/l_191/l_19120050722fr00290058.pdf](http://lex.lexuri.serv/site/fr/oj/2005/l_191/l_19120050722fr00290058.pdf)

³³ Mémoire de la France pour une relance de la politique énergétique européenne dans une perspective de développement durable, Janvier 2006

www.diplomatie.gouv.fr/fr/IMG/pdf/Memorandum_francais_sur_l_energie_dans_une_perspective_de_.pdf

³⁴ Livre vert de la Commission, du 08 mars 2006 : « Une stratégie européenne pour une énergie sûre compétitive et durable »

www.ec.europa.eu/maritimeaffairs/pdf/com_2006_0275_fr_part2.pdf

³⁵ Directive 2006/32/CE du Parlement européen et du Conseil, du 05 avril 2006 relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques

http://www.ecoresponsabilite.environnement.gouv.fr/article.php?id_article=330

³⁶ Communication de la commission, du 19 octobre 2006 : « Plan d'action pour l'efficacité énergétique : réaliser le

potentiel » www.eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/fr/com/2006/com2006_0545fr01.pdf

³⁷ Par rapport aux projections de la consommation énergétique pour 2020.

³⁸ Communication de la commission au Conseil européen et au Parlement européen, du 10 janvier 2007 : « Une politique de l'énergie pour l'Europe » www.eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0001:FIN:FR:PDF

politique européenne de l'énergie. Ces mesures portent sur les mêmes axes : un marché intérieur de l'énergie concurrentiel, intégré et interconnecté ; assurer la sécurité d'approvisionnement énergétique et limiter les émissions de gaz à effet de serre. En outre, elle reconduit l'objectif fixé par la communication de la commission : « plan d'action pour l'efficacité énergétique ». De plus, dans de cette communication l'UE s'engage à réduire ses émissions internes de 20% au moins d'ici 2020. Elle appelle par ailleurs à la conclusion d'un accord international par lequel les pays développés s'engageraient à réduire de 30% leurs émissions de gaz à effet de serre d'ici 2020. En termes d'énergie renouvelable, cette communication fixe un objectif contraignant de porter la part des énergies renouvelables à 20% de sa palette énergétique d'ici 2020.

Les **conclusions de la présidence du Conseil européen de Bruxelles**³⁹ réaffirment globalement les engagements pris dans le cadre de la communication de la commission « Une politique énergétique pour l'Europe ».

En France, l'ensemble des directives européennes sur la maîtrise d'énergie et l'environnement devrait être transposées en droit français pour leur mise en application. La loi POPE⁴⁰ et son titre II sur la maîtrise de l'énergie ainsi que ses décrets d'application, instaurent **un système de certificats d'économie d'énergie** avec un objectif national de 54 TWh cumac⁴¹ de 2006 à 2008 (une obligation pour EDF de réaliser 30TWh cumac). La pénalité en France est fixée à 2c€/kWh cumac manquant. Ce même titre transpose également la directive européenne 2002/91/CE sur la performance énergétique des bâtiments.

IV. 4 Transition énergétique : « Avenir à Bâtir -Voie à Tracer »

IV. 4. 1 Transition énergétique : un concept estompé en vertu de la variété des formes d'énergie, des coûts et des prix :

Contempler un travail de comparaison économique des stratégies de transition énergétique en débat ou en voie de mise en œuvre au sein de divers pays impose de rappeler la variété des formes d'énergies⁴² ainsi que la différence entre leurs coûts et leurs prix⁴³.

Il n'y a pas une mais des énergies, qui ont des spécificités, des domaines d'emploi, des usages et des consommateurs différents, d'où une multiplicité de marchés, ainsi que les effets de substitution entre énergies, comme l'illustre le graphique ci-dessous. De ce point de vue, le terme originel de transition énergétique tel qu'introduit au début des années 80 par un influent institut allemand de recherche sur l'environnement, visait au départ le développement de solutions de remplacement des combustibles fossiles et des matières radioactives.

Trois décennies après, la multiplication des initiatives fondamentales de la transition énergétique et les retours d'expérience invitent à préciser cette première définition conceptuelle. Les transitions énergétiques peuvent s'envisager comme une fusion d'enjeux pour grand intérêt de la sécurité énergétique et de la diversification des sources d'approvisionnement en *énergie primaire*, de la compétitivité des secteurs de la transformation des *énergies secondaires* et de la maîtrise de la demande en *énergie finale*.

³⁹ Conseil européen de Bruxelles 8-9 mars 2007, Conclusion de la Présidence

www.consilium.europa.eu/ueDocs/cms_Data/docs/pressData/fr/ec/93141.pdf. La même conclusion fixe des objectifs

contraignants sur les sources d'énergies renouvelables (voir section 1.2.2.2.2)

⁴⁰ La loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique.

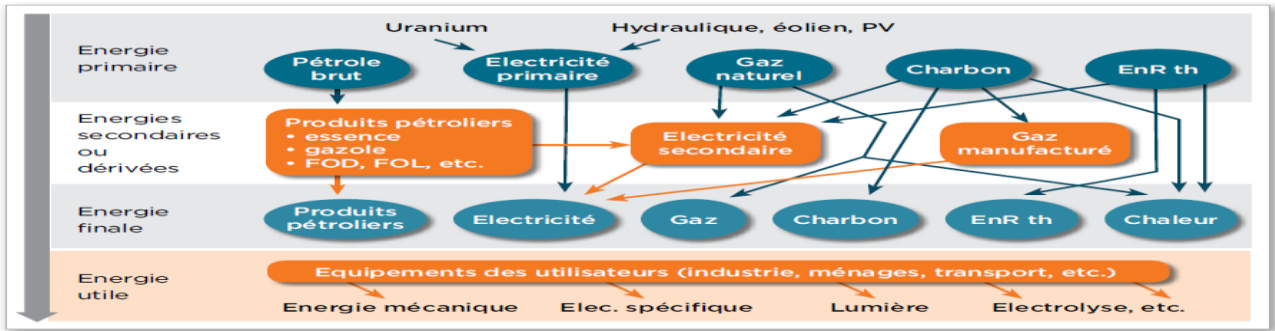
www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000813253&dateTexte

⁴¹ Cumulé actualisé sur la durée de vie du produit/service.

⁴² IESF, cahier n°11 publié par le Comité Énergie - Un regard complet sur les coûts, les performances, la flexibilité et les prix des énergies, février 2013.

⁴³ Ibid.

Figure 1 7: Les formes d'énergie et leurs usages principaux



Source : DGEC

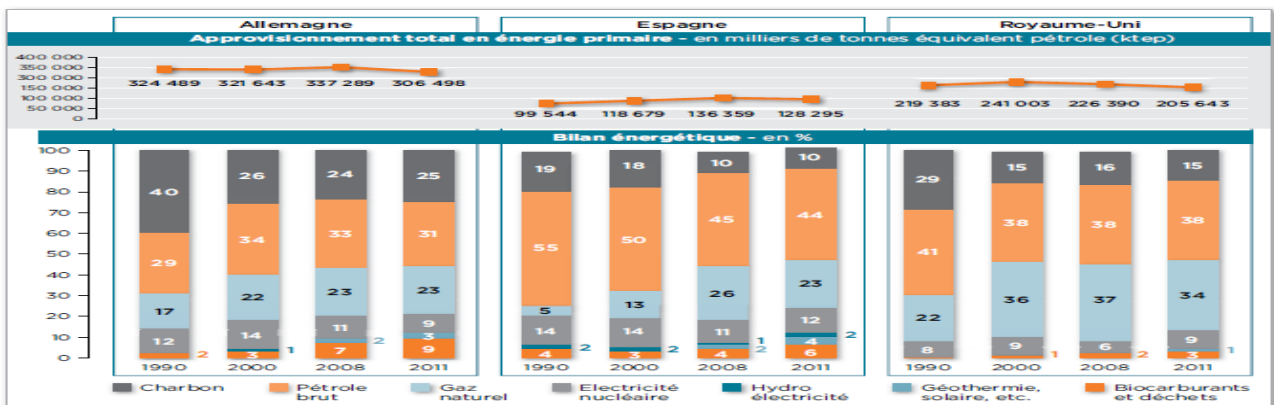
IV. 4. 2 Des objectifs énergie-climat européens mais des stratégies de transition énergétique nationales :⁴⁴

Chaque pays de l'Union européenne s'est engagé à travers le paquet énergie climat à réduire de 20 % des émissions de gaz à effet de serre, accroître de 20 % son efficacité énergétique et développer de 20 % la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale d'ici 2020.

Les conditions d'atteinte de ces objectifs restent toutefois à la main des états qui sont chargés d'élaborer leurs stratégies de transition énergétique en cohérence avec les caractéristiques particulières de leurs bilans énergétiques, dans le respect des critères de sécurité d'approvisionnement en énergie et de compétitivité. L'élaboration des stratégies de transition énergétique repose sur la simulation et la mise au débat de trajectoires énergétiques de moyen et long termes, déclinées selon un ensemble d'objectifs en matière d'évolution du bilan énergétique, de maîtrise de la demande en énergie et d'accroissement de la part des énergies renouvelables.

La comparaison des bilans énergétiques historiques de l'Allemagne, de l'Espagne et du Royaume-Uni illustre formidablement bien la diversité des situations énergétiques en Europe selon le niveau de dépendance/indépendance des pays vis-à-vis des importations en énergies primaires, le poids des diverses énergies fossiles dans la structure du bouquet énergétique, les effets de substitution gaz-pétrole-charbon, le poids des technologies décarbonatés, l'évolution de la demande en énergie primaire et les progrès réalisés en matière d'efficacité énergétique.

Figure 1 8: Allemagne, Espagne, Royaume-Uni : 3 bilans énergétiques contrastés



L'observation de la diversité des situations énergétiques permet avant tout de comprendre comment chaque pays a été amené à développer des cadres légaux et réglementaires distincts pour amorcer sa trajectoire de transition énergétique :

⁴⁴« Kurt Salmon-HEC Paris », **Transition énergétique : quels investissements pour quelle compétitivité ?**: Comprendre les stratégies en Allemagne, en Espagne et au Royaume-Uni, 2012, Page 8.

- En Allemagne, l'Énergie wende, concept initialement progressif de transition énergétique fondé sur la recherche d'un approvisionnement en énergie respectueux de l'environnement, renforçant la sécurité et la compétitivité du pays, formalisé en septembre 2010, a été revu et radicalisé au lendemain de la décision de l'Allemagne de sortir du nucléaire à l'horizon 2022.

- En Espagne, nul concept ou texte législatif fondateur ne permet d'éclairer simplement l'intention stratégique du pays en matière de transition énergétique. Il s'agit davantage d'une histoire longue, amorcée à compter du moratoire sur les nouvelles installations nucléaires (promulgué dès 1983, toujours en vigueur), et relancée à partir du milieu des années 90, face à la montée des prix des combustibles fossiles importés. C'est à compter de cette date que l'Espagne va tenter sa transition énergétique, en organisant le décollage des énergies renouvelables à travers un système de tarifs d'achats fortement soutenu par le financement public.

- Au Royaume-Uni, le Climat Change Acte de 2008, complété par le UK Low Carbon Transition Plan de 2009, ont fondé la plus ambitieuse des politiques de décarbonation de l'économie, alors observée en Europe. Cet objectif s'est ultérieurement traduit par un ensemble de mesures visant à réformer le secteur électrique, avec en ligne de mire la sortie du charbon. Ce processus législatif est en passe de se conclure à travers l'introduction depuis novembre 2012 du paquet légal énergie (« Energy Bill») auprès des chambres parlementaires.

Ainsi, l'étude économique des trajectoires de transition énergétique de chaque pays implique de considérer de manière spécifique les points de passage envisagés à court et moyen termes par les pouvoirs publics des différents pays, ceux-ci reflétant la nature des leviers d'action envisagés, qu'il s'agisse des politiques sectorielles ou des politiques fiscales.

Elle implique également de comprendre la nature des signaux de prix des énergies qui fonde la gouvernance de la transition énergétique, c'est-à-dire le pilotage des trajectoires et des points de passage dans le temps. In fine, ce sont bien de ces signaux de prix de l'énergie dont dépend la décision des agents économiques, publics et privés, d'investir dans un équipement de production d'énergie ou dans des solutions d'efficacité énergétique et, plus généralement, les comportements de consommation ou de sobriété énergétiques.

V. Aspects Environnementales :

V. 1 Progrès technologique :

V. 1. 1 Économie d'énergie :

La notion d'économie d'énergie mérite quelques précisions. Tout d'abord, il est fondamental de faire la distinction entre économie d'énergie à service rendu égal et à service rendu inférieur. Ainsi au niveau de l'habitat, il est possible de réduire la consommation en réduisant la température (service rendu inférieur), mais aussi de maintenir celle-ci en améliorant l'isolation des bâtiments et la récupération des calories gratuites fournies par l'environnement et les usages non caloriques (service rendu égal).

Au niveau de l'industrie, on peut faire apparaître des économies d'énergie en améliorant les processus, mais aussi en modifiant la structure de l'outil, en délocalisant par les postes fortement consommateurs d'énergie. La signification de ces deux sources d'économies d'énergie n'est évidemment pas la même.

Ainsi, la notion d'économie d'énergie peut-elle être même ambiguë dès que nous raisonnons à un niveau quelque peu agrégé. Pour essayer d'avancer dans ce débat, on peut être amené à utiliser les notions de filière énergétique, allant du premier au dernier degré de la consommation d'une forme d'énergie (filière électronucléaire, filière du charbon, etc...), et de cycle de vie d'un produit, qui permet de tenir compte de la part d'énergie contenue dans ce produit depuis sa conception jusqu'à sa destruction, et à analyser la consommation d'énergie aux niveaux micro- et macroéconomique, ce qui conduit à des problèmes de choix.

- Au niveau microéconomique, l'utilisateur s'interroge (ou devrait s'interroger) sur le meilleur moyen énergétique qui conduit au résultat final recherché.
- Au niveau macroéconomique, le gouvernement, les collectivités publiques s'interrogent sur les moyens les plus appropriés pour assurer l'approvisionnement énergétique.

V. 1. 2 Capture et stockage du CO₂ (CSC) :

Définition et catégories

❖ La capture du CO₂

La combustion de ressources énergétiques fossiles (charbon, gaz naturel, pétrole), de ressources énergétiques renouvelables (biomasse) ou de dérivés de ces ressources entraîne la formation de molécules de dioxyde de carbone ou CO₂.

Le procédé de capture (parfois appelé captage) du CO₂ consiste à piéger les molécules de CO₂ pendant ou après l'étape de combustion, afin d'éviter sa libération dans l'atmosphère. Trois familles de procédés de capture sont ainsi envisagées :

- la capture avant la combustion : **précombustion** ;
- la capture après une combustion classique (à l'air), avec peu ou pas de modification du procédé de combustion : **postcombustion** ;
- la capture après une combustion à l'oxygène pur : **oxycombustion**.

Le CO₂ extrait est obtenu sous forme gazeuse ou liquide, généralement mélangé à d'autres espèces gazeuses minoritaires.

❖ Le stockage du CO₂

En amont du stockage, le CO₂ doit être transporté, soit par pipeline, soit par bateau, soit encore par camion pour de petites quantités. Le CO₂ extrait est ensuite stocké dans des formations géologiques du sous-sol permettant sa séquestration sur le long terme, typiquement plusieurs siècles.

Figure 1 9: Projet pilote de centrale sans émission de CO₂ à Brandenburg, Allemagne (© 2011)



Zone de présence ou d'application

La capture du CO₂ n'est pas encore déployée à grande échelle. De nombreuses expérimentations sont en cours, soit sur des centrales existantes, soit sur des unités neuves, principalement dans les pays développés (Europe, Amérique du Nord, Australie pour l'essentiel) ainsi qu'en Chine. Potentiellement, la capture du CO₂ pourrait être utilisée dans le monde entier.

Des sites de stockage sont également exploités. Ils peuvent être situés en mer (stockage de Sleipner, au large de la Norvège) ou sur les continents (stockage de Lacq, dans le Sud de la France).

Concrètement

Les émissions mondiales de CO₂ sont aujourd'hui évaluées à près de 30 milliards de tonnes (AIE, World Energy Outlook 2009), provenant en partie seulement de grandes installations fixes de combustion. Les sites géologiques identifiés représentent un potentiel de stockage de 935 à 11 070 Gt de CO₂ (IFP). Le potentiel de stockage n'est pas limitant. Des obstacles technico-économiques persistent cependant.

V. 1. 3 Le stockage de l'énergie :

Dans les systèmes énergétiques, les rythmes de production et de consommation ne coïncident pas parfaitement.

Quel que soit l'échelle de temps associé à une consommation, l'étude de ces variations au cours du temps fait apparaître la présence :

- Cycles longs (de quelques années à quelques dizaines d'années) ;
- De variations saisonnières ;
- De modulations journalières ;
- De fluctuations d'origines diverses : climatiques, conjoncturelles ou accidentelles.

Si l'on ne s'intéresse pas à production, on constate que la demande d'énergie liée au libre arbitre des consommateurs est, par principe, discontinue. Or, pour des raisons économiques et souvent techniques, le processus de production gagne à être continu pour rentabiliser au mieux les investissements et les coûts d'exploitation de l'outil de production.

Il en résulte que, lorsqu'elle existe, la rupture de la demande constitue, d'une certaine manière, une défaillance du système de production qui se traduit par des surcoûts pour les acteurs du secteur énergétique.

Les coûts de cette défaillance peuvent s'analyser :

- Au niveau du producteur : c'est le coût direct correspondant à la perte de recette ;
- Au niveau national : c'est le coût induit par les préjudices de toutes natures subis par les utilisateurs situés en aval du producteur défaillant ;
- Au niveau de l'image de marque que le client se fait d'une énergie ou d'un producteur d'énergie.

Ce coût « Psychologique » est, de fait, une mesure de la perte de confiance des consommateurs vis-à-vis du producteur ou de la source d'énergie considérée. Cette perte de confiance peut entraîner des gaspillages économiques, si les transferts de consommation ne sont pas programmés.

Le stockage d'énergie : solution technique et opportunité économique

Le stockage d'énergie répond à **un besoin technique** : c'est un atout indispensable à long terme pour permettre la décarbonation du mix électrique décidée par les politiques publiques, européennes notamment.

Le stockage d'énergie représente également **un levier économique** : c'est un moyen de tirer parti de la volatilité du marché de l'électricité pour générer des bénéfices, ou réduire les coûts induits par la consommation d'électricité. L'ensemble des acteurs ayant la possibilité de stocker de l'énergie (industriels, collectivités ou particuliers) peuvent tirer parti de cette opportunité.

Cette dualité besoin technique / opportunité économique crée aujourd'hui un contexte particulièrement favorable au déploiement de solutions de stockage d'énergie.

Contraintes et opportunités réglementaires

Pour éviter que les contraintes réseaux ne deviennent un obstacle à la pénétration des énergies renouvelables, certains Etats font évoluer le cadre réglementaire favorablement aux solutions de stockage. En Californie par exemple, les cahiers des charges de nouveaux projets de production d'énergie intermittentes comportent une obligation de stockage. En France, le dernier appel d'offre éolien pour la Corse et les DOM-TOM mentionne explicitement une contrainte relative au stockage d'énergie pour une meilleure intégration au réseau. Ces nouvelles législations offrent un cadre nécessaire au développement de la filière. Encore en gestation à ce jour, ces cadres réglementaires ont deux conséquences :

- **L'arrivée d'une nouvelle contrainte** pour les producteurs d'énergies intermittentes,
- **La naissance d'une nouvelle opportunité**, avec notamment la création d'un cadre législatif (loi NOME⁴⁵) permettant de donner une valeur à la puissance mise à

Une opportunité réglementaire : loi NOME et mécanisme de capacité

Dans son article 6, la loi NOME prévoit la mise en place d'une obligation de capacité pour les producteurs d'électricité, leur imposant de justifier d'une capacité physique de production égale à la puissance nécessaire à la fourniture de leurs clients. Cette obligation devrait également s'assortir de la naissance d'un marché de capacité, ceci à horizon 2017. Une nouvelle valeur sera ainsi attribuée à la puissance rendue disponible par le stockage d'énergie, en procurant à ses détenteurs des certificats de capacité à valoriser sur un marché. Les modalités exactes ne sont pas encore connues, mais c'est une source de gains qui viendra s'ajouter aux revenus liés à la vente d'énergie. Un scénario de double valorisation de la capacité de stockage (puissance de charge et de décharge) aurait même un effet catalyseur pour la filière.

disposition sur le réseau (voir ci-dessous).

V. 1. 4 Transport de l'énergie⁴⁶ :

Jusqu'à la révolution industrielle, seuls les transports du bois de chauffage et celui des aliments permettaient d'utiliser de l'énergie ailleurs que sur le lieu de production. Nous disposons aujourd'hui de deux moyens commodes de transport d'énergie (à cote des canalisations d'eau chaude).

Le premier moyen est l'emploi de *lignes électriques*. L'importance considérable de l'énergie électrique, ses multiples possibilités d'utilisation, résident précisément dans le fait que c'est la seule forme d'énergie susceptible d'être transformée en n'importe quelle autre et d'être transportée au loin en grande quantité, à un coût énergétique relativement faible. En effet, grâce aux transformateurs qui permettent en courant alternatif d'utiliser des lignes à *haute tension*, les pertes par effet JOULE peuvent être réduites. Elles sont en France de 8%.

Le second moyen est le *transport des carburants*, par bateau ou par rail pour le charbon, par oléoduc ou navire pétrolier pour le pétrole, par gazoduc ou méthanier pour le gaz, par camion-citerne pour l'essence. Notons cependant que ce transport peut être dispendieux en énergie : le transport de charbon en Chine depuis le lieu de production jusqu'à Pékin peut consommer la moitié

⁴⁵ NOME : Nouvelle Organisation des Marchés de l'Électricité

⁴⁶ J.L. BOBIN – E. HUFFER – H. NIFENECKER, *L'ÉNERGIE DE DEMAIN : « TECHNIQUES - ENVIRONNEMENT – ÉCONOMIE »*, EDP sciences, 17, avenue du Hoggar Parc d'Activité de Courtaboeuf, BP 112 91944 Les Ulis Cedex A, France, Page 613.

du chargement des trains ; une importante proportion de gaz se perd en Sibérie en raison des fuites dans les gazoducs.

Le transport de l'uranium pose moins de problèmes de pertes puisqu'on n'a besoin d'en véhiculer que de faibles volumes. L'essor du train à vapeur au XIX^e siècle, celui de la *voiture* et de l'*avion* au XX^e siècle, ont reposé sur la possibilité d'emporter *avec soi*, sous forme de carburant, l'énergie nécessaire pour parcourir des distances de plus en plus longues. Auparavant, il fallait sur mer nourrir des rameurs ou attendre le vent, sur terre multiplier les relais de poste, source de foin transformée en énergie hippomobile.

L'énergie peut aussi être transportée à distance par un rayonnement : c'est sous cette forme que nous parvient l'énergie solaire. Cependant, on ne sait transférer ainsi (sauf dans la science-fiction) que de faibles puissances, de sorte que l'emploi du rayonnement se limite à l'envoi par *voie hertzienne* de signaux de télécommunications (télévision, téléphonie, satellites...).

V. 1. 5 Le problème de l'hydrogène et la pile à combustible :

Quand l'intérêt pour la pile à combustible s'est réveillé vers la fin des années 1980, les développements ont porté bien davantage sur la pile que sur le combustible, sur la base de l'état des connaissances respectives de l'époque. Aujourd'hui, du fait des progrès technologiques obtenus sur la pile, force est de constater qu'un déséquilibre inverse est apparu et que l'on est moins avancé sur le combustible que sur la pile ! ... d'où un effort accru récent sur cette thématique, et en particulier sur l'hydrogène⁴⁷.

Il est reconnu chez les experts du domaine que le meilleur combustible, pour la réaction électrochimique, est l'hydrogène. Deux solutions s'offrent donc à l'utilisateur :⁴⁸

- soit il stocke l'hydrogène à côté de la pile et le consomme au fur et à mesure du besoin. C'est la solution la plus séduisante mais elle pose aujourd'hui de nombreux problèmes non encore résolus. Ce type de combustible est aujourd'hui largement utilisé au niveau des prototypes de démonstration (sous forme liquide ou gazeuse) pour sa facilité de mise en œuvre à ce stade. Les spécialistes s'accordent pour affirmer que ce sera le meilleur combustible dans l'avenir, à une échéance qui dépendra davantage de volontés politiques que de contraintes techniques ou réglementaires.
- Soit il fabrique l'hydrogène au fur et à mesure de son besoin à partir d'un combustible hydrogène (alcool comme le méthanol, ou hydrocarbure). Cette transformation est effectuée par des procédés de reformage bien connus de l'industrie pétrolière mais encombrants, chers et générateurs de polluants (en particulier le CO et le CO₂, et éventuellement le soufre). Néanmoins, des reformeurs compacts performants sont en cours de développement un peu partout, et on peut penser qu'ils seront industriellement disponibles vers 2005 pour des applications stationnaires et mobiles. En particulier, les premiers véhicules légers qui seront réalisés en petite série à partir de 2005 pourraient être équipés de ce type de source, malgré le surcoût, simplement parce que leur sûreté sera facile à démontrer, sans parler d'une probable meilleure acceptabilité par le public. Pour ce qui concerne les piles à haute température, et en particulier la SOFC, il est assez facile d'intégrer l'anode de la pile une phase de reformage, et donc d'utiliser directement un hydrocarbure classique comme le gaz naturel.

V. 2 Modélisation du système climatique et de sa réponse à une augmentation de l'effet de serre :

La terre est un système ouvert. Elle échange de l'énergie avec l'espace extérieur. Une perturbation introduite par une variation des paramètres externes (intensité solaire) ou des paramètres radiatifs internes (gaz à effet de serre) peut entraîner un changement climatique. Le

⁴⁷ Voir le chapitre 25 de T. ALLEAU et M. ROSTAING, Ibid, Page 529.

⁴⁸ Ibid, Page 520.

système climatique est aussi un système dynamique où les variables internes interagissent entre elles pour produire des variations, à différentes échelles spatio-temporelles. La connaissance approfondie de ces variations complexes constitue une base de départ pour d'abord comprendre le comportement du climat et ensuite prévoir son évolution.

La biologie fait partie intégrante du système climatique. La relation entre le climat et la vie est très étroite et interactive. Le climat fournit des conditions fondamentales pour la vie. Et la vie, en intervenant activement sur le cycle du carbone, change l'effet de serre dans l'atmosphère et modifie ainsi le climat de la planète. L'Homme, par sa grande capacité d'intervention, a considérablement modifié la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Et le processus continue actuellement. Évaluer la sensibilité du climat à une perturbation anthropique constitue donc un formidable défi pour la communauté scientifique du climat. C'est également un enjeu économique important pour le développement durable de la société.

V. 2. 1 Variation du climat au cours du temps géologique⁴⁹ :

L'intensité de l'émission solaire varie au cours du temps, mais très faiblement. Des mesures indirectes semblent démontrer que l'intensité de l'irradiation solaire était plus faible (d'une quantité inférieure au pourcent) aux 17^e et 18^e siècles, donnant ainsi une explication plausible au petit âge glaciaire constaté à cette époque. En revanche, des mesures instrumentales de l'époque actuelle semblent indiquer que l'intensité de l'irradiation solaire est un quasi constant très faiblement influencée par le cycle solaire de 11 ans observé dans le nombre périodique des tâches solaires.

À côté de la valeur quasi constante de la puissance du soleil, la distance terre-soleil ainsi que l'orbite de la planète autour du soleil peuvent avoir des variations importantes et constituent un ingrédient essentiel des grandes glaciations de l'ère quaternaire. Les quatre derniers cycles glaciaires trouvent ainsi leur explication dans la variation périodique (100 000 ans) de l'excentricité de l'orbite elliptique terrestre. D'autres perturbations, sur l'obliquité de l'axe de rotation de la terre et sur la précession des équinoxes, trouvent également leurs traces dans les archives paléo climatiques avec une périodicité d'environ 40 000 ans et 20 000 ans.

Durant les deux dernières décennies, l'avancée la plus significative en recherche paléo climatique est sans doute le carottage effectué dans le glacier Antarctique. L'analyse isotopique peut révéler la température, tandis que la mesure effectuée sur les bulles d'air piégées indique la composition atmosphérique de l'époque. D'excellentes corrélations entre la température de la planète et la teneur en CO₂ ou en méthane ont été trouvées. Ceci témoigne de la relation étroite entre le climat et la vie sur la planète. Bien évidemment, à cette échelle de temps, l'Homme n'y était pour rien, et la circulation océanique a joué le rôle d'ajustement à travers des processus dont l'on ignore encore précisément les mécanismes.

Un autre exemple d'interaction entre le climat et la biologie remonte au début de l'histoire de la planète. La comparaison avec des étoiles similaires montre que la puissance du soleil était certainement plusieurs dizaines de pourcent plus faible à cette époque. Le climat aurait donc dû être froid. Mais l'atmosphère primitive de la planète possédait une teneur en CO₂ très élevée, donc un effet de serre très fort. Ceci a permis à notre planète d'avoir une bonne température, favorable à l'apparition et puis au développement de la vie sur la terre. Avec l'apparition de la vie, le CO₂ est progressivement absorbé et a diminué dans l'atmosphère, le carbone disparu étant stocké dans des roches sédimentaires ou sous forme de charbon ou de pétrole, et l'oxygène ainsi libéré devenant un constituant important de l'atmosphère. Avec la diminution du CO₂ dans l'atmosphère et donc de l'effet de serre, la terre avait la tendance de se refroidir. Mais ce refroidissement a été heureusement compensé par une augmentation en puissance du rayonnement solaire.

⁴⁹J.L. BOBIN – E. HUFFER – H. NIFENECKER, *L'ÉNERGIE DE DEMAIN TECHNIQUES - ENVIRONNEMENT – ÉCONOMIE*, Article de Laurent LI, ISBN 2-86883-771-9, EDP Sciences, Les Ulis Cedex A, France 2005, Page 143.

Le gaz carbonique et le méthane sont tous deux très étroitement liés aux activités biologiques de la terre. D'où l'éventualité que l'action de l'Homme perturbe le cycle naturel du carbone et modifie ainsi le climat de la planète.

V. 2. 2 Modélisation du climat et projection vers le futur⁵⁰ :

Le système climatique tel que l'on doit modéliser comprend cinq éléments physiques : atmosphère, océans, cryosphère, surface de la terre émergée et biomasse. Les propriétés du système climatique, qui doivent être numérisées dans un modèle, sont très nombreuses et comprennent les propriétés thermiques (les températures de l'air, de l'eau, de la glace et de la surface), les propriétés cinétiques (les vents, les courants océaniques, les mouvements verticaux et le déplacement de la masse glacière), les propriétés aqueuses (l'humidité atmosphérique, la nébulosité, le contenu en eau liquide ou glace des nuages, les niveaux des lacs, le contenu en eau du sol, de la neige et de la glace de mer), les propriétés statiques (la densité et la pression de l'atmosphère et de l'océan, la composition de l'air sec, la salinité océanique), les conditions géométriques et les constantes physiques du système. Ces variables sont interconnectées par les lois dynamiques et différents processus physiques dans le système, par exemple, précipitation, évaporation, rayonnement, advection, convection et diffusion turbulente.

Un modèle climatique consiste à intégrer numériquement un ensemble d'équations mathématiques qui représentent le comportement du système climatique (ou d'un sous-système). Les lois fondamentales qui gouvernent le comportement du système climatique sont bien sûr celles qui décrivent les processus physiques liant les divers éléments du système. Parmi les cinq éléments du système climatique, l'atmosphère est la composante la plus variable dont l'influence sur le climat est la plus rapide.

Actuellement, le modèle de circulation générale atmosphérique, couplé avec un modèle océanique et un modèle sur la glace de mer, est l'outil le plus puissant pour des études climatiques liées à l'effet de serre. Une dizaine de groupes scientifiques dans le monde possède actuellement un tel outil numérique, principalement aux Etats-Unis et en Europe. Il représente souvent le travail de nombreux chercheurs et ingénieurs pendant vingt ans. Sous le seul effet des équations fondamentales de la physique, nous sommes aujourd'hui capables de simuler les principales caractéristiques du climat. C'est-à-dire que nous possédons maintenant une planète virtuelle dont le comportement est assez proche de celui de la planète réelle.

Les modèles actuels souffrent néanmoins de certaines limitations techniques ou d'ordre plus fondamental. La première limitation est dû au fait que l'on utilise un maillage fini dont la résolution spatiale est de l'ordre de 300 km, donc assez grossière. Il est impossible de représenter explicitement les mouvements dont l'échelle est inférieure au maillage. Leurs effets sont pris en compte d'une manière statistique à travers la para métrisation (terme spécial employé par les modélisateurs pour désigner la représentation des processus non-résolus du modèle à travers les variables explicites). Avec le progrès technologique en matière de calcul scientifique, il est prévisible que les futurs modèles auront une résolution spatiale de plus en plus fine. La deuxième limitation est que la construction des modèles actuels n'est pas entièrement achevée et que les processus fondamentaux du climat ne sont pas encore tous incorporés. Après l'océan et la glace de mer, la chimie et la biochimie sont en train d'entrer dans les modèles climatiques. La complexité des futurs modèles sera de plus en plus grande.

Le modèle est d'abord un outil de compréhension des processus, mais il sert également à définir les scénarios climatiques. Pour prévoir l'évolution du climat dans le futur, on sera amené à prévoir le comportement de l'Homme dans le futur, c'est-à-dire, à prévoir un scénario d'émission. La croissance démographique, le type de développement économique, tout comme le mode de vie que la société ou un individu choisissent modulent tous la future émission des gaz à effet de serre. En

⁵⁰Ibid, Page 147.

considérant les différentes hypothèses, le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, ou IPCC pour son appellation en anglais : Intergovernmental Panel on Climate Change) a mis en place une série de scénarios de référence.

En utilisant ces scénarios d'émission dans les modèles climatiques actuellement disponibles, la communauté scientifique prévoit une augmentation de la température globale de 2 à 6 degrés, à l'horizon de 2100, par rapport à la période préindustrielle. Cette augmentation est tout-à-fait considérable en comparaison avec les grands cycles de glaciation dont l'amplitude est également de quelques degrés seulement. En l'état actuel, nous avons encore beaucoup de difficultés dans l'appréciation de la probabilité des scénarios, soit à cause des incertitudes dans l'estimation des émissions, soit à cause des imperfections ou des processus manquants dans les modèles utilisés.

Certains traits communs parmi les différents modèles sont néanmoins notables. La surface continentale connaît un réchauffement plus important que l'océan, parce que celui-ci a une inertie thermique beaucoup plus grande et qu'une partie de la chaleur est consommée par une évaporation plus forte. Les régions polaires connaissent un réchauffement plus important que les tropiques, parce que la fonte de la neige et de la glace de mer diminue la réflectivité du sol et augmente donc la quantité d'énergie solaire absorbée. Les régions tropicales connaissent un réchauffement moindre, car une partie de la chaleur est transportée vers les couches supérieures de l'atmosphère à cause des rouleaux de convection renforcés. Le réchauffement maximal dans les régions tropicales se trouve donc en altitude aux alentours de 10 km.

En ce qui concerne la précipitation, un autre ingrédient important du climat, il y a une intensification (de l'ordre de 8 à 10%) du cycle hydrologique au niveau global. Les régions tropicales connaissent une augmentation des précipitations à cause des activités convectives plus fortes. Les hautes latitudes ont aussi une augmentation de la précipitation, car l'atmosphère, plus chaude, contient plus de vapeur d'eau et est capable de transporter plus d'humidité vers les hautes latitudes. Les régions subtropicales, en revanche, connaissent une diminution de pluie, car la branche descendante de la circulation est intensifiée et s'étend davantage vers les moyennes latitudes.

En l'état actuel de la recherche scientifique, il est très difficile de raffiner les scénarios climatiques à l'échelle locale, voir régionale. Néanmoins une certaine cohérence parmi les différents modèles a été trouvée sur la région Europe-Méditerranée et les tendances réellement observées corroborent les résultats des modèles. Pour un réchauffement global, l'anticyclone des Açores semble renforcé et s'étend sur une zone plus large. Sous influence de l'anticyclone, le bassin Méditerranéen connaît une diminution de pluie. Le gradient méridional de pression sur l'Atlantique du nord-est aussi renforcé, tout comme le gradient méridional de température dans les hautes couches de l'atmosphère. Ceci a pour effet de renforcer la route dépressionnaire nord-atlantique et de décaler cette zone de dépression vers le nord. Ainsi des perturbations qui arrivent sur le continent européen sont plus nombreuses et plus fortes. Le nord de l'Europe a donc une augmentation de pluie. Le contraste hydrologique entre le nord et le sud de l'Europe est ainsi accentué.

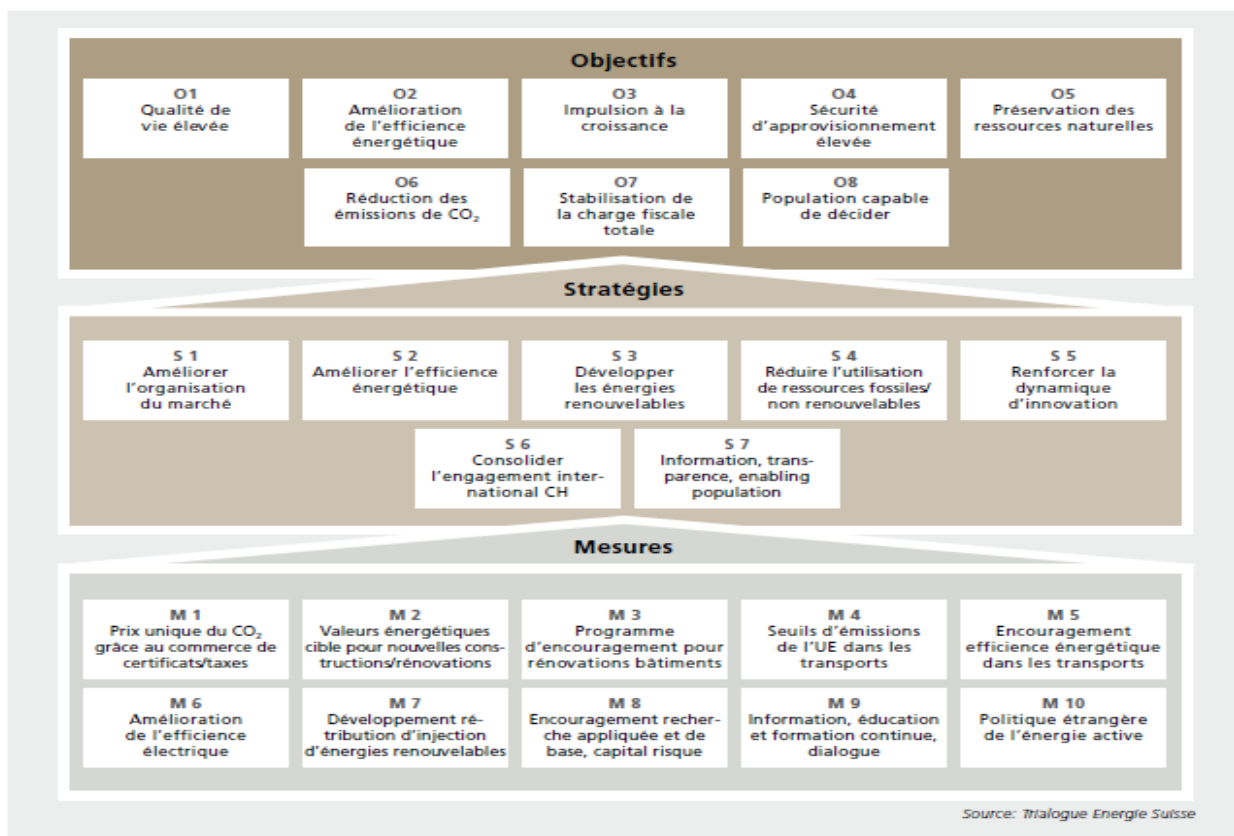
En matière d'effet de serre et de changement climatique, derrière les aspects spectaculaires et médiatisés des futurs scénarios, se cachent également de nombreux problèmes pour la recherche scientifique fondamentale. Prenons l'exemple des rétroactions climatiques. Elles sont très nombreuses et opèrent d'une manière complexe dans le système climatique. Les rétroactions les plus importantes sont celles liées aux variations de la vapeur d'eau, de l'albédo du sol et des nuages. La vapeur d'eau est un gaz à très fort effet de serre, sa variation peut donc être un facteur déterminant pour la réponse globale du climat. La variation de l'extension de la glace océanique et de la neige sur les continents peut influencer l'albédo de la Terre et conditionne la quantité de l'énergie réellement reçue par la Terre. Les nuages sont de grands modulateurs pour le transfert du rayonnement, dans la petite longueur d'onde comme dans la grande longueur d'onde. D'une part, ils réfléchissent efficacement le rayonnement solaire et refroidissent la terre ; d'autre part, ils

empêchent l'échappement du rayonnement terrestre et donc piègent la chaleur. Ces deux effets opposés les conduisent à un rôle complexe dans la réponse du climat. De multiples aspects des nuages sont susceptibles de varier : couverture nuageuse, altitude des nuages, contenus en eau liquide ou glace, changement de phase, taille et nombre des gouttelettes.

V. 3 Objectifs, Stratégies et Mesures énergétiques :

Une variété d'objectifs, stratégies et mesures font aujourd'hui l'objet de discussions politiques. Le groupe clé ETS⁵¹ a élaboré sept stratégies et un faisceau précis de dix mesures. Leur mise en œuvre rapide et rigoureuse permet de réaliser en large mesure les huit objectifs définis. Le schéma⁵² ci-dessous illustre brièvement les : Mesures \implies Stratégies \implies Objectifs.

Figure 1 10: Objectifs, Stratégies et Mesures énergétiques



VI. Revue De La Littérature :

VI. 1 Hypothèse entre consommation d'énergie et-croissance économique :

Les théoriciens ont divisé la revue de la littérature sur la relation entre l'énergie et la croissance en quatre hypothèses : la croissance, la conservation, la rétroaction et de neutralité. Tout d'abord, l'hypothèse de croissance postule que la consommation d'énergie peut directement influencer sur la croissance économique et, indirectement, en complément de main-d'œuvre et du capital dans le processus de production. L'appui empirique à l'hypothèse de croissance repose sur la présence de causalité unidirectionnelle de la consommation d'énergie à la croissance économique. Dans ce cas, les politiques de réduction de la consommation d'énergie auront des effets négatifs sur la croissance économique. Deuxièmement, l'hypothèse de La conservation fait états que les politiques

⁵¹Trialogue Energie Suisse.

⁵²Rapport Trialogue Energie Suisse, **Stratégie énergétique 2050 : Impulsions pour la politique énergétique suisse**, Lagerstrasse 33, Zurich, Page 22.

d'économie d'énergie visant à réduire la consommation d'énergie n'auront aucune incidence négative sur le PIB réel. L'hypothèse de la conservation est prise en charge s'il y a causalité unidirectionnelle de la croissance économique vers consommation d'énergie. Troisièmement, l'hypothèse de rétroaction affirme que la consommation d'énergie et la croissance économique sont étroitement liées et peuvent très bien servir de compléments à l'autre. L'hypothèse de rétroaction stipule qu'il existe un lien de causalité bidirectionnelle entre la consommation d'énergie et la croissance économique. Quatrièmement, l'hypothèse de la neutralité considère la consommation d'énergie pour être un élément relativement peu important de la production globale et donc aura peu ou pas d'impact sur la croissance économique. Comme dans le cas de l'hypothèse de conservation, les politiques d'économie d'énergie ne seraient pas nuire à la croissance économique. L'absence d'un lien de causalité entre la consommation d'énergie et la croissance économique apporte son soutien à l'hypothèse de neutralité.

VI. 2 Étude de la littérature sur l'énergie et la croissance :

Les hypothèses contrastées mentionnés ci-dessus ont poussé de nombreux chercheurs à étudier la relation de cause à effet entre la consommation d'énergie et la croissance économique. Dans les dernières années, il y a beaucoup d'études qui contribuent à la compréhension du lien entre la consommation d'énergie et la croissance économique. Des enquêtes détaillées d'études antérieures peuvent être trouvés dans Payne (2010), Ozturk (2010) et Pirlogea et Cicea (2012). Compte tenu de l'énorme volume d'études dans la littérature, le but de cette section est double : d'une part, d'examiner les études pionnières, et d'autre part de fournir un examen assez complet d'études internationales publiées récemment.

VI. 2. 1 Le travail des pionniers :

Depuis l'article fondateur de Kraft et Kraft (1978), qui a soutenu la causalité unidirectionnelle de croissance du PNB de la consommation d'énergie aux Etats-Unis pour la période 1947-1974, le lien de causalité entre la consommation d'énergie et la croissance économique a été largement étudié dans la littérature utilisant différentes techniques et différents échantillons de pays. L'article de Kraft et Kraft a été critiquée par Akarca et Long (1980) qui a noté que la période choisie était instable parce qu'il comprenait le premier choc pétrolier. Revenant à l'analyse et à l'adoption de la même technique, mais cette fois sur une plus uniforme 1950-1968 période, Akarca et long remettre en question, tout lien de causalité entre le revenu et de l'énergie. Plus tard, ce résultat a été confirmé par Yu et Hwang (1984) pour les États-Unis sur la période 1947-1979. Depuis, des études empiriques ont été étendues à d'autres pays qui utilisent d'autres méthodes d'analyse économétrique. En application de ces nouvelles techniques, plusieurs études économétriques ont montré l'existence de la relation de causalité unidirectionnelle ou bidirectionnelle, mais ils ont échoué à fournir une tendance générale des pays à différents niveaux de développement ou de la structure de l'économie.

VI. 2. 2 Synthèse des travaux récents sur la relation entre l'énergie et le revenu :

Il existe un vaste corpus de littérature en mettant l'accent sur le lien entre la consommation d'énergie et la croissance. Les travaux récents d'Odhiambo (2010), Ozturk (2010), et Payne (2010) résumant cette littérature. Certaines de ces études portent sur l'analyse d'un pays donné (par exemple, Lee et Chang, 2007 ; Wolde-Rufael, 2009), tandis que d'autres analysent les groupes du pays (par exemple Akinlo, 2008 ; Chiou-Wei et al, 2008). Néanmoins, comme l'a souligné Ozturk (2010), les résultats empiriques sur le sens de la causalité, et les impacts à court et à long terme, semblent dépendre de données, les pays, les caractéristiques, et des méthodologies économétriques. Vu que notre étude va être consacré à un panel de 70 pays, en va essayer de faire la lumière sur les travaux consacrés à plusieurs pays en même temps.

VI. 2. 3 Les études multi-pays sur la consommation d'énergie de croissance nexus :

La littérature sur les études faites sur un panel de pays, elle est assez riche, compte tenu de la grande quantité de travaux, nous allons faire la lumière sur quelque uns tels que: Nadia S. Ouedraogo (2013), Coers and Sanders (2013), Akkemik and Göksal (2012), Ozturk, Aslan and

Kalyoncu (2010), Apergis, Payne (2009) Zachariadis (2007), qui utilisent des techniques différentes et qui examinent les différents aspects de la relation énergie-croissance. Ces études sont résumées ci-dessous.

S. Ouedraogo (2013) a étudié la relation de long terme entre l'accès à l'énergie et la croissance économique dans quinze pays africains de 1980 à 2008 en utilisant des techniques de cointégration de panel récemment développées. Elle confirme une causalité à long terme et à court terme unidirectionnelle. La causalité est exécutée à partir du PIB à la consommation d'énergie dans le court terme, et de la consommation d'énergie au PIB à long terme. Cette étude apporte ainsi la preuve empirique des relations à long terme et de causalité entre la consommation d'énergie et la croissance économique de notre échantillon de quinze pays.

Coers and Sanders (2013), ils ont utilisé un panel de 30 pays de l'OCDE au cours des 40 dernières années, à l'aide des racines unitaires et des tests de cointégration en panel et spécifient un modèle à correction d'erreur approprié pour analyser le lien entre le revenu et la consommation d'énergie. Leurs résultats montrent des preuves que la causalité bidirectionnelle existe dans le très court terme. Leurs résultats montrent également une forte causalité unidirectionnelle du PIB à la consommation d'énergie. Dans le long terme, les auteurs suggèrent que les politiques visant à réduire la consommation d'énergie et la promotion de l'efficacité énergétique ne sont pas susceptibles d'avoir un effet négatif sur la croissance économique, sauf dans le très court terme.

Akkemik and Göksal (2012) Les auteurs de cette étude ont étendu la causalité de Granger entre la consommation d'énergie et le PIB, en tenant compte de l'hétérogénéité du panneau pour ce faire, ils ont utilisé un panel de 79 pays pour la période 1980-2007. Ils ont examiné quatre différents liens de causalité : la non-causalité, la causalité homogène et hétérogène non-causalité et hétérogène de causalité homogène. Leurs résultats montrent que près de sept dixièmes du panel ont une causalité de Granger bi-directionnelle, deux dixièmes des pays montrent qu'il n'y a pas la causalité de Granger et un dixième de pays montrent une causalité de Granger unidirectionnelle.

Ozturk, Aslan and Kalyoncu (2010) utilise les données de la consommation d'énergie et de la croissance économique, pour 51 pays de 1971 à 2005 les auteurs de cet article ont divisé les pays en trois groupes : groupe de revenu faible, groupe à revenu inférieure intermédiaire et les pays du groupe à revenu moyen supérieur. Tout d'abord les auteurs ont testé la relation de cointégration en employant la méthode de Pedroni (1999). Deuxièmement ils ont utilisé les tests de causalité en panel pour étudier le type de causalité. Enfin, nous testons s'il existe une relation forte ou faible entre ces variables en utilisant la méthode Pedroni (2001). Les résultats empiriques de cette étude ont été comme suit : la consommation d'énergie et le PIB sont cointégrés pour les trois groupes, Les résultats des tests de causalité en panel révèlent qu'il existe un lien de causalité de Granger à long terme PIB à la consommation d'énergie pour les pays à faible revenu et il y a causalité bidirectionnelle entre la consommation d'énergie et le PIB pour les pays à moyen revenu. L'étude a montré aussi qu'aucune relation forte ne se trouve entre la consommation d'énergie et la croissance économique pour tous les groupes de revenu pris en compte dans cette étude.

Apergis, Payne (2009) examine la relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique de six pays d'Amérique centrale au cours de la période 1980-2004 dans un cadre multi varié. Compte tenu de la période relativement courte des données de séries chronologiques, une cointégration de panel et le modèle de correction d'erreur à été employé pour déduire la relation causale. Basé sur le test de cointégration de panel hétérogène par Pedroni. Les résultats de causalité indiquent la présence de deux causalités à court terme et à long terme de la consommation d'énergie à la croissance économique qui soutient l'hypothèse de croissance.

Zachariadis (2007) applique des tests de causalité entre l'énergie et la croissance à deux variables pour le Canada, la France, l'Allemagne, l'Italie, le Japon, le Royaume-Uni et les États-Unis, en utilisant des données globales et sectorielles et trois méthodes économétriques modernes différentes: VEC model, ARDL model, and The Toda–Yamamoto approche. Les résultats, qui sont

souvent contradictoires ou économiquement peu plausible, illustrent explicitement que l'on doit être prudent lors de l'élaboration des implications politiques à l'aide de tests de causalité à deux variables sur de petits échantillons. Par conséquent, il souligne l'importance d'utiliser comme échantillons de grande taille que possible et en utilisant des modèles multi-variés, qui sont plus proches de la théorie économique.

VI. 2. 4 Etude de la littérature sur l'énergie et la croissance :

L'électricité est devenue la forme privilégiée et dominante de l'énergie dans les zones d'expansion de l'activité économique dans les pays industrialisés. Il a été un facteur majeur dans l'amélioration du niveau de vie et a joué un rôle crucial dans le progrès technologique et scientifique. Par conséquent, ce type d'énergie est généralement considéré comme particulièrement important aussi pour la croissance économique.

Dans cette section, nous fournissons une liste chronologique de la littérature empirique sur la relation de cause à effet entre la consommation d'électricité et la croissance économique de certains auteurs, le temps, le pays, la méthodologie et des résultats empiriques. Nous passons en revue la littérature sur les études de panel de pays.

Parmi les études réalisées sur le lien de causalité entre la consommation d'électricité et la croissance économique, on peut citer Ferguson et al. (2000), Wolde-Rufael (2006), Narayan et al. (2007), Ciarreta and Zarraga (2010), Ozturk and Acaravci (2011) and Apergis and Payne (2011), Ferguson et al. (2000) ont étudié la relation entre la consommation d'électricité et le développement économique dans plus de 100 pays. Les corrélations entre la consommation d'électricité / habitant et le PIB / habitant ont été analysées et comparées avec celles entre l'offre totale / habitant et le PIB / habitant d'énergie primaire. Une analyse a corrélé la proportion d'énergie utilisée sous forme d'électricité, le « *e/E ratio* », avec un PIB / habitant. Les conclusions générales de cette étude sont que les pays riches ont une forte corrélation entre la consommation d'électricité et la création de richesses que ne le font les pays pauvres et que, pour l'économie mondiale dans son ensemble, il ya une forte corrélation entre la consommation d'électricité et la création de richesses qu'il n'y en a entre consommation totale d'énergie et la richesse. L'étude montre également que, dans les pays riches, l'augmentation de la richesse au fil du temps est corrélée avec une augmentation du *ratio e / E*.

Wolde-Rufael (2006) a teste la relation de long terme et de causalité entre la consommation d'électricité par habitant et le produit intérieur brut (PIB) réel par habitant pour 17 pays africains pour la période 1971-2001 en utilisant un test de cointégration nouvellement développé proposé par Pesaran et al. (2001) et en utilisant une version modifiée du test de causalité de Granger de Toda et Yamamoto (1995). Les études empiriques montrent qu'il y avait une relation de long terme entre la consommation d'électricité par habitant et le PIB réel par habitant de seulement 9 pays et de la causalité de Granger pour 12 pays seulement. Pour 6 pays il y avait un lien de causalité unidirectionnelle positif allant du PIB réel par habitant de la consommation d'électricité par habitant ; une causalité inverse pour 3 pays et la causalité bidirectionnelle pour les 3 pays restants.

Narayan et al. (2007) applique les développements récents des racines unitaires et des techniques de cointégration en panel pour estimer le revenu à long terme et à court terme et les élasticités du prix de la demande résidentielle d'électricité dans les pays du G7. Ils utilisent des données annuelles des séries chronologiques de 1978 à 2003 pour le groupe des pays du G7. Les résultats du panel indiquent que la demande résidentielle à long terme pour l'électricité est élastique des prix et inélastique par rapport au revenu. L'étude conclut que, d'un point de vue environnemental il est possible d'utiliser des stratégies de prix dans les pays du G7 à réduire la demande d'électricité résidentielle, et ainsi réduire les émissions de carbone, dans le long terme.

Ciarreta et Zarraga(2010) applique la récente méthodologie des panels pour enquêter sur la relation de long terme et de causalité entre la consommation d'électricité et le PIB réel pour un

ensemble de 12 pays européens utilisant des données annuelles pour la période 1970-2007. Les résultats montrent des signes d'une relation d'équilibre de long terme entre les trois séries et une forte négative causalité à court terme de la consommation d'électricité à GDP. As attendus, il ya causalité bidirectionnelle entre les prix de l'énergie et du PIB et des preuves plus faible entre la consommation d'électricité et d'énergie prix. Ces résultats soutiennent les politiques mises en œuvre à la création d'un marché commun européen de l'électricité.

Ozturk and Acaravci (2010) étudie la relation et de la causalité des problèmes à long terme entre la consommation d'électricité et la croissance économique dans 15 pays en transition (Albanie, Bélarus, Bulgarie, République tchèque, Estonie, Lettonie, Lituanie, Macédoine, Moldavie, Pologne, Roumanie, Fédération de Russie, la Serbie, République slovaque et l'Ukraine) en utilisant la méthode de cointégration en panel de Pedroni pour la période 1990-2006. Les résultats suggèrent que les tests de cointégration de panel de Pedroni ne confirment pas une relation d'équilibre de long terme entre la consommation d'électricité par habitant et le PIB réel par habitant. En outre, puisque y'a une absence de cointégration, les mécanismes de correction d'erreurs, plus le test de causalité ne peuvent pas être exécutés pour d'autres mesures à long terme visant à étudier la causalité entre la consommation d'électricité et la croissance économique. Globalement, on peut dire que les politiques liées à la consommation d'électricité n'ont pas d'effet ou relation au niveau de la production réelle à long terme pour ces pays. En conclusion, la littérature a donné des résultats contradictoires et il n'y a pas de consensus non plus sur l'existence ou le sens de la causalité entre la consommation d'électricité et la croissance économique. Ainsi, les résultats de cette étude ont des implications politiques importantes et cela montre que cette question mérite d'être encore plus attention dans les recherches futures.

Apergis and Payne (2011) Cette étude examine la relation entre la consommation d'électricité et la croissance économique pour 88 pays classés en quatre groupes en fonction de la classification des revenus de la Banque mondiale (haut, moyen supérieur, moyen inférieur, et le faible revenu) dans un cadre de panneau multi variée sur la période 1990-2006. Les résultats des modèles du vecteur de correction d'erreur pour le panel (1) indique une causalité bidirectionnelle entre la consommation d'électricité et la croissance économique à court et à long terme pour les revenus élevés et les panels des pays à revenu moyen-supérieur, (2) la causalité unidirectionnelle de la consommation d'électricité à la croissance économique dans le court terme, mais une causalité bidirectionnelle dans le long terme pour le groupe de pays à revenu moyen inférieur, et (3) causalité unidirectionnel de la consommation d'électricité à la croissance économique pour le groupe de pays à faible revenu.

VII. Conclusion :

Au terme de ce chapitre nous avons souligné, avec une prudence inhérente la prise en compte des différents aspects de l'énergie, mais également de nous amener à nous interroger sur la manière de les spécifier. L'accent a été mis sur les aspects : Economique, Politique et Environnemental. Il s'agissait tout d'abord de dessiner une image claire des facteurs et aspects explicatifs potentiels qui sont en liaison avec la consommation d'énergie. Nous avons cherché l'existence des raisons ayant pu favoriser l'appel à la présentation de ces facteurs.

Afin de répondre à cette investigation, les premières sections de ce chapitre ont présentés l'apport théorique de chaque aspect, la dernière section a été consacré à la présentation de la revue de la littérature pour traiter et éclairer les diverses questions qui nous amènent à comprendre, assimiler et appréhender chaque aspect de la trajectoire énergétique mondiale.

Nous avons conclu ce chapitre en nous intéressant aux trois caractéristiques à expliquer dans le cadre de notre modélisation, ainsi nous avons pu aboutir à une analyse minutieuse des différents facteurs des aspects énergétiques traités dans notre chapitre.

Dans le prochain chapitre, nous allons nous intéresser à la situation énergétique mondiale à l'horizon future suivie par une description détaillée de la situation énergétique pour chaque zone continentale.

L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

I. Introduction :

Parmi les incertitudes, les doutes et les controverses marquant la scène politico-économique ces dernières années, c'est évidemment la situation énergétique mondiale en générale, et aussi celle de l'énergie fossiles en particulier, il est rassurant de trouver quelques points qui recueillent l'assentiment général et peuvent nous aider à dégager les perspectives qui s'ouvrent à l'énergie.

Jamais, depuis le 1973 où il y a eu le « choc pétrolier », les médias se sont autant répandus sur le pétrole et la hausse de son prix qui a fait la « une » des journaux en même temps que des études s'essayaient à définir la limite prévisible de la disponibilité de cette ressource énergétique.

Le système énergétique des différentes zones continentales fait face à de fortes tensions à cause de l'effet conjugué de la pression démographique, de la croissance économique, d'alimentation, de transport, de distribution ou de consommation. Actuellement, la demande est comblée par une offre constituée à plus de 80% d'énergies fossiles.

Le présent chapitre a pour principal but d'estimer la situation énergétique mondiale et sa perspective future, ce chapitre contiendra aussi une évaluation brève de la carte énergétique dans différentes zones continentales sur les plans des réserves, de la production, et de la consommation.

II. Situation mondiale de l'énergie :

II. 1 La carte énergétique mondiale :

II. 3. 1 Production mondiale d'énergie primaire :

Vu la diversité des sources d'information on constatera de légères différences dont certaines témoignent de la difficulté de l'exercice.

Tableau 2 1: Production mondiale d'énergie primaire en 2008 en milliards de tep (Gtep)

Source primaire	Gtep	%
Pétrole	4,57	33,2
Charbon	3,07	27,0
Gaz naturel	2,59	21,1
Nucléaire	0,71	5,8
Hydraulique	0,27	2,2
Renouvelables	1,31	10,7
TOTAL	12,27	100

Source : *Mémento de l'Hydrogène Op. Cité page 1*

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

Le pétrole représente la source la plus importante avec 33,2% du total de 12.27 (milliard de tep/an) dans la production mondiale d'énergie primaire, le gaz et le charbon ont des parts respectifs de 21,1% et 27%, ce qui résulte plus de 80% de la production mondiale d'énergie est aujourd'hui basé sur ces trois combustibles fossiles.⁵³

Les pays de l'OPEP assurent 43% de la production mondiale dont l'Arabie saoudite est le premier producteur mondiale⁵⁴. Avec une production estimée à 85 millions de barils par jour en 2009, le pétrole demeure la source d'énergie la plus demandée dans le marché énergétique.

II. 3. 2 Evolution de la demande énergétique mondiale :

L'évolution de la demande d'énergie dans le monde dépend des facteurs suivants :

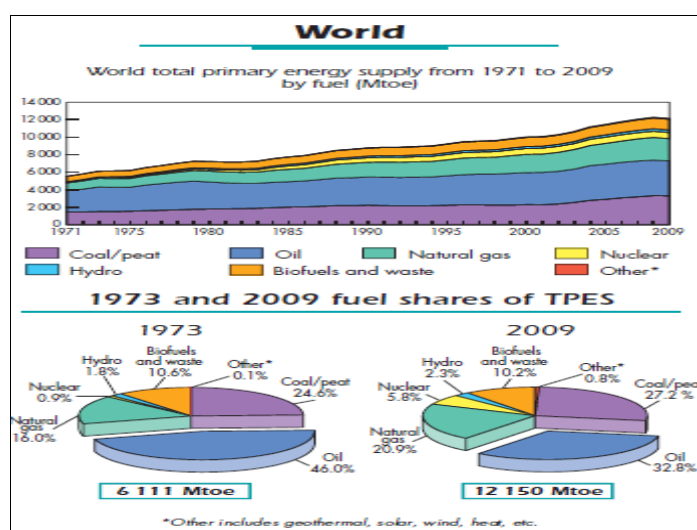
- ✓ L'accroissement de la population mondiale (7 milliards d'habitants en 2011 et près de 10 milliards d'habitants attendus à l'horizon 2050).
- ✓ Des efforts des pays en voie de développement pour combler leur décalage économique (croissance de 8 à 10% en chine et en inde).

Du maintien d'une légère croissance de la demande énergétique dans les pays développés, la demande d'énergie primaire poursuit sa croissance mais sa répartition géographique se modifie, c'est ainsi, que la zone Asie-pacifique absorbe aujourd'hui plus de 30% de la consommation mondiale contre moins de 20% au début des années soixante-dix.

Avec une croissance moyenne de l'ordre de 1.7% estimée par les experts pour les prochaines décennies on prévoit le doublement de la demande mondiale soit une consommation de 20 milliards de tep dans les années 2040-2050

La part des pays en voie de développement (chine, brésil, inde) augmentera et représentera selon une estimation plus de 70%⁵⁵ de la demande d'énergie primaire.

Figure 2 1: Production totale d'énergie primaire (classé par combustibles)



Source: World Energy Statistics 2011, AIE⁵⁶

⁵³ Mémento de l'hydrogène "situation mondiale de l'énergie" fiche 2.1, 2007 page 1

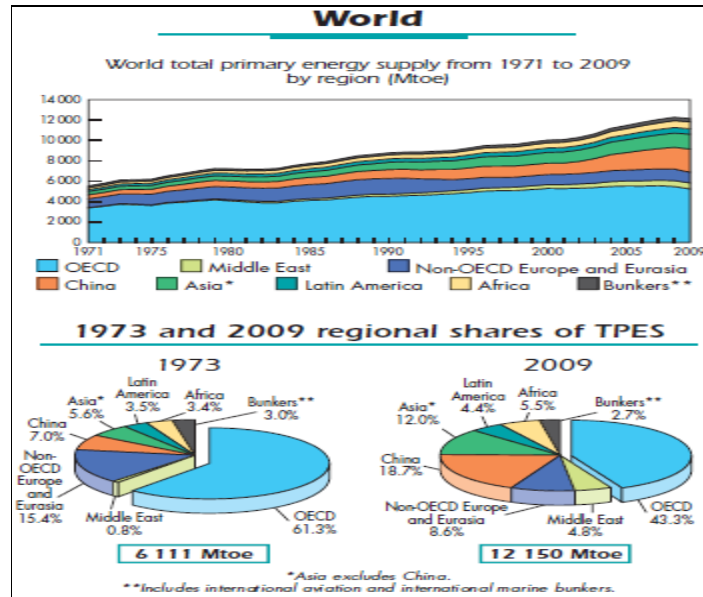
⁵⁴ Direction de la politique économique générale impacts « incidence des nouvelles données mondiale sur le secteur énergétique national » 2003 page 7

⁵⁵ <http://www.planetoscope.com/Source-d-energie/229-consommation-mondiale-d-energie-en-tep.html>

⁵⁶ AIE : Agence Internationale de l'Energie.

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

Figure 2 2: Production totale d'énergie primaire (classé par Régions)

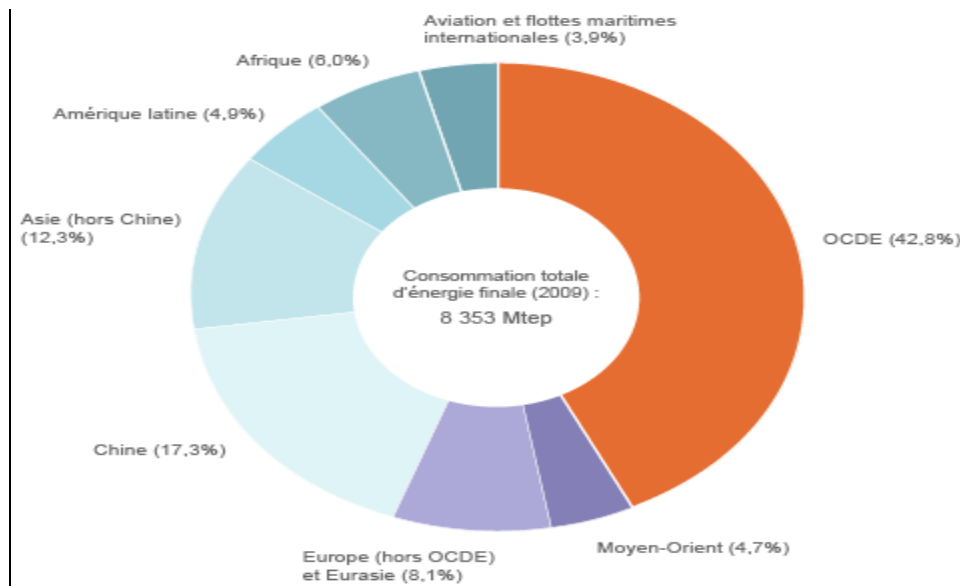


Source: World Energy Statistics 2011, AIE

II. 2 Consommation d'énergie mondiale :

Même si en 2009 il y avait une diminution de 1%, la consommation mondiale d'énergie a progressé de 5,5% en 2010, où le pétrole constitue 36% de cette consommation globale.

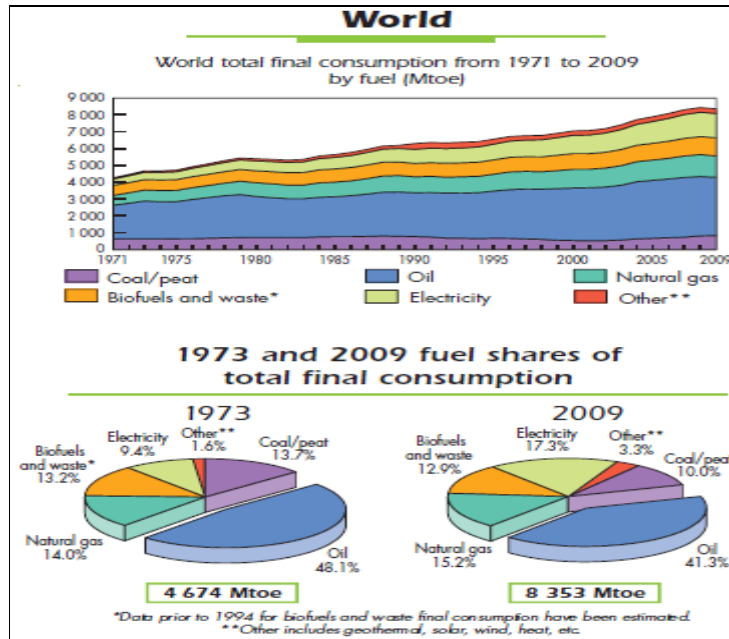
Figure 2 3: La consommation d'énergie finale dans le monde en 2009



Source: Key World Energy Statistics 2011, AIE

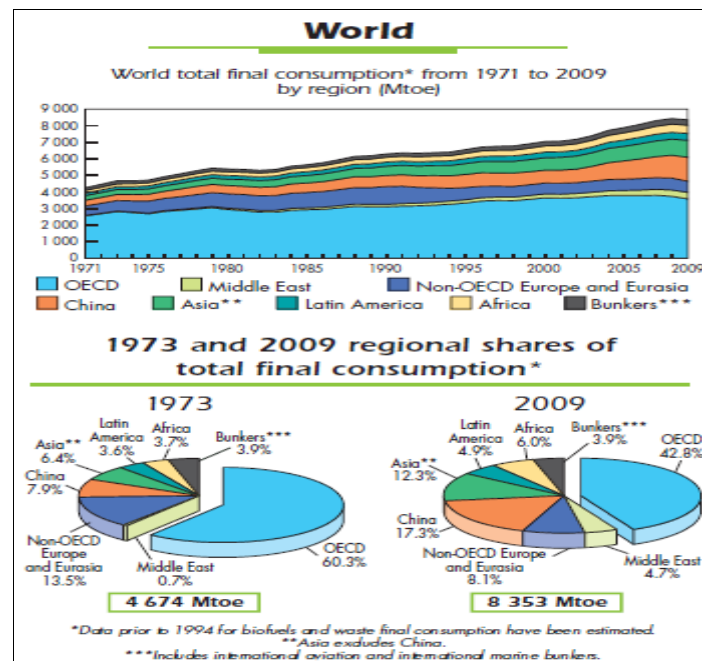
Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

Figure 2 4: Consommations totale d'énergie (classé par combustibles)



Source : World Energy Statistics 2011, AIE

Figure 2 5: Consommations totale d'énergie (classé par régions)



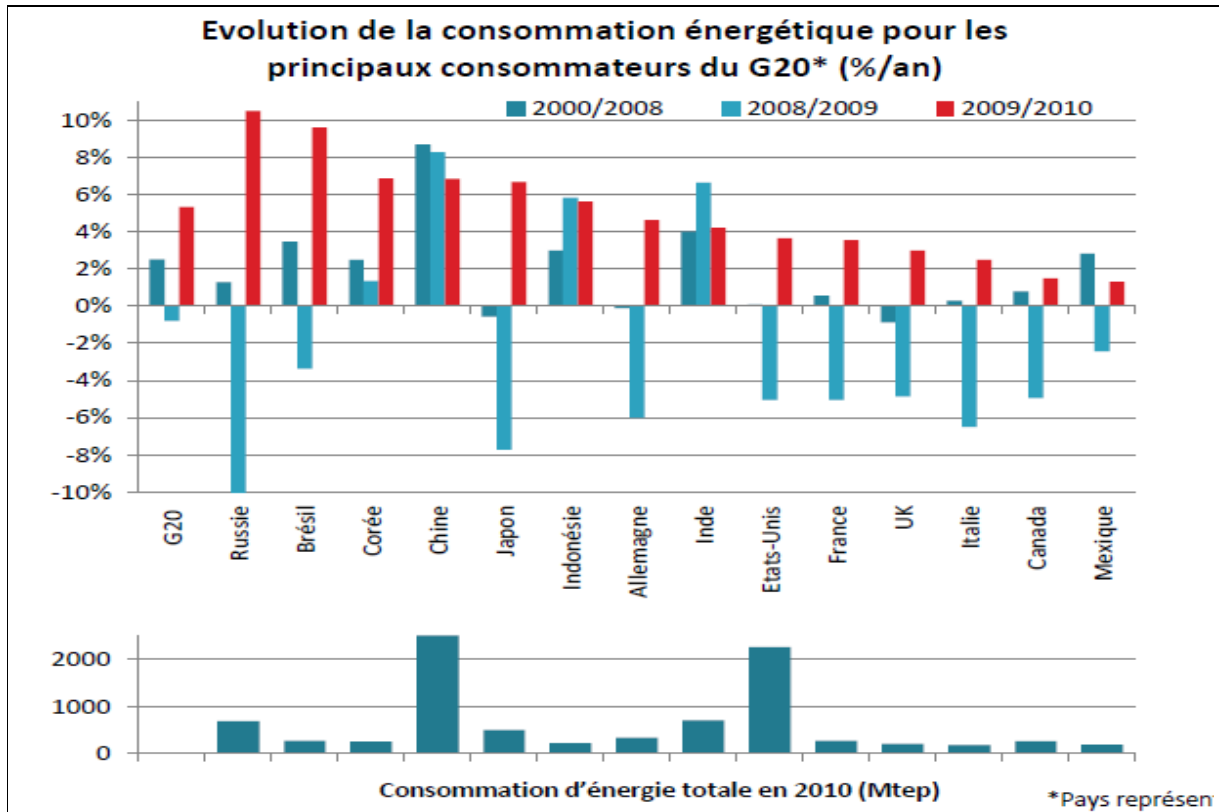
Source : World Energy Statistics 2011, AIE

❖ Quelques évènements marquant de la consommation d'énergie en 2010 :

- ✓ Forte croissance dans les pays du G20 (+5%) en 2010.
- ✓ Tous les pays ont renoué la progression après un déclin en 2009.
- ✓ Le Brésil et la Russie ont tiré la hausse de la consommation du G20 avec une croissance clairement supérieure aux années précédentes.⁵⁷

⁵⁷ Revue Enerdata « consommation mondiale d'énergie » Enerdata 2011 page 2

Figure 2 6: Evolution de la consommation énergétique



Source : Revue ENERDATA Op. Cité page 5

II. 3. 1 Evolution de la consommation dans le monde :

Au cours des 18 dernières années, la consommation d'énergie dans le monde a augmenté de 40%. Cette évolution est due à la stagnation depuis 10 ans de la consommation des pays industrialisés, et des nouvelles économies qui sont en forte croissance.

Et si on prend comme exemple de pays industrialisé la Chine ; sa consommation d'énergie a triplée de 1990 à 2008 et de coup sa part de consommation mondiale double en passant de 7,5% à 16,4%. Dans la même période la consommation de l'Afrique augmente de 50% mais reste marginale dans la consommation mondiale (environ 5,7% pour plus de 15% de la population mondiale).

Figure 2 7: Evolution de la demande énergétique mondiale

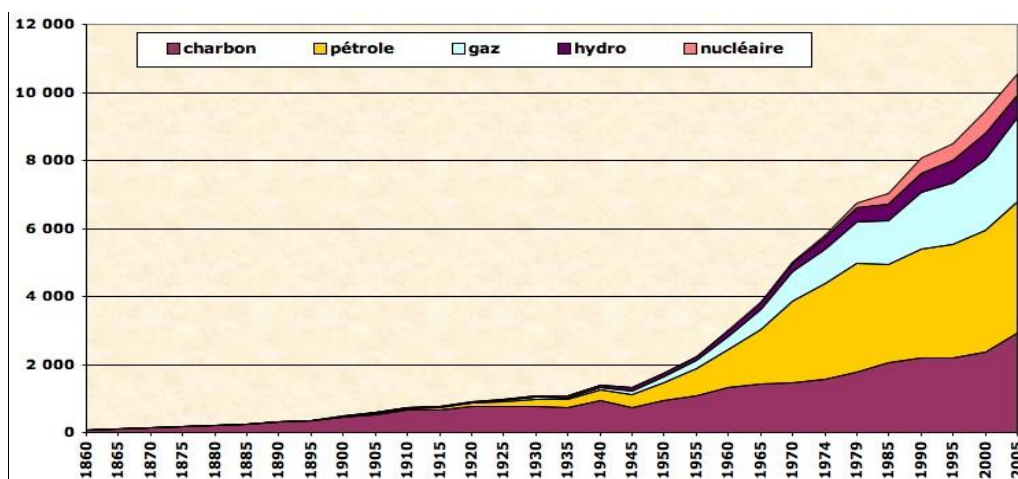
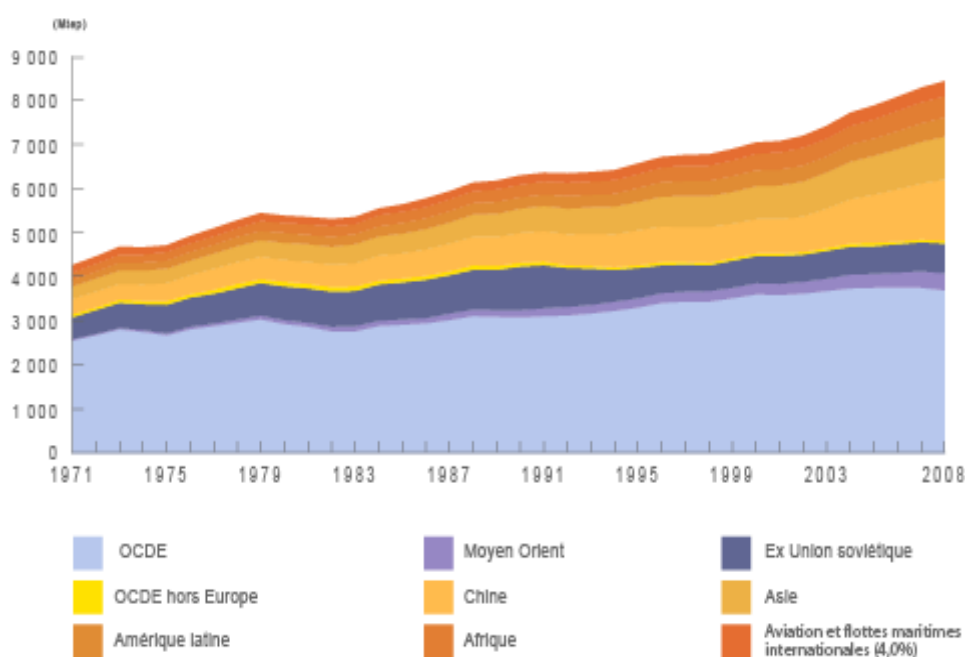


Figure 2 8: Evolution de la consommation mondiale dans le monde



Source: Key World Energy Statistics, AIE www.connaissancedesenergies.org

II. 3. 2 Répartition de la consommation :

Sur le tableau suivant on représente les différents secteurs par répartition de la consommation finale :

Tableau 2 2: Répartition de la consommation sur différent secteurs

	Part de la consommation finale	En millier de tonnes d'équivalent pétrole (ktep) sur la base de la valeur calorifique nette
Consommation finale	100%	8 428 407
Secteur industriel	27,80%	2 345 066
Secteur transport	27,30%	2 299 371
Autres secteurs	36,00%	3 036 919
Dont résidentiel	24,00%	2 024 193
Services commerciaux et publics	8,20%	692 666
Agriculture et forêts	2,00%	164 880
Pêche	0,07%	6 169
Non-spécifié	1,80%	149 012
Usages hors énergie	8,90%	747 051

* Les totaux peuvent subir des erreurs d'arrondis.

Source: Key World Energy Statistics, AIE www.connaissancedesenergies.org

- ✓ La consommation des « résidentiels » (la partie utilisé directement dans les foyer), représente un peu après le quart de la consommation total, elle a différents formes : recouvrant la consommation de chauffage des européens du nord et dans les pays qui ont accès à l'électricité, et le bois brûlé dans les fours domestiques des régions vivant sans réseau électrique.
- ✓ Les moyens de transports et déplacements (privés et professionnels) font un peu plus que le quart de la consommation finale.
- ✓ Un troisième quart est représenté par l'industrie qui fabrique les biens et les services finaux.

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

- ✓ Les autres activités humaines consomment un peu moins du dernier quart de la consommation finale dont 10% est l'énergie fossile qui n'est pas brûlée mais utilisée pour la fabrication de produits chimiques : plastiques, et engrais par exemple.⁵⁸

II. 3. 3 Scénario d'évolution de la consommation d'énergie :

a. Scénario du conseil mondial de l'énergie :

Trois scénarios avec différentes options sont définis par le conseil mondial de l'énergie :

- **Scénario 1** : Grand développement économique avec trois options énergétiques :
 - ✓ orientation vers les hydrocarbures (A1).
 - ✓ adopté le charbon à la suite d'un choc pétrolier (A2).
 - ✓ progression du gaz naturel, du nucléaire et des énergies renouvelables (A3).
- **Scénario 2** : aucun changement par rapport à la situation actuelle (B).
- **Scénario 3** : écologique avec deux options :
 - ✓ centré sur le gaz et les énergies renouvelables (C1).
 - ✓ basé sur le nucléaire et les énergies renouvelables (C2).

Tableau 2 3: Scénario du conseil mondial de l'énergie

	Consommation d'énergie en Gtep en 2020	Croissance économique%	Baisse de l'intensité énergétique%	Croissance énergétique
A1	15,38	2,7	-0,9	1,8
A2	15,37	2,7	-0,9	1,8
A3	15,35	2,7	-0,9	1,8
B	13,55	2,2	-0,8	1,4
C1	11,42	2,2	-1,4	0,8
C2	11,43	2,2	-1,4	0,8

Source : Revue IMPACTS Op. Cité page 11

Dans ce cadre, deux aspects importants de l'énergie sont à définir

❖ Définition de l'intensité énergétique :

« Rapport entre consommation d'énergie et le PIB qui permet de représenter la quantité d'énergie utilisée pour produire une quantité de PIB »

Pour favoriser l'efficacité énergétique faut se basé sur la réduction de l'intensité énergétique.»

- ✓ signalons aussi que dans le cas du scénario écologique avec une conservation du taux de la croissance économique, les gains en intensité énergétique atteindraient 1,4%.

Selon la prédiction du conseil mondial de l'énergie, la consommation énergétique évoluerait vers un mix énergétique toutefois avec concentration sur le pétrole.⁵⁹

⁵⁸ <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/consommation-d-energie-finale-dans-le-monde>

⁵⁹ Directeur de la politique économique générale (impacts) « incidences des nouvelles donnes mondiales sur le secteur énergétique marocain » mars 2003 pages 10,11

❖ **Efficacité énergétique :**

L'efficacité énergétique ou efficacité énergétique est un état d'activité d'un système où pour un service rendu identique, la consommation d'énergie est minimisée. C'est en quelque sorte un cas caractéristique de la notion d'efficacité.

L'efficacité énergétique est donc un cas particulier des économies d'énergie, qui ont pour objectif une minimisation de l'énergie consommée sans que le service rendu soit affaibli. La mesure non identique d'un service peut toutefois avéré très rude en pratique.

De l'autre part, la dépendance des grands pays consommateurs à l'égard du pétrole importé, surtout d'une provenance du Moyen-Orient se voit en croissance entre 1997 et 2020. Cette dépendance passera de 52,5% à 79% pour l'Europe, de 44,6% à 58% pour l'Amérique du nord et de 88,8% à 92,4% pour la région pacifique.⁶⁰

II. 3 Les combustibles fossiles : où en sommes-nous des réserves :

Une question qui préoccupe le monde de nos jours c'est la disponibilité des réserves sachant qu'avec le rythme actuel de la consommation on finira par s'en passer de pétrole en premier lieu.⁶¹

Le calcul simple qui consiste à estimer le ratio (réserves prouvées/consommation constatée) conduit à un chiffre qui caractérise l'importance des réserves.

Cela dit il ne faut pas prendre une signification absolue des chiffres obtenus -exprimé en années- vu les incertitudes qu'une ration peut comporter :

- ✓ Premièrement l'évolution dans la recherche et l'exploitation en tendance à accroître la capacité des réserves prouvées et donc la « durée » de ces réserves.
- ✓ En second lieu, la consommation annuelle se verra doublée à cause de la croissance de la demande dans les prochaines décennies impliquant un effet inverse sur « durée » des réserves.

Le tableau suivant résume la situation concernant le charbon, le gaz, et le pétrole.

Tableau 2 4: Réserves d'énergie primaire fossiles (base 2009)

	Réserves mondiales prouvées (Gtep)	R/P (au rythme actuel de la consommation) (années)
Pétrole	181,7	45,7
Gaz naturel	187,5	63
Minéraux solides	826	119

Source : *Mémento de l'Hydrogène Op. Cité page 6*

⁶⁰[http://fr.wikipedia.org/wiki/Efficacit%C3%A9_%C3%A9nerg%C3%A9tique_\(%C3%A9conomie\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Efficacit%C3%A9_%C3%A9nerg%C3%A9tique_(%C3%A9conomie))

⁶¹<http://www.energiepositive.info/fr/pourquoi/energies-fossiles.html>

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

La préoccupation s'intensifie avec ces chiffres sachant aussi que 2/3 des réserves de pétrole sont situées au Moyen-Orient dont 80 % dans les pays de l'OPEP. Cette préoccupation fut traduite par des tensions résultant des conflits et même des guerres (invasion des états unis en Irak et l'attaque collectif en Libye).

A propos de l'énergie nucléaire, et selon world nuclear association, les réacteurs actuels peuvent fonctionner 71 ans avec les réserves d'uranium estimées. Mais ce chiffre risque d'être réduit si la demande mondial d'énergie primaire dépasse les 6% actuels car la part d'énergie nucléaire augmentera dans le bilan global ce qui diminuera la durée de ces réserves à moins de développer des technologies que celle connues de nos jours (réacteur génération 4 attendus à partir de 2030-2040).⁶²

II. 3. 1 Des énergies fossiles amenées à disparaître :

Selon les statistiques, et dans un siècle, l'homme ne verra plus une goutte d'énergie fossile à sa disposition. Avec la cadence actuel de la consommation les réserves de pétrole s'épuiseront dans 63 ans, celle de gaz dans 200 ans tandis que pour l'uranium il cessera d'exister dans 71 ans.

Un délai d'un siècle qui certainement paraîtra énorme à l'échelle individuelle n'a plus la même taille au regard des enjeux et du problème mentionné. Réellement il faudra adapter notre consommation d'énergie aux nouveaux systèmes de production qui ont changés avec le changement de la source d'énergie. Les changements attendus seront longues bâtiments, machines, véhicule ... sont conçu pour durer plusieurs décennies et donc le choix des infrastructures (rail ou route par exemple) est primordiale.⁶³

II. 3. 2 Vers une modification fondamentale des schémas énergétiques mondiaux :

La poursuite à l'identique des schémas énergétiques actuels n'est pas possible, elle conduit à une triple impasse :

- ✓ sur le plan climatique, l'émission de CO_2 induisent des changements climatique défavorable.
- ✓ sur le plan de la pollution dans les agglomérations urbaines.
- ✓ sur le plan de la disponibilité, celles-ci joue un rôle important pour le prix des combustibles fossiles, hautement observé sur le cours de pétrole.

Il va donc falloir :

- ✓ Diminuer la consommation d'énergie et changer progressivement le poids des énergies primaire dans le bilan énergétique mondial.
- ✓ Réduire l'importance d'énergie fossiles et surtout du pétrole.
- ✓ Pousser le développement des énergies renouvelables (hydraulique, biomasse, solaire, éolienne, etc.) pour dépasser la part de 10% occupé de nos jours dans le bilan global.
- ✓ Développer les technologies de capture et de séquestration des émissions de CO_2 de haute concentration.
- ✓ S'apprêter à des échéances plus lointaines où l'énergie rayonnée par le soleil⁶⁴ devra satisfaire la quasi-totalité des besoins énergétiques de l'homme.

⁶²Mémento de l'hydrogène "situation mondiale de l'énergie » fiche 2.1, 2007 page 4

⁶³<http://www.energiepositive.info/fr/pourquoi/>

⁶⁴memento de l'hydrogene idem 2007 page 5

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

Le rapport de l'AIE est formel « **faute d'un changement de direction mondial en matière de politique énergétique s'enfermera dans un modèle énergétique précaire inefficace et fortement carboné** ». ⁶⁵

L'AIE a mis en place trois scénarios pour tenter de simuler les conséquences des actions qui seront prises dans un futur proche :

- ❖ **Le scénario nouvelles politique** : rempli d'optimisme en se basant sur notre disposition à changer nos habitudes dans le but de réduire le plus possible les dégâts environnementaux en consommant moins d'énergie produite autrement.
- ❖ **le scénario politique actuel** : Une continuité de la politique mis en œuvre depuis 2011 expliquant que la hausse de la consommation d'énergie fossile implique des conséquences négatif sur le changement climatique, ces propos se traduisent par une augmentation remarquée à long terme de la température mondiale de plus de 3.5°C.
- ❖ **enfin le scénario 450⁶⁶** : Genre d'asymptote vers laquelle des décisions devraient être prise pour limiter la hausse de la température à 2°C. Un scénario qui nécessite une action politique ferme pour acquérir une probabilité de 50% à fin de limiter l'augmentation de la température à l'échelle désiré.

Dans le scénario 450, le mix énergétique primaire est nettement différent des autres scénarios, de manière à ce que la part des combustibles fossiles dans le mix énergétique global chute de 81% en 2009 à 62% en 2035.

Accusant déjà 400 milliards de subvention encourageant la diminution des combustibles fossiles ; l'AIE s'inquiète de ne pas attendre la même efficacité énergétique avec les nouvelles politiques appliquées.

Ainsi s'ajoute la crise financière actuelle aux obstacles de l'AIE qui rend la mise en place des mesures écologiques quasi impossible. ⁶⁷

II. 4 Prospectives et enjeux énergétiques mondiaux : un nouveau paradigme :

Au cours des deux derniers siècles, les sociétés industrielles se sont développées sur des modèles énergétique qui s'avère avoir une limite infranchissable de nos jours, ajoutant à ce point négatif le faite que ces modèles ne soient ni généralisable sur l'ensemble des sociétés industrielles de la planète, ni soutenable dans le temps en vue des contraintes de ressources et aussi des dégâts climatique qui peuvent engendrées suite à l'émission croissante de CO₂. Donc le 21ème siècle sonnera l'alarme qui obligera les sociétés à faire face au nouveau défi, un challenge qui nécessitera des transformations sur beaucoup d'axe dont les technologies et les systèmes de production et aussi les modes de consommation. ⁶⁸

Sachant aussi que l'humanité doit faire face à une nouvelle donne énergétique à cause de la croissance exponentielle des besoins énergétiques. Pour répondre aux besoins des 10 milliards individus en 2050 contre 7 milliards aujourd'hui, il faudra doubler l'offre énergétique existante de

⁶⁵international energy agency « world energy outlook 2011 » IEA 2011

⁶⁶450 : 450 parties par millions de co2 équivalent (objectif)

⁶⁷<http://www.france-mobilite-electrique.org/l-aie-tire-la-sonnette-d-alarme,2661.html>

⁶⁸ Bernard Lapouche « prospective et enjeux énergétique mondiaux un nouveau paradigme » agence française de développement 2008

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

nos jours selon une étude menée par le conseil mondial de l'énergie sur les politiques énergétiques à l'horizon 2050.

Ces besoins énergétiques génèrent eux-mêmes des besoins de capitaux et attisent la hausse des prix provoquée par la rareté mais face à ces besoin l'opinion prend conscience que l'énergie devient rare et précieuse en plus de ça le défi environnemental vient encore ajouter ses exigences, les spécialistes évalue le cout du réchauffement climatique a 5500 milliards d'euro.

Face à ce constat affolant les gouvernements doivent prendre les mesures de cette véritable Révolution.⁶⁹

II. 4. 1 Quelles solutions explorer pour faire face à cette situation ?

Certainement les réponses ne seront pas simples, la dépendance de nos initiatives, le besoin d'un environnement institutionnel et les engagements politique favorable font la complexité des réponses et solutions. Mais il faudra répondre si on veut une énergie accessible à un prix favorable.

a. Quelles initiatives prendre ?

❖ d'abord améliorer l'efficacité énergétique :

Préserver l'énergie produite en l'utilisant efficacement serai le premier pas à suivre pour valoriser les progrès qui visent un avenir énergétique durable. Ajoutant à cela que l'efficacité énergétique est une option « gagnant-gagnant » que ce soit sur le plan production comme pour la consommation.

Et selon aussi une estimation du CME, il sera possible de faire baisser la consommation d'énergie d'un habitat "i" de 40% au mètre carré à un cout raisonnable seulement en jouant sur les équipements et sur l'architecture.⁷⁰

En jouant aussi sur l'amélioration du rendement des centrales électriques existantes on baissera les besoins d'investissement de 80 milliards de dollars par an, et merveilleusement cette option nos permettra d'économiser le combustible et affaiblir leurs émissions de CO₂.

Aller vers un autre mode de développement avec l'effort de recherche :

La recherche peut sauver notre monde et nous aider a quitter l'âge des hydrocarbures progressivement, et pour que la recherche soit fructueuse il faut mener des politiques de recherche courageuse avec beaucoup de volonté touchant toutes les étapes, de la production et la conversion jusqu'au l'utilisation de cette énergie et le mode de vie.

Des énormes gains sont possibles si la recherche touchera tous les domaines concernés par les chaines de transformation de l'énergie. Et nous pouvons évoquer un exemple touchant le domaine des transports où une priorité est donnée aux transports collectifs.⁷¹

❖ L'objectif de la durabilité :

Penser à d'autres stratégies d'énergie inspirer des principes du développement durable est imminente selon plusieurs organismes qui affirment que l'ère de développement durable est venue et qu'il faut impérativement :

- ✓ Impliquer le secteur privé.

⁶⁹Sven Teske, ArthourosZervos, Oliver Schäfer "(R)evolutionénergétique "PrimaveraQuint, Pays-Bas page 7

⁷⁰ Pierre Gadonneix « un conseil mondial de l'énergie impliqué et ouvert » conseil mondial de l'énergie 2006 page 6,7

⁷¹ Claude Aufort « le défi énergétique du 21^{ème} siècle ! »Revue économie et politique 620-621 2006 page 34

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

- ✓ Octroyer un traitement juridique et fiscal avantageant aux technologies qui exploitent les énergies renouvelables.
- ✓ Assembler l'aide financière de communauté international, notamment par le biais du micro crédit.
- ✓ Appuyer le transfert de technologies et développer les compétences locales dans le domaine des énergies renouvelables.⁷²

II. 4. 2 Recommandations du conseil mondial de l'énergie :

Le CME a identifié sept domaines dans lesquels il convient d'agir dès maintenant, dont l'augmentation des investissements dans les infrastructures dans le but d'encourager le développement partout dans le monde avec un des scénarios choisis. Chaque région devra étudier chaque politique suivant les spécificités locales.

❖ La promotion de l'efficacité énergétique :

En étudiant et développons tous les moyens possibles à fin d'amélioré la chaine d'énergie de l'exportation jusqu'à l'utilisation finale de l'énergie.

❖ La sensibilisation du public :

Le secteur des transports à une importante part dans le bilan global de la consommation d'énergie, et donc faut sensibiliser les utilisateurs finaux en adoptant des mesures encourageant le progrès technologiques à fin d'attendre un rang important de l'efficacité énergétique.

❖ La fixation d'un prix mondial du carbone :

Suffisamment élevé pour avoir un impact sur les prix et induire des changements de comportement, mais assez bas pour ne pas remettre en cause une forte croissance économique.

❖ La création d'un nouveau cadre international de transfert de technologies :

Un cadre qui atteindra les pays en développement en provenance des pays développés, en tenant compte des points essentiels comme la propriété intellectuelle et soutenir les pays à mettre en œuvre des technologies adaptés à leurs priorités énergétiques et favoriser les transferts de compétences.

❖ Un dialogue mondial sur la sécurité de l'offre et de la demande :

Sur le plan mondial, il y a des inquiétudes qui rongent les pays consommateurs en ce qui concerne des incertitudes de leur approvisionnement en énergie. De l'autre côté les pays producteurs manquent d'assurance à cause de leurs dépendances aux aléas de la demande. Donc de nouvelles modalités de coopération internationale devront exister pour fournir assez de garantie aux deux parties.

❖ Une intégration plus étroite des marchés de l'énergie :

Sur le plan régional et mondial afin de réaliser d'avantage d'économies d'échelle au niveau de l'offre et de la demande, dans cette perspectives, un nouvel ensemble de règles commerciales internationales doit être adopté afin de concilier et financer le secteur énergétique mondial, pour apaiser les tensions de plus en plus vives entre pays producteurs et ays consommateurs.

⁷² Courrier ACP-UE « la politique énergétique de demain » 2002 page 2

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

❖ Un cadre fiscal, juridique, et commercial :

Qui vise à réduire les risques pour les investisseurs et disposer d'anticipations réalistes des menaces et profit.⁷³

III. L'énergie dans différentes zones continentales : situations et perspectives :

III.1 Situation énergétique dans la zone africaine :

Une situation complexe, la position énergétique en Afrique est caractérisée par plusieurs éléments, d'un côté une forte instabilité mais de l'autre côté une immense opportunité pour une coopération.⁷⁴

Ce rapport sur la situation de l'énergie en Afrique ne se veut pas exhaustive de tous les aspects qui s'y rapportent.

Il a pour but d'informer le lecteur d'une réalité caractérisée par :

- ✓ Un niveau de consommation d'énergie très varié d'un pays à l'autre, avec une remarque qu'il est bien faible par rapport à celui qui connaissent les pays du nord de la méditerranée.
- ✓ L'absence totale d'échanges énergétiques entre les pays africains.
- ✓ L'énergie occupe une place prépondérante dans les balances commerciales des pays de l'Afrique, ce qui met en évidence les impacts de la dépendance excessive.
- ✓ Suite à l'accroissement des populations, il y a des projections d'augmentation de la consommation extrêmement importantes.
- ✓ Un potentiel élevé d'échange énergétiques pour peu, que le veuillent bien.
- ✓ Un pari très important dans le cadre de l'union pour la méditerranée, qui dans un cadre d'une vraie coopération équilibrée pourrait, contribuer d'une façon majeure à la réalisation d'un ensemble économique intégré.

La zone africaine compte 54 états souverains, ils se distinguent les uns des autres à bien des égards sur le plan de la situation énergétique, ils présentent de nombreux contrastes et d'importantes différences, tant ce qui concerne le type d'énergie utilisée, le niveau de consommation énergétique, que pour la disponibilité et la répartition des ressources hydrocarbures⁷⁵. Parmi tous ces états nous passerons en revue la situation énergétique des huit pays suivants : Algérie, Libye, Maroc, Mauritanie, Tunisie, Côte d'Ivoire, Egypte et le Gabon.

III.1.1 Situation énergétique : Algérie

L'Algérie un pays qui occupe une position relativement enviable d'un point de vue énergétique. Grace aux réserves en hydrocarbures que le pays détient, ainsi que le niveau actuels de la consommation pour répondre à ces propres besoins, le pays se permet un bon moment de sérénité.⁷⁶

⁷³ Conseil mondial de l'énergie « choisir notre future : scénario de politique énergétique en 2050 » Conseil mondial de l'énergie 2007 page 13

⁷⁴ Mustapha Faïd « the Maghreb energy sector : situation and perspectives » Maghreb regional and integration global page1

⁷⁵ Francis Ghiles « prospects for greater global and regional integration in the maghreb » preston institute for international economics (french version) washington, DC 2008 pages 3,4

⁷⁶ M.amirat, s.m.k el Hassar « économies d'énergies dans le secteur d l'habitat consommation électrique des ménages : cas d'un foyer algérien typique en période d'hiver » revue énergie renouvelable -2005page 27

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

Les réserves estimées de l'Algérie sont principalement situées dans la moitié orientale du pays, partagé entre le bassin de Hassi Messaoud avec **70%** de toutes les réserves du pays et d'autres réserves additionnelles sont situées en bassin de berkine.

Avec une estimation de **12,3** milliards de barils comme réserve de pétrole, l'Algérie occupe la troisième place sur la liste des plus grands réserves pour les pays Africain après la Libye et le Nigeria, selon une estimation établie par le journal Oil and Gaz (OGJ) avant janvier 2007. Et malgré l'Algérie ait produit le pétrole depuis 1956, les analystes industriels considèrent le pays sous exploré, avec de grands potentiels de découvertes d'hydrocarbures, pour ce qui est du gaz naturel, l'Algérie possède des réserves estimées à **161,7** trillions pied cubes (TCF) ce qui en fait le huitième plus grand au monde. Le plus grand gisement de l'Algérie est celui de Hassi R'mel, découvert en 1956 et contenant des réserves estimées à **85** TCF le reste des réserves situé au sud et au sud-est du pays à côté des champs pétroliers, Un exemple concret le site Rhourde avec des réserves de **13** TCF, en plus des sites : FouyeTabakanKort (**5,1** TCF), Alrar (**4,7** TCF), OuanDimeta et Oued Noumer, d'autres sites avec moins de réserves se trouvent a la région de AIN SALAH.⁷⁷

Les hydrocarbures occupent un statut très important dans le développement économique de l'Algérie, une croissance moyenne du PIB de 4% par an entre 2001 et 2007 ⁷⁸ étai réalisé grâce à l'accroissement dès la rentre pétrolière suite à l'augmentation du cours des hydrocarbures et l'extension des volumes produits.

Mais les profondes mutations qui s'opèrent tant sur le plan national qu'au niveau international ont conduit l'Algérie à entreprendre les réformes structurelles nécessaires dans le sens d'une adaptation progressive, notamment du secteur de l'énergie. Dans cette perspective, l'état algérien entend promouvoir et accélérer une participation plus grande et plus diversifiée du secteur privé dans le secteur de l'énergie, l'acquisition des technologies, le savoir-faire et l'accès aux marchés extérieurs⁷⁹. Mais dans l'immédiat, le problème énergétique de l'Algérie est un problème qui se pose en terme de stratégie de valorisation de ces ressources pour les besoins du développement du pays, de choix d'une véritable politique énergétique à long terme et l'élaboration immédiate d'un modèle cohérent de consommation énergétique couvrant le court et le moyen terme, avant la date fatidique de l'épuisement de ses ressources fossiles stratégiques.

L'exigence de diversification énergétique qui vise principalement une rapide intégration des énergies renouvelables dont dispose en abondance l'Algérie.⁸⁰

L'existence d'un gigantesque réservoir d'énergie solaire au sud du pays offre la possibilité d'utiliser l'hydrogène produit par l'énergie solaire comme vecteur énergétique stockable, cette option nous évite l'émission de Gaz à effet de serre à l'endroit de production et ne génère aucun polluant. Néanmoins il reste de chemin à faire vers « l'économie de l'hydrogène » à cause des nombreux obstacles techniques et économiques.

⁷⁷<http://www.energiezoom.com/article-125.htm>

⁷⁸SouhilaCherfi « l'avenir énergétique e l'algérie : quells seraient les perspectives de consommation, de production et d'exportation du pétrole et du gaz en algériea l'horizon 2020-2030- recherche économique et managériales 2010 page 1

⁷⁹ Annuaire de l'énergie et des mines « présentation du secteur de l'énergie et s mines » ministère de l'énergie et des mines page 10

⁸⁰m.amirat, s.m.k el hassar idem-2005page 27

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

Seulement 0.08% de consommation nationale algérienne est couverte par l'énergie renouvelable sur le bilan énergétique national, ce qui représente un faible taux pour un pays qui dispose de moyens pour promouvoir l'énergie renouvelable. Selon l'agence spatiale allemande, le potentiel d'énergies renouvelables est le plus important dans le bassin méditerranéen.

Le territoire du GSA (le grand Sahara algérien) les zones arides – et semi arides occupent plus de 90% de la superficie totale du pays, le potentiel solaire algérien est de 37 milliards Sm^3 , c'est l'équivalent de 10 grands gisement de gaz naturel qui auraient été découvert a Hassi R'mel.

Tableau 2 5: Potentiel solaire en Algérie

Aires	Littoral	Hauts plateaux	Sahara
Surface %	4	10	86
Temps d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie reçue (Kwh/m^2 /an)	1700	1900	2650

Source : Abdel Nasser Cherigui op. Cité page 3⁸¹

III. 1. 2 Situation énergétique : Libye

De même pour la Libye qui compte beaucoup sur le pétrole et le gaz naturel pour satisfaire ces besoins en énergie, l'industrie des hydrocarbures influe formellement sur la croissance de l'économie libyenne. Sachant aussi que les exportations du pays participent de 95% dans les exportations totales des marchandises.

Les compagnies pétrolières ont intensifié les efforts d'exploitation du pétrole et du gaz naturel libyen depuis que les nations unis et les Etats-Unis ont levé les sanctions imposées à la Libye en 2003 et 2004. Et Pour augmenter la capacité de la production pour atteindre un taux de 40% soit de 1.8 millions de barils par jour à 3 millions de barils par jours en 2013⁸², au cours de 6 ans, les compagnies ont utiliser des techniques avancées pour exploiter les 41.5 milliards de baril estimer en 2007, un chiffre faisant ainsi de la Lybie la plus grande réserve de pétrole en Afrique. Et pour ce qui concerne les réserves de gaz, là aussi la Libye peut s'estimer privilégié d'être plutôt bien loti avec des réserves estimées à quelque 1491 milliards/ m^3 , ainsi, disposant d'une véritable opportunité économique, la Libye peut se permettre de voir ses ambition a la hausse.⁸³

III. 1. 3 Situation énergétique : Maroc

Le Maroc affiche une très forte dépendance pour ce qui concerne l'importations de charbon, de pétrole et même d'électricité⁸⁴ à cause de la rareté des sources énergétique, et de coup le Maroc est conscient de sa « vulnérabilité » étant un pays jusqu'à présent non producteur de ressources énergétique et dépendant de l'extérieur de la quasi-totalité de son approvisionnement. Conséquence

⁸¹abdI_nassercherigui "les energiesdu future en Algerie:sécurité, enjeux et perspectives » université joseph fourier de grenoble pages 1,2

⁸²<http://www.energiezoom.com/article-137.htm>

⁸³-Mohamed_Mokeddem « la Libye : entre impératif énergétique et logique politique » institut de relation international et stratégique IRIS N°12 2009 page 5

⁸⁴FaouziSenhagi, Samir Amous « financing the development of the renewable energy in the Mediterranean region : baseline study for morocco » united nations environment programme (unep) division of technology,industry and economics 2003 page 8

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

une facture énergétique trop élevée et qui ne cesse d'évoluer au rythme simultanée de la demande d'énergie et des prix internationaux de l'énergie.⁸⁵

Compte tenu de ce contexte, le taux de dépendance énergétique du Maroc est élevé, et enregistre une hausse constante (**93% en 1994, et 97% en 1999 et en 2000**), la facture énergétique, quant à elle, atteint une valeur record en 2000 (**17.8 milliards de dirhams, soit +68%** par rapport à 1999) due aux effets conjugués de la hausse des prix du pétrole, et de la croissance de la demande d'énergie.

A côté de cette forte dépendance énergétique, trois autres aspects fondamentaux caractérisent le secteur de l'énergie au Maroc :

- ✓ Une consommation trop forte de biomasse-énergie qui constitue la principale source d'énergie dans les zones rurales, impliquant ainsi un recul croissant des forêts avec toutes les conséquences qui en découlent : désertification, érosion, corvée du bois de plus en plus difficile, etc.
- ✓ Accès limité des populations rurales aux vecteurs énergétique commerciaux (GPL, électricité), en raison de leur non-disponibilité et du faible pouvoir d'achats de ses populations.
- ✓ Effort soutenu de la part de l'autorité marocaine, depuis quelques années pour l'électrification rurale.⁸⁶

Face à ce constat alarmant les autorités marocaine ont mis en place une nouvelle stratégie énergétique basé sur :

- **L'électricité** : rétablir l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité durant la période 2008-2012 par l'amélioration de l'efficacité énergétique.
- **L'emploi des énergies renouvelables et l'amélioration de l'efficacité énergétique.**⁸⁷
- ✓ Mais face à cette situation il y'a un peu d'optimisme car selon OGJ (oil and gas journal) le Maroc possède des réserves allant à 1,07 millions de baril de pétrole et **60 milliards de pieds cubes (BCF)** de gaz naturel, du moment que les bassins sédimentaires du pays non pas été explorés.⁸⁸

III. 1. 4 Situation énergétique : Mauritanie

Comme la plupart des pays d'Afrique, La Mauritanie est caractérisée par une forte prédominance des énergies traditionnelles, le bois et le charbon de bois couvrant plus de 85% de la demande énergétique. Compte tenu du fait qu'il manque des données fiables sur l'état actuel des ressources ligneuses (de la nature du bois) et leur productivité il a été constaté que les estimations de la demande en milieu urbain se basant sur des données récentes font état d'une consommation six fois plus importante que la production accessible.⁸⁹

⁸⁵a.bencheqroun « situation énergétique du Maroc : des défis et des opportunités » ministère de l'énergie et des mines –royaume du Maroc page 1

⁸⁶ Faouzi Senhagi, Samir Amous idem pages 8,9

⁸⁷ Ministère de l'énergie, des mines, de l'eau et de l'environnement « secteur de l'énergie et des mines principales réalisations (1999-2008) défis et perspectives » royaume du Maroc page 6

⁸⁸ -<http://www.energiezoom.com/article-138.htm>

⁸⁹<http://bch-cbd.naturalsciences.be/mauritania/mr-fra/strategie/th6.htm>

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

Malgré les énormes efforts consentis à fin de réduire la dépendance par, d'une part, l'amélioration des foyers et d'autre part la promotion du gaz butane, les résultats n'étaient pas à la hauteur des espérances.

A l'instar de tous les pays du sahel, la Mauritanie connaît une dégradation du climat observée pendant les grandes années de sécheresse (année 1970), cette situation a fortement contribué au bouleversement des modes d'occupation d'espace, accentuant ainsi la pression humaine et animale sur le couvert végétale.⁹⁰

❖ Etat des lieux du secteur :

- ✓ La filière bois et charbon de bois reste donc encore prédominant, au mépris des risques environnementaux.
- ✓ La filière gaz butane quant à elle prend de plus en plus d'importance au sein des ménages.
- ✓ La filière des énergies nouvelles et renouvelables connaît depuis deux décennies un développement digne d'intérêt.⁹¹

Concernant les énergies fossiles la recherche pétrolière s'effectuait dans le bassin atlantique a mis en évidence d'importantes réserves de pétrole.

A Chinguetti qui est situé à 90 km au sud-ouest de Nouakchott, la Mauritanie a commencé la production de son pétrole à travers des gisements offshore (en dehors des côtes) en février 2006. Le gisement présenté des réserves estimées à 123 millions de baril et il a atteint une capacité de 75.000 baril/ jour en 2006.

La compagnie Woodside gère le puits d'exploitation Tiof-6 qui était foré avec succès en février 2005, ainsi la production atteint 50.000 baril/j avant fin de 2007 et double jusqu'à 150.000 baril /j en 2008.

Le champ de Banda situé à 20 km à l'est de Nouakchott peut contenir des réserves de gaz naturel de 3 à 5 TCF alors qu'on estime que le gisement de gaz naturel de pélican contient 1 à 1,5 TCF.⁹²

III. 1. 5 Situation énergétique : Tunisie

La situation de dépendance énergétique à laquelle la Tunisie s'est trouvée confrontée depuis l'année 2000, et la prise en compte des préoccupations de changement climatique et d'écodéveloppement peuvent a priori être perçues comme des contraintes, voire un frein au développement économique du pays. Mais paradoxalement, ces contraintes favorisent la mise en œuvre d'une stratégie d'écodéveloppement à laquelle aspire le pays, de plus, avec les acquis de la politique volontariste de maîtrise de l'énergie mise en œuvre en Tunisie depuis le milieu des années 80, la démarche est plus facile à adopter, il en reste à moins qu'en plus des efforts déjà consentis. Des résultats encourageants déjà enregistrés dans le domaine de la maîtrise de la demande d'énergie et de la volonté politique affichée dans le domaine.

⁹⁰ République islamique de Mauritanie « projet stratégie et plan d'action national sur la diversité biologique » 1999 pages 28

⁹¹ Ministre délégué auprès du premier ministre chargé de l'environnement mauritanien « plan d'action national en Energie Domestique (PNED) Rapport Principal » ceco-conseil 2008 page 6

⁹² <http://www.energiezoom.com/article-139.htm>

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

Mais, force est de constater que dans les faits, la place de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables et les moyens qui leur sont alloués restent modestes par rapport aux efforts consentis pour les énergies conventionnelles (fossiles) et en particulier les hydrocarbures, et par rapport aux ambitions.⁹³

Depuis peu, et à cause de la flambée des prix du pétrole le gouvernement s'est vu renforcer la stratégie déjà mise en place de l'énergie au service du développement durable à travers le lancement d'initiatives concrètes et s'articulant autour de trois principaux champs d'intervention : « **la mise en place d'un cadre réglementaire favorable à la maîtrise de l'énergie, la mise en place de mesure incitatives à caractère financier et lancement d'action de communication et de sensibilisation** ».

D'ailleurs, le déclin de l'intensité énergétique des principales branches industrielles visées par les mesures de maîtrise de l'énergie et aussi l'émergence du marché des énergies renouvelables, ont prouvé la pertinence et la justesse de la politique de maîtrise de l'énergie.⁹⁴

Le contexte énergétique tunisien peut être résumé comme suit :

- ✓ Un accroissement continu de la demande d'énergie.
- ✓ Des ressources énergétiques limitées.
- ✓ Une politique de maîtrise de l'énergie depuis les années 80.
- ✓ Une volonté politique de promouvoir le secteur de la maîtrise de l'énergie : les décisions présidentielles du 3 mai 2001.
- ✓ Intérêt croissant pour la protection de l'environnement.⁹⁵

Concernant les réserves énergétique de la Tunisie estimée à 308 millions de baril jusqu'à 2006 selon Oil and Gas Journal, la quasi-totalité de ces réserves sont localisés dans le Golf de Gabes ainsi que les bassins de Ghadamès.⁹⁶

III. 1. 6 Situation énergétique : Côte d'Ivoire

Comptant sur le pétrole, le gaz naturel et l'hydro-électricité pour satisfaire la demande de la consommation d'énergie, la Côte d'Ivoire profite pour soutenir l'activité économique globale de pays par l'exportation de pétrole qui représente 28% des revenus de l'exportation total du pays. Traditionnellement les exportations de cacao représenté le soutien principal de l'économie ivoirienne, mais selon la banque mondial, les exportations de pétrole ont remplacé l'importance de l'exportation des cacaos, la production de pétrole est situé en mer et devrait augmenter légèrement en 2007 et 2008.

⁹³Houda Ben Jannet Allal «énergie et écodéveloppement en Tunisie » HELIO international : observatoire de la viabilité énergétique 2005/2006 page 14

⁹⁴RafikMissaoui-Samir Amous « financing the developpment f the renwable energy in the Mediterranean region baseline study for Tunisia” united nations environment programme (UNEP) division of technology, industry and economics -2003 page 7,8

⁹⁵Trudi Valeria « la maîtrise de l'énergie en Tunisie : situation et perspectives »agence nationale des énergies renouvelables conférence MEDNET Athènes 2004 page 3

⁹⁶<http://www.energiezoom.com/article-146.htm>

III. 1. 7 Situation énergétique : Gabon

Avec 65% de revenus nationaux que représente l'exportation de pétrole, Le Gabon affiche sa dépendance à cet Or noir. Ainsi la hausse de prix du pétrole à contribuer à l'augmentation de taux de croissance de PIB de 1.4% en 2004 à 2.7% en 2005. Le champ terrestre Rabi-Kounga contient la majorité des réserves du Gabon qui est estimée à 2.5 milliards barils avant janvier 2006, sachant aussi que le Gabon dispose aussi d'autres réserves en mer comme Tchatamba Marin et Etame.

Une production de 237.000 barils par jour pendant les premiers mois de 2006 a permis au Gabon de prendre la sixième place des plus grands producteurs en Afrique sub-saharienne. Mais toutefois cette production reste loin du pic réalisé en 1997 avec une production de 371.000 barils/j en raison de 36% de diminution. Cette décroissance est due à l'épuisement des réserves actuelles et l'absence d'investissement pour explorer d'autres sites.

En 2005, Plus que la moitié de la production du pétrole est destinée aux Etats-Unis donc 127.000 baril/j pour un total de 226.000 barils/j. Pour les premiers six mois de 2006, le Gabon a exporté en moyenne 52.000 barils/j vers les Etats-Unis tandis que le reste de la production est envoyé vers l'Europe de l'ouest et l'Asie.

Le Gabon s'est retiré de l'organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP) en 1996 en raison de la hausse des droits annuels de l'organisation.

III. 1. 8 Situation énergétique : Egypte

L'économie Egyptienne affecte un rôle important aux exportations de pétrole brut et des produits pétroliers qui malgré la décroissance de ces exportations les dernières années, la hausse des prix du pétrole dans le marché mondial a permis de redresser la barre et pousser l'Egypte vers le haut. S'ajoute aux revenus d'hydrocarbure, l'exportation du Gaz naturel liquéfié (GNL) qui a commencé en Janvier 2005.

En plus, l'économie de l'Egypte continue son rétablissement progressif des taux de croissance en baisse qu'il a éprouvés toujours en 2001 et 2002, mais avec un taux de croissance loin au-dessous de ce qui a été réalisé dans les années 90. Le produit intérieur brut réel du pays (PIB) a atteint 4.9 % en 2005.

III. 2 Situation énergétique dans la zone des Amériques :

La situation énergétique actuelle principalement celle du pétrole qui est très incertaine, fait naître des fortes tensions au sein de l'Amérique. Les unes liées au marché global, les autres héritées d'une longue opposition entre l'Amérique du Nord et l'Amérique latine. Faire l'état des lieux des relations énergétiques intra-américaines nécessite un évident et rapide rappel historique. Ce continent a donné un rôle inégalé au pétrole en suivant le modèle nord-américain, si exécuté soit-il par endroits, et si gourmand en énergie. Si l'Amérique est riche en hydrocarbures découverts et à découvrir, la double géographie de la production et de la consommation a tissé une trame de flux et de tensions qui se sont récemment renforcés. Face à une énergie désormais chère, certains des Etats américains semblent prendre conscience de devoir développer à terme les énormes potentiels dans les énergies nouvelles jusque-là négligées ou ignorées. Ceci devrait permettre de dégager les traits d'une géographie énergétique continentale à triple visage. Nous partons de la toute-puissance de l'ALENA toujours en quête de consolidation de ses réserves et des profits de ses Majors pour aboutir à l'animation latino-américaine polarisée autour d'un Mercosur grossi depuis peu d'un Venezuela très activiste et d'une Bolivie qui brandit son gaz comme un drapeau, sous l'œil

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

sourcilleux d'un Brésil autosuffisant et ambitieux. Entre les deux, l'Amérique médiane, qui doit depuis longtemps accepter la lourde tutelle du Nord, est naturellement la plus dépendante mais courtisée par le Sud.

III. 2. 1 Situation énergétique : Amérique Centrale

L'Amérique centrale compte les états suivants : le Belize, Costa Rica, Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua et Panama.

Les seuls pays producteurs de pétroles en Amérique Centrale sont le Guatemala et le Belize avec une production respective de 20.000 barils/jour et 2.500 barils/jour pour les 10 premiers mois de 2006, sachant que pendant cette même période les pays de la région affichaient une consommation de 310.000 barils/jour de pétrole. Depuis 1980, le nombre croissant des centrales diesel conjugué avec une croissance économique robuste, a doublé la consommation pétrolière. Pour le premier semestre de 2006 le Panama affichait une consommation de 74.000 barils faisant de ce pays le plus grand pays consommateur de pétrole dans la région tandis que Le Belize occupé la dernière place avec une consommation de 9.000 barils/jour. En raison du manque de production de pétrole dans la région, l'Amérique Centrale dépend des importations pour la grande majorité de ses besoins en pétrole. Pour aider à satisfaire ces besoins, l'Amérique Centrale reçoit le pétrole avec des conditions préférentielles du Mexique et du Venezuela sous le pacte de San Jose. En effet ces deux pays fournissent à l'Amérique Centrale ainsi qu'à quatre îles des Caraïbes, 160.000 barils/d de pétrole et de produits pétroliers au-dessous du prix du marché. De plus, sous l'accord d'énergie de Caracas, le Venezuela fournit le pétrole à la région. Ajoutant à cela que ce pays fournit le pétrole au Belize et 12 membres des Caraïbes dans le cadre de l'initiative Petro Caribe.

A l'heure actuelle, l'Amérique Centrale n'est ni producteur ni consommateur du gaz naturel, bien que la compagnie américaine Mallon Ressources tiende une concession d'exploration on shore de gaz naturel au nord-est du Costa Rica.

Le Venezuela et la Colombie ont commencé le travail sur une canalisation de gaz naturel en Juillet 2006 qui reliera les deux pays. Un autre projet en cours d'étude concernant l'extension dans les années à venir de cette canalisation de Carthagène, en Colombie jusqu'à Colon en Namibie. En décembre 1999, le Guatemala et le Mexique ont signé un protocole de construction d'une canalisation de gaz naturel reliant Jaltiplan de Morelos, au sud du Mexique, au Puerto Quetzal au Guatemala. Cette canalisation pourra par la suite être prolongée aux frontières honduriennes et salvadoriennes, et probablement au Nicaragua et au Costa Rica, en tant qu'élément d'un réseau centre américain plus large. Un peu avant, en 2005, le Mexique et les pays de l'Amérique Centrale ont signé la déclaration de Cancún pour mettre en application des projets régionaux d'énergie. Un de ces projets consiste en la construction d'une canalisation de gaz naturel des diverses usines de gazéification au Mexique à la région.

Le décembre de 2001, le plan Puebla-Panama était signé par le sept pays de la région dans la volonté d'intégrer leurs marchés de l'électricité et réseaux de transmission. Permettant ainsi la réduction du coût d'électricité, augmentera la sécurité d'approvisionnement et attirera des investissements étrangers. Ce plan prévoit la construction de SIEPAC (Sistema de Interconexion Electrica de los Países America Central), la création d'un marché global d'électricité (MercadoElectrico Regional) et la construction d'une ligne de transmission reliant le Costa Rica, le Panama, Honduras, Salvador et Nicaragua qui s'ajoute à la création des connecteurs reliant le

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

Mexique, le Belize et le Guatemala au SIEPAC. La mise en place du SIEPAC est la première phase du plan, et pour cela les pays membres ont créé une compagnie indépendante nommée : Empresa Propietaria de la Red (ERP). Le Guatemala a commencé la construction d'une partie du SIEPAC en 2006 qui avancera jusqu'au Mexique. Le septembre de la même année, Instalaciones Inabensa a commencé le travail sur SIEPAC au Panama en contrôlant également la construction au Nicaragua et au Costa Rica, alors que Techint Mexico construira la ligne au Guatemala, au Salvador et au Honduras. La majorité du projet (170 millions de dollars) était financé par IADB, la banque Inter-Américaine de développement, tandis que l'Espagne a contribué avec 70 millions. Le projet était opérationnel fin 2008.

III. 2. 2 Situation énergétique : CUBA

En 2006, la production du Cuba était estimée à 76.000 barils/jour, tandis que la consommation s'élevé à 209.000 barils/jour. Ce pays a connu une nette augmentation de la production depuis 1984 où la production était estimée à 16.000 barils/jour seulement. La province nordique de Maranzas produit la majeure partie du pétrole du Cuba, un brut lourd et aigre exigeant ainsi un traitement spécial. En 2006, et aux termes d'accords en participation avec la compagnie pétrolière cubaine Cubapertoleo, deux compagnie canadiennes, Sherritt Internation et Pebercan, produisent le pétrole au Cuba. La production du pétrole Cubaine semble se stabiliser puisqu'aucune découverte de nouveaux gisements n'a vu le jour ces dernières années, sachant que la plupart de la production est On Shore bien qu'il y a aussi une production offShore dans des eaux côtières peu profondes. Il y a eu un grand intérêt pour les activités d'exploration offshore et plus particulièrement sa partie du Golfe du Mexique après que les analystes industriels aient rapporté qu'il pourrait y avoir au moins 1.6 milliard de barils de réserves de pétrole brut. Néanmoins, ces tentatives ont jusqu'a 2006 été décevantes. La Brésilienne Petrobras a abandonné ses activités d'exploration en offshore après des résultats décourageant en 2001. Alors qu'en juillet 2004, Repsol-YPF a annoncé la découverte d'un pétrole de haute qualité sans qu'il soit d'une quantité commercialisable, suite à son forage d'exploration dans le Golfe du Mexique. La Vénézuélienne PdVSA et Cubapertoleo ont signé un accord d'explorer en même temps les régions offshore du Cuba en 2007, tandis qu'OVL de l'Inde et Petronas de la Malaisie ont mené un programme d'exploration sismique.

III. 2. 3 Situation énergétique : CANADA

Le Canada est l'un des plus grands producteurs et exportateurs mondiaux d'énergie grâce aux ressources naturelles considérable, ainsi en 2004 le ce pays a produit un total d'énergie de 18.6 Btu faisant de lui la cinquième plus grande quantité au monde. Avec une production qui n'a cessé d'augment jusqu'à atteindre 81% depuis 1980, contre une consommation qui n'a évolué que de 40%; sachant que la production mondiale a augmenté de 54% pendant la période de 1980-2004.

Quasi la totalité de l'exportation d'énergie du Canada sont acheminé vers les Etats-Unis, faisant ainsi de ce pays la source la plus importante pour les Etats-Unis. Le Canada est le pays le plus exportateur de gaz naturel et d'électricité et 'un des pays les plus exportateurs du pétrole aux Etats-Unis. En chiffre, pour 2006, le Canada a satisfait 11% des approvisionnements des Etats-Unis en pétrole et produits pétroliers, soit une exportation de 2.3 millions de barils/jour. Pour ce qui est de gaz naturel, le Canada a exporté 3.6 trillion pieds cubes de gaz naturel (16% des approvisionnements des États-Unis) et 41.2 milliards de kilowattheures d'électricité qui ne représente que 1% des approvisionnements des Etats-Unis. L'importance de cette collaboration

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

énergétique entre les deux pays a donné naissance à un groupe de travail Nord-américain d'énergie avec la participation du Mexique.

En 2004, la plus grande source de consommation d'énergie au Canada était le pétrole avec une part de 33%, suivie du gaz naturel et de l'hydroélectricité avec 50% partagé uniformément, et enfin le charbon 9% et le nucléaire 7%. Au cours de la période 1984-2004, la part du pétrole dans la consommation est demeurée presque tout le temps constante, alors que celle du gaz naturel a connu une augmentation de 21% à 25%. La cause de cette augmentation est la baisse de la consommation du charbon qui est passé de 12 à 9%. Il est estimé en 2007 que le Canada compte près de 179.2 milliards de barils de réserve de pétrole selon l'Oil and Gas Journal (OGJ), derrière l'Arabie Saoudite. Une grande partie de ces réserves (95%) sont des gisements de sables pétroliers en Alberta, difficile à extraire et à traiter que le pétrole conventionnel.

En 2006, 3.3 millions de barils/jour est la production totale de pétrole du Canada (tous liquides compris), une production qui s'est nettement augmenté après que les nouvelles découverts des sites offshore ont remplacé les veilles gisement d'Alberta dans les provinces occidentales. La consommation du Canada s'élever à 2.2 millions de barils/jour en 2006 et envoie plus de 99% de ses exportations vers les Etats-Unis.

En 2007 aussi, l'OGJ a signalé que le Canada détient 57.9 trillion pieds cubes (Tcf) de réserves de Gaz Naturel, sachant que le pays a affiché une production de 6.5 Tcf en 2004 contre une consommation de 3.4 Tcf, faisant ainsi de ce pays le deuxième plus grand producteur de gaz naturel dans l'hémisphère après les Etats-Unis. En 2006, il a exporté 3.6 Tcf vers les Etats-Unis, représentant ainsi 86 % des importations totales annuelles de ce pays. La plupart des exportations canadiennes de gaz naturel vers les États-Unis sont transportées à travers des canalisations en Idaho, au Montana, le Dakota du Nord, et au Minnesota. Selon les prévisions de l'EIA, on s'attend à ce que la production canadienne de gaz naturel dans les prochaines années diminue.

Le Canada détient des réserves d'environ 7.3 milliards short tons de réserves de charbon. Une nette diminution était remarquée ces dernières années. En effet, du pic réalisé en 1997 avec une production de 68.5 Mst, le pays n'a produit que 68.5 Mst en 2003. La partie occidentale du pays détient la plus grande concentration de la production, sachant qu'en Alberta la moitié de cette production est réalisé. Atteignant les 69.4 Mst en 2003, la consommation de charbon n'a fait qu'augmenté jusqu'à atteindre ce chiffre. L'importante partie de cette consommation est utilisé pour la production de l'électricité, tandis que le reste est utilisé comme énergie primaire aux équipements industriels pour la production de l'acier. L'Asie reçoit la moitié de l'exportation canadienne du charbon qui est primordialement le coke, le reste est envoyé généralement vers l'Europe et l'Amérique latine.

La production canadienne d'électricité s'est élevée à 573 Bkwh en 2004 sachant que 522 Bkwh étaient enregistré comme consommation la même année. Cette production était possible grâce à l'installation d'une puissance de 118 gigawatts en 2004. Avec l'hydroélectricité, le Canada produit 58% de la production d'électricité, 25% par le charbon, 15% avec les centrales nucléaire et environ 2% par l'énergie renouvelable. Avec cette étendu du réseau électrique, le Canada et les Etats-Unis ont un immense commerce commun. Cet union se voit dans les échanges entre les deux pays, comme exemple, 33.0 Bkws était exporté vers les Etats-Unis en 2003 tout en important 22.5 Bkhw la même année. Bien qu'il fût remarqué que les exportations Canadienne de l'électricité en 2003 ont connu une augmentation par rapport à 2002, il est à noter que les exportations connaissent une

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

diminution contre l'importation. La création d'une organisation électrique nord-américaine de fiabilité s'est imposée vu l'importance de leurs échanges, cette organisation qui sera intergouvernementale devrait surveiller la fiabilité du réseau tout en réglant les conflits transfrontières et organiser des normes communes d'industrie.

III. 2. 4 Situation énergétique : TRINIDAD-TABAGO ET BARBADE

Contribution à la majorité de la production en Caraïbe, le Trinidad et Tabago occupe une importante place, avec une production de 142.700 barils/d en pétrole brut et un reste qui se compose la plupart du temps des liquides de gaz naturel (NGLs), la production totale s'est élevée à 191.300 barils/d en 2006. Au cours de cette même année, le pays n'a consommé que 30.000 barils/d de pétrole, permettant ainsi l'exportation d'une quantité considérable de la production. BHP Billiton et Petrotrin sont les principaux producteurs de pétrole brut dans le pays, tandis que les plus grands producteurs de liquides de Gaz Naturel NGLs sont Phoenix Park Gas Processing Plant et Atlantic LNG project avec une production de 49.700 barils/d de NGLs enregistré en 2006. La production s'est nettement améliorée ces dernières années et normalement devrait continuer cette amélioration.

De l'autre côté, la Barbade n'a pas une importante réserve de pétrole brut, une production de 1000 barils/d était enregistré en 2006 contre une consommation de 9.000 barils/d, de plus le pays n'a même pas une station de raffinage ce qui le rend dépendant de l'industrie de raffinage au Trinidad et Tobago.

III. 3 Situation énergétique dans le continent Asiatique :

Le secteur de l'énergie joue un rôle très important dans l'activité économique des pays de l'ASIE. Bien que la plupart des pays asiatiques soient des producteurs voire même des exportateurs de produits énergétiques, il n'en demeure pas moins que quelques pays souffrent encore de manque de ressources qui affaiblit leurs tissus industriels, et par voie de conséquence toute leur structure économique et sociale.

III. 3. 1 Situation énergétique : Arabie Saoudite

L'Arabie Saoudite est la cinquième réserve mondiale, et le plus grand exportateur de pétrole dans l'organisation de l'OPEP. Ce pays affiche une grande volonté pour demeurer le plus grand exportateur de pétrole au monde, avec son initiative agressive d'investissement dans le secteur d'énergie et la diminution du coût de production.

Entre la période de janvier 2006 et novembre de même année, l'Arabie Saoudite a satisfait 14% des importations de pétrole des Etats-Unis, soit 1.4 million barils/d.

L'Arabie Saoudite et toujours dans le contexte de sa volonté énergétique a adopté un intéressant plan d'investissement d'un montant général de 70 milliards de dollars, une partie estimée à 18 milliards serait engagée pour développer la capacité amont de pétrole pour atteindre 12 millions de baril/d en 2009.

Pour plus qu'une décennie, SaudiAramco, le dixième plus grand producteur de gaz naturel au monde, a intensément entrepris des explorations on shore et offshore en recherche de réserves additionnelles. D'après des prévisions d'Aramco, on s'attend à ce que la demande de gaz naturel dans le royaume triple presque à 14.5 milliards de pieds cube par jour (BCF/d) d'ici 2030, alors qu'elle était de 5.5 BCF/d en 2006.

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

La SaudiAramco, qui monopolisais le marché local de naturel saoudien, s'attendais à une rude concurrence vu que ce marché s'ouvre progressivement à des investissements privé que ce soit en exploitation ou distribution. D'après les prévisions, le pays connaîtra une évolution sur la capacité électrique ces des décennies suivantes, atteignant 60 GW, la même capacité affichais actuellement en Corée du sud.

III. 3. 2 Situation énergétique : L'INDE

- L'importation de pétrole ne cesse d'évoluer pour l'Inde.
- L'économie de l'Inde connaît une forte croissance. ainsi, elle devient de plus en plus consommateur significatif de pétrole et de gaz naturel.
- Le gouvernement indien a tenu plusieurs séries d'autorisations sous le cadre de NELP dans un effort de favoriser des activités d'E&P et d'amplifier la production de pétrole nationale.
- En mépris de nouvelles découvertes de gaz naturel ces dernières années, le pays compte sur ses importations à grande échelle par l'intermédiaire de canalisations et de bornes de GNL pour l'aider à satisfaire la demande croissante.
- L'Inde occupe la troisième place des plus grands producteurs de charbon au monde.
- L'Inde souffre actuellement d'un manque important de capacité de production électrique.

III. 3. 3 Situation énergétique : l'Irak

- L'évolution des conditions de sécurité continue à réhabiliter le secteur de l'énergie en l'Irak.
- Les experts conviennent à croire que l'Irak pourrait être l'un des pays les plus riches en réserves, connues et inconnues, qui n'ont pas encore été assez exploités.
- L'Irak souhaite désire développer ces importantes ressources inexploitées du gaz naturel pour la consommation local et aussi pour l'exportation.
- La réhabilitation du secteur de l'électricité est un composant important des efforts de reconstruction de l'Irak.

III. 3. 4 Situation énergétique : La Chine

- La République populaire de Chine qui est le pays le plus peuplé sur la terre et qui occupe la deuxième place après les Etats-Unis sur la liste des plus grands consommateurs d'énergie, vois sa demande augmenté au fil des années et donc une augmentation des importations, et ainsi ce pays tiens un rôle important dans le marché mondiale du pétrole.
- La Chine est le troisième plus grand importateur de pétrole derrière les Etats-Unis et le Japon, une place justifier puisque ce pays occupe la deuxième place de plus grand consommateur de pétrole de monde, et cela bien que la Chine détient des importantes réserves.
- Atteignant déjà leurs productions maximales, les plus grands champs producteurs de pétrole en Chine n'arrivent pas à faire face à la demande. Ce qui poussé les activités d'exploration et exploitation des réserves non exploitées localisé majoritairement dans les Provinces intérieures et dans les champs offshore.
- Beaucoup d'attention a été donnée aux compagnies pétrolières nationales chinoises investissant dans des capitaux d'exploration et de production de pétrole outre-mer. Cependant, jusqu'ici ces acquisitions ont contribué relativement peu aux importations de pétrole Chinois.
- En mai 2006, la Chine a inauguré sa première canalisation de pétrole transnationale où elle a commencé à recevoir le pétrole de Kazakhstan et de la Russie.

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

- Une volonté récente a été déclarée visant à la construction de nouvelles usines et au renouvellement de celles déjà existantes de façon à traiter des catégories plus lourdes et plus aigres de pétrole brut en provenance du moyen orient.
- La part du gaz naturel n'a pas dépassé 3% de la consommation d'énergie chinoise en 2004. Toutefois, d'après les prévisions, la production et la consommation du gaz naturel connaîtrons une large augmentation dans les prochaines années.
- La canalisation de gaz naturel prévue, en provenance de la Russie est de plus en plus incertaine, ce qui a mené la Chine à regarder ailleurs pour poursuivre ses approvisionnements en gaz naturel d'outre-mer.
- Bien que plusieurs de ses grandes réserves du charbon n'avoient pas encore été développées, la Chine demeure le plus grand producteur et consommateur de charbon au monde.
- Le gouvernement Chinois a pris le développement et l'expansion des centrales électrique à gaz naturel comme une priorité, puisque la production actuelle est dominée par des sources de combustible fossiles spécialement le charbon.
- La Chine détient la plus grande centrale hydroélectrique au monde, la centrale « Three Gorges Dam » demeure le plus grand projet hydroélectrique au monde.
- La consommation du Chine fait de ce pays la deuxième plus grande source au monde d'émission du gaz carbonique.

III. 3. 5 Situation énergétique : LA MEDITERRANEE ORIENTALE : « LIBAN, JORDANIE, SYRIE, PALESTINE »

- L'importance des pays de cette région ne réside pas dans leurs parts dans le marché mondial, puisque ils ne consomment et produisent que des faibles quantités, mais ils occupent un endroit stratégique en ce qui concerne les itinéraires de passage d'énergie et en termes de sécurité régionale.
- Avec une production de 365.000 barils/d du pétrole brut d'un total de 416.000 barils/d de liquides pétroliers en 2005, la Syrie est le seul pays producteur significatif dans la région. Les autres pays, Palestine, le Liban et la Jordanie importent tous leurs besoins en pétrole.
- La demande du gaz naturel dans la méditerranée orientale se développe à un taux exponentiel vu que la production de l'électricité est convertie du fuel, diesel et charbon, qui sont plus chers, vers le gaz naturel. En dépit des découvertes modestes de gaz, les importations en provenance de l'Egypte seront indispensables à la satisfaction de la demande régionale dans un futur proche.
- Dans la même cadence, la demande de l'électricité augmente à un rythme régulier dans toute la région.
- L'interconnexion régionale a pu améliorer la capacité électrique collective à des coûts inférieurs, mais peut être exclue par conflit politique dans un court terme.

III. 3. 6 Situation énergétique : Singapour

- Singapour occupe un endroit stratégique important en se situant près du détroit de Malacca où un important itinéraire pour les pétroliers. C'est aussi un pays avec une grande capacité de raffinages pour le Sud-Est asiatique avec presque le double de son taux de consommation.
- Le pays ne produit pas du pétrole localement mais, grâce à ces capacités de raffinages, il constitue un maillon important dans le marché mondial de pétrole.
- Le gouvernement encourageait l'utilisation du gaz naturel pour la production de l'électricité, ce qui a poussé l'augmentation de la consommation de cette énergie. et de ce fait, Singapour produit la totalité de son électricité à partir du gaz naturel.

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

- Afin d'améliorer l'efficacité énergétique et réduire les émissions carboniques, le Singapour déploie des efforts considérables.

III. 3. 7 Situation énergétique : La Russie

- L'économie de la Russie dépend essentiellement de l'exportation du produit pétrolier, c'est pour cette raison que la Russie est un grand pays producteur et exportateur de pétrole et gaz naturel. L'exportation continue a tiré l'économie russe vers le haut, grâce la grande production de gaz et de pétrole, ainsi que leurs prix élevé, représentant donc selon PFC⁹⁷ Energy, 52 % des recettes budgétaire et plus de 70% totale en 2012.
- Statistiquement la Russie occupe la troisième place sur les plus grand producteur mondial des liquides totaux, après l'Arabie Saoudite et les Etats-Unis, avec une production moyenne de 10.5 millions barils/d d'après des chiffres obtenu en septembre 2013. Le pays conserve sa deuxième place comme producteur de gaz naturel après les Etats-Unis.
- S'ajoutent à ces capacité de production de pétrole, la Russie est le troisième plus grand producteur d'énergie nucléaire en occupant la quatrième place pour ce qui concerne les moyens installé. Selon l'Agence international de l'énergie atomique, et avec les dix réacteurs nucléaires en construction en 2012, la Russie a pris la deuxième place en ce qui concerne le nombre des réacteurs.
- Avec une consommation de 32.77 quadrillion d'unités thermique britannique (BTU) en 2011, le charbon na représenté que 14% alors que la partie du pétrole s'élevé à 19%, tandis que la majeure part de cette consommation fut grâce au gaz naturel 56%.

III. 4 Situation énergétique dans la zone Européenne :

Grâce à la flambée des prix du pétrole et au débat sur les implications de la dépendance croissante européenne des livraisons de gaz en provenance de la Russie, la politique énergétique est redevenue, depuis quelques mois, un sujet de l'actualité politique et économique européenne.

La sensibilité à la question énergétique a trouvé une expression supplémentaire à travers deux cas européens d'union qui fait une grande nouvelles pour la presse économique, cette nouvelle expérience a vu le jour en premier temps par la fusion en Espagne entre Endesa et Gas Natural ou avec E. On, et une autre entre Suez avec GdF ou ENEL.

La monté des prix, d'après certain observateur, est un risque pour les attentes et les souhaits visant la croissance estimé indispensable pour la relance européenne et la réduction du taux de chômage. C'est pour cette raison que la zone européenne forme une nouvelle politique énergétique qui pourrait être la clé d'un programme de relance conjoncturelle prochainement et prouver que l'Union européen était en train de sortir de sa crise.

Les nouveaux prix imposent une autre remarque, avec une certaines honnête, es vraiment les inquiétudes profondes relevé justifié ? Cela dit parce que nos besoin de base de la vie quotidienne qui inclus l'eau, énergie, transport. etc... sont relativement modéré par rapport à d'autre besoin "utiles" de la vie.

Avec un simple voyage dans le passé, des spécialiste allemands avaient limité le prix d'un litre d'essence à 1 DM en tenant compte que les consommateurs allaient changé leurs habitudes, Cependant de nos jour, le prix d'un litre d'essence a doublé (1.30 €) sans que les habitudes de consommateur ont changé.

⁹⁷PFC : PowerFactor Controller.

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

III. 4. 1 Situation énergétique : L'Allemagne

- Etant donné que l'Allemagne est un des plus grands consommateurs d'énergie au monde, et que ces ressources ont montré leurs limites à l'exception du charbon, la grande partie de sa consommation est avec une énergie importer.
- L'Allemagne est le cinquième plus grand consommateur de pétrole dans le monde.
- La Russie est l'importante source d'importation pour l'Allemagne, suivie de la Norvège et du Royaume-Uni.
- L'Allemagne est le troisième plus grand consommateur du gaz naturel dans le monde.
- Géographiquement l'Allemagne occupe un endroit stratégique où d'importante canalisation de gaz naturel qui provienne de la Russie et la Mer de Nord passent sous les terres de ce pays.
- Parmi les pays de l'Union européenne, l'Allemagne possède les plus importantes réserves de charbon.
- L'Allemagne est le quatrième plus grand consommateur du charbon au monde.
- L'Allemagne possède le plus grand marché de l'électricité de l'Europe.
- L'Allemagne, et malgré sa quatrième place des plus grand producteur de l'énergie nucléaire dans le monde et donc l'importance de cette production, désire fermer toutes les centrales nucléaires d'ici 2022.
- L'Allemagne est l'un des plus grands producteurs d'énergie renouvelable d'origine non hydraulique et notamment le plus grand producteur d'énergie éolienne.
- L'Allemagne est le troisième plus grand émetteur du gaz carbonique parmi les pays de l'OCDE derrière les Etats-Unis et le Japon.

III. 4. 2 Situation énergétique : La Turquie

- La Turquie est un pays important pour les marché du pétrole grâce à a position stratégique qu'elle occupe, faisant ainsi de ce pays un « pont d'énergie » entre les champs de production du pétrole et du gaz naturel du Moyen-Orient et de la mer caspienne et les marchés de consommation en Europe.
- La canalisation de Bakou-Tbilissi-Ceylan, qui bypass le checkpoint de passage de pétrole du détroit de Bosphore, est la première parmi les nombreuses canalisations de bypass de Bosphore prévues pour construction.
- Augmentation sensible de la consommation du gaz naturel les dernières années en Turquie.
- Pour satisfaire sa demande croissante en gaz naturel, la Turquie a multiplié ses raccordements de canalisations internationales.
- La principale production du charbon est orientée vers la production de l'électricité.
- La majorité de l'électricité de la Turquie vient des sources thermiques conventionnelles.
- Les émissions du dioxyde de carbone de la Turquie demeurent bien au-dessous de la moyenne régionale, bien que les niveaux d'émission soient en nette progression.

III. 4. 3 Situation énergétique : Pays De L'Est

Les pays de l'Europe de l'Est : Moldavie, Roumanie et Bulgarie.

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

- La position des pays de l'Europe de l'Est est stratégique, exportant l'électricité à travers les Balkans et transportant le gaz naturel russe vers Europe de l'ouest et la Turquie.
- Les pays de l'Europe de l'Est sont des importateurs de pétrole.
- Bien que l'Europe de l'Est n'a pas une production du gaz naturel important, mais constitue un centre important de passage pour le gaz naturel russe en Europe de l'ouest.
- La majorité de la production du charbon est utilisé pour la production de l'électricité.
- Les conditions d'adhésion à l'EU pourraient signifier que les pays de l'Est devront fermer certaines de leurs centrales existantes.

III. 4. 4 Situation énergétique : Royaume Uni

- Le Royaume-Uni détient des réserves importantes en Mer du Nord, et c'est avec ces réserves que ce pays est l'un des plus grands producteurs de pétrole et du gaz naturel.
- Bien que la production du Royaume Uni ait chuté depuis 1999, ce pays reste le plus grand producteur de pétrole dans l'UE.
- Ce pays est aussi le plus grand producteur du gaz naturel dans le monde.
- La majorité de la production du charbon est utilisé pour la production de l'électricité.
- Les centrales électriques à charbon sont remplacées par celle à gaz naturel pour la production de l'énergie du Royaume Uni.

III. 4. 5 Situation énergétique : Grèce

- Bien que la Grèce ne possède que des faibles ressources énergétique, mais sa position géographique pourrait la rendre un important Hub de transit. effectivement avec l'achèvement de la canalisation Alexandroupolis, la Grèce pourrait jouer un rôle important dans le transport des énergies.
- La Russie fournisse la majeure partie de la consommation en gaz naturel de la Grèce, même si ce pays essaye de diminuer cette dépendance en réexportant le gaz naturel à travers la mer caspienne.
- La production du charbon lignite vient en second lieu directement après l'Allemagne dans l'Union Européen.
- La Grèce pourrait profiter du raccordement aux réseaux électriques importants de ses voisins.

III. 4. 6 Situation énergétique : Norvège

- La Norvège n'adhère pas l'OPEP est portant ce pays est l'une des sources de pétrole les plus important en Europe, La Norvège fournisse le pétrole et le gaz naturel au monde et spécialement à l'Union Européen.
- La Norvège est le troisième plus grand exportateur de pétrole au monde.
- La Norvège est le deuxième plus grand fournisseur du gaz naturel à l'Europe continentale.
- Une faible consommation de charbon en Norvège.
- L'hydroélectricité fournisse la majorité de l'électricité de la Norvège.
- La Norvège possède la deuxième plus haute intensité énergétique des pays de l'OCDE.

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

III. 4. 7 Situation énergétique : Europe Centrale

Les pays de l'Europe nord centrale : Pologne, Slovaquie, Tchéquie et Hongrie.

- Les pays de Visegrad⁹⁸ sont devenus des membres de l'union européenne le 1er mai 2004.
- Les pays de la région dépendent entièrement des importations majoritairement fournies par la Russie.
- L'importance de la consommation de gaz naturel dans ces pays coïncide avec les normes environnementales de l'UE.
- Bien que la part du marché du charbon diminue, il reste la source dominante d'énergie.
- Les gouvernements dans la région avaient libéralisé leurs secteurs d'électricité.

III. 4. 8 Situation énergétique : Péninsule Ibérique

Situation énergétique de l'Espagne et le Portugal.

- La consommation d'énergie de l'Espagne et du Portugal a augmenté considérablement à cause du développement économique que connaissent ces deux pays.
- L'Espagne et le Portugal dépendent des importations pour presque toute leur consommation pétrolière.
- La consommation de gaz naturel dans la péninsule ibérique s'est développée rapidement durant la décennie passée.
- L'Espagne est l'un des plus grands importateurs de GNL⁹⁹ de l'Europe.
- La dernière mine de houille au Portugal est fermée en 1994, alors que la production en Espagne est en régression.
- L'Espagne a connu une croissance rapide de la production de l'électricité par des centrales à gaz naturel.

III. 5 Situation énergétique dans l'Océanie :

Il y a suffisamment de ressources énergétiques en Océanie pour satisfaire la consommation intérieure de cette zone, et aussi pour l'exportation. Dans cette zone, l'Australie et la Nouvelle-Zélande qui sont des pays développés, sont aussi les acteurs économiques de cette zone. Des leaders en exportation de matières premières telles que les produits miniers et énergétiques en raison du sous-sol très riche, cette exportation a aidé l'Australie à surpasser la crise économique en 2008 sans difficulté contrairement au reste du globe. Interagissant de manière principale avec les pays de l'Asie de l'Est et les pays d'Amérique, les autres pays d'Océanie ne dépassant que rarement la « taille critique » affecter la scène internationale, sont faiblement intégrés économiquement au reste du monde. Un cas par exemple de la Papouasie-Nouvelle-Guinée riche en ressources naturelles, mais qui n'a pas été exploitée à cause des habitudes de la population de la région, qui 85% de la totalité vit encore dans l'agriculture de subsistance.

⁹⁸ Le Groupe de Visegrád (auss appelé Visegrád 4 ou V4 ou Triangle de Visegrád) est un groupe informel réunissant quatre pays d'Europe centrale : la Hongrie, la Pologne, la République tchèque, et la Slovaquie.

⁹⁹ GNL : Gaz Naturel Liquéfié.

III. 5. 1 Situation énergétique : Australie

- Le pays a une richesse en ressources naturelles traduite par des réserves en pétrole, en gaz naturel et en charbon. Le charbon domine la consommation d'énergie en Australie et il est le carburant principal pour la production de l'électricité. Les deux dernières décennies, l'Australie connaît un développement constant de la consommation du pétrole, et vu le déclin de la production de cette ressource, le pays connaît une dépendance vis-à-vis l'extérieure.
- L'Australie est un pays exportateur d'énergie et membre de l'Organisation pour le Développement et la Coopération Economique (OCDE). Effectivement, ce pays détient la première place des exportateurs du charbon dans le monde et prend la cinquième place des plus grands exportateurs du gaz naturel liquéfié (GNL). Mais la production Australienne est invitée à augmenter pour répondre à la demande asiatique qui connaît une forte augmentation. L'Australie doit se préparer à une éventuelle concurrence, notamment du charbon en provenance de la Chine et aussi du charbon et GNL en provenance de l'Indonésie.
- En juillet 2005, l'AER (Australian Energy Regulator) a vu le jour, cet organisme a un rôle important qui consiste à contrôler les marchés d'énergie du pays et promouvoir des investissements dans le secteur d'énergie. Cet organisme participe aussi à la protection du consommateur contre les variations des prix de l'énergie.

IV. Les marchés énergétiques :

IV. 1 Les marchés (Régionaux) des énergies de réseaux :

Jusqu'aux expériences récentes de déréglementation, la production, le transport et la distribution d'électricité, le transport régional et la distribution de gaz naturel étaient partout et sont souvent encore assurés par des entreprises en situation de *monopole naturel*, situation liée à l'exploitation en réseau et aux économies d'échelle. En dehors des États-Unis, il s'agit en général de monopoles publics.

La question des monopoles est remise en cause dans un certain nombre de pays. Les défenseurs de la déréglementation affirment que la concurrence permet d'améliorer l'efficacité des entreprises et que les *coûts d'agence* pèsent sur les prix de revient des monopoles. Ils proposent donc, en s'appuyant sur le concept de *marchés contestables*, une ouverture des réseaux. Les modalités en sont variées.

IV. 1. 1 Le gaz naturel aux États-Unis

De côté du gaz naturel, l'Amérique du Nord affiche une autosuffisance grâce à l'offre des milliers de producteurs, ce qui a poussé les transporteurs à ouvrir leurs réseaux aux tiers et les sociétés se «désintéresser», créant ainsi des marchés à termes de gaz et de produits dérivés à partir de 1990.

Avec la concurrence qui a marqué le marché du gaz naturel où les échanges « spot » se sont développés, une baisse de prix était connue jusqu'en 1999 suite à des grandes variations, en particulier saisonnières. À partir de 2000, les prix ont connu une forte augmentation qui s'est fait traduire par l'augmentation du prix brut et aussi à cause du manque d'investissement d'exploration et de développement résultant de la faiblesse antérieure des prix. La solution à employer était la remise en service, en construisant, de nouveaux terminus de gazéification pour l'importation de gaz naturel liquéfié.

IV. 1. 2 L'électricité aux États-Unis

Vu la sensibilité de ce secteur, et pour assurer un service public, le pays a soumis à des entreprises privées - qui produisent la majorité de l'électricité des États-Unis-, des réglementations très strictes pour éviter les abus des entreprises privées.

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

Les collectivités locales assure souvent la distribution, En 1996, La législation fédéral, et sans obligé la « désintégration », a fixé des règles d'accès aux réseaux contrôlés par des « Indépendant System Operators »

Les caractéristiques géographiques et l'exploitation des marchés qui se fait d'une manière général assez rapidement, influent les prix d'un état à l'autre, les prix peuvent varier de 1 à 3 en fonction des points évoqués ci-dessus.

En l'an 2000, la crise qui connut l'état californien a mis en évidence les difficultés de mise en place d'une nouvelle réglementation nécessairement associée à l'instauration d'une libéralisation (partielle). En Californie et en court terme, la priorité à était donné aux obstacles (liés aux préoccupations environnementales) aux autorisations de constructions de nouvelles centrales, et la définition de prix plafonds de vente ont conduit à un déficit d'investissement en capacités de production et de transport. Les prix à la production se sont envolés mettant les distributeurs en état de quasi-faillite et entraînant d'importantes coupures de courant.

IV. 1. 3 L'électricité en Europe

Avec la privatisation des producteurs et des réseaux (hors nucléaire), le Royaume Uni est le pays qui adopté les réformes les plus radicales, des réformes suivi par des souhaits de l'Union Européen a réduire les obstacles contre la concurrence. La recommandation Electricité de 1997 maintien donc les objectifs en pourcentage des marchés qui doivent graduellement être ouverte à la concurrence, en utilisant un système d'Accès des Tiers aux Réseaux.

C'est dans ce contexte qu'en France en 2000 a été créé le « Réseau de Transport Électricité » (RTE), entité d'EdF mais indépendante sur le plan de sa gestion, notamment financière. Les tarifs d'accès et plus généralement le contrôle du système sont assurés par une « Commission de Régulation de l'Électricité ». Enfin, une bourse de l'électricité, Powxernext, devrait être mise en place au cours de l'été 2001 associant les gestionnaires des réseaux de transport français, néerlandais et belge à différents partenaires dont EdF et Electrabel.

IV. 1. 4 Le gaz naturel en Europe

Les marchés européens ont longtemps été caractérisés par un petit nombre de sources d'importation (Algérie, Russie, Norvège) et de compagnies gazières en situation de monopole. Mais la recherche d'une meilleure compétitivité en présence d'une abondance de l'offre a conduit la Grande-Bretagne à libéraliser les activités de transport et de distribution. La directive européenne de 1998, selon des principes semblables à ceux de la directive sur l'électricité, prévoit une ouverture progressive des marchés à la concurrence (43 % en moyenne en 2008) qui devrait permettre aux gros consommateurs et aux centrales électriques d'obtenir un coût minimum d'approvisionnement tandis que se développe l'interconnexion des réseaux de pipes (Interconnecter, Norfra).

Ces évolutions des marchés de l'électricité et du gaz ont posé et posent encore aux économistes des problèmes nouveaux : tarifs d'accès aux réseaux, coûts « passés », charges d'interconnexion, analyse de divers phénomènes de pouvoir de marché, gestion du risque, gestion de la congestion du réseau, formation des prix aux nœuds du réseau, mécanismes d'incitation en investissement de développement du réseau, etc.

IV. 2 Les marchés internationaux :

IV. 2. 1 Les marchés pétroliers

En 1973 il y a eu le premier choc pétrolier qui est le plus souvent interprété comme la conséquence d'un comportement de cartel. Beaucoup d'économistes, comme successivement à R.Solow, défendent leurs référence la loi « loi d'Hotelling » en affirmant que les prix vont être manipulés par la rareté d'une ressources où le caractère épuisable avait été oublié, et non pas par le coût de production. Depuis, le principal acteur a été l'Arabie Saoudite qui, lorsqu'elle avait les

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

moyens de moduler sa production (en dehors des périodes de chocs et contre-chocs) a joué un rôle de régulateur des prix. Mécanisme d'ailleurs inhabituel où la demande supplémentaire est satisfaite par appel à la production la moins chère.

Simultanément, il y a eu un développement des marchés « spot ». En 1973, seulement 1 % des transactions s'y effectuaient, alors que 20 % en 1980 et un tiers environ à la fin des années 1990. La quasi-totalité des contrats sont indexés sur les prix « spots ». Vers 1980 apparaissent les contrats à terme puis les produits dérivés. La brièveté de la période de prix élevés au moment de la guerre du Golfe (1990-1991) est attribuée par de nombreux analystes à l'existence des marchés à terme qui ont rendu inutile la constitution de stocks de spéculation (principal facteur déclenchant du deuxième choc). A court terme, les prix sont déterminés par un marché dont les fondamentaux incluent une offre qui s'est largement diversifiée et, naturellement, les quotas de production de l'Arabie et de quelques pays OPEC et maintenant non OPEC.

A la suite d'une stabilité relative des prix jusqu'en 1997, suite à la crise asiatique, le marché a connu une chute des prix en 1998 à cause d'une sensation d'abondance de l'offre et aussi un accroissement à contretemps des quotas de l'OPEP. Les années 1999 et 2000 caractérisée ensuite par un retour à la cohésion des pays producteurs, facilitée par une quasi disparition des excédents de capacité de production. Le mouvement de hausse des prix a été amplifié en 2000 par l'apparition de goulots d'étranglement dans l'industrie du raffinage américaine.

IV. 2. 2 Les marchés du gaz

Le marché international du gaz naturel connaît un fort développement en raison des réserves toujours disponible et les nouvelles technologies employées pour la production d'électricité. Toutefois les différents grands marchés présentent de fortes disparités dues aux coûts de transport élevés.

À l'encontre du marché nord-américain où jusqu'à 1999 les prix ont été très bas sur une longue période, en *Asie* et spécialement au *Japon*, les prix sont structurellement nettement plus élevés (l'Europe est dans une situation intermédiaire). Cela est dû au fait que le Japon, comme d'autres pays émergents, doit faire appel à des importations et supporter des frais du transport le plus souvent effectué par méthaniers. Les prix reflètent une prime de qualité écologique et surtout une valeur « net back » déterminée par le coût de l'électricité obtenue à partir d'autres sources (les 2/3 des achats de gaz japonais sont destinés à la production électrique). Les importations se font en général dans le cadre de contrats à long terme de type « take or pay » nécessaires pour assurer le financement des lourds investissements d'infrastructure.

IV. 2. 3 Les marchés du charbon

Si les transactions internationales de charbon sont croissantes, elles portent cependant seulement sur 10 à 15 % de la production mondiale. Le marché est très concurrentiel. Les évolutions des prix ont été partiellement corrélées avec celles du pétrole, la demande en charbon s'étant tendue lors des périodes des chocs pétroliers.

IV. 2. 4 Les marchés de l'uranium

Les accidents de Three Miles Island et de Tchernobyl ont excessivement fait tomber les prix de l'Uranium dans le marché mondial en raison de l'offre qui est devenu excédentaire, entraînant ainsi la fermeture de nombreuses mines jusqu'à le retour de l'équilibre.

V. ORIENTATIONS TECHNOLOGIQUES

Le potentiel de développement technologique est aussi large du côté de l'offre que du côté de la demande d'énergie. En s'appuyant sur les travaux de l'US National Energy Strategy, le CME [2]¹⁰⁰ s'est efforcé d'en donner une vue chronologique :

- Un lit fluidisé atmosphérique sert au lavage du charbon à la combustion, lit fluidisé pressurisé, cycle combiné de gazéification intégrée (avant 2000) ; lit fluidisé sous pression et cycle combiné perfectionnés (avant 2010) ;
- récupération avancée du pétrole par inondage chimique, inondage par phase miscible, récupération thermique, inondage par polymères, modification de profil et forage par remplissage (avant 2000) ;
- réacteur nucléaire avancé à eau légère (avant 2005), modulaire à gaz haute température, à métal liquide ; surgénérateur commercial (avant 2010) ; centrale à fusion en démonstration (avant 2030) ;
- géothermie binaire et autres technologies avancées (avant 1995) ; systèmes énergétiques à roche sèche chaude et à magma (avant 2030) ;
- combustibles liquides issus de la biomasse par conversions enzymatique et thermochimique (avant 2005) ;
- production d'électricité par éoliennes perfectionnées, par composants photovoltaïques pour applications réparties, par turbines à gaz à lit fluidisé de biomasse à haut rendement (avant 2005), par applications générales des composants photovoltaïques (avant 2020) ;
- véhicules électriques dotés de batteries avancées (avant 2000) ; applications automobiles et générales des piles à combustibles ; stockage de l'électricité par batteries perfectionnées (avant 2010) ; matériaux supraconducteurs à températures élevées dans les transports et l'industrie ; stockage et lévitation magnétique (avant 2020) ; pile à combustible évoluée à base d'oxydes solides, véhicules à hydrogène (avant 2030) ;
- combustion en lit fluidisé des déchets solides municipaux (avant 2000).

Ces perspectives technologiques sont évidemment entachées d'incertitudes. Certaines ne verront peut-être jamais le jour. D'autres pourront se développer beaucoup plus rapidement que prévu sous l'impulsion de découvertes difficilement prévisibles.

Toutes les sources d'énergie, enfin, ne sont pas traitées avec la même attention : l'exploration des hydrocarbures conventionnels peut encore réserver des surprises.

On doit cependant se demander quelles sont celles de toutes ces technologies (côté offre et côté demande) qui vont le plus profiter des effets d'apprentissage qui diminuent les coûts unitaires et assurent des avantages compétitifs. La réponse est à rechercher dans les évolutions que les entreprises sont contraintes de prendre en compte au moment de la définition de leurs stratégies technologiques.

Parmi elles :

¹⁰⁰ « CME : Confort dans la Maison et dans l'Entreprise », « CME [2] : « Comment sont alimentés nos appareils électriques ? » ».

Chapitre II L'énergie dans différentes zones continentales : «Situations et perspectives»

- la mondialisation (globalisation) de l'économie qui donne un poids croissant aux préférences de pays à forte croissances démographique et économique, tels que la Chine ou l'Inde, désireux de tirer parti de leurs ressources, charbonnières notamment ;
- la transformation des systèmes productifs qui privilégie la qualité, la flexibilité, l'efficacité de transformation et d'utilisation des sources d'énergie : d'où le moindre intérêt porté aux économies d'échelle associées aux très grandes tailles et le succès des équipements rapides à mettre en œuvre et facilement adaptables à un contexte instable tels que les turbines à gaz en cycles combinés ;
- l'attention portée à la qualité de l'environnement par des opinions publiques devenues méfiantes : l'énergie nucléaire en a été la première victime ; les industries pétrolières et charbonnières pourraient aussi devoir en tenir compte, notamment dans les perspectives de doublement des émissions de gaz à effet de serre.

VI. Conclusion :

La préoccupation numéro un du développement est l'accès à l'énergie. De nos jours, une grande partie d'individu n'ont pas accès aux aspects «modernes» de l'énergie comme l'électricité, le LPG ou les énergies renouvelables. Les combustibles traditionnels répondent à la majorité de la demande d'énergie, ces combustibles qui malheureusement sont très peu efficace, et surtout résulte d'importants problèmes de santé et de la pollution atmosphérique.

Le rapport entre quantité d'énergie et indicateurs sociaux est caractéristique pour la majorité des pays du globe. Effectivement, il est certain qu'un parviens accru à l'énergie améliora les conditions de santé, l'éducation et l'environnement dans les pays en développement, particulièrement dans les régions rurales.

De l'autre part, le lien entre consommation d'énergie et produit national brut et lui aussi significatif pour la plupart de pays, mais les études de causalités montrent qu'on ne peut pas systématiquement affirmer qu'un accès à l'énergie stimule la croissance économique. Cela est principalement vrai pour les pays en développement.

En vue d'assurer la transition énergétique, il est indispensable qu'il y est un partage des expériences acquissent par les pays industrialisés en ce qui concerne les énergies renouvelables et dans l'efficacité énergétique afin d'en faire profiter les pays en développement. Pour cela il faut mettre en place des politiques volontaristes, de même, créer des mécanismes d'aides financières, aussi bien au niveau macro-économique qu'au niveau du consommateur final.

Économétrie des données de Panel

I. Introduction :

Ce chapitre a pour objectif de présenter une introduction en données de panel et de mettre en avant les avantages, inconvénients, spécifications, les modèles des données de panel et leurs méthodes d'estimation, dans un deuxième temps nous nous penchons aussi sur le prolongement des modèles de panel,...etc...

En effet Les données de panel constituent une source statistique particulièrement précieuse pour l'analyse des comportements des agents économiques. Les travaux de Mairesse (1990) sur l'estimation de fonctions de production sont exemplaires à cet égard : ses estimations des élasticités de la production et des effets de la Recherche et Développement ont montré ; par différence avec les estimations sur séries macroéconomiques ou sectorielles, l'importance d'une information statistique individuelle temporelle. Celle-ci procure une bonne précision des estimations, rend compte des hétérogénéités individuelles et temporelles (tels les chocs macro-économiques qui affectent tout ou partie de la population), et permet de s'affranchir, dans les comparaisons internationales, des trop grandes disparités des conjonctures.

II. Econométrie des données de panel :

II.1 Introduction :

Pour l'économétrie, on utilise le plus fréquemment des séries chronologiques en tant que données , comme le nombre de naissances consignés chaque années en Californie entre 1975 et 2005 ; l'alternative est l'enregistrement de données pour période précise, comme le nombre de naissances consignés en 1994 pour chacune des régions de californiennes.

Les données de panel nommées aussi données croisées, ont les deux dimensions citées auparavant et rapportent les valeurs des variables relevées pour panel d'individus pour une suite de périodes.¹⁰¹

En grand intérêt et un renouveau important a marqué L'économétrie des données de panel pour les vingt dernières années ce qui a permis une augmentation spectaculaire de travaux académiques fondés sur des données panel. Pour l'illustrer les chiffres fournis par Hsiao (2007) qui montrent qu'en 1986 seules 29 études empiriques recensées dans la Social Science Citation Index correspondaient aux mots clés « panel data », moins d'une décennie après 733 études empiriques répondaient à ces mêmes mots clés. Comment expliquons-nous cela ?¹⁰²

101 Sami Khedhiri « cours d'économétrie méthodes et applications » Lavoisier 2007 paris page 93

102 Julien Fonquau«modèles a changements de régimes et données de panel :de la non - linéarité a l'hétérogénéité »Université d'Orléans 2008 page 1

Il y a deux causes principales, d'abord Les sources d'informations des organisations statistiques sont plus fréquemment formées par des individus observés à répétition donc les enquêtes à passages multiples permettent de composer des panels en suite l'avancement technologique et celui des programmes informatiques a aidé à l'application des méthodes économétriques.¹⁰³

Aussi, les avancements de la théorie économique ont pour objectif une représentation améliorée de la dynamique des comportements des agents et la prise en compte de leur hétérogénéité. Grâce à la caractéristique de doubles dimensions Les données de panel sont très adaptées pour l'estimation de ces modèles. Une tendance nouvelle est le passage à des problématiques de nature macroéconomique par exemple ISLAM (1995), caselli, esquivel et lefort (1996), nerlove (1999) pour des travaux sur la croissance et macdonald (1996) et oh (1996) sur les taux de change et d'autres encore.¹⁰⁴

Dans l'économétrie, l'analyse des données de panel est le champ le plus dynamique et le plus novateur, parce que le développement des techniques d'estimation et des résultats théoriques sont favorisés par les données de panel. En pratique, les données de panel permettent d'étudier les questions impossibles à traiter en coupe transversale ou en séries Temporelles.

Traisons un exemple :

- ✓ Pour une étude portant sur l'offre de travail, Ben-Porath (1973) a remarqué qu'à une certaine période, 50 % d'une cohorte (groupe) de femmes travaillent. Mais est-ce que 50 % des femmes de cette cohorte travaillent en moyenne, ou c'est les mêmes 50 % qui travaillent dans l'ensemble des périodes ? La réponse à des impacts distincts en termes d'interprétation et de politique. L'utilisation unique des données en coupe transversale ne permette pas de trancher.

L'avantage principal d'un échantillon de données de panel en comparaison d'une coupe transversale est qu'il permet d'étudier les différences dans le comportement entre individus.¹⁰⁵

II. 2 Histoire des données de panel selon Nerlove (2000) :

Gauss [1809], Legendre [1805]. Méthode des moindres carrés ordinaires appliqués aux mesures en astronomie. Airy [1861]. L'Astronome anglais, qui a effectué des mesures précises pour le méridien de Greenwich. La Première caractéristique pour un modèle à effets aléatoires : de multiples observations du diamètre de Jupiter chaque nuit à l'aide d'un télescope, avec des conditions atmosphériques provoquant une erreur de mesure spécifique à chaque nuit (formant un groupe d'observation) en outre les erreurs des mesures spécifiques à chaque observation. Effectue des transformations par rapport aux erreurs moyennes à chaque nuit avec diminution de l'erreur de mesure spécifique à chaque nuit.

- ✓ Ronald A. Fisher [1918, 1925] : Moindres carrés ordinaires et analyse de la variance.
- ✓ Hoch et Mundlak [1955, 1958] : Modèles à effets fixes dans le but d'une estimation des fonctions de production sur données d'entreprise.
- ✓ Balestra et Nerlove [1966] : Modèle à effets aléatoires (en outre dynamique) afin d'estimer la consommation de gaz dans plusieurs états américains.
- ✓ Conférence de Paris en 1977, développement dans les années 90 avec plus large disponibilité des données et applications pour les logiciels de statistiques et d'économétrie. Rapprochement récent avec les tests de racines unitaires et les séries temporelles.

103 Claudio araujo - jean - François Bran et jean - louis combes « Econométrie » Bréal 2008 page 156

¹⁰⁴Patrick Sevestre « économétrie des données de panel » Dunod , paris ,2002 page 1

105 William Greene « Econometrie 5^e edition » pearson education 2005 page 272.

- ✓ d'autres noms en économétrie de panel théorique : Maddala (décédé), Hsiao, Baltagi, Arrelano.
- ✓ D'autres noms en économétrie de panel appliquée : Griliches (décédé), Blundell, Bond, Meghir, Mairesse, Sevestre.¹⁰⁶

II. 3 Définition et terminologie :

Panel : du latin pan qui signifie (Tout, totalité).

- ✓ En Sciences Humaines, un panel est un groupe de personnes / entreprises interrogées régulièrement sur leurs opinions, attitudes ou comportement. La récolte de ces informations peut être faite de façon automatique ou déclarative.
- ✓ En économétrie, les panels sont très intéressants car ils sont des observations répétées dans le temps sur les mêmes sujets. Cette répétition nous fait mieux comprendre les différences entre individus et l'évolution dans le temps des phénomènes étudiés.¹⁰⁷
- ✓ Données de panel : observations répétées dans le temps pour un même ensemble d'individus.

« Individu » : tout type d'entité (un ménage, une entreprise, un pays, etc...).

Synonymes : données individuelles -Temporelles, données longitudinales, panel Data, données groupées ; longitudinale date, cross – sections over time, pooled cross- section time – séries data.

- ✓ Panel court (long) : quand le nombre de périodes est petit (grand).
- ✓ panel cylindre (Non cylindré) : l'ensemble des individus sont (ne sont pas) suivis pendant le même nombre de périodes.
- ✓ panel rotatif en tournant : pour chaque période, on remplace un certain nombre d'individus.¹⁰⁸
- ✓ Un panel équilibré (*balanced*) : contient le même nombre d'observations pour chaque individu.
- ✓ Un panel omnibus est un échantillon de personnes sur lesquelles on récolte des informations pour des études et analyses différentes.
- ✓ Une cohorte est un ensemble d'individus ayant vécu un même événement à une même période (ex : femmes ayant eu leur dernier enfant en 1988).
- ✓ Panel homogène (vs hétérogène) quand il n'y a pas de différence significative entre les individus.
- ✓ Panel statique (*dynamique*) quand il n'y a pas de différence significative entre les périodes t .
- ✓ Un pseudo-panel est une récolte d'information effectuée à différents moments du temps sur des échantillons différents mais issus, aléatoirement, de la même population.
- ✓ L'attrition est le fait que certains individus « quittent » le panel sans être remplacés.¹⁰⁹

Exemples : Relevés de données macro – économique (PIB, taux d'intérêt, Chromage.....) sur différent pays pendant plusieurs années.

¹⁰⁶Jean – Bernard Châtelain « économétrie de panel » Jean – Bernard châtelain 2008 pages 7,8

¹⁰⁷Sylvain willart « Analyse de données de panel » école universitaire de management IAE Lille pages 5 , 6

¹⁰⁸CelineNanges « économétrie des données de panel » INRA et école d'économie de Toulouse page 3

¹⁰⁹Sylvain Willart idem page 7

Tableau 3 1: Exemple d'un panel

	France (i=1)	Allemagne (i=2)	...	Italie (i=30)
1975 (t=1)	$x_{1, 1}$	$x_{1, 2}$...	$x_{1, 30}$
1976 (t=2)	$x_{2, 1}$	$x_{2, 2}$...	$x_{2, 30}$
.	.	.		.
.	.	.		.
.	.	.		.
2002 (t=28)	$x_{28, 1}$	$x_{28, 2}$...	$x_{28, 30}$

Source : Michel Juillard page 22

✓ Les données sont indicées par un double indice :

i : Individu, $i = 1, \dots, n$ soit n individus

t = la période, $t = 1, \dots, T$ soit T périodes

✓ Pour un modèle avec une variable explicatives, les données sont (x_{it}, Y_{it})
 Avec K variables explicatives $(x_{1it}, x_{2it}, x_{3it} \dots \dots x_{kit}, Y_{it})$.¹¹⁰

II. 4 Avantages et inconvénients des données de panel :

II. 4. 1 Les avantages de données de panel :

❖ **La prise en compte de l'hétérogénéité inobservée :**

Une caractéristique très importante pour les données de panel est leur double dimension qui est généralement individuelle et temporelle et permet d'étudier en même temps la dynamique et l'hétérogénéité des comportements des agents (verlove et Bolestra 1995).

Il faut remarquer que la double dimension peut être quelconques, le temps n'en fait pas obligatoirement partie, pour exemple il est possible de disposer d'observations par individus groupés en hameaux, ou par entreprises rassemblées en branches industrielles. Il y a deux genres d'hétérogénéité : l'hétérogénéité inobservée et l'hétérogénéité observée, qui est contrôlable par des variables explicatives. La première pose plus de problèmes, prenons l'exemple de la productivité d'un individu : elle dépend de son degré d'éducation observé et de quelques caractéristiques personnelles inobservables (adresse ; préférences....).le fait de ne pas considérer l'hétérogénéité inobservée de l'estimation MCO rend l'estimateur biaisé et cette hétérogénéité est incontrôlable pour les analyses sur coupe instantané ou sur séries temporelles.¹¹¹

La modélisation correcte de l'hétérogénéité des comportements pour l'estimation d'un modèle sur données de panel est primordiale ; l'utilisation des données de panel a l'avantage de rendre compte des disparités temporelles et / ou individuelles de comportements, ici on se concentre sur

¹¹⁰Michel Juillard « cours d'économétries a données e panel » université paris 2008 page 3

¹¹¹claudioaraujo- Jean –François Brun et Jean–Louis combes idem pages 157– 158

l'hétérogénéité individuelle car l'hétérogénéité temporelle est moins marquée et est démontré de manière plus simple par une réflexion a priori.¹¹²

❖ **La décomposition de la variabilité totale :**

Il résulte de l'utilisation de La double dimension une précision accrue de l'interprétation des résultats car d'un côté, les individus se distinguent les uns par rapport aux autres : variabilité inter-individuelle, et d'un autre coté la situation propre à chaque individu change au cours du temps : variabilité intra – individuelle qui se divise entre une variabilité inter – temporelle (variations communes aux individus et une variabilité intra – individuelle – temporelle propre à chaque individu).

Donc, la variabilité totale se décompose en trois éléments :

Variabilité total = variabilité inter – individuelle + variabilités inter-temporelle + variabilité intra – individuelle - Temporelle.

- ✓ La variabilité inter – individuelle se base sur le calcul de moyennes par individu, elle repère la position relative d'un individu par rapport à un individu moyen. Elle est appréhendée par un opérateur appelée inter – individuel («between – group »).
- ✓ La variabilité inter-temporelle se base sur le calcul des moyennes par périodes, elle repaire la variabilité des éléments communs à tous les individus, cette variabilité est calculée en utilisant l'opération inter-temporel («between time – période »).
- ✓ la variabilité intra-individuelle se base sur l'écart entre la situation de l'individu au temps et sa situation moyenne sur les périodes , sa situation par rapport aux individu et sa situation par rapport à la moyenne totale sur l'échantillon, la composante résultante représente un élément qui change dans le temps propre à l'individu, cette variabilité est calculée grâce a l'opérateur intra-individuel-temporel ou double –Within, l'opération devient intra-individuel (Within) quand la dimension temporelle est négligée.
- ✓ Il est possible d'illustrer cette décomposition avec cet exemple : Soit un panel de données des wilayas d'Algérie (individu) dans le temps. L'épargne s'explique par plusieurs variables explicatives(salaire; variables démographiques et autres) la dimensions panel permet de tenir compte de trois variabilités, ainsi, la variabilité inter- individuelle saisit les différences structurelles entre les wilayas invariables dans le temps(culture, tradition, ethnie, religion, dotation naturelle ETC) la variabilité inter-temporelle saisit les évolutions macro-économiques a l'ensemble de l'Algérie (réformes centrales, cadre législatif.....) La variabilité intra-individuelle –temporelle capte les comportements d'épargne propres à chaque wilaya (décisions des gouvernements locaux, chocs idiosyncratiques (nature)).

❖ **L'augmentation de la taille de l'échantillon :**

- ✓ Les données de panel ont un atout majeur concernant le nombre de données, utiliser un nombre important de données augmente le degré de liberté et diminue la colinéarité entre les variables explicatives, ce qui améliore les estimations et les tests économétriques.¹¹³
- ✓ L'étude répétitive d'observations en coupe instantanée permet aux données sur panel d'être plus correspondantes à la recherche et à la dynamique du changement, les périodes de chômage, le taux de renouvellement de la main –d'œuvre et la mobilité du travail sont mieux étudiées avec des données sur panel.

¹¹²Patrick sevestre idem page 9

¹¹³Claudio Araujo - Jean -François Brun et Jean –louis combes idem pages 157, 158, 159,160.

- ✓ Les données sur panel donnent l'occasion d'étudier des modèles plus complexes de comportement. par exemple les économies d'échelle et les progrès techniques sont mieux appréhendés par des données sur panel que par les études en coupe instantanée ou les pures séries temporelles.
- ✓ Avec des données sur plusieurs milliers d'unités, les données sur panel peuvent minimiser le biais qui peut résulter, si on rassemble des individus en des firmes dans de large catégories en somme, les données sur panel enrichissent l'analyse empirique de directions qui sont peut-être impossibles en utilisant des coupes instantanées ou des séries chronologiques, ce qui ne veut pas dire qu'il n'y a pas d'inconvénients liés aux données sur panel.¹¹⁴

II. 4. 2 les inconvénients des données de panel :

Deux difficultés sont souvent rencontrées en pratique :

Le biais de sélection, et le panel incomplet. Un panel est dit complet si la totalité des observations sont renseignées. Inversement, lorsque des observations ne sont pas renseignées, le panel est dit non cylindré, c'est-à-dire d'éliminer des observations afin que chaque individu ait la même nombre d'observation, ce faisant, le chercheur risque de créer un biais de cylindrage similaire, dans ces effets, au biais de sélection dans la mesure où l'élimination des observations peut être liée à un mécanisme économique sous-jacent.

Il est toutefois, relativement aisé de tester un biais de cylindrage éventuel par un test de spécification de type Hausman qui compare le modèle sur l'échantillon cylindré et non cylindré l'utilisation d'un échantillon non cylindré peut conduire à des problèmes d'hétéroscédasticité et/ou d'autocorrélation des écarts aléatoires, il est alors nécessaire de recourir à des ajustements de méthodes d'estimation tenant compte du caractère non cylindré de l'échantillon.

La plupart des logiciels économétriques sont capable de gérer des panels non cylindrés, ceux-ci ne représentent donc plus un problème majeur pour la plupart des estimateurs usuels.¹¹⁵

- ✓ Lourdeur des travaux de constitution des échantillons et difficultés de repérage des points aberrants.¹¹⁶

II. 5 Spécifications et tests d'homogénéités :

II. 5. 1 Exemple introductif :

Prenons un exemple introductif très simple, un panel composé de 2 individus ($N = 2$) et comme sur 3 périodes ($T = 3$) soit un total de $N \times T = 6$ observations à $K = 2$ variables explicatives :

Le modèle général s'écrit :

$$Y_{it} = a_{0i} + a_{1i}x_{1it} + a_{2i}x_{2it} + \varepsilon_{it} \quad (3.40)$$

Y_{it} = variable endogène observée pour l'individu i à la période t .

x_{1it}, x_{2it} = variables explicatives observées pour l'individu i à l'instant.

a_{0i} = terme constant pour l'individu i ,

¹¹⁴Domadarn, Gujarati idem page 635

¹¹⁵Claudio araujo-Jean-François Brun et Jean-louis combes idem page 161.

¹¹⁶Brigitte Dormont «petit apologie des données de panel » in : économies et prévision, Numéro 87, 1989 page 23.

a_{1i}, a_{2i} = coefficients des 2 variables exogènes pour l'individu,

ε_{it} = terme d'erreur pour l'individu i à la période t , soit en l'écrivant pour l'ensemble des 6 observations.

$$\begin{aligned} \text{Individus n}^\circ 1 & \begin{cases} Y_{11} = a_{01} + a_{11}x_{111} + a_{21}x_{211} + \varepsilon_{11} \\ Y_{12} = a_{01} + a_{11}x_{112} + a_{21}x_{212} + \varepsilon_{12} \\ Y_{13} = a_{01} + a_{11}x_{113} + a_{21}x_{213} + \varepsilon_{13} \end{cases} \\ \text{Individus n}^\circ 2 & \begin{cases} Y_{21} = a_{02} + a_{12}x_{121} + a_{22}x_{221} + \varepsilon_{21} \\ Y_{22} = a_{02} + a_{12}x_{122} + a_{22}x_{222} + \varepsilon_{22} \\ Y_{23} = a_{02} + a_{12}x_{123} + a_{22}x_{223} + \varepsilon_{23} \end{cases} \end{aligned}$$

Sous forme matricielle le modèle s'écrit :

$$\begin{bmatrix} Y_{11} \\ Y_{12} \\ Y_{13} \\ Y_{21} \\ Y_{22} \\ Y_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10x_{111} & 0 & x_{211} & 0 \\ 10x_{112} & 0 & x_{212} & 0 \\ 10x_{113} & 0 & x_{213} & 0 \\ 01 & 0 & x_{121} & 0 & x_{221} \\ 01 & 0 & x_{122} & 0 & x_{222} \\ 01 & 0 & x_{123} & 0 & x_{223} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{01} \\ a_{02} \\ a_{11} \\ a_{12} \\ a_{21} \\ a_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{12} \\ \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{23} \end{bmatrix}$$

Si les Hypothèse classique sur les erreurs sont respectées (Homocedasticite et indépendance temporelle) et quelles sont ($COV(\varepsilon_{it}, \varepsilon_{jt}) = \sigma_{ij}^2 \neq 0$ pour $i \neq j$), nous pouvons appliquer la méthodes des moindres carrés pour chacune des N équations relatives aux individu ($COV(\varepsilon_{it}, \varepsilon_{jt}) = \sigma_{ij}^2 \neq 0$ pour $i \neq i$) n'est plus vérifié l'estimateur des MCO n'est plus BLUE, nous devons appliquer la méthode SUR (seemingly unrelated régressions) de Zellner.

II. 5. 2 La méthode SUR :

La méthode SUR, (seemingly unrelated régressions) de Zellner (1962) est utilisée lorsque les erreurs des élutions individuelles sont corrélés : la covariance individuelle ($COV(\varepsilon_{it}, \varepsilon_{jt}) = \sigma_{ij}^2 \neq 0$ pour $i \neq i$) les individus sont alors interdépendants, cette méthode consiste à appliquer les MCG

$$\hat{a}_{SUR} = (x' \Omega^{-1} x)^{-1} (x' \Omega^{-1} Y)$$

Avec $\Omega = (N \times T, N \times T) = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 I & \sigma_{21} I & \dots & \sigma_{1N} I \\ \sigma_{21} I & \sigma_2^2 I & \dots & \sigma_{2N} I \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sigma_{N1} I & \sigma_{N2} I & \dots & \sigma_N^2 I \end{bmatrix}$

Chaque élément $\sigma_{ij} I$ étant de démentions (T, T)

Pratiquement la procédure est la suivante :

- ✓ estimation par les MCO des N équations individuelles.
- ✓ Calcule de N résidus e_{it}
- ✓ Calcul de $\hat{\sigma}_i^2 = \frac{\sum_{t=1}^T e_{it}^2}{T}$ et $\hat{\sigma}_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^T e_{it} e_{jt}}{T}$
- ✓ Application des MCG $\hat{a}_{SUR} = (x' \Omega^{-1} x)^{-1} (x' \Omega^{-1} Y)$

Les méthodes d'estimation SUR a l'avantage de tenir compte de l'hétérogénéité individuelle par l'intégration de la dépense entre les individus mais a l'inconvénient surtout si le nombre

d'observations temporelles T est faible - d'un grand nombre de paramètres à estimer : $N \times (k + 1)$ coefficients et $N(N + 1)/2$ éléments de la matrice Ω .¹¹⁷

II. 5. 3 Le modèle linéaire simple :

Le modèle en données de panel peut s'écrire pour N (individus) $i = 1, \dots, N$ de la manière suivante :

$$Y_{it} = a_{0i} + a'_i x_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3.41)$$

Y_{it} = variable endogènes observée pour l'individu i à la période t .

x_{it} = Vecteur des K variables exogènes $x'_{it} = (x_{1it}, x_{2it}, \dots, x_{Kit})$; x_{Kit} est donc la valeur observée pour la K^e variable exogène pour l'individu i à l'instant t ,

a_{0i} = Terme constant pour l'individu i

a'_i = Vecteur des K coefficients des K variables exogènes $a'_i = (a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{Ki})$

ε_{it} = terme d'erreur

Cas n° 1 : Homogénéité totale

Les constantes et les coefficients a'_i sont tous les mêmes pour tous les individus, nous avons et pour toutes les valeurs de t . Le modèle ne contient qu'une seule équation estimée sur observations empilées par les MCO (ou les MCG selon la structure de la matrice des variances et covariances des erreurs).

Cas n° 2 : Hétérogénéité totale

Les constantes et les coefficients sont tous différents pour toutes les valeurs de t . Le modèle doit être estimée équation par équation pour les équations (une équation par individu) par les MCO (ou les MCG d'après la structure de la matrice des variances et covariances des erreurs).

Cas n° 3 : hétérogénéité des coefficients des variables explicatives et homogénéité des termes constants :

Les constantes sont toutes identiques pour les individus, mais les coefficients des variables explicatives sont différents pour chaque individu.

Comme pour le cas n° 2, on doit estimer le modèle sur les équations (une équation par individu) par les MCO (ou les MCG selon la structure de la matrice des variances et covariances des erreurs).

Cas n° 4 : hétérogénéité des termes constants et homogénéité des coefficients des variables explicatives – Le modèle a effets individuels¹¹⁸.

Là il faut répondre à la question de l'opportunité de la prise en compte d'une hétérogénéité des comportements. Nous nous intéressons seulement à la possibilité d'une hétérogénéité interindividuelle.

En allant de l'hypothèse nulle la plus contraignante celle d'une homogénéité complète des comportements et en progressant vers d'autres hypothèses de moins en moins contraignantes pour

¹¹⁷Régis Bourbonnais « Econométrie : manuel et exercices corrigés » Dunod 2009 pages 328, 329,330

¹¹⁸ Régis bourbonnais idem pages 330, 331

s'orienter vers celle d'une hétérogénéité complète, nous allons construire pour chaque couple d'hypothèse une statistique de test de Fisher.¹¹⁹

❖ **L'exemple d'une fonction de production :**

Deux équations fondamentales, benchmark de l'analyse de données de panel :

$$(A) Y_{i,t} = a + x_{k,i,t} \beta_K + \varepsilon_{it}$$

$$(B) Y_{it} = a_{it} + x_{k,i,t} \beta_{K,i,t} + \varepsilon_{it}$$

- ✓ L'équation (A) montre une approche naïve où les données de panel sont simplement empilées et traitées comme des observations sans aucuns liens entre elles, les paramètres sont constants.
- ✓ L'équation (B) montre une approche complète dans laquelle chaque observation est traitée séparément, chacune a son propre paramètre pour chaque variable K, ces paramètres varient donc en fonction de K, i et t , ce modèle est précis mais trop complet car le nombre de paramètres ($K \times n \times T + 1$) est supérieur au nombre d'observations ($n \times T$).
- ✓ Les modèles de données de panel se situent entre ces deux extrêmes ils proposent des coefficients qui varient plus ou moins selon K, i et t .¹²⁰
- ✓ **régressions groupées :** (équivalente à l'équation A) dans le cas où tous les individus ont le même terme constant et les mêmes coefficients le MCO fournit des estimations convergentes et efficaces du paramètre commun a et du vecteur de coefficients β .
- ✓ **à effets individuels**
- ✓ **effets fixes :** $Y_{it} = a_i + \beta_K x_{k,i,t} + \varepsilon_{it}$
Dans cette approche des effets fixes, est un terme constant spécifique au groupe i dans la régression, le terme «fixe» montre que le terme ne varie pas dans le temps.
- ✓ **effets aléatoires :** $Y_{it} = (a + v_i) + x_{k,i,t} \beta_K + \varepsilon_{it}$
c'est un modèle de régression linéaire avec une perturbation composée, qui peut être estimée de façon convergente, mais inefficace, par le MCO cette approche des effets aléatoires spécifie v_i comme un élément aléatoire spécifique au groupe i .
- ✓ **à coefficients aléatoires**

$$Y_{it} = (a + v_i) + x_{k,i,t} \beta_K + \varepsilon_{it}$$

Où $\vartheta_{K,i}$ est un vecteur aléatoire induisant la variation des paramètres entre individus :

- ✓ Hiérarchique : $Y_{it} = (a + v_i) + x_{k,i,t} (\beta_K + \Delta Z_{ki} + \vartheta_{K,i}) + \varepsilon_{it}$

Où Z_{ki} est un ensemble de variables observables (spécifiques individuelles), est Δ est une matrice de paramètre à estimer-ce modèle se relève très souple.¹²¹

¹¹⁹Philippe Rous « modèles estimés sur données de panel » université de limoges page 15

¹²⁰ Sylvain Willart idem page 37

¹²¹ William green idem pages 273,274

II. 5. 4 Test d'homogénéité globale :

Quand on considère un échantillon de données de panel, la première chose qu'il faut vérifier est la spécification *homogène ou hétérogène du processus* générateur de données. Sur le plan économétrique ça veut dire : tester l'égalité des coefficients du modèle étudié dans la dimension individuelle. Sur le plan économique, les tests de spécification reviennent à savoir si l'on peut croire que le modèle théorique étudié est complètement identique pour tous les pays, ou s'il existe au contraire des caractéristiques propres à chaque individu.

Dans cette optique on va présenter un exemple illustratif construit à partir d'une fonction de production.

II. 5. 5 L'exemple d'une fonction de production :

Supposons que nous disposons d'un échantillon de données de PIB et de facteurs (travail et capital) sur une durée de T périodes pour un ensemble de N pays. Si l'on note y_{it} le logarithme du PIB, $ki;t$ le logarithme du stock de capital privé et $ni;t$ le logarithme de l'emploi et que l'on suppose une fonction de production de type Cobb Douglass, le modèle général s'écrit sous la forme :

$$y_{i,t} = a_i + \beta_i k_{i,t} + \gamma_i n_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (3.42)$$

Les innovations ε_{it} sont supposées être *i. id.* de moyenne nulle et de variance égale à $\sigma_\varepsilon^2 \forall i \in [1; N]$

Dans un premier temps, la phase de test de spécification, revient sur le plan économique, à déterminer s'il est en droit de supposer une fonction de production totalement identique pour tous les pays (modèle pooled). Dans ce cas, les élasticités de l'emploi et du capital sont identiques pour tous les pays ($\beta_i = \beta; \gamma_i = \gamma, \forall i \in [1; N]$) et le niveau moyen de la productivité totale des facteurs, représenté ici par les constantes a_i est lui aussi identique pour tous les pays. Le modèle s'écrit alors sous la forme : $y_{i,t} = a + \beta k_{i,t} + \gamma n_{i,t} + \varepsilon_{i,t}$

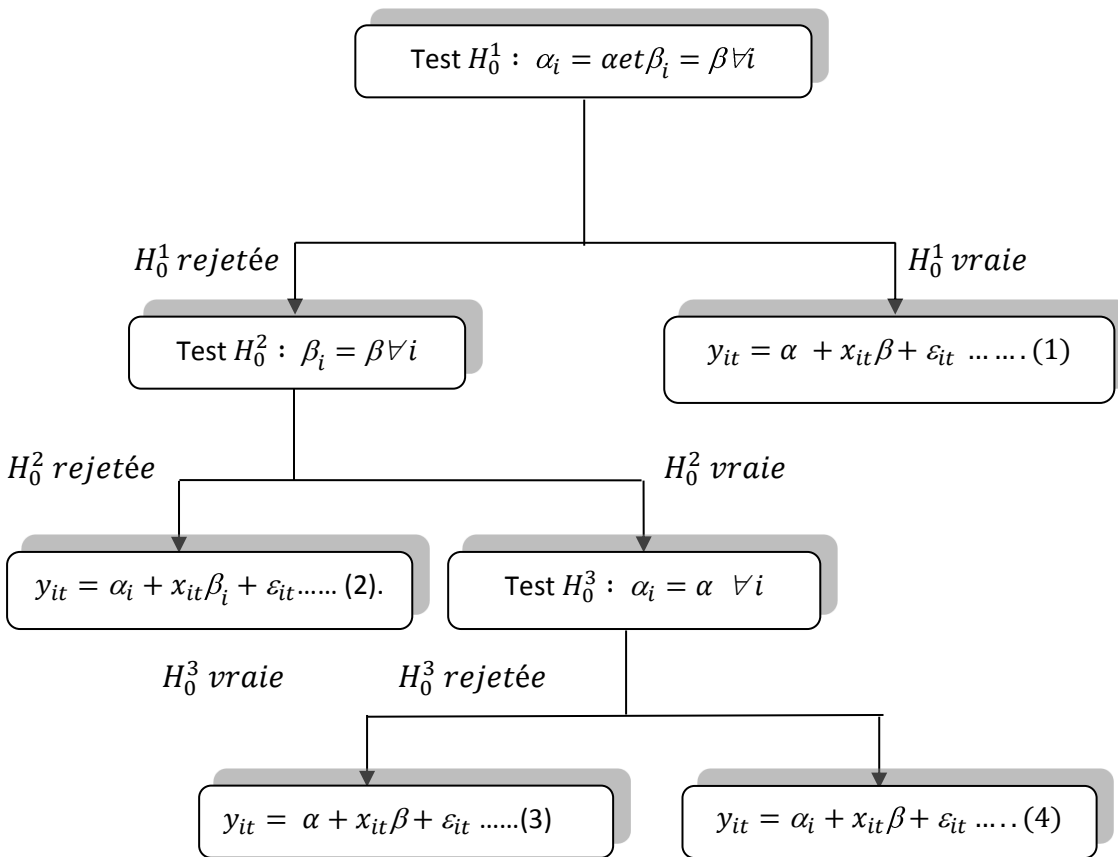
Toutefois, lorsque l'on travaille sur des séries agrégées, il est relativement peu probable que la fonction de production macroéconomique soit strictement identique pour tous les pays étudiés. Si l'hypothèse d'homogénéité totale est rejetée, il convient alors de tester si les élasticités des différents facteurs sont identiques. Si ce n'est pas le cas, il n'existe a priori aucune structure de production commune entre les pays. Dans ce cas, l'utilisation des données de panel ne se justifie pas et peut même conduire à des biais d'estimation. On doit donc estimer les fonctions de production pays par pays.

Si en revanche, il s'avère qu'il existe bien une relation identique entre la production et les facteurs pour tous les pays, la source d'hétérogénéité du modèle peut alors provenir des constantes. Dans notre exemple, ces constantes représentent la moyenne de la productivité totale des facteurs de production (résidu de Solow). Or, rien ne garantit que les pays étudiés possèdent le même niveau de productivité structurelle, au contraire, il diffère généralement pour plusieurs causes. Il convient donc de tester l'hypothèse d'une constante commune à tous les pays. Si cette hypothèse est rejetée, on obtient alors un modèle avec effets individuels.¹²²

II. 6 Procédure séquentielle de tests :

Le choix de la spécification (homogénéité, hétérogénéité) est donc très important. Afin de déterminer la structure du panel, Hsiao (1986) propose une procédure séquentielle de tests permettant de définir le cas dans lequel nous nous situons.

¹²² Christophe Hurlin idem page 13, 8,9



Source : R. Bourbonnais idem page 331

... (1)= (4) =cas n°1 : Homogénéité totale

...(2)= cas n°2 : Hétérogénéité totale

...(3)= cas n°3 : modèle a effets individuels

Les tests d’hypothèses sont construits à partir des statistiques de Fischer (test de Wald de restrictions sur les coefficients).

1) Test $H_0^1 : \alpha_i = \alpha$ et $\beta_i = \beta \forall i$

Ce test d’hypothèses jointes se ramène à un test de Fisher dont la statistique est donnée par :

$$F_1 = \frac{(SCR_{c1} - SCR)/(N - 1)(k + 1)}{SCR/(N \times T - N(k + 1))}$$

SCR_{c1} =Somme des carrés des résidus du modèle contraint sous l’hypothèse H_0^1 , soit estimer par les MCO le modèle en empilant toutes les observations. Le degré de liberté est égal à : $(N \times T = \text{nombre total, d'observations}) - (k + 1 = \text{nombre de coefficients à estimer})$.

SCR =Somme des carrés des résidus du modèle non contraint, elle est égale à la des N sommes des carrés des résidus des modèles estimés sur les T observations de chaque équation individuelle, soit : $SCR = \sum_{i=1}^n SCR_i$. Le degré de liberté est donc la somme des N degrés de liberté de chaque équation estimée soit $ddl_d = \sum_{i=1}^n (T - (K + 1)) = N \times T - N(K + 1)$

Le degré de liberté du numérateur est égale à la différence des degrés de liberté de SCR_{c1} et SCR :

$$ddl_n = [(N \times T) - (K + 1)] - [(N \times T) - N(K + 1)] = (N - 1)(K + 1)$$

La statistique de Fisher (F_1) est comparée à la valeur tabulée aux degrés de liberté du numérateur et dénominateur. Si $F_1 > F_{ddl_n, ddl_d}^a$, nous rejetons l'hypothèse H_0^1 au seuil α .

2) Test $H_0^2: \beta_i = \beta \forall i$

Ce test d'hypothèses jointes se ramène à un test de Fisher dont la statistique est donnée par :

$$F_2 = \frac{(SCR_{c2} - SCR) / ((N - 1)k)}{SCR / (N \times T - N(k + 1))}$$

SCR_{c2} = Somme des carrés des résidus du modèle contraint sous l'hypothèse : H_0^2 . Soit à estimer le modèle à effets fixes individuels. La statistique F_2 suit un Fisher avec $(N - 1)k$ et $(N \times T - N(k + 1))$ degrés de liberté. On suit la même procédure que le premier test c'est-à-dire. Si $F_2 > F_{ddl_n, ddl_d}^a$, nous rejetons l'hypothèse H_0^2 au seuil α .

3) Test $H_0^3: \alpha_i = \alpha \forall i$

Ce test d'hypothèses jointes se ramène à un test de Fisher dont la statistique est donnée par :

$$F_3 = \frac{(SCR_{c1} - SCR_{c2}) / (N - 1)}{SCR_{c2} / (N \times (T - 1) - k)}$$

SCR_{c2} = Somme des carrés des résidus du modèle contraint sous l'hypothèse: H_0^2 .

SCR_{c1} = Somme des carrés des résidus du modèle contraint sous l'hypothèse H_0^1 ,

F_3 suit un Fisher avec $(N - 1)$ et $(N \times (T - 1) - k)$ degrés de liberté. Si $F_3 > F_{ddl_n, ddl_d}^a$, nous rejetons l'hypothèse H_0^3 au seuil α .¹²³

II. 7 Homogénéité des données : la décomposition de la variance :

Au-delà de la question de l'homogénéité des comportements, se pose aussi celle de l'homogénéité des données elles-mêmes. On dira que, pour une variable donnée (qu'il s'agisse au demeurant de la variable expliquée Y ou de l'une des K variables explicatives X_j), il y a homogénéité des données si la distribution de cette variable dans le temps est très proche d'un individu à l'autre. Sur la base de cette définition, l'une des conditions de l'homogénéité des données est que, pour la variable étudiée, les moyennes individuelles soient identiques¹²⁴.

La double dimension des données de panel peut s'interpréter comme la double dimension de l'information disponible : une dimension individuelle (les individus diffèrent les uns des autres) et une dimension temporelle (la situation de chaque individu varie d'une période à l'autre). Il est courant de traduire ces deux composants de l'information disponible en termes de décomposition de la variance des observations¹²⁵.

Un bon indicateur du degré d'homogénéité des données peut être construit à partir de la décomposition de la variabilité totale de la variable étudiée. On montre ici que la variabilité totale d'une variable (par exemple Y) peut être décomposée comme la somme :

- de sa variabilité interindividuelle (variabilité *between* BSS)
- de sa variabilité intra-individuelle (variabilité *within* WSS)

¹²³ Régis bourbonnais « Econométrie : manuel et exercices corrigés » Dunod 2009 paris pages 331, 332, 333

¹²⁴ Philippe Rous idem page 18

¹²⁵ Patrick sevestre idem page 4

La variabilité totale de Y est donnée par :

$$TSS_{yy} = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (y_{it} - \bar{y})^2 \quad (3.43)$$

Où \bar{y} est la moyenne générale de Y telle qu'elle peut être calculée sur l'ensemble de l'échantillon :

$$\bar{y} = \frac{1}{NT} \sum_i \sum_t Y_{it} \quad (3.43)$$

On montre que :

$$TSS_{yy} = WSS_{yy} + BSS_{yy}$$

Avec :

BSS_{yy} Traduit les différences permanentes (puisque stable dans le temps), entre les individus.

WSS_{yy} Traduit les écarts entre la situation de l'individu à chaque date, et sa position moyenne sur la période.

Avec :

$$\bar{Y}_{io} = \frac{1}{T} \sum Y_{it}$$

En effet, on a :

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (y_{it} - \bar{y})^2 &= \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (y_{it} - \bar{y}_{io} + \bar{y}_{io} - \bar{y})^2 \\ &= \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (y_{it} - y_{io})^2 + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (\bar{y}_{io} - \bar{y})^2 + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (y_{it} - \bar{y}_{io})(\bar{y}_{io} - \bar{y}) \end{aligned}$$

Ou

$$\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (y_{it} - \bar{y}_{io})(\bar{y}_{io} - \bar{y}) = 0$$

Puisque :

$$\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (y_{it} - \bar{y}_{io})(\bar{y}_{io} - \bar{y}) = \sum_{i=1}^N \left[(\bar{y}_{io} - \bar{y}) \sum_{t=1}^T (y_{it} - \bar{y}_{io}) \right] = \sum_{i=1}^N [(\bar{y}_{io} - \bar{y}) \cdot N(\bar{y}_{io} - \bar{y}_{io})] = 0$$

$$TSS_{yy} = WSS_{yy} + BSS_{yy}$$

La variabilité totale de Y peut donc être interprétée comme la somme de la variabilité entre les moyennes individuelles et de la variabilité dans le temps des Y par rapport à leurs moyennes individuelles.

Ce qui est dit ici de la variabilité de Y peut l'être tout aussi bien de n'importe quelle autre variable.

Deux cas particuliers méritent d'être signalés :

- ✓ S'il y a parfaite homogénéité des données, les moyennes individuelles de Y sont identiques entre elles et identiques à la moyenne générale de Y. Dans ce contexte, la variabilité interindividuelle BSS_{yy} de Y est nulle et la variabilité totale est égale à la variabilité intra-individuelle WSS_{yy} .

Homogénéité parfaite des données $TSS_{yy} = WSS_{yy}$

- ✓ Si, en revanche, pour un même individu (et ceci quel que soit l'individu considéré), la valeur de Y ne s'écarte jamais de sa moyenne individuelle (pas de variabilité dans le temps), la variabilité intra-individuelle est nulle et la variabilité totale est alors égale à la variabilité interindividuelle BSS_{yy} .

Stabilité dans le temps de la valeur de Y pour un même individu $TSS_{yy} = BSS_{yy}$

❖ Intérêt de la décomposition de la variabilité des X et des Y :

Si on peut montrer que la variabilité des X et des Y à travers le temps (variabilité intra-individuelle) est très faible pour un même individu (quel que soit celui-ci), il n'est pas très utile de chercher à exploiter la dimension temporelle du panel : dans ce cas on peut très bien se contenter de travailler simplement sur les moyennes individuelles des X et des Y pour estimer le modèle... en coupe instantanée.

Attention : l'hétérogénéité des données et, en particulier le fait que les moyennes individuelles d'une même variable soient significativement différentes les unes des autres ne permet pas de préjuger de l'hétérogénéité des comportements. Les moyennes individuelles des variables du modèles peuvent être très différentes d'un individu à l'autre sans que, pour autant ; les comportements soient fondamentalement différents (les paramètres de la fonction de consommation peuvent très bien être identiques d'un individu à l'autre même si ces individus ont des niveaux de revenu et des niveaux de consommation peuvent être très différents¹²⁶.

III. Spécification et estimation des modèles à effet individuels :

Les modèles à effets individuels supposent que les modèles estimés ne diffèrent par individu que par la valeur de la constante. Nous allons distinguer quatre cas : le modèle à effets fixes (l'effet individuel) est constant aux cours du temps), le modèle à erreurs composées, le modèle à coefficient composés et le modèle à coefficient aléatoire¹²⁷.

III.1 Le modèle à effets fixes :

Dans ce modèle, on suppose que l'influence des variables explicatives observées (x_{knt}) sur la variable expliquée (y_{nt}) est identique pour tous les individus et ce, quelle que soit la période considérée : $b_{knt} = b_k$. par contre, on considère que la constante admet la décomposition suivante :

$$b_{0nt} = b_0 + a_n + d_t \quad (3.44)$$

Le modèle s'écrit alors :

$$y_{nt} = b_0 + a_n + d_t + \sum_{k=1}^K b_k x_{knt} + w_{nt} \quad (3.45)$$

La prise en compte des spécificités individuelles et temporelles le fait donc ici par l'introduction d'effets spécifiques aux individus et aux périodes, qui constituent autant de coefficients (appelés effets fixes) que l'on peut estimer.

¹²⁶Philip rous idem pages 18, 19 20, 21, 22

¹²⁷R.bourbonnais idem page 337

Supposons par exemple que la variable y_{nt} représente la production d'un pays n à la date t et les variables x_{knt} diverses variables explicatives (les facteurs de production usuels, travail et capital, le niveau d'éducation de la population, etc. . .).

D'après ce modèle, à une date donnée, deux pays ayant les mêmes caractéristiques observables doivent avoir, à un constant près, le même niveau de production (en espérance : $E(y_{nt}/x_{1nt}, \dots, x_{knt}) = b_0 + a_n + d_t + \sum_{k=1}^k b_k + x_{knt}$).

Une différence de produit entre ces pays, si elle existe, est alors liée à des spécificités inobservables, stables dans le temps, dont l'effet est mesuré par le coefficient a_n . Par exemple, ce coefficient peut rendre compte de l'influence sur la croissance de différences socio-culturelles ou religieuses ; différences qui, par essence, sont difficiles à quantifier mais dont l'effet nous intéresse néanmoins.

Par analogie, le coefficient d_t mesure l'effet, sur les variables temporelles de la production de chaque pays, de l'évolution de variables inobservables supposées communes à tous les pays comme, par exemple, l'état de la conjoncture au niveau mondial ou encore, l'évolution des technologies disponibles.

L'un des attraits essentiels de ce modèle réside donc dans la possibilité qu'il offre de mesurer l'effet de grandeurs inobservables sur la variable que l'on cherche à modéliser, dès lors que ces grandeurs inobservables sont stables dans le temps ou communes à tous les individus. Donc, il permet des essais d'interprétation des effets fixes (individuels et temporels), qui peut être très intéressante et même capitale pour l'analyse. Cependant, cette approche est justifiable surtout si chaque individu nous intéresse en tant que tel.

Par exemple, quand nous voulons être capables d'identifier les nations pour lesquelles les caractéristiques inobservables entraînent une production inférieure à ce qu'elle pourrait être considérant leurs capacités en travail et en capital et ceux qui, à l'inverse ont un produit surpassant celui prévu en considérant leur dotations factorielles¹²⁸.

Dans la littérature, le modèle à effets fixes est répandu sous le nom de modèle (de régression) des effets de fixité (MEF). Le terme d'effets de fixité provient du non variabilité dans le temps des valeurs inobservables¹²⁹.

III. 1. 1 Spécification du modèle :

Pour ce modèle, nous supposons que l'hétérogénéité des comportements se situe seulement dans la dimension individuelle et peut être prise en compte par la simple adjonction au modèle, d'effets fixes individuels, notés $a_n, n = 1, \dots, N$:

Nous supposons que les résidus sont *i. i. d* et satisfont $i \in [1; N]$ et $t \in [1; t]$ les conditions suivantes :

$$E(\varepsilon_{it}/X) = 0$$

$$E(\varepsilon_{it}\varepsilon_{ij}/X) = \begin{cases} \sigma_\varepsilon^2 & t = j \\ 0 & t \neq j \end{cases}$$

Cela implique que : $E(\varepsilon_i \varepsilon_i') = \sigma_\varepsilon^2 I_t E(\varepsilon_{it}\varepsilon_{ij}/X) = 0 \quad \forall i \neq j, \forall (t, s)$.¹³⁰

Il y a deux genres de procédures équivalentes estimant les paramètres, la première consiste à introduire dans l'écriture du modèle des variables indicatrices (muettes), la deuxième réside dans l'application du théorème de Frisch-Waugh.

¹²⁸ Patrick sevestre idem page 12

¹²⁹ Damodar N.gujarati idem page 639

¹³⁰ Patrick sevestre idem page 18, 19

❖ **l'utilisation des variables indicatrices :**

Nous introduisons toujours une variable indicatrice z_j par individu qui prend la valeur de 1 pour l'individu j et 0 si non :

$$y_{nt} = b_0 z_{0nt} + \sum_{j=1}^N a_j z_{jnt} + \sum_{k=1}^K b_k x_{knt} + \varepsilon_{nt}$$

Avec

$$z_{0nt} = 1, \forall n, \forall t \text{ et } z_{jnt} = \begin{cases} 1 & \forall t, \text{ si } j = n \\ 0 & \forall t, \text{ si } j \neq n \end{cases}$$

Le nom de ce modèle est le modèle a variables muettes (MVM) ou « least squares Dummy variables » (LSDV), l'estimation du modèle est effectué par les moindres carrés ordinaires, Il n'est pas possible d'introduire N variables muettes et la constante car il n'y a pas de redondance, en d'autres mots multi colinéarité parfaite. En prenant en compte la méthodologie des logiciels, il est possible d'appliquer trois solutions :

Premièrement, nous introduisons N -1 variables muettes avec une constante.

En second, nous introduisons N variables muettes a cote de la constante, cependant nous introduisons :

$$\sum_{j=1}^N a_j = 0$$

La troisième solution surpasse les autres par l'obtention directe de l'estimation des effets spécifique a_j , pour les autres cas, il est nécessaire de les calculer. Ci-dessous la démonstration du calcul des paramètres¹³¹.

La première solution :

$$y_{nt} = \sum_{j=1}^N a_j^* z_{jnt} + \sum_{k=1}^K b_k x_{knt} + \varepsilon_{nt} = \sum_{j=1}^N (b_0 + a_j) z_{jnt} + \sum_{k=1}^K b_k x_{knt} + \varepsilon_{nt}$$

Puisque l'on a :

$$z_{0nt} = \sum_{j=1}^N z_{jnt} = 1 \quad \forall n, t$$

Nous utilisons par la suite la contrainte identifiante afin d'estimer b_0 et les a_j :

$$\hat{b}_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^n a_j^*$$

$$\hat{a}_j = a_j^* - \hat{b}_0$$

L'autre solution possible est de garder la constante et de supprimer la variable explicative i , e estimer par les MCO le modèle :

$$y_{nt} = b_0^* + \sum_{j=1}^{N-1} a_j^* z_{jnt} + \sum_{k=1}^K b_k x_{knt} + \varepsilon_{nt} = (b_0 + a_N) + \sum_{j=0}^{N-1} (a_j - a_N) z_{jnt} + \sum_{k=1}^K b_k x_{knt} + \varepsilon_{nt}$$

Puisque l'on a :

$$Z_{Nnt} = 1 - \sum_{j=1}^{N-1} z_{jnt} \quad \forall n, t$$

¹³¹

Claudio arujo, jean françois brun et jean louis combes idem page 164

Nous faisons usage ensuite de la contrainte identifiante afin d'estimer b_0 et les a_j :

$$\hat{a}_N = -\frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N-1} \hat{a}_j^*$$

$$\hat{a}_j = \hat{a}_j^* + \hat{a}_N, j = 1, \dots, N - 1$$

$$\hat{b}_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \hat{a}_j$$

Cependant, ces multiples manières de travailler présentent un inconvénient considérable : l'estimation directe du modèle par les MCO suppose l'inversion d'une matrice de taille $(N + K) \times (N + K)$ qui peut prendre un temps de calcul considérable et peut être même impossible, et cela si le nombre d'individus de l'échantillon est important. Dans le but d'échapper à ce problème, l'approche la plus utilisée afin d'estimer les modèles à effets fixes individuels repose sur l'utilisation du théorème Frisch-Waugh¹³².

III. 1. 2 L'approche par le théorème de Frisch –Waugh : estimateur intra-individuelle « estimation within » :

Le théorème de Frisch –Waugh illustre la manière dont l'estimation des coefficients d'un modèle économétrique est capable de se décomposer en celle ; séquentielle, de deux sous-ensemble de ces coefficients. Supposons que l'on veut estimer avec les MCO le modèle sans constante :

$$y = Xb + Za^* + \varepsilon$$

Avec

$$E(\varepsilon/X, Z) = 0, V(\varepsilon/X, Z) = \sigma_w^2 I$$

L'estimation directe de ce modèle par le MCO suppose l'inversion de la matrice $\begin{pmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z \end{pmatrix}$, Inversion pouvant être délicat si l'une des matrices X ou Z est de grande taille, Or, le système des équations normales associées à l'estimation des coefficients a^* et b est :

$$X'y = X'X\hat{b} + X'Z\hat{a}^* \quad (n)$$

$$Z'y = Z'X\hat{b} + Z'Z\hat{a}^* \quad (m)$$

A partir de l'équation (m) nous pouvons tirer :

$$\hat{a}^* = (Z'Z)^{-1}(Z'y - Z'X\hat{b})$$

Qu'il est possible de reporter dans (n) :

$$X'y = X'X\hat{b} + X'Z(Z'Z)^{-1}(Z'y - Z'X\hat{b}) = X'Z(Z'Z)^{-1}Z'y + [X'X - X'Z(Z'Z)^{-1}Z'X]\hat{b}$$

Soit :

$$X'M_z y = X'M_z X\hat{b} \text{ ou } M_z = 1 - Z(Z'Z)^{-1}Z'$$

D'où

$$\hat{b} = (X'M_z X)^{-1} X'M_z y$$

Qui est l'estimation des MCO du modèle

$$M_z y = M_z Xb + M_z w$$

¹³²

Patrick sevestre idem page 20,21

En d’autres mots, afin d’estimer b , le vecteur des coefficients des variables X , on régresse dans d’abord y et X sur les variables Z dont on tire les résidus estimés $M_Z y$ et $M_Z X$, le vecteur \hat{b} est ensuite obtenu en régressant les résidus $M_Z y$ sur $M_Z X$, ceux des régressions de X sur Z .

En outre, l’estimation des coefficients a^* s’accomplit à partir de l’équation :

$$\hat{a}^* = (Z'Z)^{-1}(Z'y - Z'X\hat{b})$$

Afin d’estimer a^* on régresse donc $y - X\hat{b}$ (i.e la partie de y non expliquée par X) sur Z , i.e on applique les MCO au modèle :

$$y - X\hat{b} = Za^* + n \quad (3.46)$$

Deux étapes sont nécessaires à l’obtention de l’estimation des paramètres, dans la première nous calculons les écarts aux moyennes individuelles des variables et ça revient à calculer :

$$(y_{nt} - \bar{y}_n) \text{ et } (x_{knt} - \bar{x}_{kn}) \quad (3.47)$$

Sous forme matricielle, nous définissons la matrice W comme étant une matrice de transformation servant à obtenir l’écart aux moyennes individuelles.

$$W = I_{NT} - \left(I_N \otimes \frac{J_T}{T} \right) \otimes \text{ Est le produit de Kronecker}$$

Par application de cette transformation qualifiée d’opérateur intra, nous obtenons les variables définies par l’équation (u), I_{NT} est une matrice identité d’ordre NT , J_T est une matrice carrée unitaire d’ordre T ... I_N est une matrice identité d’ordre N .

Ensuite, nous appliquons les MCO sur ces écarts, L’usage du théorème de Frisch-Waugh revient donc à estimer, par les MCO le modèle suivant :

$$y_{it} - \bar{y}_i = \sum_{k=2}^K \beta_k (x_{kit} - \bar{x}_{ki}) + (\varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_i) \quad (v)$$

Ou, sous forme matricielle :

$$WY = WX\beta + W\varepsilon$$

Le nom de ce modèle est modèle inter (« within ») ou modèle de la covariance, l’ensemble de ce qui résulte des différences constantes dans le temps entre les individus est exclu de l’estimateur intra, Il n’use uniquement l’information comprise dans les fluctuations observées pour chaque individu autour de son niveau moyen.

L’estimateur est donné par la formule suivante :

$$\hat{\beta}_W = (X'WX)^{-1} X'WY$$

En ce concerne le modèle intra, L’estimateur MCO est le meilleur estimateur linéaire sans biais, sa variance est donnée par :

$$\sigma_\varepsilon^2 (X'WX)^{-1}$$

Avec σ_ε^2 la variance du terme d’erreurs idiosyncratiques, L’estimateur de cette variance est donné par :

$$\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = \frac{\hat{\varepsilon}'_w}{(NT - N - K')}$$

K' est le nombre de variables explicatives (constantes et variables muettes exclues), $\hat{\varepsilon}'_w \hat{\varepsilon}_w$ est la somme des carrés des résidus de la régression intra.

Nous remarquons que l’estimateur du modèle intra (v) n’inclue pas de constante car elle disparaît pendant la transmission des variables, Il y a moins de variables à estimer pour ce modèle que le modèle MVM, Il est important de remarquer que l’estimateur MCO du modèle avec variables muettes est entièrement semblable à l’estimateur intra.

Nous pouvons encore récupérer ensuite la constante ainsi que les effets fixes, Mais pour de multiples estimations, surtout micro-économiques, le but n'est pas d'identifier les effets spécifiques mais d'inférer les déterminants de la variable expliquée en contrôlant pour l'hétérogénéité inobservée.

Malgré la simplicité d'utilisation de ce modèle, celui-ci a ces limites, En premier lieu, on ne peut pas connaître l'impact des variables qui sont constantes dans le temps pour chaque individu. Secondement, il est impossible de réaliser des prévisions en dehors de l'échantillon avec ce modèle (on ne peut pas évaluer les effets fixes pour les individus en dehors de l'échantillon).

Finalement, nous n'utilisons que la variabilité intra-individuelle pouvant être limitée, Nous éliminons entièrement la variabilité interindividuelle tandis que l'estimateur des MCO sur l'échantillon total garde l'ensemble de la variabilité pourtant il est intéressant de prendre en compte un estimateur utilisant une partie de la variabilité inter individuelle¹³³.

III. 1. 2. 1 Propriétés des estimateurs :

Considérant les hypothèses énoncées précédemment, l'estimateur des MCO des paramètres b et a^* est sans biais, sa variance est donnée par :

$$V \begin{bmatrix} \hat{b}_{intra-i} \\ \hat{a}^* \end{bmatrix} = \sigma_w^2 \begin{pmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z \end{pmatrix}^{-1}$$

particulièrement, la variance de l'estimateur $\hat{b}_{intra-i}$, l'estimateur intra-individuel de b , est donnée par :

$$V(\hat{b}_{intra-i}) = \sigma_w^2 (X' W_N X)^{-1} = \sigma_w^2 \left[\sum_n \sum_t (X_{nt} - X_n)' (X_{nt} - X_n) \right]^{-1}$$

Ou $X_{nt} = (x_{1nt}, \dots, x_{knt})$ représente la vectrice ligne des observations relatives aux K variables explicatives, et ou W_N représente l'opérateur intra-individuel, Dans la pratique, nous estimons cette variance par :

$$V(\hat{b}_{intra-i}) = \sigma_w^2 (X' W_N X)^{-1}$$

Ou

$$\sigma_w^2 = \frac{1}{N(T-1) - K_w} (W_N y - W_N X \hat{B})' (W_N y - W_N X \hat{B})$$

σ_w^2 est estimé par la somme des carrés des résidus de la régression intra- individuelle divisée par le nombre de degrés de liberté associés à l'estimation du modèle a effets fixes ,soit $NT - N - K_w$.

Dans la pratique, il est nécessaire d'être vigilant au nombre de degrés de liberté pris en compte par le logiciel. Certes, en appliquant les MCO aux écarts aux moyennes individuelles, le logiciel considérera un nombre de degrés de liberté¹³⁴.

III. 1. 3 Panel non cylindrés :

Les échantillons de données de panel comporte souvent des données manquantes nommées ici « panels non cylindrés » (ou incomplets). Dans L'analyse effectuée nous avons supposé les tailles des groupes identiques, cependant afin de considérer les tailles différentes, il est nécessaire d'effectuer une simple modification.

Ainsi la taille de l'échantillon est :

¹³³ Claudio arujo idem page 165,166

¹³⁴ Patrick sevestre idem page 26

$$\sum_{i=1}^n T_i \text{ Au lieu de } nT \text{ }^{135}.$$

Certes, le non cylindrage de l'échantillon conduit à de l'hétéroscédasticité pour les perturbations du modèle intra-individuel, mais elle n'a pas de répercussion significative sur la définition de l'estimateur où son calcul s'accomplissant toujours par application des MCO aux écarts aux moyennes individuelles, ou encore sur ses propriétés, En effet, le théorème de Kruskal reste à vérifié pour ce cas, Afin de s'en assurer, estimons que les observations soient classées de manière que les N_1 individus observés sur T_1 périodes soient positionnées en tête de l'échantillon, suivis de ceux (N_2) observées durant T_2 périodes,,etc, Nous obtenons L'estimateur intra-individuel de B comme montré préalablement en appliquant des MCO au modèle intra-individuel défini comme suit:

$$\widetilde{W} y = \widetilde{W} X b + \widetilde{W} w \quad (3.48)$$

Ou

$$\widetilde{W} = \text{diag}(I_{N_1} \otimes (I_{T_1} - J_{T_1}/T_1), I_{N_2} \otimes (I_{T_2} - J_{T_2}/T_{12}), \dots \dots).^{136}$$

III. 1. 4 Le modèle à effets fixes temporelles :

Comme il a déjà été dit, l'utilisation intensive du modèle à effets fixes individuels ne veut pas dire que le modèle à effets fixes temporels est une spécification peut utiliser dans la pratique, En fait c'est même l'opposée car la grande majorité des modèles économiques estimés sur données individuelles-temporelles contiennent des variables indicatrices temporelles¹³⁷.

Donc on suppose que seuls les effets temporels sont fixes (variables intra-temporelle), la constante peut de fait se décomposer de la façon suivante :

$$b_{0nt} = b_0 + d_t$$

Et ainsi l'écriture du modèle à effets fixes se fait comme suite :

$$y_{nt} = b_0 + d_t + \sum_{k=1}^K b_k x_{knt} + \varepsilon_{nt} \quad (3.49)$$

De ce fait à l'aide des variables indicatrices, on obtient la spécification suivante :

$$y_{nt} = b_0 Z_{0nt} + \sum_{t=1}^T d_t S_{\tau nt} + \sum_{k=1}^K b_k X_{knt} + \varepsilon_{nt}$$

Avec

$$Z_{0nt} = 1 \quad \forall n, t \text{ et } S_{\tau nt} = \begin{cases} 1 & \text{si } \tau = t \\ 0 & \forall n, \tau \neq t \end{cases}$$

Similairement à ce qui a été vu antérieurement, les résidus sont indépendamment et identiquement distribués¹³⁸.

Du fait de l'importante ressemblance qu'il y a entre les problèmes d'estimation et de tests du modèles à effets fixes individuels, et, ceux engendrés par le modèle à effets fixes temporels, il n'y aura pas une évocation détaillée de toutes les procédures.

¹³⁵William green idem page 281

¹³⁶Patrick sevestre idem page 31

¹³⁷Patrick sevestre idem page 39

¹³⁸JeromeHericaud et julien reynaud "économétrie "dunod 2007 pages 168, 169

Ce modèle ne permet pas d'incorporer en même temps la constante et T (indicatrices temporelles dans le modèle) en échappant à la multi colinéarité, C'est pourquoi nous supposons la constante supprimée, on pourra dès lors réécrire le modèle de cette manière :

$$y = Xb + Sd^* + \varepsilon$$

Avec y et X définis précédemment, $S = e_N \otimes I_T$ où e_N Est une vectrice colonne unitaire de dimension N et $d^* = d + b_0$

A l'instar de ce qui a préalablement été vu, il y a deux stratégies d'estimation sont envisageables : l'estimation directe par les MCO ou l'estimation en deux étapes par application de théorème de Frisch-Waugh.

Grâce à la faible dimension temporelle d'un nombre important d'échantillons de données de panel qui facilite l'incorporation (limité) de variables indicatrices temporelles dans le modèle¹³⁹, L'estimation directe est couramment utilisée.

III. 1. 5 Le modèle a effets fixes individuels et temporels :

Précédemment, on a vu e comportement modélisé dans les sections précédentes, nous avons admis que le comportement modélisé inclue une composante d'hétérogénéité inobservée qui doit être considéré par des effets spécifiques individuels, ou des effets temporels.

Assurément, il y a beaucoup de situations pour lesquelles peuvent coexister ces deux types d'hétérogénéité, pour cette situation Le modèle doit incorporer ces deux genres d'effets, la dénomination correcte et dorénavant : modèle à effets fixes individuels et temporels.

Le modèle à effets fixes individuels et temporels s'écrit :

$$y_{nt} = b_0 + a_n + d_t + \sum_{k=1}^K b_k x_{knt} + \varepsilon_{nt} \quad (3.50)$$

Si on explicite les variables d'indicatrices Z_j associées à chaque individu j et les variables S_τ associées à chaque période τ , il est possible d'écrire :

$$y_{nt} = b_0 Z_{0nt} + \sum_{j=1}^N a_j Z_{jnt} + \sum_{\tau=1}^T c_\tau S_{\tau nt} + \sum_{k=1}^K b_k x_{knt} + \varepsilon_{nt}$$

Avec

$$Z_{0nt} = 1 \quad \forall n, \forall t$$

$$Z_{jnt} = \begin{cases} 1 & \forall t \quad si \quad j = n \\ 0 & \forall t \quad si \quad j \neq n \end{cases}$$

$$S_{\tau nt} = \begin{cases} 1 & \forall n \quad si \quad \tau = t \\ 0 & \forall n \quad si \quad \tau \neq t \end{cases}$$

Et les contraintes identifiants

$$\sum_{j=1}^N a_j = 0 \quad et \quad \sum_{\tau=1}^T d_\tau = 0$$

Et similairement à ce qui a précédé, les perturbations ε_{nt} sont i, i, d ¹⁴⁰.

Afin d'effectuer le calcul des écarts aux moyennes individuelles et temporelles des variables, on doit suivre les équations ci-dessous :

$$y_{it} = y_{i,t} - \bar{y}_i - \bar{y}_t + \bar{y}$$

¹³⁹ Patrick sevestre idem page 39, 40, 41

¹⁴⁰ Patrick sevestre idem page 43, 44

$$x_{it} = x_{i,t} - \bar{x}_i - \bar{x}_t + \bar{\bar{x}}.^{141}$$

❖ **L'estimateur intra-individuel-temporel :**

Grâce au théorème de Frisch-Waugh, il est possible de décomposer l'estimation des paramètres du modèle en deux étapes, Il est possible d'obtenir L'estimateur de b grâce à application des MCO au modèle :

$$M_{\tau s} y = M_{\tau s} Xb + M_{\tau s} w \quad \text{avec} \quad M_{\tau s} = 1 - R(R'R)^{-1}R', \quad R = (Z S^*)$$

Il est possible de réécrire matriciellement le modèle individuel temporel :

$$y = X_b + Z_a + S^* d^* + \varepsilon$$

Où S* comprend T - 1 variables indicatrices et où :

$$E(\varepsilon/X, Z, S^*) = 0$$

$$V(\varepsilon/X, Z, S^*) = \sigma_\varepsilon^2 I_{NT}$$

$$\hat{b} = (X' M_{\tau s} X)^{-1} X' M_{\tau s} y$$

Avec

$$M_{\tau s} = 1 - R(R'R)^{-1}R', \quad R = (Z S^*)$$

Par analogie avec ce qui a été accomplie précédemment, on peut montrer que cet estimateur, nommé estimateur intra-individuel-temporel, vient simplement de l'application des MCO au modèle écrit en écarts aux moyennes individuelles et temporelles, elles même centrées :

$$y_{nt} - y_{n.} - y_{.t} - y_{..} = \sum_{k=1}^K b_k(x_{knt} - x_{kn.} - x_{k.t} + x_{k..}) + w_{nt} - w_{n.} - w_{.t} + w_{..}$$

En outre, considérant les contraintes identifiants, les estimations de la constante et des effets spécifiques individuels sont donnée par :

$$\hat{b}_0 = y_{..} - \sum_{k=1}^K \hat{b}_k x_k$$

$$\hat{a}_j = y_{n.} - \sum_{k=1}^K \hat{b}_k x_{kn} - \hat{b}_0, \quad j = 1, \dots, N$$

$$\hat{d}_t = y_{.t} - \sum_{k=1}^K \hat{b}_k x_{k.t} - \hat{b}_0, \quad t = 1, \dots, T^{142}$$

III. 1. 6 Limites des méthodes à effets fixes :

- ✓ hypothèse que l'endogénéité découle uniquement d'un terme constant¹⁴³.
- ✓ Identification reposant sur la variabilité intra-individuelle.
- ✓ lorsque N est grand, le nombre de paramètres à estimer est excessif :

¹⁴¹ Sylvain Willart idem page 50

¹⁴² Patrick sevestre idem pages 44, 45

¹⁴³ Christel dumas "panel data U.de cergy pontoise octobre 2010 page 37

- K paramètres pour β .
- N paramètres pour les effets fixes¹⁴⁴.

III. 2 Le modèle a erreurs composées :

❖ La problématique :

Un désavantage du modèle à effets fixes est que le coefficient est absolument propre à l'individu i et uniquement à cet individu, cela implique que les prévisions effectuées grâce au modèle estimé ne peuvent porter que sur les individus appartenant à l'échantillon d'estimation, c'est à dire qu'il n'est pas possible d'extrapoler à l'ensemble de la population d'origine, les résultats obtenues pour les individus appartenant à cet échantillon. A noter que cette caractéristique ne pose pas de problème quand le sujet étudié est un ensemble de nations clairement identifiés pour lesquelles on doit identifier les spécificités, Prenons pour exemple de l'étude des fonctions de production macroéconomiques des nations formant la zone Euro la tentative de démontrer l'existence de spécificités nation ainsi que leurs origines probables.

A l'inverse, en étudiant les habitudes de consommation des français en général; et pour cela nous avons constitué un échantillon de dix mille individus représentatifs de la population, Après démontrer l'avantage de modéliser l'hétérogénéité des individus nous avons estimé un modèle à effets fixes qui donne à chaque individu de l'échantillon une constante spécifique, La question qui se pose est : quel bénéfice tire-t-on à savoir que Mr X a une constante spécifique plus grande que celle de Mlle Y?, pour ce cas le modèle estimé à partir de cet échantillon n'est guère intéressant, du moment où on généralise les résultats acquis à toute la population, Pour une situation telle que celle-ci, il est préférable d'utiliser un modèle à effets aléatoires¹⁴⁵, Le modèle a un effet aléatoire sur ce point car il suppose que les **effets individuels** q_i sont distribués **aléatoirement**, de là, le nom auteur d'une **moyenne**(a)¹⁴⁶.

En général pour l'analyse économétrique, nous supposons qu'il y a un nombre important de facteurs capables d'affecter la valeur de la variable expliquée et qui malgré tout ne sont pas introduits explicitement sous la forme de variables explicatives.

Une approximation de ces facteurs est effectuée par la structure des résidus, Il se pose le même problème en économétrie de panel à la différence que trois genres de facteurs omis sont envisageables, En premier lieu, les facteurs affectant la variable endogène inégalement suivant la période et l'individu considéré.

Il est possible, en outre, qu'il existe des facteurs affectant de la même manière tous les individus, mais pour lesquels l'influence est relative à la période considérée (effets temporel). Finalement, a l'opposé d'autres facteurs sont capables de référer des différences entre les individus de type structurelles, donc indépendantes du temps (effets individuel)¹⁴⁷, en résultant, le modèle à erreurs composées se différencie du modèle à effets fixes grâce au caractère aléatoire des effets spécifiques.

Pour le cas général, le modèle à erreurs composées s'écrit comme suit :

$$y_{nt} = b_0 + \sum_{k=1}^K b_k x_{knt} + \varepsilon_{nt}$$

¹⁴⁴ Julie le gallo "formation permanente a l'econometrie des données de panel" ecole doctorale en sciences economique gestion et demographie de l'université montesquien bordeaux 4 page 22

¹⁴⁵ Patrick sevestre idem page 34

¹⁴⁶ Sylvain willart idem page 53

¹⁴⁷ Christophe urlin idem page 33

$$\varepsilon_{nt} = u_n + u_t + w_{nt} \quad .^{148}$$

Selon le modèle à effets aléatoires, la relation entre la variable à expliquer et les variables explicatives est aléatoire et non pas fixe, l'effet individuel n'est plus un paramètre fixe u_n mais une variable aléatoire.

Les effets individuels aléatoires sont présentés par Les (u_n , la variable aléatoires (v_t représente les effets temporels identiques pour l'ensemble des individus et finalement w_{nt} est un terme d'erreur qui est orthogonal aux effets individuels, temporels ainsi qu'une perturbation idiosyncratique¹⁴⁹.

Pour ceux qui suivent le modèle de composantes d'erreur (MCE) ou modèles d'effets aléatoires, si les variables muettes sont la traduction d'un défaut de croissance sur le (vrai) modèle, il serait intéressant d'estimer cette ignorance à travers le terme d'erreur ε_{nt} ¹⁵⁰.

Nous supposons maintenant que la spécificité individuelle pour qui la valeur, pour un même individu, est stable dans le temps, est la réalisation d'une variable aléatoire dont la loi de distribution est la même pour l'ensemble des individus. Grâce à ces conclusions et en admettant que l'estimation des coefficients et paramètres du modèle aient déjà été faite, on peut désormais construire une prévision pour n'importe quel individu tiré de la population mère même s'il n'avait pas fait partie de l'échantillon utilisé pour l'estimation ce qui aurait été impossible avec le modèle à effet fixe¹⁵¹.

Et donc, si la variable y_{nt} représente le salaire d'un individu n à la date t et les variables x_{knt} multiples variables explicatives observables (le niveau de formation de l'individu, l'expérience professionnelle et là l'ancienneté dans l'entreprise, etc.) la prédiction du salaire, quel que soit l'individu, est permise par ce modèle et ceci lorsqu'on connaît ces caractéristiques :

$$E(y_{nt}/x_{1nt}, \dots, x_{knt}) = b_0 + \sum_{k=1}^K b_k x_{knt} \quad .^{152}$$

La spécification suppose que les u_n, v_t, w_{nt} sont :

- ✓ L'espérance nulle.
- ✓ homoscédastiques et l'écart type respectifs : $\sigma_{un} \sigma_{vt} \sigma_{wnt}$
- ✓ non corrélés et indépendant les uns des autres
- ✓ La variance de l'aléa est dans ce cas $var(\varepsilon) = \sigma_{un}^2 + \sigma_{vt}^2 + \sigma_{wnt}^2$ c'est a cause de cela que le modèle à effets aléatoires est aussi nommé modèle à erreurs composées¹⁵³.

En suivant le raisonnement précédant, la perturbation d'un modèle économique représente toutes les influences des variables non considérées dans le modèle. Si l'économètre estime, parfois faussement, que ces variables n'ont pas d'influence sur la variable expliquée, il ne les utilise pas et d'autres fois involontairement en cas d'absence d'observations statistiques sur ces variables, En prenant en considération ces effets leur existence améliore la précision des estimations.

Une hypothèse fondamentale de ce modèle est l'absence de corrélation entre ces effets individuels et les variables explicatives, Dans le cas de la validité de cette hypothèse, il y a de multiples façons de d'obtenir des estimations convergentes des variables explicatives¹⁵⁴.

¹⁴⁸ Patrick sevestre idem page 12

¹⁴⁹ Regis Bourbonnais idem page 339

¹⁵⁰ Damodar N.Gujarati idem page 644

¹⁵¹ Philippe rous idem pages 34, 35

¹⁵² Patrick sevestre idem page 13

¹⁵³ Geromehericout et julien Reymond idem page 169

¹⁵⁴ Patrick sevestre idem page 53, 54

III. 2. 1 Spécification du modèle :

Le modèle élémentaire à erreurs composées s'écrit :

$$y_{nt} = b_0 + \sum_{k=1}^K b_k x_{knt} + \varepsilon_{nt} \quad n = 1, \dots, N \text{ et } T = 1, \dots, T$$

Avec

$$\varepsilon_{nt} = u_n + w_{nt}$$

La perturbation ε_{nt} est donc composée de deux éléments, u_n et w_{nt} de la vient la dénomination du modèle; u_n représente l'effet individuel, en prenant en compte l'influence sur des variables non considérées, a partir du moment ou elles sont stables dans le temps; w_{nt} représente l'influence des autres variables omises, changeant d'un individu à l'autre et dans le temps, Les variables explicatives du modèle sont supposées strictement exogènes et les deux composantes de la perturbation vérifient les hypothèses suivantes:

– $E(u_i/x_{1nt}, x_{2nt}, \dots, x_{knt}) = 0 \quad \forall n, t$: L'information contenue dans X n'est d'aucune Utilité pour prévoir la valeur u_i

– $E(\varepsilon_{it}/x_{1nt}, x_{2nt}, \dots, x_{knt}) = 0 \quad \forall n, t, t'$ L'erreur e est homoscédastique

Et

$$E(u_i u_{n'}/x_{1nt}, x_{2nt}, \dots, x_{knt}) = \delta_{nn'} \sigma_u^2 \quad \forall n, n'$$

$$E(\varepsilon_{it} \omega_{n't'}/x_{1nt}, x_{2nt}, \dots, x_{knt}) = \delta_{nn'} \delta_{tt'} \sigma_w^2 \quad \forall n, n', t, t'$$

$$E(u_i w_{n't}/x_{1nt}, x_{2nt}, \dots, x_{knt}) = 0 \quad \forall n, n', t. \text{¹⁵⁵}$$

Les erreurs spécifiques ne sont pas corrélées d'un individu à l'autre.

Pour ce modèle, les spécificités individuelles inobservées n'influent pas sur l'espérance conditionnelle de la variable endogène mais apparaissent au niveau de sa variance, Certes, considérant les hypothèses posées, on a :

$$E(y_{nt}/x_{1nt}, x_{2nt}, \dots, x_{knt}) = b_0 + \sum_{k=1}^K b_k x_{knt}$$

Et

$$cov(y_{nt}, y_{n't'}/x_{1nt}, x_{2nt}, \dots, x_{knt}) = cov(\varepsilon_{nt}, \varepsilon_{n't'}/x_{1nt}, x_{2nt}, \dots, x_{knt})$$

$$= \begin{cases} \sigma_u^2 + \sigma_w^2 & \text{si } n = n' \text{ et } t = t' \\ \sigma_u^2 & \text{si } n = n' \text{ et } t \neq t' \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Les effets individuels spécifiques conduisent à une auto corrélation temporelle des perturbations « individu par individu », remarquons qu'a l'inverse des idées reçues sur le cas des séries temporelles, l'autocorrélation est dans ce cas individuelle, leur covariance est égale a σ_u^2 , P cependant, il n'y a pas la moindre corrélation entre individus.

En empilant les données pour un individu n , on peut écrire :

$$\begin{pmatrix} y_n \\ (T, 1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_n \\ (T, K + 1) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} b \\ (K + 1, 1) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_n \\ (T, 1) \end{pmatrix} \quad (3.51)$$

¹⁵⁵ Laszlo matyas et Patrick sevestre idem « the econometrics of panel data” springer page 50

Où $\underline{y}_n = (y_{n1}, y_{n2}, \dots, y_{nT})'$ représente le vecteur des observations de la variable endogène pour l'individu n ; \underline{X}_n la matrice des observations des variables explicatives (aussi la constante) et $\underline{\varepsilon}_n$ le vecteur des perturbations pour ce même individu. Considérant les hypothèses précédentes, ce vecteur a les propriétés suivantes :

$$E(\underline{\varepsilon}_n / \underline{x}_{1nt}, \underline{x}_{2nt}, \dots, \underline{x}_{knt}) = 0 \quad \forall n$$

$$V(\underline{\varepsilon}_n / \underline{x}_{1nt}, \underline{x}_{2nt}, \dots, \underline{x}_{knt}) = A \quad \forall n$$

Avec

$$A_{(T, T)} = \left\langle \begin{bmatrix} \sigma_u^2 + \sigma_w^2 \sigma_u^2 & \dots & \sigma_u^2 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_u^2 & \dots & \sigma_u^2 + \sigma_w^2 \end{bmatrix} \right\rangle = \sigma_w^2 I_T + \sigma_u^2 J_T$$

Où I_T est la matrice identité d'ordre T et J_T est une matrice $(T \times T)$ composée uniquement de 1.

Une auto corrélation temporelle des perturbations résulte de la présence de l'effet individuel dans la perturbation, cela est illustré par la forme de la matrice, l'ampleur de celle-ci est indépendante du nombre de périodes séparant deux observations.

En empilant toutes les observations individu par individu, il est possible de réécrire matriciellement le modèle :

$$\underset{(NT, 1)}{y} = \underset{(NT, K+1)}{X} \underset{(K+1, 1)}{b} + \underset{(NT, 1)}{\varepsilon} \quad (3.52)$$

Avec : $E(\varepsilon / x_1, x_2, \dots, x_k) = 0$

$$V(\varepsilon / x_1, x_2, \dots, x_k) = \sigma_w^2 \Omega$$

Où :

$$\begin{aligned} \sigma_w^2 \Omega_{(NT, NT)} &= \begin{pmatrix} E \varepsilon_1 \varepsilon_1' & E \varepsilon_1 \varepsilon_2' & \dots & E \varepsilon_1 \varepsilon_N' \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ E \varepsilon_N \varepsilon_1' & E \varepsilon_N \varepsilon_2' & \dots & E \varepsilon_N \varepsilon_N' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & A \end{pmatrix} = I_N \otimes A \\ &= \sigma_w^2 [I_{NT} + (\sigma_u^2 / \sigma_w^2) (I_N \otimes J_T)] \end{aligned}$$

Soit, en utilisant les notations des opérateurs inter et intra-individuels.

$$V(\varepsilon) = \sigma_w^2 \left[W_N + \left(\frac{\sigma_w^2 + T \sigma_u^2}{\sigma_w^2} \right) B_N \right]$$

Le fait que tous les blocs qui ne sont pas dans la diagonale de Ω expriment l'absence de corrélation entre individus.

A partir de ces éléments, il résulte que le modèle à erreurs composées semble être semblable à un modèle de régression dont les perturbations montrent une certaine forme d'auto corrélations. Nous en concluons que même si l'estimateur des moindres carrés ordinaires (MCO) est sans biais et convergent, il n'est pas le meilleur estimateur linéaire sans biais du vecteur de coefficient b . Nous savons en outre que dans ce cas, l'estimateur des MCO de la variance σ_w^2 des perturbations est biaisé et non convergent.

$$\begin{aligned}
 V(\hat{b}_{MCG}) &= \sigma_w^2 (X' \Omega^{-1} X)^{-1} \\
 &= \sigma_w^2 \left(X' W_N X + \frac{\sigma_w^2}{\sigma_w^2 + T \sigma_u^2} X' B_N X \right)^{-1}
 \end{aligned}$$

Dans le cas où les perturbations suivent une loi normale, l'estimateur des MCO suit lui aussi une loi normale donnée par :

$$\hat{b}_{MCG} \sim N(b, \sigma_w^2 (X' W X + \frac{\sigma_w^2}{\sigma_w^2 + T \sigma_u^2} X' B X)^{-1})$$

Cependant, l'estimateur des MCG est convergent quand N tend vers l'infini (∞) et T fini, à partir du moment où les hypothèses précédentes sont vérifiées et que les matrices de variances-covariances explicatives sont bornées à la fois dans la dimension intra-individuelle et dans la dimension inter-individuelle :

$$\frac{X' B X}{N} \xrightarrow[N \rightarrow \infty]{\Delta} B_{xx}^N, \text{ , matrice définie positive}$$

$$\frac{X' W X}{N} \xrightarrow[N \rightarrow \infty]{\Delta} W_{xx}^N, \text{ , matrice définie positive}^{159}$$

III. 2. 3 L'estimateur des MCQG :

Un des principaux problèmes se posant pour le calcul de l'estimateur \hat{b}_{MCG} est le besoin indéniable de la connaissance de la matrice des variances covariances ou la connaissance du paramètre $\theta = \frac{\sigma_w^2}{\sigma_w^2 + T \sigma_u^2}$, c'est à dire les variances σ_u^2 et σ_w^2 . La majorité du temps, il est nécessaire d'estimer ces paramètres car ils sont inconnus, On doit commencer par estimer les variances σ_u^2 et σ_w^2 afin d'en déduire cette estimation. Le remplacement de cette estimation $\hat{\theta}$ à la véritable valeur (non connue) de sert à calculer l'estimateur (MCQG)¹⁶⁰.

III. 2. 3. 1 Définition :

L'estimateur des MCQG est semblable à celui des MCG sauf pour le remplace de la matrice Ω non connue par une estimation convergente :

$$\begin{aligned}
 \hat{b}_{MCG} &= (X' \hat{\Omega}^{-1} X)^{-1} X' \hat{\Omega}^{-1} y \\
 &= (X' W_N X + \hat{\theta} X' B_N X)^{-1} (X' W_N y + \hat{\theta} X' B_N y)
 \end{aligned}$$

Avec :

$$\hat{\theta} = \frac{\hat{\sigma}_w^2}{\hat{\sigma}_w^2 + T \hat{\sigma}_u^2}$$

L'application de cette méthode requiert de ce fait la disposition d'estimations des variances inconnues σ_u^2 et σ_w^2

III. 2. 3. 2 L'estimation des variances :

Parmi les multiples manières d'estimation des σ_u^2 et σ_w^2 . Il existe différentes façons d'estimer les variances σ_u^2 et σ_w^2 celle de Swamy et Arora (1972) est prédominante. Elle repose sur

¹⁵⁹ Patrick sevestre idem page 57,58,59

¹⁶⁰ Phillipperous idem page 42,43

l'utilisation des variances estimées des résidus des régressions intra-individuelle et interindividuelle.

En premier lieu considérons la régression dite intra-individuelle, i, e , la régression des MCO sur les variables exprimées en écarts aux moyennes individuelles s'exprime ainsi:

$$y_{nt} - y_n = [X_{nt} - X_n]b + \varepsilon_{nt} - \varepsilon_n$$

Soit, matriciellement,

$$W_N y = W_N X b + W_N \varepsilon$$

Dans ce modèle, $V(W_N \varepsilon) = \sigma_w^2 W_N$

Où

$$\hat{\sigma}_w^2 = \frac{\hat{\varepsilon}'_w \hat{\varepsilon}_w}{rang(M_{wx})}$$

Où

$$\begin{aligned} \hat{\varepsilon}_w &= W_N y - W_N X \hat{b}_w \\ &= (W_N - W_N X (X' W_N X)^{-1} X' W_N) y \\ &= (W_N - P_{wx}) y \\ &= M_{wx} y \end{aligned}$$

Est le résidu estimé de la régression intra-individuelle, et cet estimateur est sans biais.

$$E(\hat{\sigma}_w^2) = E \left[\frac{\hat{\varepsilon}'_w \hat{\varepsilon}_w}{N(T-1) - K_w} \right] = \sigma_w^2$$

Où K_w est le nombre des régresseurs du modèle

Dans le cas de la régression interindividuelle, l'application des MCO au modèle avec :

$$B_N y = B_N X b + B_N \varepsilon$$

Nous permet d'avoir une estimation sans biais et convergente de $\sigma_u^2 + \sigma_w^2/T$

Certes, soit $\hat{\varepsilon}_w = B_N y - B_N X \hat{b}_w = M_{bx} y$ le résidu estimé de la régression inter-individuelle (calculée sur NT observations), nous pouvons prouver qu'on a :

$$E(\hat{\sigma}_b^2) = E \left[\frac{\hat{\varepsilon}'_b \hat{\varepsilon}_b}{T(N - K_b)} \right] = \sigma_u^2 + \sigma_w^2/T$$

Dans Il est donc nécessaire ici de porter attention au nombre de degrés de liberté pris en compte par le logiciel qui est égal à $(NT - K_b)$ alors qu'il doit être dans ce cas de $(T(N - K_b))$ et aussi dans ce cas $K_b \neq K$ lorsque le modèle initial comporte des variables constantes dans la dimension individuelles.

Si par contre la régression est effectuée sur un échantillon constitué de N moyennes individuelle :

En estimant le modèle :

$$y_n = X_n b + \varepsilon_n \quad n = 1, \dots, N$$

De fait la variance résiduelle donne de suite un estimateur sans biais de $\sigma_u^2 + \sigma_w^2/T$

$$E(\hat{\sigma}_b^2) = E \left[\frac{\sum_n \hat{\varepsilon}_n^2}{N - K_b} \right] = \sigma_u^2 + \sigma_w^2/T$$

Un estimateur sans biais et convergent de θ peut se deduire simplement de ces estimations :

$$\hat{\theta} = \frac{\hat{\sigma}_w^2}{T\hat{\sigma}_B^2} = \frac{\hat{\sigma}_w^2}{\sigma_w^2 + T\sigma_u^2} \text{ }^{161}$$

III. 2. 4 D'autres estimateurs :

❖ **L'estimateur des MCO :**

Cet estimateur est le plus élémentaire puisqu'il résulte de l'application des MCO aux données « brutes », i.e. il repose sur l'utilisation de la variabilité totale des observations, sans pondération spécifique de ses composantes inter et intra-individuelles. Il s'écrit simplement : n'est autre que celui des MCO appliqué au modèle écrit en moyennes individuelles :

$$\hat{b}_{MCO} = (X'X)^{-1}X'y$$

Sous les hypothèses posées, cet estimateur est sans biais et sa variance est donnée par :

$$V(\hat{b}_{MCO}) = \sigma_w^2(X'X)^{-1}X'\Omega X(X'X)^{-1}$$

❖ **L'estimateur inter- individuel :**

Cet estimateur, également appelé estimateur de la covariance, correspond à l'application des MCO au modèle écrit en écarts aux moyennes individuelles :

$$y_n = \sum_{k=1}^K b_k x_{kn} + \varepsilon_n \quad \text{avec } \varepsilon_n = u_n + w_n, \quad n = 1, \dots, N$$

Matriciellement, et en utilisant l'opérateur inter- individuel B_N , ce nombre peut être réécrit comme suite :

$$\begin{pmatrix} B_N y \\ (NT, 1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_N X & b \\ (NT, k_b) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} k_b, 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_N \varepsilon \\ (NT, 1) \end{pmatrix} \quad (3.54)$$

Matriciellement encore, l'estimateur interindividuel s'écrit :

$$\hat{b}_B = (X' B_N X)^{-1} (X' B_N y)$$

Cette méthode mène à n'utiliser pour l'estimation du paramètre b que la variance inter-individuelle des observations, privilégiant ainsi les différences « permanentes » entre individus.

❖ **L'estimateur intra-individuel :**

Cet estimateur, également appelé estimateur de la covariance, correspond à l'application des MCO au modèle écrit en écarts aux moyennes individuelles :

$$y_{nt} - y_n = (X_{nt} - X_n)b + w_{nt} - w_n$$

Soit, matriciellement :

$$\begin{pmatrix} W_N y \\ (NT, 1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_N X & b \\ (NT, k_w) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} k_w, 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} W_N \varepsilon \\ (NT, 1) \end{pmatrix} \quad (3.55)$$

L'estimateur intra-individuel s'écrit donc :

$$\hat{b}_w = (X' W_N X)^{-1} (X' W_N y)$$

¹⁶¹ Patrick sevestre idem page 60,61,62,63

Cette méthode conduit encore à n'utiliser pour l'estimation du paramètre b que la variance inter-individuelle des observations, privilégiant ainsi les différences « permanentes » entre individus¹⁶².

❖ **L'estimateur du maximum de vraisemblance :**

Sous l'hypothèse que les effets individuels u_n et les perturbations idiosyncratiques w_{nt} suivent des lois normales $N(0, \sigma_u^2)$ et $N(0, \sigma_w^2)$, il est possible d'écrire la vraisemblance du modèle à erreurs composées qui se formule alors comme suit :

$$\begin{aligned} \ln(L) &= -\frac{NT}{2} \ln(2\pi) - \frac{NT}{2} \ln(\sigma_w^2) + \frac{N}{2} \ln\left(\frac{\sigma_w^2}{\sigma_w^2 + T\sigma_u^2}\right) - \frac{1}{2\sigma_w^2} (y - Xb)' \Omega^{-1} (y - Xb) \\ &= -\frac{NT}{2} \ln(2\pi) - \frac{NT}{2} \ln(\sigma_w^2) + \frac{N}{2} \ln(\theta) - \frac{1}{2\sigma_w^2} (y - Xb)' \Omega^{-1} (y - Xb) \end{aligned}$$

Avec $\Omega^{-1} = W_N + \theta B_N$. La maximisation de cette vraisemblance par rapport à b, σ_w^2 et θ n'est pas chose aisée, du fait de sa non-linéarité par rapport à θ . Cependant, les dérivées de la log-vraisemblance par rapport à b et σ_w^2 s'écrivent :

$$\frac{\partial \ln(L)}{\partial b} = -\frac{1}{\hat{\sigma}_w^2} X' \Omega^{-1} (y - X\hat{b}) = 0$$

Et

$$\frac{\partial \ln(L)}{\partial \sigma_w^2} = -\frac{NT}{2\hat{\sigma}_w^2} + \frac{1}{\hat{\sigma}_w^4} (y - X\hat{b})' \Omega^{-1} (y - X\hat{b}) = 0$$

Par conséquent, l'estimateur du maximum de vraisemblance de b a la même forme que celui des MCG :

$$\hat{b}_{MV} = (X' \Omega^{-1} X)^{-1} (X' \Omega^{-1} y)$$

Et l'estimateur du maximum de vraisemblance de σ_w^2 est donné par :

$$\hat{\sigma}_{wMV}^2 = \frac{1}{NT} (y - X\hat{b}_{MV})' \Omega^{-1} (y - X\hat{b}_{MV}) = 0$$

❖ **Estimation sur un panel non cylindré :**

La mise en œuvre des méthodes d'estimation présentées en haut lorsque l'échantillon n'est pas cylindré n'entraîne de complications de calcul que dans le cas de l'estimateur des MCQG. En effet, dans ce cas, la transformation qui permet d'éliminer l'auto corrélation des perturbations du modèle s'écrit :

$$y_{nt} + \left(\sqrt{\hat{\theta}_n} - 1\right) y_n = \left[X_{nt} + \left(\sqrt{\hat{\theta}_n} - 1\right) b + \varepsilon_{nt} + \left(\sqrt{\hat{\theta}_n} - 1\right) \varepsilon_n\right]$$

Où

$$\hat{\theta}_n = \frac{\hat{\sigma}_w^2}{\hat{\sigma}_w^2 + T_n \hat{\sigma}_u^2}$$

Ainsi la transformation dépend du nombre d'observations T_n relatives à chaque individu n . Il est donc nécessaire ici d'estimer séparément les variances σ_w^2 et σ_u^2 .

La variance estimée de la régression intra-individuelle, qui s'écrit dans ce cas :

¹⁶² Laszlo matyas et Patrick sevestre idem page 58,59,60

$$\hat{\sigma}_w^2 = \frac{1}{\sum_{n=1}^N T_n - N - K_w} \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^{T_n} [(y_{nt} - y_n) - (X_{nt} - X_n)\hat{b}]^2$$

La variance estimée de la régression interindividuelle s'écrit dans ce cas :

$$\hat{\sigma}_u^2 = \frac{1}{N - (K + 1)} \sum_{n=1}^N \left[(y_n - X_n \hat{b}_{inter-i})^2 - \frac{1}{T_n} \hat{\sigma}_w^2 \right]^{163}$$

III. 3 Un prolongement des modèles de panel : les modèles à coefficient variables :

Il existe des modèles plus flexibles que les modèles présentés ci-dessus dans lesquels l'hétérogénéité peut être saisie au niveau des coefficients des variables explicatives.

Dans ce cas, il est alors envisageable d'appliquer des modèles à coefficients variables. On peut classer ces modèles en deux catégories : le modèle à coefficient composés (MCG) et le modèle à coefficient aléatoire (MCA). Le premier constitue une généralisation du modèle à effet fixes, le deuxième est une généralisation du modèle à effet aléatoires dont l'estimation s'avère particulièrement ardue¹⁶⁴.

III. 3. 1 Le modèle à coefficient composés :

A vrai dire, le modèle à composante d'erreur se démarque du modèle à effet fixe, avec ce dernier les coefficients des « véritable » variables explicatives du modèle supposés être identiques pour tous les individus et a toutes les périodes. Dans le modèle à coefficient composés tous les coefficients du modèle admettent la même décomposition que la constante du modèle à effets fixes, soit donc :

$$y_{nt} = b_0 + a_n + d_t + \sum_{k=1}^K b_{knt} X_{knt} + \varepsilon_{nt} \quad (3.56)$$

Où

$$b_{knt} = b_k + a_k + a_{kt}^{165}$$

Dans ce modèle, deux individus ayant les mêmes caractéristiques observables et faisant au même environnement n'auront pas nécessairement, en espérance la même valeur de y. En effet, $E(y_{nt}/x_{1nt}, \dots, x_{knt}) = b_0 + a_n + d_t + \sum_{k=1}^K (b_k + a_{kn} + a_{kt}) x_{knt}$. Ainsi, dans l'exemple précédent relatif à la production, deux pays ayant les mêmes caractéristiques observables (dotations en travail et en capital, niveau de formation de la population, etc.), peuvent ne pas atteindre le même niveau de produit du fait de leurs caractéristiques inobservables (spécificités socioculturelles, etc. Celles-ci pouvant affecter directement y_{nt} (via les effets fixes) et indirectement (via leur incidence sur l'effet des variables observables sur le produit). Par exemple, l'impact du niveau de formation de la main d'œuvre sur l'output peut différer d'un pays à l'autre du fait de spécificités socioculturelles. On peut, comme précédemment, remarquer que l'estimation de ce type de modèle pose quelques difficultés lorsque le nombre d'individus et/ou de périodes d'observation est important. Effectivement, le nombre des coefficients devient alors rapidement considérable, rendant difficile leur estimation et leur interprétation. Ainsi, si l'on considère un échantillon de 200 individus suivis sur 10 ans et un modèle comportant $K+1=5$ variables explicatives, le nombre de paramètres à estimer serait alors de $(K+1)(N+T+1)=1055$ paramètres. Dans ce cas, il peut être préférable de recourir au modèle à coefficients aléatoires¹⁶⁶.

Dans les modèles à coefficients composés, l'hétérogénéité individuelle, invariante dans la dimension temporelle, joue à la fois sur la constante et sur les coefficients de pente. De plus, les

¹⁶³ Patrick sevestre idem page 72,73

¹⁶⁴ Claudio arujo jean-froçois brun et jean kouiscombs idem page 175,176

¹⁶⁵ Phillipperous idem page 12,13

¹⁶⁶ Patrick sevestre idem page 13,14

effets spécifiques sont supposés déterministes. En conséquence, par rapport au modèle à effets fixes, on introduit des variables muettes multiplicatives. La structure formelle du modèle est la suivante :

$$y_{nt} = b_0 Z_{0nt} + \sum_{j=1}^{N-1} a_j Z_{jnt} + \sum_{k=2}^K [B_k + B_k \pi_{k1} d_1 + B_k + B_k \pi_{k2} d_2 + \dots + B_k \pi_{k(N-1)} d_{(N-1)}] x_{knt} + \varepsilon_{nt}$$

On introduit (N-1) variables muettes Z_{jnt} en supposant qu'il n'y a ni auto-corrélation ni hétéroscédasticité et que la matrice Ω est diagonale, pour qu'on puisse utiliser dans ce cas les MCG.

Il est évident que cette méthode est particulièrement couteuse en degrés de liberté. Elle exige une profondeur temporelle suffisante. De ce fait, l'estimation de ce genre astreint souvent l'économètre à poser des contraintes résulte d'hypothèses économiques. Une première solution consiste à autoriser certains paramètres à se varier et l'interdire à d'autres. Une seconde solution est de simplifier la structure du modèle en introduisant des variables muettes par groupes d'individus préalablement identifiés¹⁶⁷.

III. 3. 2 Le modèle à coefficients aléatoires :

Par analogie avec ce qui est vu précédemment, on peut considérer que ce modèle n'est autre que la généralisation du modèle à erreurs composées au cas où tous les coefficients sont aléatoires et admettent une décomposition individuelle-temporelle, ainsi :

$$y_{nt} = b_0 + \sum_{k=1}^K b_{knt} x_{knt} + u_n + v_t + w_{nt} \quad (3.56)$$

Avec :

$$b_{knt} = b_k + \mu_{kn} + v_{kt}$$

Comme dans le cas du modèle à erreurs composées, tous les effets spécifiques (u_n, v_t, μ_{kn} et v_{kt}) sont : aléatoires, d'espérance nulle, de variance finie et non auto-corrélés. Ils sont également supposés sans corrélation avec les régresseurs. On a donc, comme dans le cas du modèle à erreurs composées, $E(y_{nt}/x_{1nt}, \dots, x_{knt}) = b_0 + \sum_{k=1}^K b_k x_{knt}$. En effet, compte tenu des hypothèses posées, on peut réécrire ce modèle comme suite :

$$y_{nt} = b_0 + \sum_{k=1}^K b_k x_{knt} + \sum_{k=1}^K \mu_{kn} x_{knt} + \sum_{k=1}^K v_{kt} x_{knt} + u_n + v_t + w_{nt}$$

Il s'agit d'un modèle linéaire relativement « standard » avec des perturbations auto-corrélées et hétéroscédastiques. Cependant, on voit bien que l'estimation efficace de ce type de modèle risque d'être délicate dès lors que l'on ne dispose pas d'un grand nombre d'observation dans les deux dimensions de l'échantillon puisqu'alors, les estimations des variances risquent d'être quelque peu « fragiles »¹⁶⁸.

III. 3. 3 Le modèle en première différence :

L'hétérogénéité inobservée constante dans le temps peut être également éliminée en travaillant sur des séries en différence première, on résout ainsi notamment le problème de la corrélation entre l'effet spécifique et les variables explicatives. On peut appliquer sur ce type d'équation les procédures économétriques usuelles et en particulier, les procédures de type variables instrumentales dont la méthode GMM. A noter que lorsque T=2, les estimations en effets fixes ou en première différence conduisent à des résultats similaires. Ce modèle n'est pas à négliger dans la mesure où il permet de traiter simplement le cas où l'erreur idiosyncratique est corrélée avec les

¹⁶⁷ Claudio arujo jean-froçois brun et jean kouiscombs idem page 176,177

¹⁶⁸ Patrick sevestre idem page 14

variables explicatives en lui appliquant les DMC. Toutefois, le passage en première différence élimine une partie de l'information (information de long terme) contenue dans les variables¹⁶⁹.

III. 3. 4 Les modèles dynamiques :

La dimension individuelle l'emporte toujours sur la dimension temporelle, mais la présence de la variable endogène retardée caractérise les modèles de panel dynamique. Il s'agit de modèle autorégressif dont l'intérêt est de distinguer l'impact de court terme de l'impact de long terme d'une variable¹⁷⁰.

On s'intéresse ici à une classe particulière de modèles de données de panel. Ce sont les modèles qui font dépendre la valeur de Y pour le i^e individu à la date "t", non seulement des valeurs prises par les variables X_j pour ce même individu mais aussi c'est là que réside la source des difficultés associées à l'estimation de ces modèles – des valeurs retardées de la variable expliquée elle-même. Le modèle étudié ici peut donc être spécifié sous la forme suivante :

$$y_{it} = a_i + BX_i + \lambda y_{it-1} + \varepsilon_{it}$$

On pourrait considérer la valeur retardée de Y comme une variable explicative tout à fait ordinaire et procéder par conséquent à l'estimation des coefficients du modèle en mettant en œuvre les techniques qui ont été présentées jusqu'ici (par exemple en utilisant l'estimateur *within*). Malheureusement, Y_{it-1} n'est pas une variable explicative « comme une autre » et que l'estimateur (*within* notamment) du coefficient qui lui est attaché est nécessairement biaisé et non convergent.

On part du modèle :

$$y_{it} = a_i + BX_{it} + \lambda y_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad (3.57)$$

Il implique :

$$\bar{Y}_{i0} = a_i + B\bar{X}_{i0} + \lambda\bar{Y}_{i0(-1)} + \bar{\varepsilon}_{i0} \quad (3.58)$$

Où $\bar{Y}_{i0(-1)}$ est la moyenne intra-individuelle des y_{it} calculée sur les $T - 1$ premières observations relatives à l'individu i .

L'estimateur *within* consiste, on le rappelle, à appliquer l'estimateur des MCO au modèle /3/ obtenu en retranchant le contenu de l'équation (3.58) à celui de l'équation (3.57) :

$$(y_{it} - \bar{Y}_{i0}) = B(X_{it} - \bar{X}_{i0}) + \lambda (y_{it-1} - \bar{Y}_{i0(-1)}) + (\varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_{i0}) \quad (3.59)$$

Le problème majeur qui se pose avec cette nouvelle équation est que sa spécification introduit *de facto* un phénomène de corrélation entre la nouvelle erreur du modèle $(\varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_{i0})$ et la variable $(y_{it-1} - \bar{Y}_{i0(-1)})$. L'explication d'un tel phénomène est simple à comprendre : le calcul de $\bar{Y}_{i0(-1)}$ fait intervenir implicitement les $T - 1$ premières erreurs $\varepsilon_{it}...$ de telle sorte que, par construction, $(y_{it-1} - \bar{Y}_{i0(-1)})$ et $(\varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_{i0})$ sont nécessairement corrélés¹⁷¹.

On vient de voir que l'estimateur *within* et l'estimateur des MCO appliqué aux variables en différences premières sont biaisés. Récrivons justement le modèle en différences premières (on supposera, pour la simplicité, que le modèle est purement autorégressif):

$$Y_{it} - Y_{it-1} = \lambda(Y_{it-1} - Y_{it-2}) + (\varepsilon_{it} - \varepsilon_{it-1})$$

On vient de voir que l'estimateur des MCO appliqué à ce modèle est biaisé par construction puisque la variable explicative ΔY_{t-1} est corrélée avec le nouveau terme d'erreur $\Delta \varepsilon_{it}$ (ε_{it-1}) est une des composantes de ΔY_{t-1}). Pour autant, Y_{it-2} , n'est théoriquement pas corrélé avec $\Delta \varepsilon_{it}$ tout

¹⁶⁹ Claudio arujo jean-froçois brun et jean kouiscombs idem page 172

¹⁷⁰ Claudio arujo jean-froçois brun et jean kouiscombs idem page 177

¹⁷¹ Phillipperouse page 64,65

en demeurant fortement corrélée avec ΔY_{t-1} , ΔY_{t-2} , présente donc à ce titre toutes les qualités attendues d'un bon instrument¹⁷²

III. 3. 5 L'estimateur convergent de la méthode des moments généralisé (Arellano et Bond-1991) :

Soit donc ici le modèle :

$$y_{it} = \lambda y_{it-1} + a_i + \varepsilon_{it}$$

Si on écrit le modèle sous forme matricielle :

$$\Delta y = \lambda \Delta y_{-1} + a_i + \Delta \varepsilon$$

Au final, l'estimateur des moments généralisées à la Arellano et Bond est donné par :

$$\hat{\lambda}_{AB2} = (\Delta y_{-1}' ZV^{-1} Z' \Delta y_{-1})^{-1} \Delta y_{-1}' ZV^{-1} Z' \Delta y$$

Et l'estimateur de la variance de l'estimateur de λ est :

$$S^2(\lambda_{AB2}) = (\Delta y_{-1}' ZV^{-1} Z' \Delta y_{-1})^{-1}$$

Où Z_i matrice de premier et second plans

$$Z_i = \begin{bmatrix} [y_{i1}] & 0 & \dots & 0 \\ 0 & [y_{i1}, y_{i2}] & \dots & 0 \\ & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & [y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{iT-2}] \end{bmatrix}$$

De dimension $T - 2 * (1 + 2 + \dots + T - 2)$. Au niveau agrégé de l'ensemble des individus, la matrice Z des instruments est donnée par :

$$Z = \begin{bmatrix} [Z_1] \\ [Z_2] \\ \vdots \\ [Z_N] \end{bmatrix} \text{ De dimension } N (T - 2) * (1 + 2 + \dots + T - 2)$$

Avec $E (Z' \Delta \varepsilon) = 0$

Et

$$V = Z' \hat{\Delta}_\varepsilon \hat{\Delta}_\varepsilon' Z^{173}$$

Il existe plusieurs autres méthodes que nous ne serons pas développées.

III. 4 Effets fixes ou effets aléatoire : le test de Hausman :

Le test de spécification d'Hausman (1978) est un test général qui peut être appliqué à des nombreux problèmes de spécification en économétrie. Toutefois son application la plus répandue est celle des tests de spécification des effets individuels en panel. Il sert ainsi à discriminer les effets fixes et aléatoires.¹⁷⁴

L'hypothèse cruciale du modèle à effets aléatoires est l'absence de corrélation entre les effets spécifiques et les variables explicatives. Si cette hypothèse est violée, l'estimateur est non convergent. Il convient alors de lui préférer l'estimateur des effets fixes qui élimine la corrélation, les effets spécifiques étant « extraits » du résidu sous la forme de variables muettes¹⁷⁵.

¹⁷²Philliperous idem page 67,68

¹⁷³Philliperous idem page 70, 71,72,73,74

¹⁷⁴Christophe Hurlin idem page 49

¹⁷⁵Claudio arujo jean-froçois brun et jean kouiscombs idem page 174

En admettant que nous ayons déjà la certitude de la présence de spécificités individuelles, se pose maintenant la question de la nature de ces spécificités : doit-on retenir une spécification de type « effets fixes » ou, au contraire, de type « effets aléatoire ». La question n'est pas sans importance.

On se souvient du résultat selon lequel l'estimateur des MCG est l'estimateur « optimal » du modèle à effets aléatoires à la condition que l'erreur du modèle (et, notamment, sa composante spécifique) ne soit pas suspecte de corrélation avec les différentes variables explicatives. Si, malheureusement, tel n'était pas le cas, l'estimateur des MCG est alors biaisé...ce qui est évidemment très gênant. Or, si on peut être disposé à admettre l'absence de corrélation entre la composante non spécifique de l'erreur et les variables explicatives, on éprouve quelque réticence à admettre ce même postulat d'absence de corrélation entre la composante spécifique et les variables explicatives qui sont elles-mêmes sensées rendre compte, justement, des caractéristiques propres de chaque individu. C'est la critique de Mundlack.

On commence par expérimenter :

- ✓ le caractère biaisé de l'estimateur des MCQG et le caractère non biaisé de l'estimateur *within* si l'erreur spécifique est corrélée avec l'une au moins des variables explicatives. Dans ce cas, il existe une différence significative entre les estimations engendrées par ces deux estimateurs.
- ✓ le caractère non biaisé des estimateurs *within* et MCQG si l'erreur spécifique n'est pas corrélée avec les variables explicatives. Dans ce cas, il n'existe pas de différence significative entre les estimations engendrées par ces deux estimateurs. On privilégiera cependant, dans ce contexte, l'usage de l'estimateur des MCQG dont on vérifie qu'il est alors plus efficace que l'estimateur *within*. On définit ensuite la statistique de test de Hausman pour l'hypothèse nulle d'absence de corrélation entre erreur spécifique et variables explicatives. Le résultat de ce test dépend le choix de la méthode d'estimation qui sera finalement retenue¹⁷⁶.

❖ La statistique de test de Hausman :

Sous l'hypothèse nulle H_0 d'orthogonalité entre les variables explicatives et le terme d'erreur du modèle à effets aléatoires, les deux estimateurs –Within et MCG – sont des estimateurs non biaisés et dans ce cas il ne doit pas y avoir de différence significative entre les estimations Within et MCG sur les différents coefficients. La méthode des MCG est alors retenue : le modèle est à effets aléatoires.

Soit le test d'hypothèses :

$$H_0: \hat{\alpha}_{LSDV} - \hat{\alpha}_{MCG} = 0 \rightarrow \text{le modèle est à effets aléatoires}$$

$$H_1: \hat{\alpha}_{LSDV} - \hat{\alpha}_{MCG} \neq 0 \rightarrow \text{le modèle est à effets fixes}$$

Nous calculons la statistique :

$$H = (\hat{\alpha}_{LSDV} - \hat{\alpha}_{MCG})' [\text{var}(\hat{\alpha}_{LSDV}) - \text{var}(\hat{\alpha}_{MCG})]^{-1} (\hat{\alpha}_{LSDV} - \hat{\alpha}_{MCG})$$

La statistique H est distribuée selon un chi-deux à k degré de liberté. Si $H > X^2(k)$ Pour un seuil à $\alpha\%$, nous rejetons l'hypothèse H_0 , l'estimateur LSDV (Within) est non biaisé, nous rejetons alors la spécification à effets aléatoires et nous choisissons un modèle à effets fixes individuels¹⁷⁷.

¹⁷⁶Philliperous idem page 45,46

¹⁷⁷Régis Bourbonnais idem page 340

III. 5 Les régressions de données sur panel : Conclusion et Quelques commentaires finaux :

Il faut dire que le théorème de la modélisation à partir de données sur panel était vaste et complexe .Nous avons à peine gratté la surface .Parmi les points qui n'ont pas été abordés, on peut citer :

- ✓ L'hétéroscédasticité et l'auto corrélation dans le MCE.
- ✓ Les données sur panel déséquilibré (pas profondément).
- ✓ Les équations simultanées comportant des données sur panel.
- ✓ Les variables dépendantes qualitatives et les données sur panel.

Un, ou plusieurs de ces points peuvent être trouvés dans les références citées dans ce chapitre ; le lecteur est ainsi invité à les consulter pour approfondir ses connaissances.¹⁷⁸

¹⁷⁸ Damodar N.Gujarati idem page 648

Économétrie des données de Panel non stationnaire

I. Introduction :

Certes l'économétrie des données de panel dispose de multiples d'avantages, mais, elle ne semble plus suffisante afin d'étudier les phénomènes macroéconomiques en général, nous devons donc considérer les dernières évolutions des données de panel surtout de par la stationnarité et de Cointégration des données¹⁷⁹.

II. Econométrie des données de panel non stationnaire :

II.1 Introduction :

Il est devenu courant pour les chercheurs d'effectuer Les tests de racine unitaire dans les études de séries temporelles. Les travaux empiriques, aussi commencent fréquemment avec une analyse de la stationnarité des séries temporelles.¹⁸⁰

Cependant, l'analyse des données de panel non stationnaires n'a vu son développement s'effectuer que dernièrement.

Quah en 1994 a travaillé sur l'hypothèse nulle de racine unitaire dans les panels avec homogénéité¹⁸¹ a effectué les travaux initiaux sur les données de panel non stationnaires concentré sur l'essai de racine unitaire dans les panels uni variés. Les articles écrits par Levin et lin (1992,1993) ont popularisé L'usage des tests de racine unitaire sur des données de panel et l'accès et l'utilisation d'une base de données macroéconomique considérable englobant une vingtaine d'années de données¹⁸².

Jadis, on supposait implicitement que les variables considérées étaient stationnaires pour les données de panel. Ce qui réduit la portée des résultats obtenus à cause des biais importants d'estimations des paramètres raccordés à l'absence de prise en compte des propriétés de non-stationnarité des séries. Du fait de l'avancée de l'économétrie, il est maintenant possible de tester la stationnarité sur données de panel et le caractère cointégré ou non d'un ensemble de variables¹⁸³.

¹⁷⁹Cyriacguillaumin "integrationfinancière en asie de l'est : l'apport des test de stationnarité et de cointégration en panel" document de travail CEPN 19 université paris 13 2008 page 7

¹⁸⁰Badi H baltagi " econometric analysis of panel data third edition" britishlibrary cataloguing in publication data 2005 england page 239

¹⁸¹ Peter pedroni " critical values for cointegration tests in heterogenous panels with multiperregressors" oxford bulletin of economics and statistics, special issue 1999 page 653

¹⁸² G.s MADDALA

¹⁸³ IMED DERINE

II. 2 Pourquoi tester la racine unitaire en panel ?

Les tests de racine unitaire administrés à des données de panel, disposent de multiples atouts en comparaison avec ceux sur séries temporelles.¹⁸⁴

En premier, du fait de la dimension individuelle et de la dimension temporelle, on utilise plus de données. Dans le cas de l'impossibilité d'étendre la dimension temporelle, une solution intéressante est d'agrandir la base de données en considérant des informations du même ordre mais correspondantes à des pays différents.

Cette solution repose sur le fait qu'il y ait une importante probabilité que les propriétés de long terme des séries utilisées soient semblables pour divers pays. La prise en compte des informations concernant les pays sert à effectuer une analyse multi-pays. L'élargissement de la base de données est très intéressant car il permet une optimisation de la différenciation entre la stationnarité ou le non stationnarité des séries. Hurlin et Mignon (2005) prouvent la supériorité des tests de racine unité et de cointégration sur données de panel sur ceux menés sur séries temporelles individuelles en petits échantillons.

Afin d'effectuer de tests de racine unitaire puissants sur un échantillon assez grand, il est nécessaire d'élargir la base de donnée et ce en réutilisant les données temporelles de l'étude précédente et additionner la dimension individuelle (en référence aux pays). Il est prouvé par Baltagi et Kao (2000) que l'économétrie des données de panel non stationnaires est capable à la fois de d'augmenter le nombre de données et de la puissance des tests grâce à la dimension individuelle¹⁸⁵ et d'analyser des séries non stationnaires grâce à des méthodes des séries temporelles.

II. 2. 1 Quelles sont les différences fondamentales entre les tests de racine unitaire en Panel et en séries temporelles ?

Il y a deux différences majeures, la première se rapportant aux distributions asymptotiques ; pour des séries temporelles, les statistiques de tests usuels ont des distributions asymptotiques non standard (point a) et conditionnelles au modèle utilisé afin de tester la racine unitaire (point b). Donc la t-statistique de Dickey-Fuller sous l'hypothèse nulle de racine unitaire que nous prenons comme exemple admet une distribution asymptotique qui se trouve être une fonction de mouvements Browniens. Cette distribution est en outre différente suivant la spécification de la composante déterministe du modèle dans lequel on teste la racine unitaire : modèle avec une constante, une constante et une tendance, ou ni constante ni tendance.

Dans le cadre des modèles de panel, les statistiques des tests de racine unitaire (à l'exception des tests de Fisher) admettent pour loi asymptotique des lois normales (point a). Les premiers à mettre en évidence ce résultat furent Levin et Lin (1992). Nous donnerons l'intuition de ce résultat dans le cadre des tests de première génération en évoquant au passage les différentes notions de convergence en panel (Phillips et Moon, 1999). En revanche, tout comme dans le cas des séries temporelles, ces lois asymptotiques demeurent conditionnelles au modèle utilisé pour tester la racine unitaire (point b) : les lois asymptotiques, et donc les seuils, ne sont pas les mêmes suivant que l'on considère un modèle avec ou sans constante, avec ou sans tendance. Mais, contrairement aux séries temporelles, les lois asymptotiques restent des lois normales : seules la variance et l'espérance sont modifiées suivant le modèle utilisé. Ainsi, la première différence réside dans le fait que l'économètre appliqué qui utilisait des tables de lois particulières dans le cadre des séries temporelles pour mener à bien ses tests, devra utiliser pour effectuer des tests similaires en panel les tables de la loi normale.

184 Claudio arujo jean-froçois brun et jean kouiscombs idem page 183

185 VINCENT FROMENTIN " les conséquences économiques de l'immigration sur le marché du travail des pays d'accueil : le recours aux tests de cointégration et aux élasticités de complémentarité » université Nancy2 2010 page 282

Mais la différence essentielle réside dans le problème de l'hétérogénéité du modèle qui ne se pose pas dans le contexte des séries temporelles. Dans le cas univarié, on se donne un modèle pour tester la présence d'une racine unitaire dans la dynamique d'une variable pour un individu donné. Lorsque l'on passe en panel, la question qui vient immédiatement à l'esprit est la suivante : peut-on considérer un même modèle pour tester la présence d'une racine unitaire dans la dynamique d'une variable observée sur plusieurs individus ? Si l'on répond par l'affirmative à cette question, cela implique l'existence de propriétés dynamiques strictement identiques pour la variable quel que soit le pays considéré : on parle alors de panel homogène. Prenons un exemple : si l'on teste la présence d'une racine unitaire dans la dynamique du chômage des 30 pays membres de l'OCDE à partir d'un même modèle, cela revient à tester l'hypothèse de racine unitaire en imposant, sans doute à tort, que la dynamique du chômage puisse être décrite pour les 30 pays par le même modèle. Le test de racine unitaire ainsi construit en panel peut alors conduire à des résultats fallacieux.

Cette notion d'hétérogénéité du modèle est une notion centrale de l'économétrie des panels (Hsiao, 1986, et Sevestre, 2002). La forme la plus simple d'hétérogénéité est celle qui consiste à postuler l'existence de constantes spécifiques à chaque individu. Il s'agit bien entendu du modèle à effets individuels (spécifiés de façon fixe ou aléatoire), qui traduit une hétérogénéité uniquement du niveau moyen mais qui conserve l'hypothèse d'homogénéité des autres paramètres du modèle et en particulier de la racine autorégressive. C'est notamment ce type de modélisation qui utiliseront les premiers tests de racine unitaire de Levin et Lin (1992). Mais très rapidement, cette conception de l'hétérogénéité limitée aux seuls effets individuels ou aux tendances déterministes est apparue peu plausible dans le cas des applications macro-économiques.

De ce fait, s'est dessiné un premier mouvement dans le contexte des tests de première génération allant vers une prise en compte d'une plus grande hétérogénéité de la dynamique de la série étudiée. Ce mouvement s'inscrit dans le contexte plus large de la littérature du milieu des années 90 consacrée aux panels dynamiques dits hétérogènes (Pesaran et Smith, 1995). Les premiers tests de racine unitaire sur panels hétérogènes ont alors été proposés par Im, Pesaran et Shin (1997) et Maddala et Wu (1999). Ces tests autorisent sous l'hypothèse alternative non seulement une hétérogénéité de la racine autorégressive, mais aussi une hétérogénéité quant à la présence même d'une racine unitaire dans le panel. Par exemple, si l'on raisonne sur un panel international, sous l'hypothèse alternative la variable étudiée peut être non stationnaire dans un premier groupe de pays et stationnaire pour un autre groupe non vide de pays de l'échantillon.

Cette première évolution vers des spécifications hétérogènes se double depuis trois ans d'une seconde évolution allant dans le sens de la prise en compte des corrélations de la variable entre individus. En effet, au-delà du problème de l'hétérogénéité des paramètres du modèle, s'ajoute une autre problématique spécifique aux données de panel qui est devenue aujourd'hui centrale dans la littérature sur les tests de racine unitaire : il s'agit de la prise en compte des éventuelles dépendances inter-individuelles. La question est tout simplement de savoir si l'on autorise la présence d'éventuelles corrélations entre les résidus des différents individus du panel. Selon la réponse à cette question, on peut opposer deux générations de tests comme suit ¹⁸⁶:

Comme nous l'avons souligné deux catégories de tests peuvent être distinguées : les tests de première génération qui supposent l'indépendance inter-individuelle des résidus et les tests de deuxième génération qui lèvent cette hypothèse extrêmement restrictive. ¹⁸⁷

¹⁸⁶ Christophe Hurlin et Valérie Mignon « une synthèse des tests des racines unitaire sur données de panel » université d'Orléans Université paris X pages 2, 3,4

¹⁸⁷ Ochozias A. Gbaguidi « Communication : les déterminants de la demande d'énergie dans l'espace CEDEAO » AssociateEconomic affaire officer, UnecaSrowestAfrica page 9

II. 3 Les tests de première génération :

L'hypothèse centrale de ces tests repose sur la notion d'indépendance entre les individus du panel.

Considérons une série x composée de N individus sur T périodes. Nous supposons que la série x_{it} avec $i = 1, \dots, N$ et $t = 1, \dots, T$ repose sur une représentation générale du type ADF :

$$\Delta x_{it} = a_i + B_{it} + \rho x_{it-1} + \varepsilon_{it}$$

Les termes d'erreurs ε_{it} sont censés être autonome entre les individus.

a_i : Représente la spécificité individuelle constante dans le temps qui est ici captée par un effet fixe et B_{it} représente les tendances déterministes propres à chaque individu i . Cette représentation équivaut au modèle 3 des tests ADF. Il existe, comme pour les séries temporelles, un modèle 2 (sans tendance mais avec constante) et un modèle 1 (sans tendance ni constante).

Dans ces mêmes tests de première génération, il y a deux sortes de raisonnements. Le premier censé que toute l'hétérogénéité interindividuelle est saisi par les effets fixes, les principaux défenseurs de cette hypothèse sont (Levin et lin) (1992,1993) et (Levin, lin et chu) (2002). Par contre le deuxième raisonnement c'est ceux qui mettre en cause cette hypothèse d'homogénéité de la racine autorégressive qui semble peu appropriée notamment pour les études macroéconomiques. Et alors, les premiers à aboutir l'hypothèse d'homogénéité de la racine autorégressive sont Im, Pesaran et Shim (1997,2002 et 2003).

II. 4 Les tests de deuxième génération :

Si les tests de première génération reposaient sur la notion d'indépendance entre les individus du panel, cette hypothèse ne se montre pas acceptable, notamment, quand les études concernent les séries macroéconomiques. Cette hypothèse suppose, pour mieux dériver les lois asymptotiques des tests, qu'il n'y a aucune corrélation entre les individus du panel. Cette hypothèse n'apparaît pas très solide lorsqu'il s'agit d'étudier des séries de PIB ou de taux de change, par exemple.

Une interdépendance entre les individus postulée par les tests de seconde génération. Cette notion d'interdépendance ne va pas être considérée comme un handicap mais plutôt comme un atout supplémentaire pour mieux étudier les propriétés du panel. Les tests de racine unitaire de seconde génération sont nombreux : Phillips et Sul (2003), Choi (2002), Pesaran (2003)... La plupart de ces tests repose sur le test mis en place par Bai et Ng (2001, 2004) basé sur des modèles à facteurs communs. Ce test considère deux tests séparés de racine unitaire sur les composantes générales et individuelle de la série. Les autres tests reposent sur un test unique de la racine unitaire de la série. C'est alors la méthode de décomposition de la série qui diffère selon les approches.¹⁸⁸

Tableau 4 1 : Tests de racines unitaires en Panel

Tests 1 ^{ère} Génération	Indépendance entre individus
1- Spécification homogène de la racine autorégressive sous H_1	Levin et Lin (1992, 1993) Levin, Lin et Chu (2002) Harris et Tzavalis (1999)
2- Spécification hétérogène de la racine autorégressive	Im, Pesaran et Shin (1997, 2002 et 2003) Maddala et Wu (1999) Choi (1999, 2001) Hadri (2000)
3- Test séquentiel	Hénin, Jolivaldt et Nguyen (2001)
Tests 2 ^{ème} Génération	Dépendances entre individus
1- Tests fondés sur des modèles factoriels	Bai et Ng (2001) Moon et Perron (2004) Phillips et Sul (2003a) Pesaran (2003) Choi (2002)
2- Autres approches	O'Connell (1998) Chang (2002, 2004)

188

Cyriacguillaumin idem pages 8, 9, 10

Source :Hurlin Mignon op.cité page 4

III. Tests de racine unitaire en Panel :

Des tests de racine unité en séries temporelles inspirées par Les tests de racine unitaire sur données de panel, et notamment ceux de Dickey et Fuller augmenté (DFA) et de Phillips-Perron (PP). Levin et Lin (1992 ; 1993) sont les premiers à proposer un test de racine unité sur données de panel.¹⁸⁹ Différents tests ont été proposés par la suite dans la littérature (Levin et Lin, 1993 ; Quah, 1994 ; Im, Pesaran et Shin, 1997, IPS).¹⁹⁰

Dans le cadre de cet exercice, nous allons présenter quatre tests de racine unitaire. Les deux premiers sont des tests de première générations dans lesquelles une indépendance entre les individus est supposée et les deux secondes seront des tests de seconde génération qui nous permettrons la dépendance entre individus.¹⁹¹

III. 1 Les tests de non stationnarité :

De façon générale, les tests de racine sur données de panel sont basés sur la régression suivante :

$$\Delta y_{it} = a_i + \rho_i y_{it-1} + \varepsilon_{it}$$

Où $i = 1, \dots, N$ désigne l'individu, $t = 1, \dots, T$ et $\varepsilon_{it} \sim iid(0, \sigma_i^2)$.

L'hypothèse nulle testé est celle de racine unitaire, soit $\rho_i = 0 \forall i$.

Les différents tests se distinguent alors par le degré d'hétérogénéité inséré sous l'hypothèse alternative. Les premiers tests de racine unitaire sur données de panel sont dus à Quah (1992,1994) et Levin et Lin (1992,1993). Les tests proposés par Quah sont correct lorsque N et T tendent vers l'infini au même taux, ne prennent pas en compte la possibilité de dynamiques hétérogènes entre les individus, et aussi, l'existence d'effets spécifiques individuels et la présence d'auto corrélation dans les séries résiduelles. Un test plus général proposé par Levin et Lin (1992,1993) qui autorise la présence d'effets spécifiques individuels et d'hétérogénéité entre les individus. Ce test propose aussi que N et T tendent vers l'infini, mais T augmente plus rapidement de sorte que $N/T \rightarrow 0$. Sous l'hypothèse alternative, le coefficient alternatif et le coefficient autorégressif sont supposées homogènes entre les individus, soit $\rho_i = \rho < 0 \forall i$.

Cette hypothèse étant fortement restrictive, une procédure de test alternative proposée par Im, Pesaran et Shin (2003) basée sur la moyenne des statistiques de test de racine unitaire autorisant la présence de corrélation sérielle résiduelle et de dynamiques hétérogènes.¹⁹²

III. 1. 1 Les tests de Levin et Lin (Levin, Lin et Chu 2002) :

Andrew Levin et Fulin dans une série de contributions (Levin et Lin 1992, 1993, Lin et Chu 2002) ont suggéré le premier test de racine unitaire en panel. Leur conduite est directement inspirée des tests de racine unitaire sur série temporelle de Dickey-Fuller (1974) imposant l'hypothèse d'homogénéité de la racine autorégressive.

Ce test pose comme hypothèse nulle celle d'une racine unitaire pour l'ensemble des individus du panel contre l'hypothèse de l'absence de racine unitaire pour l'ensemble des individus.¹⁹³

Ainsi, les autres considèrent tous modèles pour tester la racine unitaire suivant la forme que revêt la composante déterministe :

¹⁸⁹ Vincent Fromentin idem page 285

¹⁹⁰ Imed Drine et Christophe Rault idem page 6

¹⁹¹ Fouquau idem page 121

¹⁹² Valerie mignon « Tests de racine unitaire et de cointegration sur données de Panel :une revue de littérature » université paris x page 2, 3

¹⁹³ Ochozias A.Gbaguidi idem page 9

Modèle 1 : $\Delta y_{i,t} = \rho y_{i,t-1} + \varepsilon_{it}$

Modèle 2 : $\Delta y_{i,t} = a_i + \rho y_{i,t-1} + \varepsilon_{it}$

Modèle 3 : $\Delta y_{i,t} = a_i + B_{it} + \rho y_{i,t-1} + \varepsilon_{it}$

Nous observons le processus stochastique $y_{i,t}$ pour un panel d'individus $i = 1, \dots, N$ et chaque individu contient $t = 1, \dots, T$ observations.

Nous souhaitons déterminer si $y_{i,t}$ est intégré à chaque individu dans le panel.

Nous supposons que tous les individus du panel en une tendance, ont un effet fixe identique.

D'une façon indépendante et selon les individus le terme d'erreur ε_{it} se distribue et suit un processus ARMA inversible pour chaque individu :

$$\varepsilon_{it} = \sum_{k=1}^{\infty} \theta_{ik} \varepsilon_{it,t-k} + \mu_{it}.^{194} \quad (4.1)$$

Les processus μ_{it} pour $i = 1, \dots, N$ sont *i.i.d*($0, \sigma_{\mu,i}^2$). On peut faire deux remarques à ce niveau. La première est l'indépendance des termes d'erreur dans la dimension individuelle supposés par les trois modèles de Levin et Lin. Cette hypothèse, bien que particulièrement forte, est adoptée dans tous les tests de racine unitaire en panel de première génération.

La seconde critique porte sur la question de l'hétérogénéité du processus générateur des données retenues par les auteurs. Comme nous l'avons précisé en introduction, il s'agit d'un problème fondamental en économétrie de panel. Dans le cas présent, l'hypothèse d'homogénéité de la racine autorégressive ($\rho_i = \rho_j = \rho \forall i, j$) imposée par les trois modèles de Levin et Lin et par conséquent l'homogénéité de la conclusion quant à la présence d'une racine unitaire dans la dynamique de la variable y : soit l'on accepte l'hypothèse d'une racine unitaire pour l'ensemble des individus du panel.¹⁹⁵

Ajouter à cela :

- ✓ les auteurs suggèrent d'utiliser leur test sur des données de panel lorsque N varie entre 10 et 250 et T entre 25 et 250 .
- ✓ Les perturbations ne sont pas corrélées entre les groupes. Par conséquent, le raisonnement se tient pour l'ensemble des individus du panel.
- ✓ l'hypothèse d'indépendance permet d'ailleurs de recourir au théorème central limite afin d'aboutir à des distributions asymptotiques des statistiques.¹⁹⁶

I. A partir des trois modèles précédents, Levin et Lin proposent de tester les hypothèses suivantes :

Modèle 1 : $H_0 : \rho = 0$
 $H_1 : \rho < 0$

Modèle 2 : $H_0 : \rho = 0$ et $a_i = 0, \forall i = 1, \dots, N$
 $H_1 : \rho < 0$ et $a_i \in R, \forall i = 1, \dots, N$

Modèle 3 : $H_0 : \rho = 0$ et $B_i = 0, \forall i = 1, \dots, N$
 $H_1 : \rho < 0$ et $B_i \in R, \forall i = 1, \dots, N$

¹⁹⁴ Andrew Levin, Chien-Fu Lin et Chia-Shang James Chu « Unit root tests in Panel Data :asymptotique and finitie-Sampleproperties » Journal of econometrics 108 (2002) 1-24 elsevier 2002 page 4

¹⁹⁵ Hurlin Mignon idem page 6

¹⁹⁶ Vincent Fromentin idem pages 286, 287

II. Nous retrouvons assez logiquement une structure d'hypothèses proches de celles proposées par Dickey-Fuller.¹⁹⁷

Il est essentiel de noter que les hypothèses nulles des tests de Levin et Lin dans les modèles 2 et 3 sont des hypothèses jointes. Dans le modèle 2, l'hypothèse de racine unitaire testée par l'hypothèse nulle pour tous les individus du panel ($\rho_i = \rho = 0$) conjointement à l'hypothèse d'absence d'effets individuels, plus précisément à la nullité de toutes les constantes individuelles ($a_i = 0$).

Dans le modèle 3, l'hypothèse nulle consiste en l'hypothèse de racine unitaire et d'absence de composante tendancielle déterministe pour tous les individus du panel ($B_i = 0$) : On retrouve ainsi exactement la structure des deux tests joints proposés dans le cas des séries temporelles par Dickey et Fuller (1981).¹⁹⁸

III. Hurlin et Mignon (2005) ont pu prouver que les trois modèles suivent une loi asymptotique normale, au début de démonstration très complexe, ils ont pu démontrer que la statistique de test de racine unitaire $t_{\phi=1}$ de Levin et Lin converge séquentiellement vers une loi normale centrée réduite.

IV. Ils ont considéré le modèle 1 sans effet individuel :

$$y_{i,t} = \phi y_{i,t-1} + \mu_{i,t}$$

Avec $\phi = 1 + \rho \in R \mu_{it} \rightarrow i.i.d(0, \sigma_\mu^2)$, ils ont cherché à tester l'hypothèse nulle $H0: \phi = 1$ contre $H1: \phi < 1$. Dans ce cas simple, la statistique de test Levin et Lin, identique à celle du test de Dickey-Fuller, correspond à la t-statistique associée au test $\phi = 1$; notée $t_{\phi=1}$:

$$t_{\phi=1} = \frac{(\hat{\phi} - 1)}{\sigma_{\hat{\phi}}}$$

Où $\hat{\phi}$ désigne l'estimateur des MCO du paramètre ϕ obtenu à partir des NT observations empilées.

Ils ont pu démontrer que dans le :

$$\text{Modèle 1 : } t_{\phi=1} \xrightarrow{(T,N \rightarrow \infty)_{seq}} N(0,1)$$

$$\text{Modèle 2 : } \sqrt{1.25} t_{\phi=1} + \sqrt{1.875} N \xrightarrow{(T,N \rightarrow \infty)_{seq}} N(0,1)$$

$$\text{Modèle 3 : } \sqrt{\frac{448}{277}} (t_{\phi=1} + \sqrt{3.75} N) \xrightarrow{(T,N \rightarrow \infty)_{seq}} N(0,1)^{199}$$

V. La procédure de test de Levin et Lin s'effectue ensuite à l'aide de trois étapes.

❖ **procédures de test :**

D'une manière générale, en présence d'une éventuelle autocorrélation des résidus ($\theta_{i,k} \neq 0$), le test de Levin et Lin est construit à partir de modèles de type Dickey-Fuller Augmentés (ADF) permettant de blanchir les résidus et de se ramener à des distributions connues pour les t-statistiques individuelles.

$$\text{Modèle 1 : } \Delta y_{it} = \rho y_{i,t-1} + \sum_{s=1}^{p_i} \gamma_{i,s} \Delta y_{i,t-s} + \mu_{i,t}$$

$$\text{Modèle 2 : } \Delta y_{it} = a_i + \rho y_{i,t-1} + \sum_{s=1}^{p_i} \gamma_{i,s} \Delta y_{i,t-s} + \mu_{i,t}$$

$$\text{Modèle 3 : } \Delta y_{it} = a_i + B_i t + \rho y_{i,t-1} + \sum_{s=1}^{p_i} \gamma_{i,s} \Delta y_{i,t-s} + \mu_{i,t}$$

¹⁹⁷ Fouquau idem page 162

¹⁹⁸ Hurlin Mignon idem page 6

¹⁹⁹ Hurlin Mignon idem pages 7, 8, 9, 10

Où $\mu_{i,t}$ est *i. i. d.* $(0, \sigma_{\mu,i}^2)$.

Etant donné que l'autocorrélation des résidus est purgés par l'ordre des retards et qu'est à priori inconnu, Alors une procédure de test en trois étapes proposée par Levin et Lin applicable dans chacun des modèles 1, 2 et 3. La façon dont Levin et Lin ont construit leur test implique que ces trois étapes ne nécessitent donc aucune technique d'estimation propre aux données de panel :

On peut donc utiliser les commandes de base de l'économétrie des séries temporelles de tout logiciel pour le mettre en œuvre.

Etape 1 : Construction d'un estimateur de la racine autorégressive

Le but de cette première étape consiste à construire un estimateur $\hat{\rho}$ de la racine autorégressive commune : Pour cela, il convient tout d'abord de déterminer, pour tout individu, l'ordre des retards optimal p_i : Puisque à ce niveau, on pense sur la base de régressions individuelles indépendantes les unes des autres, les méthodes de sélection du retard p_i sont les mêmes qu'en séries temporelles. La méthode la plus simple, dite du *pmax*, consiste à se donner un ordre maximum de retard admissible *pmax* conditionnellement à la dimension T des observations et à tester la significativité du dernier retard à partir de la statistique de Student qui admet dans ce cas une distribution standard (voir Salarié, 1999).

Il est aussi possible de faire appel à une technique de vraisemblance pénalisée consistant à estimer plusieurs processus pour différentes valeurs de p et à retenir le modèle minimisant les critères d'information tels que ceux d'Akaike ou de Schwarz.

Une fois que l'on possède pour tous les individus du panel de l'ordre optimal des retards $p_i; i = 1, \dots, N$; on peut alors estimer le paramètre ρ . Levin et Lin n'estiment pas directement cette racine autorégressive à partir des modèles ADF. La raison de ce choix technique tient simplement au fait que la spécification d'un paramètre de retard p_i différent selon les individus rend malaisée l'application sous les logiciels usuels (Eviews, TSP, Limdep, Rats,...) des estimateurs de panels (estimateur MCO, communément appelé estimateur Within dans ce cas).

Enfin, préférablement que d'estimer directement les modèles (13), (14) ou (15), Levin et Lin estiment de façon équivalente deux régressions auxiliaires individu par individu. Par exemple, si l'on considère le modèle 2, il convient d'estimer pour chaque individu $i = 1, \dots, N$; les deux équations suivantes par MCO :

Equation auxiliaire n°1 :

$$\Delta y_{i,t} = \hat{a}_i + \sum_{s=1}^{p_i} \hat{b}_{i,s} \Delta y_{i,t-s} + \hat{e}_{i,t} \quad \forall t = p_i + 2, \dots, T \quad (4.2)$$

Equation auxiliaire n°2 :

$$\Delta y_{i,t-1} = \hat{a}_i + \sum_{s=1}^{p_i} \hat{d}_{i,s} \Delta y_{i,t-s} + \hat{v}_{i,t} \quad \forall t = p_i + 2, \dots, T \quad (4.3)$$

Dans le cas du modèle 1, les équations auxiliaires sont semblables à la différence près qu'il n'y a pas de constante dans la régression. Dans le cas du modèle 3, il convient au contraire de rajouter une différence aux régressions (16) et (17).

On dispose alors de N séries de réalisations des résidus individuels $\{(\hat{e}_{i,t})\}_{t=1}^{T_i}$ et $\{(\hat{v}_{i,t})\}_{t=1}^{T_i}$ où $T_i = T - p_i - 1$ désigne le nombre d'observations disponibles pour l'individu i .

Pour vérifier l'hétéroscédasticité interindividuelle, on construit au préalable des séries de résidus normalisés :

$$\hat{e}_{i,t} = \frac{\hat{e}_{i,t}}{\hat{\sigma}_{u,i}}$$

$$\hat{v}_{i,t} = \frac{\hat{v}_{i,t}}{\hat{\sigma}_{u,i}}$$

$$\forall i = 1, \dots, N, \quad \forall t = p_i + 2, \dots, T$$

Où l'estimateur de la variance individuelle des résidus $\hat{\sigma}_{u,i}^2$ correspond à l'estimateur standard de la variance des résidus du modèle ADF (équation 13, 14 ou 15 suivant les cas). Pour un individu i donné, cet estimateur peut être simplement obtenu sans procéder à l'estimation du modèle ADF, de la manière suivante :

$$\hat{\sigma}_{u,i}^2 = \frac{1}{T - p_i - 1} \sum_{t=p_i+2}^T (\hat{e}_{i,t} - \hat{\rho}_i \hat{v}_{i,t})^2 \quad \forall t = p_i + 2, \dots, T$$

$\hat{\rho}_i$ l'estimateur des MCO du paramètre ρ_i dans la régression $\hat{e}_{i,t} = \hat{\rho}_i \hat{v}_{i,t-1} + S_{i,t}$ pour l'individu ²⁰⁰.

Etape 2 : Estimation des ratios de variances individuelles :

Sous l'hypothèse nulle de racine unitaire, la variance à long terme pour le modèle peut être estimée comme suite :

$$\hat{\sigma}_{yi}^2 = \frac{1}{T-1} \sum_{t=2}^T \Delta y_{it}^2 + 2 \sum_{s=1}^{\bar{k}} w_{\bar{k}_s} \left[\frac{1}{T-1} \sum_{t=2+s}^T \Delta y_{it} \Delta y_{it} - S \right]$$

Pour le modèle 2, on remplace Δy_{it} par $\Delta y_{it} - \overline{\Delta y_{it}}$ c'est la valeur moyenne de Δy_{it} pour l'individu i . Si les données comprennent une tendance temporelle (modèle 3) la tendance doit être enlevée avant d'estimer la variance de long terme.

$w_{\bar{k}_s} = 1 - \frac{s}{\bar{k}+1}$ Où \bar{k} = paramètre troncature pour tous les individus du panel $\bar{k}_i = \bar{k}$
 $\bar{k} = 3.21\tilde{T}$. Maintenant on calcul la moyenne de N nations si la variance à long terme des résidus individuelles $\hat{\sigma}_{ui}^2$, pour $i = 1, \dots, N$

$$\hat{S}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{S}_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\hat{\Omega}_i}{\hat{\sigma}_{u,i}^2}$$

Cette moyenne des ratios de variances individuelles qui va nous aider dans la troisième étape. ²⁰¹

Etape 3 : Construction de la statistique de test de Levin et Lin :

Basé sur des observations $N\tilde{T}$ avec $\tilde{T} = T - \bar{p} - 1, \tilde{T}$, c'est le nombre moyen d'observation par individu dans le panel avec $\bar{p} = \sum_{i=1}^N \frac{p_i}{N} \cdot \bar{p}$ Est l'ordre de retard en moyenne par individu dans la régression ADF.

La régression classique t-statistique pour tester $\rho = 0$ elle est définie par :

$$t_{\rho=0} = \frac{\hat{\rho}}{\hat{\sigma}_{\hat{\rho}}}$$

Avec

$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=2+p_i}^T \hat{v}_{i,t-1} \hat{e}_{it}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=2+p_i}^T \hat{v}_{i,t-1}^2}$$

Où

²⁰⁰Hurlin et Mignon idem pages 10, 11, 12

²⁰¹ Andrew Levin, Chien-fu-Lin, Chia-Shong James Chu idem pages 6, 7

$$\sigma_{\hat{\rho}}^2 = \frac{\hat{\sigma}_{\varepsilon}}{[\sum_{i=1}^N \sum_{t=2+p_i} \hat{v}_{i,t-1}^2]^{1/2}}$$

Et $\hat{\sigma}_{\varepsilon}$ = variance des perturbations ε_{it} supposée être homosédastiques :

$$\hat{\sigma}_{\varepsilon}^2 = \frac{1}{N\bar{T}} \sum_{i=1}^N \sum_{t=2+p_i} (\hat{\varepsilon}_{it} - \hat{\rho} \check{v}_{i,t-1})^2 \quad 202$$

De manière générale, la statistique de test de racine unitaire de Levin et Lin s'écrit comme une statistique de Student modifiée :

Statistiques LL : $t_{\rho=0}^* = \frac{1}{\sigma_{m,\bar{T}}^*} (t_{\rho=0} - N\bar{T} \times \frac{\hat{s}_N}{\hat{\sigma}_{\varepsilon}^2} \times \hat{\sigma}_{\hat{\rho}} \times \mu_{m,\bar{T}}^*) \quad \forall m = 1,2,3$

Où pour chaque modèle ($m = 1; 2$ ou 3) suivant la dimension $\bar{T} = T - \bar{p} - 1$ avec $\bar{p} = (\frac{1}{N}) \sum_{i=1}^N p_i$. Les auteurs proposent une valeur de la composante d'ajustement de la moyenne $\mu_{m,\bar{T}}^*$ et de la composante d'ajustement de la variance $\sigma_{m,\bar{T}}^*$, ces valeurs sont reportées dans le tableau suivant :

Tableau 4 2: Facteurs d'ajustement de la t-Statistique Corrigée

\bar{T}	q	$\mu_{1,\bar{T}}^*$	$\sigma_{1,\bar{T}}^*$	$\mu_{2,\bar{T}}^*$	$\sigma_{2,\bar{T}}^*$	$\mu_{3,\bar{T}}^*$	$\sigma_{3,\bar{T}}^*$
25	9	0.004	1.049	-0.554	0.919	-0.703	1.003
30	10	0.003	1.035	-0.546	0.889	-0.674	0.949
35	11	0.002	1.027	-0.541	0.867	-0.653	0.906
40	11	0.002	1.021	-0.537	0.850	-0.637	0.871
45	11	0.001	1.017	-0.533	0.837	-0.624	0.842
50	12	0.001	1.014	-0.531	0.826	-0.614	0.818
60	13	0.001	1.011	-0.527	0.810	-0.598	0.780
70	13	0.000	1.008	-0.524	0.798	-0.587	0.751
80	14	0.000	1.007	-0.521	0.789	-0.578	0.728
90	14	0.000	1.006	-0.520	0.782	-0.571	0.710
100	15	0.000	1.005	-0.518	0.776	-0.566	0.695
250	20	0.000	1.001	-0.509	0.742	-0.533	0.603
∞	-	0.000	1.000	-0.500	0.707	-0.500	0.500

Source : Christophe Hurlin op. Cité page 13

Dans la première colonne se trouve l'approximation moyenne de la dimension temporelle des observations $\bar{T} = T - \bar{p} - 1$ où $\bar{p} = (\frac{1}{N}) \sum_{i=1}^N p_i$, pour une taille \bar{T} donnée figurante dans la deuxième colonne la valeur du paramètre de troncature q_i retenu par Levin et Lin dans la procédure d'estimation par noyau de la variance de long terme des résidus (étape 2).

Rappelons que les auteurs n'adoptent pas la démarche d'Andrews (1991) appliquée individu par individu et imposent le même paramètre de troncature pour tous les individus du panel $q_i = q, \forall i = 1, \dots, N$. On peut retrouver les valeurs des auteurs en retenant l'entier le plus proche de la valeur $q = 3,21\bar{T}^{1/3}$ dans les colonnes suivantes figurent les facteurs d'ajustement de l'espérance et de la variance de la statistique de Student pour les modèles 1, 2 et 3.

²⁰²BadiH.Baltagi idem page 241.

Il convient de préciser que les résultats figurant dans ce tableau sont obtenus sous l'hypothèse de nullité des ρ_i , ce qui ne nous permet donc pas d'appréhender l'influence des retards sur les résultats.

On peut ajouter que dans le modèle 1, il est possible de calculer la t-statistique $t_\rho = \frac{\hat{\rho}}{\hat{\sigma}_\rho}$, et donc il n'y a pas besoin de reporter une quelconque correction à cette statistique.²⁰³

III. 1. 2 Les tests d'Im, Pesaran et Shin (IPS) :

Im, Pesaran & Shin (2003) furent les premiers à proposer un test de racine unitaire sur données de panel permettant de relâcher la contrainte imposée par Levin et Lin d'une homogénéité de la racine autorégressive. Cependant, semblablement dans tous les tests de première génération l'hypothèse d'indépendance reste toujours valide.²⁰⁴

Les tests (IPS), aussi nommé t-bar, est basé sur la moyenne des statistiques de Dickey-Fuller augmenté (ADF) calculées pour chaque individu du panel. Il présume que toutes les séries sont non-stationnaires sous l'hypothèse nulle. Quoi que, sous l'hypothèse alternatives, quelques séries peuvent être stationnaires, alors que d'autres ne le sont pas. Ceci compose l'avantage de ce test, car il laisse un certain degré d'hétérogénéité aux individus, ce qui n'est pas le cas pour d'autres tests de racine unitaire sur données de panel.²⁰⁵

Effectivement, ces auteurs furent les premiers à développer un test autorisant sous l'hypothèse alternative non seulement une hétérogénéité de la racine autorégressive ($\rho_i \neq \rho_j$ mais aussi une hétérogénéité quant à la présence d'une racine unitaire dans le panel.²⁰⁶

Envisageons un échantillon de N individus (industries, régions ou pays) sont observé au cours de T période. IPS, suppose que le processus y_{it} à effet individuels sans tendance déterministe, en absence d'autocorrélation des résidus, le modèle peut s'écrire :

$$y_{it} = (1 - \Phi_i)\mu_i + \Phi_i y_{i,t-1} + \varepsilon_{it} \quad (4.3)$$

$$i = 1, \dots, N$$

$$t = 1, \dots, T$$

Dans ce cas nous sommes intéressé par le test de l'hypothèse nulle de la racine unitaire $\Phi=1$ pour tous i , on peut exprimer ce modèle avec la façon suivante :

$$\Delta y_{it} = a_i + \rho_i y_{i,t-1} + \varepsilon_{it}$$

$$\text{Avec } a_i = (1 - \Phi_i)\mu_i$$

$$\rho_i = -(1 - \Phi_i) \text{ Et } \Delta y_{it} = y_{it} - y_{i,t-1}$$

Ou encore a_i peut s'exprimer de la façon $a_i = -\rho_i\mu_i$ avec $\mu_i \in R$ et ε_{it} est $N.i.d.(0, \sigma_{\varepsilon,i}^2)$, dans ce cas le test d'hypothèse nulle devient alors :

$$H_0: \rho_i = 0, \forall i = 1, \dots, N$$

Hypothèses alternatives :

$$H_1: \rho_i < 0, i = 1, \dots, N_1, \quad \rho_i = 0, i = N_1 + 1, N_1 + 2, \dots, N.$$

Cette formulation de l'hypothèse alternative pour ρ_i vous permet de faire la différence entre les groupes stationnaires et non stationnaires.²⁰⁷

²⁰³ Hurlin et Mignon idem pages 13, 14

²⁰⁴ Fouquou idem page 162

²⁰⁵ Watabounaouattara « criminalité et croissance économique dans les pays de l'union économique et monétaire ouest africaine : une approche économétrique sur données de panel » Eleventh annual conference of the african econometric society avril 2006 page 23

²⁰⁶ Hurlin et Mignon idem page 15

Différemment dit, sous l'hypothèse alternative, peuvent coexister deux types d'individus: des individus indicés $i = 1, \dots, N_1$ pour lesquels la variable y_{it} est stationnaire et des individus indicés, $i = N_1 + 1, N_1 + 2, \dots, N$. pour lesquels la variable y_{it} est stationnaire et des individus indicés $i = N_1 + 1, N_1 + 2, \dots, N$. pour lesquels la dynamique de la variable y_{it} admet une racine unitaire: La taille N_1 de l'ensemble des individus stationnaires est a priori inconnue mais vérifie $0 < N_1 < N$, puisque si $N_1 = 0$ on retrouve alors l'hypothèse nulle. On admet en outre que le ratio $\frac{N_1}{N}$ vérifie $\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_1}{N} = \delta$ avec $0 < \delta \leq 1$.

❖ **Mise en œuvre du test dans le cas général :**

Actuellement, plaçons-nous dans le cas général où il existe une éventuelle auto corrélation des résidus. On propose un modèle de type Dickey-Fuller Augmenté (ADF) pour chaque individu $i = 1, \dots, N$ du panel :

Modèle IPS :

$$\Delta y_{it} = a_i + \rho_i y_{i,t} + \sum_{j=1}^{p_i} B_{i,j} \Delta y_{i,t-1} + \varepsilon_{it} \quad (A)$$

Où l'effet individuel $a_i = -\rho_i \mu_i$ avec $\mu_i \in R$ est $\varepsilon_{it} N. i. d. (0, \sigma_{\varepsilon,i}^2)$.²⁰⁸

La mise en œuvre de ce test se passe en deux étapes :

- ✓ En priorité la recherche des retards optimaux : en d'autres terme celui qui rend minimal le critère AIC et SC dans les tests Dickey et Fuller Augmenté.
- ✓ On effectue, ensuite, les tests IPS.²⁰⁹

Pour effectuer ce test, IPS proposent deux statistiques. La première statistique standardisée $Z_{t-bar}(p; B)$ est centrée sur l'espérance de la distribution asymptotique de la statistique individuelle ADF et réduite par la variance de cette même distribution :

$$Z_{t-bar}(p; B) = \frac{\sqrt{N} [t_{-bar_{NT}} - E(t_{iT})]}{\sqrt{V(t_{iT})}}$$

Avec

$$t_{-bar_{NT}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{iT}(p_i, B_i)$$

Où t_{iT} désigne la statistique de Student associée à l'hypothèse nulle de racine unitaire ($\rho_i = 0$) dans le modèle (A) pour un nombre de retards P_i . $\beta_i = (\beta_{i,1}, \dots, \beta_{i,P_i})'$. Il s'agit de la statistique ADF standard obtenu à partir d'un modèle avec constante.

Les moments $E(t_{iT}) = -1.533$ et $V(t_{iT}) = 0,706$ correspondent à l'espérance et à la variance de la distribution asymptotique (quand $T \rightarrow \infty$). Cette statistique $Z_{t-bar}(p; B)$ converge séquentiellement vers une loi normale centrée réduite lorsque T puis N tendent vers l'infini.

²⁰⁷ Kyung SO Im, M.HashemPesaran, YougvheolShin "Testing for unit roots in hétérogénous panels" Journal of econometrics ELSEIVER 12 janvier 2003 page

²⁰⁸Hurlin et Mignon idem pages 15,18

²⁰⁹ Wautabouna Ouattara iem page 24

Tableau 4.3 Moments des Statistiques Individuelles t_{iT}

T	$E(t_{iT})$	$Var(t_{iT})$
6	-1.520	1.745
10	-1.504	1.069
15	-1.514	0.923
20	-1.522	0.851
25	-1.520	0.809
30	-1.526	0.789
40	-1.523	0.770
50	-1.527	0.760
100	-1.532	0.735
500	-1.531	0.715
∞	-1.533	0.706

Source : Hurlin Mignon op. Cité page 18

Les auteurs de ce test ont obtenu ces moments avec la simulation de Monte Carlo.²¹⁰

Il est clair cependant qu'un problème dans des panels de petite taille T peut être posé par cette approche fondée sur la distribution asymptotique. C'est pourquoi IPS propose une seconde statistique standardisée, notée $W_{t_{bar}}(p, B)$; qui asymptotiquement possède la même distribution que $Z_{t_{bar}}(p; B)$; mais qui en outre possède l'intérêt d'être beaucoup plus puissante à distance finie.

C'est généralement la statistique de test d'IPS que l'on retient, car c'est la plus générale (elle tient compte de l'auto corrélation des résidus). Cette statistique normalisée est définie de la même façon que $Z_{t_{bar}}(p; B)$ à la différence près que l'on centre et l'on réduit à partir des moments de la statistique ADF obtenue sous l'hypothèse nulle de racine unitaire (comme pour $Z_{t_{bar}}(p; B)$) et sous l'hypothèse que les paramètres β_i des termes ADF sont nuls pour tous les individus.

Ces moments sont respectivement notés $E(t_{iT}(\rho_i, 0)/\rho_{i=0})$ et $var(t_{iT}(\rho_i, 0)/\rho_{i=0})$. Il convient de noter que ces moments tiennent compte de l'information contenue dans le nombre de retards P_i .

Asymptotiquement, cette statistique d'IPS standardisée converge vers la même distribution que la statistique $Z_{t_{bar}}(p; B)$.

$$W_{t_{bar}}(p, B) = \frac{\sqrt{N}[t_{bar_{NT}} - N^{-1} \sum_{i=1}^N E[t_{iT}(\rho_i, 0)/\rho_{i=0}]]}{\sqrt{N^{-1} \sum_{i=1}^N var[t_{iT}(\rho_i, 0)/\rho_{i=0}]}}$$

Où les valeurs de $E[t_{iT}(\rho_i, 0)/\rho_{i=0}]$ et $var[t_{iT}(\rho_i, 0)/\rho_{i=0}]$ ont été tabulées pour différents ordres de retards et différentes tailles T par les auteurs.

²¹⁰

Tableau 4 4: Moments des Statistiques Individuelle $t_{iT}(\rho_i, 0)$

T	$p_i = 0$		$p_i = 1$		$p_i = 2$		$p_i = 3$		$p_i = 4$	
	Mean	Var	Mean	Var	Mean	Var	Mean	Var	Mean	Var
10	-1.504	1.069	-1.488	1.255	-1.319	1.421	-1.306	1.759	-1.171	2.080
15	-1.514	0.923	-1.503	1.011	-1.387	1.078	-1.366	1.181	-1.260	1.279
20	-1.522	0.851	-1.516	0.915	-1.428	0.969	-1.413	1.037	-1.329	1.097
25	-1.520	0.809	-1.514	0.861	-1.443	0.905	-1.433	0.952	-1.363	1.005
30	-1.526	0.789	-1.519	0.831	-1.460	0.865	-1.453	0.907	-1.394	0.946
40	-1.523	0.770	-1.520	0.803	-1.476	0.830	-1.471	0.858	-1.428	0.886
50	-1.527	0.760	-1.524	0.781	-1.493	0.798	-1.489	0.819	-1.454	0.842
60	-1.519	0.749	-1.519	0.770	-1.490	0.789	-1.486	0.802	-1.458	0.819
70	-1.524	0.736	-1.522	0.753	-1.498	0.766	-1.495	0.782	-1.470	0.801
100	-1.532	0.735	-1.530	0.745	-1.514	0.754	-1.512	0.761	-1.495	0.771

Source : Hurlin Mignon op. Cité page 20

IPS mène des simulations qui montrent qu'en l'absence de corrélation, la statistique $Z_{t-bar}(p; B)$ mène à de très bons résultats en termes de taille et de puissance et ce même en petit échantillon ($T = 10$).

D'autre part, ces simulations montrent que le choix du nombre de retards P_i dans les régressions ADF individuelles est critique. On connaît traditionnellement ce problème en séries temporelles (Ng et Perron, 1995 ou Lopez, 1997).

Si l'on surévalue le nombre de retards, la puissance du test ADF est détériorée, mais le problème serai plus fondamental si le nombre de retards est sous-estimer : dans ce cas la paramétrisation du modèle ne permet pas de blanchir totalement les résidus, en conséquence de quoi les distributions asymptotiques de Dickey-Fuller ne sont plus valides.²¹¹

Lorsque le test IPS est une avancée par rapport à celui de Levin et Lin, on remarque néanmoins deux principales limites : le panel doit être cylindré et le nombre de retards pour administrer chaque test ADF ne doit pas différer entre les individus.

Pendant le test IPS il est difficile de conclure lors du rejet de l'hypothèse nulle. Cette dernière ne permet pas d'affirmer la stationnarité de toutes les séries individuelles mais uniquement l'existence, d'où moins un individu ne possédant pas de racine unitaire sans la dynamique étudiée.²¹²

III. 1. 3 Le test de Maddala et Wu :

Maddala et Wu proposent un test de Fisher non paramétrique, le principe est simple est repose sur une combinaison des niveaux de significativité (c'est-à-dire des p-values) des N tests de racine unitaire (le test ADF ou tout autre test de non stationnarité). Soit P_i , le niveau de significativité (c'est-à-dire la $(p - value)$ correspondant à la statistique de test relative à l'individu $i = 1, \dots, N$. La statistique de test est donnée par :

$$P_\lambda = -2 \sum_{i=1}^N L_n p_i \quad (4.4)$$

Sous l'hypothèse nulle de racine unitaire, la statistique P_λ suit une loi de Khi-deux à $2N$ degrés de liberté, pour $T_i \rightarrow \infty$ et pour tout N .²¹³

L'hypothèse de non stationnarité est rejetée lorsque la statistique calculée est supérieur à la statistique. Le test est donc très simple à administrer.²¹⁴

²¹¹ Hurlin et Mignon de page 19,20

²¹² Cyriac Guillaumin idem page 9

²¹³ Valérie Mignon « tests de racine unitaire et de cointégration sur données de panel : une revue de la littérature » 2004 université paris X page 7

Comme Im, pesaran et Shin, le test Maddala et Wu ne retient pas l'hypothèse alternative restrictive du coefficient autorégressive semblable à tous les individus du test de Levin et Lin.²¹⁵

Par ailleurs, ainsi que le notent, Maddala et Wu, ce test de Fisher présente un certain nombre d'avantage :

- ✓ Il peut être mis en œuvre à partir de tout test de racine unitaire.
- ✓ La dimension temporelle T peut être différente pour chaque individu i du panel.
- ✓ La dimension individuelle N peut être finie ou infinie.
- ✓ Différents retards P_i peuvent être utilisés dans la régression individuelle de type ADF.
- ✓ Les individus peuvent avoir différents types de composantes stochastiques et déterministes.²¹⁶

Pour des valeurs élevées de N , Choi (2001) suggère d'utiliser la statistique standardisée suivante :

$$Z = \frac{N^{-1/2} \sum_{i=1}^N (-2 \ln p_i - 2)}{2}$$

En conclusion que les probabilités P_i sont indépendamment et identiquement distribuées, la statistique Z suit une loi normale centrée réduite sous l'hypothèse nulle pour $T_i \rightarrow \infty$ suivit $N \rightarrow \infty$.²¹⁷

III. 2 Tests de deuxième génération :

Dans ce cadre nous choisissons de présenter que les tests de Choi (2002) et de Pesaran (2003).

III. 2. 1 le test de choi (2002) :

Choi (2002), il suggère une approche pour tester l'hypothèse de racine unitaire en transformant la série observé y_{it} à fin d'éliminer les tendances déterministes potentielles et les corrélations interindividuelles.

L'approche de Choi (2002) diffère de celle de plusieurs autres auteurs qui ont travaillé sur les tests de deuxième génération. A ce moment Choi (2002) considère un modèle à erreur composées :

$$\begin{aligned} y_{it} &= \mu_o + x_{it} \\ x_{it} &= a_i + \theta_t + \varphi_{i,t} \\ v_{it} &= \sum_{j=1}^{P_i} d_{i,j} \varphi_{i,t-j} + \varepsilon_{it} \end{aligned}$$

Où μ_o est la moyenne commune pour tous les i , a_i est l'effet inobservables à chaque individu, θ_t l'effet temporel est représenté par un processus stationnaire qui agit de manière homogène avec ε_{it} est $i, d(0, \sigma_{\varepsilon,i}^2)$ et indépendamment distribué entre les individus.²¹⁸

Dans ce modèle, à l'inverse aux approches de Bai et Ng (2001) et Moon et Perron (2004) l'effet temporel θ_t représente qu'un le seul facteur commun qui existe.

²¹⁴ Claudio Arujo, Jean-François Brun et Jean-Louis Combes. Idem page 185

²¹⁵ Vincent Fromentin idem page 288

²¹⁶ Valérie Mignon idem page 7

²¹⁷ Hurlin et Mignon idem pages 21 ; 22

²¹⁸ Laura Barbier « panel unit root tests : areview » quadernideldipartimento di scienzserie rossa : Economica-quaderno N°43 octobre 2006 page 39

C'est une différence fondamentale avec les autres auteurs qui eux aussi considèrent un seul facteur commun. Mais qui envisagent une spécification hétérogène de la sensibilité à ce facteur du type $\lambda_i \theta_t$.

La seconde différence avec l'approche des autres auteurs, se situe dans la manière d'orthogonaliser les séries individuelles y_{it} , pour supprimer les dépendances inter-individuelles.²¹⁹

Pour tester la présence de racine unitaire dans la composante idiosyncratique, l'hypothèse à tester est alors la suivante :

$$H0: \sum_{j=1}^{pi} d_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, N$$

$$H1: \sum_{j=1}^{pi} d_{ij} < 1 \quad \forall i = 1, \dots, N \quad 220$$

Donc pour effacer les dépendances interindividuelles, Choi isole v_{it} en éliminant la constante (effet individuel) a_i , mais aussi et particulièrement le terme d'erreur commun θ_t (effet temporel). Pour supprimer ces composantes déterministes, Choi procède en deux marche : élimination de la constante par l'approche d'Elliott, Rothenburg et Stock (1996), ERS par la suite, ensuite l'élimination de l'effet temporel par centrage sur la moyenne individuelle.

En effet, si la composante v_{it} est stationnaire, un estimateur efficace du terme constant est obtenu par l'application des MCO. Cependant, si v_{it} est intégrée d'ordre un ou présente en quasi racine unitaire.

Etape1: Si l'on présume que la plus grande racine du processus $v_{i,t}$ est $1 + \frac{c}{T}$ (processus de quasi racine unitaire), (pour chaque individu $i = 1, \dots, N$; on construit deux séries $\tilde{y}_{i,t}$ et $\tilde{\epsilon}_{i,t}$ quasi différenciées telles que pour $t \geq 2$.

$$\tilde{y}_{i,t} = y_{i,t} - \left(1 + \frac{c}{T}\right) y_{i,t-1} \quad \tilde{\epsilon}_{i,t} = \epsilon_{i,t} - \left(1 + \frac{c}{T}\right) \epsilon_{i,t-1} \quad (4.5)$$

Choi considère pour tous les individus du panel la valeur de la constante $c = -7$ fournie par ERS dans le cas d'un modèle sans dérive : On diminue, ensuite par les MCG $\tilde{y}_{i,t}$ sur la variable déterministe $\tilde{\epsilon}_{i,t}$: Soit \hat{a}_i l'estimateur des MCG obtenu pour chaque individu i sur données quasi-différenciées. Pour T suffisamment grand, on doit alors observer :

$$y_{i,t} - \hat{a}_i \approx \theta_t - \theta_1 + v_{i,t} - v_{i,1}$$

Et celui-ci, que le processus $v_{i,t}$ soit intégré d'ordre un ou quasi intégré. Ne reste donc plus qu'à éliminer la composante commune θ_t source de corrélation entre individus, c'est précisément l'objet de la deuxième étape.

Etape2 : La variable $y_{it} - \hat{a}_i$ proposé par Choi est centré sur sa moyenne individuelle et de définir ainsi une nouvelle variable $z_{i,t}$ comme suit :

$$z_{i,t} = (y_{i,t} - \hat{a}_i) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_{i,t} - \hat{a}_i) \quad (4.6)$$

En effet, en tenant compte des résultats précédents, pour tout individu $i = 1, \dots, N$; on peut montrer que :

$$z_{i,t} \approx (v_{i,t} - \bar{v}_t) - (v_{i,1} - \bar{v}_1)$$

²¹⁹ Hurlin et Mignon idem page 3

²²⁰ Fouquau idem page 168

Où $\bar{v}_t = (1/N) \sum_{i=1}^N v_{i,t}$ ainsi, les composantes déterministes a_i et θ_t sont éliminées.

A partir des séries $\{z_{i,t}\}_t = 2$ on retient :

$$\Delta z_{i,t} = \rho_i z_{i,t-1} + \sum_{j=1}^{p_i-1} B_{i,j} \Delta z_{i,t-j} + \mu_{i,t}^{221}$$

Jusque-là, les trois statistiques de tests proposés par Choi(2002) sont fondées sur des combinaisons de niveaux de significativité de tests individuels

$$P_m = -\frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N [\ln(p_i) + 1]$$

$$Z = -\frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N \Phi^{-1}(p_i)$$

$$L^* = -\frac{1}{\sqrt{\pi^2 N/3}} \sum_{i=1}^N N \ln \left(\frac{p_i}{1-p_i} \right)$$

Dans lequel p_i désigne le niveau de significativité associé à la statistique $T_{P_i}^{ERS}$ et $\Phi(P_i)$ représente la fonction de la loi normale centrée réduite. Ces trois statistiques montrées par Choi (2002) sont convergentes sous l’hypothèse nulle de racine unitaire vers une loi normale centrée réduite au moment où T et N tendent conjointement vers l’infini. A partir d’exercices de simulation, la conclusion obtenu par Choi (2002) c’est que les tests P_m et Z conduisent à de meilleurs résultats en terme de taille et de puissance que les tests L^* . Cependant, la principale difficulté de cette approche se trouve sensiblement à la loi utilisée pour générer le processus ut .

Enfin, les règles de la décision se résument de la façon suivante : pour la statistique de Fisher transformée P_m ; si la réalisation est supérieure au seuil de la loi normale (1.64 à 5%), on rejette H_0 : Pour les deux statistiques Z et L^* ; si la réalisation est inférieure au seuil de la loi normale (-1,64 à 5%), on rejette H_0 .²²²

III. 2. 2 Le test de Pesaran (2003) :

La nouvelle procédure présentée par Pesaran (2003) pour tester les racines unitaire en panel, une procédure assez nouvelle par rapport aux autres auteurs.²²³

Le test proposé par Pesaran est très simple, pour prendre en évidence les éventuelles dépendances entre individus.²²⁴

En effet, le test de racine unitaire proposé par Pesaran se différent des autres auteurs notamment Choi (2002) qui a effectué un test sur la racine unitaire sur des variables transformées. Pesaran choisit de tester l’éventuelle présence d’une racine unitaire directement sur les séries brutes y_{it} en augmentant le modèle DF ou ADF par l’introduction de moyennes individuelles $y_{i,t-1}$ et des différences premières $\Delta y_{i,t}$.

Ce modèle devient donc un modèle augmenté de type CADF (Cross Sectionnally Augmented Dickey-Fuller). Cependant, ce test ne suit plus des distributions asymptotiques standards.²²⁵

Vu la popularité d’IPS (1997), c’est exactement le même modèle qui est considéré par Pesaran et la même structure de test à la seule différence près qu’il introduit un facteur commun θ_t avec une sensibilité hétérogène à la Phillips et Sul (2003) :

²²¹Hurlin et Mignon pages 34,35

²²² Hurlin et Mignon idem page 35

²²³ Laura Barbier idem page 25

²²⁴ Badi H. Baltagi idem page 249

²²⁵ Fouquau idem page 165

$$\Delta y_{it} = a_i + \rho_i y_{i,t-1} + \mu_{it}$$

$$\mu_{it} = \lambda_i \theta_t + \varepsilon_{i,t}$$

Où l'effet individuel a_i est défini par $a_i = -\rho_i \lambda_i$ avec $\lambda_i \in \mathbb{R}$. Le facteur commun θ_t $i: d: (0; 1)$ est inobservable. Les hypothèses du test de Pesaran sont identiques à celles d'IPS. Pesaran montre qu'en l'absence d'auto corrélation des $\varepsilon_{i,t}$ l'introduction dans le modèle de la moyenne.²²⁶

A partir de là Pesaran construit un modèle DF augmenté dans la dimension inter- individuelle ou modèle CADF :

$$\Delta y_{it} = a_i + \rho_i y_{i,t-1} + c_i \bar{y}_{t-1} + d_i \Delta \bar{y}_t + v_{i,t} \quad (4.7)$$

Avec :

$$\bar{y}_{t-1} = \sum_{i=1}^N y_{i,t-1}, \quad \Delta \bar{y}_t = \sum_{i=1}^N \Delta y_{i,t} \quad \text{et } v_{i,t} \text{ dévoile l'erreur de régression}$$

Pesaran montre que l'introduction de ces deux nouvelles variable suffit pour filtrer les effets de la composante commune inobservable θ_t dès lors que N tend vers l'infini.²²⁷

Pour tout individu $i = 1, \dots, N$, on estime ce modèle et l'on construit de façon conforme la t-statistique à l'hypothèse nulle de racine unitaire pour l'individu i , la remarque faite par Pesaran. C'est qu'il faut s'assurer qu'aucun effet ne puisse transiter via le niveau de la moyenne individuelle à la date initiale y_0 : ceci peut être obtenu en appliquant le test non pas directement à y_{it} , mais à la différence $y_{i,t} - y_0$, lorsque T et N tendent vers l'infini de façon séquentielle on jointe la statistique CADF individuelle $t_i(N, T)$ converge vers la même distribution asymptotique, Cette distribution est une généralisation de celle de Dickey-Fuller.²²⁸

Sous la théorie de non autocorrélation des résidus, la démarche à suivre est d'estimer le modèle CADF, ensuite construire de façon standard la t-statistique associée à l'hypothèse nulle de racine unitaire pour l'individu i , notée $t_i(N, T)$.

A partir de ces statistiques individuelles $t_i(N, T)$, il est possible de créer une statistique moyenne de type IPS appelée CIPS pour cross-sectionally augmented IPS :

$$CIPS(N, T) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i(N, T) \quad (4.8)$$

Cette distribution est non standard lorsque N tends vers l'infini. Cependant les valeurs des seuils ont été tabulées par pesaran (2003) pour différentes tailles T et N .²²⁹

Tableau 4 5: seuils critiques de la distribution CADF

T/N	10	15	20	30	50	70	100
10	-2.52 (-2.47)	-2.40 (-2.35)	-2.33 (-2.29)	-2.25 (-2.22)	-2.19 (-2.16)	-2.14 (-2.13)	-2.10 (-2.11)
15	-2.37	-2.28	-2.22	-2.17	-2.11	-2.07	-2.04
20	-2.34	-2.26	-2.21	-2.15	-2.11	-2.07	-2.04
30	-2.33	-2.25	-2.20	-2.15	-2.11	-2.07	-2.05
50	-2.33	-2.25	-2.20	-2.16	-2.11	-2.08	-2.06
70	-2.33	-2.25	-2.20	-2.15	-2.12	-2.08	-2.07
100	-2.32	-2.25	-2.20	-2.16	-2.12	-2.08	-2.07

²²⁶ Hurlin et Mignon idem page 36

²²⁷ Christian Gengenbach « a panel cointegration study of the euro effect on trade » Maastricht University Département of Quantitive Economics. Hollande aout 2009 page6

²²⁸ Hurlin Mignon idem page 37

²²⁹ Fouquau idem page 166

Source : Hurlin et Mignon op. Cité page 38

Ainsi, en présence d'autocorrélation des résidus, la même procédure doit être appliquée dans un modèle «doublement» augmenté : augmenté dans la dimension interindividuelle et augmenté par les termes habituels des spécifications *ADF* standards. Le modèle *CADF* devient alors :

$$\text{Modèle CADF : } \Delta y_{it} = a_i + \rho_i y_{it-1} + c_i \bar{y}_{t-1} + \sum_{j=0}^p d_{ij} \Delta \bar{y}_t + \sum_{j=0}^p \delta_{ij} \Delta y_{i,t-j} + e_{i,t} \quad 230$$

IV. Les tests de cointégration en panel :

Comme dans le cadre des séries chronologiques, le problème de la régression fallacieuse se pose également dans le cadre des données de panel, plusieurs auteurs ont proposés une multitude de tests pour faire face à ce problème, et permettant d'estimer une relation de long terme entre diverses variables.²³¹

Assurément, il faut dire que l'utilisation des techniques de cointégration pour tester la présence de relation à long terme entre les variables intégrées a profité d'une popularité croissante dans la littérature empirique, cette accélération de la popularité aux sein des chercheurs est due à la performance des tests.²³²

Nous recommandons de présenter ici que le test de Pedroni qui repose sur l'hypothèse nulle d'absence de cointégration.

Avant de présenter les tests de l'hypothèse de cointégration, il convient de clarifier un certain nombre de notions spécifiques à la cointégration en panel. Parmi celles-ci figurent les notions de (i) cointégration intra et inter-individuelles, (ii) d'hétérogénéité ou d'homogénéité des paramètres des relations de cointégration et de la représentation à correction d'erreur (*VECM*, Vector Error Correction Model), (iii) de dépendances inter-individuelles et (iv) de convergence.²³³

VI. 1 Relations de cointégration intra et interindividuelles :

Avec de telle représentation, on peut prévoir deux types de relations de cointégration. On peut en premier lieu envisager l'existence de relations de cointégration parmi les variables du vecteur x_{it} , que l'on pourrait qualifier de relations de cointégration intra-individuelles.

Tout comme en séries temporelles, on dit qu'il existe une ou plusieurs relations de cointégration dans le vecteur x_{it} si et seulement s'il existe une ou plusieurs combinaisons linéaires des variables $x_{it}^{(j)}$ qui soient stationnaires.

Clairement, pour l'individu i , il existe r_i relations de cointégration intra-individuelles si et seulement si :

$$\begin{pmatrix} \beta'_i & x_{it} \\ (r_i, k_i) & (k_i, 1) \end{pmatrix} = (r_i, 1) \sim I(0)$$

Où β_i désigne la matrice contenant les vecteurs de cointégration pour l'individu i .

Ces relations de cointégration ne font intervenir que des variables propres à l'individu i de référence. Par exemple, l'existence d'une telle relation de cointégration intra-individuelle entre le *PIB* et la consommation dans un panel international implique que pour un pays donné, il existe une combinaison linéaire du *PIB* et de la consommation qui soit stationnaire.

²³⁰ Hurlin mignon idem page 38.

²³¹ Jorgbreitung et M. Hashemipour « unit root and cointegration in panels » Deutscher Bundesbank Germany page 30.

²³² Peter Pedroni « panel cointegration : Asymptotic and limit sample properties of pooled time series tests with an application to the PPP hypothesis » Cambridge University 2004 page 597

²³³ Christophe Urlin et Valérie Mignon « une synthèse des tests de cointégration sur données de panel »

On peut parallèlement imaginer qu'il existe une ou plusieurs relations de cointégration faisant intervenir les *PIB* ou les consommations de différents pays. On parle alors de relations de cointégration entre individus ou de relations de cointégration interindividuelles (cross unit cointégration).

Catégoriquement, si l'on veut tester (ou estimer) à la fois des relations de cointégration entre des variables différentes observées pour un même individu et des relations de cointégration faisant intervenir des variables observées sur plusieurs individus, la solution admet à considérer le vecteur empilé x_t des variables individuelles.

Pour résumer, supposons que l'on considère le même nombre de variables endogènes pour tous les individus, *i.e.* $K_i = K$. On dit qu'il existe au total r relations de cointégration intra *et/ou* inter individuelles si et seulement si :

$$\begin{matrix} \beta' & x_t \\ (r, Nk) & (Nk, 1) \end{matrix} = \begin{matrix} \mu_t \\ (r, 1) \end{matrix} \sim I(0).^{234}$$

IV. 1. 1 Hétérogénéité / homogénéité des relations de cointégration :

Une autre problématique spécifique à la cointégration en panel est celle de l'homogénéité ou de l'hétérogénéité des paramètres de la relation de long terme. Effectivement si β_i désigne la matrice des vecteurs de cointégration de l'individu i et α_i est la matrice des coefficients d'ajustement à ces relations de long terme pour l'individu i . Si $\beta_i = \beta \forall i = 1, \dots, N$. On parle alors de relations de cointégration homogènes, dans le cas opposé on parle de relations de cointégration hétérogènes.

Ensuite de cette discussion sur l'homogénéité et/ou l'hétérogénéité des paramètres des relations de long terme, se pose évidemment le problème de l'hétérogénéité des autres éléments de la représentation VECM. Comme nous l'avons mentionné, il est généralement utile dans un modèle de cointégration homogène de suggérer que les forces de rappel sont-elles hétérogènes, *i.e.* $\alpha_i \neq \alpha_j, \forall i \neq j$: Si tous les individus présentent la/ou les mêmes relations de long terme, la dynamique d'ajustement à ces relations communes peut être différente suivant les individus.²³⁵

IV. 1. 2 Dépendance inter-individuelle :

Tout comme dans le cas des tests de racine unitaire, les premiers tests de cointégration suggérés en panel (en particulier les tests de Pedroni, 1995, 1997 ; voir infra) excluaient à priori non seulement l'existence de relations de cointégration interindividuelles, mais plus généralement l'existence de toute dépendance entre les individus. Naturellement, cette hypothèse d'indépendance entre les individus est peu crédible dans de très nombreuses applications empiriques, et particulièrement dans le cas de panels de variables macroéconomiques.

En effet, il existe plusieurs façons pour spécifier l'existence de dépendances entre les individus. La première façon de spécifier ces dépendances était développé par Groen et Kleibergen (2003) devinent ainsi la possibilité d'une corrélation des résidus des relations de cointégration pour différents individus sans spécifier de forme particulière pour cette relation.

Il existe deux autres méthodes que nous n'allons pas développer.²³⁶

VI. 2 Hypothèse nulle d'absence de cointégration :

Les tests d'absence de cointégration sur données de panel proposés par Pedroni (1995, 1997, 1999, 2003), Kao(1999) et Bai et Ng (2001) sont des tests résiduels analogues aux tests proposés par Engle et Granger(1987) dans le cadre des séries temporelles. Larsson et al. (1998) et Green et

²³⁴Hurlin mignon « la synthèse des tests de cointégration sur données de panel » université d'orleans et paris X 2006 pages 5, 6

²³⁵ Christophe Hurlin et valerie mignon idem pages 246, 247

²³⁶ Christophe Hurlin et Valerie Mignon idem page 9

Kleibergen (1999) se sont quant à eux inspirés des travaux de Johansen (1991,1995) afin de suggérer des tests basés sur les rapports de vraisemblance.²³⁷

IV. 2. 1 Les tests de Pedroni :

Pedroni (1995, 1997) a suggéré divers tests visant à appréhender l'hypothèse nulle d'absence de cointégration à la fois pour des panels homogènes et hétérogènes. Les valeurs critiques qui se trouvent dans ses travaux étant relatives à la présence d'un seul régresseur dans les relations de cointégration, Pedroni (1999, 2003) suggère un élargissement au cas des relations de cointégration de plus de deux variables. Tout comme les tests IPS, les tests de Pedroni prennent en compte l'hétérogénéité par le biais de paramètres qui peuvent varier entre les individus. Une telle hétérogénéité peut se trouver à la fois au niveau des relations de cointégration, et au niveau de la dynamique de court terme. Par conséquent, sous l'hypothèse alternative, il existe une relation de cointégration pour chaque individu, et cette relation de cointégration n'est pas forcément la même pour chacun des individus du panel.

Un avantage indéniable est constitué par la prise en compte d'une telle hétérogénéité puisque pratiquement, il est rare que les vecteurs de cointégration soient pareils d'un individu à l'autre du panel. Dans ces conditions, exiger de manière erronée, une homogénéité des vecteurs de cointégration aurait pour conséquence un non rejet de l'hypothèse nulle d'absence de cointégration, alors même que les variables sont cointégrées.²³⁸

Nous présentons maintenant la façon, la construction et la mise en œuvre de tests pour tester l'hypothèse nulle de non cointégration en panel, la première étape est d'estimer en premier lieu la relation de long terme :

$$y_{it} = a_i + \delta_{it} + \beta_{1i}x_{1it} + \beta_{2i}x_{2it} + \dots + \beta_{mi}x_{mit} + \varepsilon_{it} \quad (4.9)$$

Où T désigne le nombre d'observations dans le temps. $T = 1, \dots, T.N$ désigne le nombre des individus dans le panel $i = 1, \dots, N$ et M désigne le nombre de variables de régression $m = 1, \dots, M$.²³⁹

D'un autre côté, pour mieux prendre en compte le degré d'hétérogénéité du panel, Pedroni (1997, 1999) suggère sept tests : quatre sont basés sur la dimension intra-individuelle et trois sur la dimension interindividuelle. Les deux catégories de tests reposent sur l'hypothèse nulle d'absence de cointégration $\rho_i = 1 \forall i$, ρ_i désignant le terme autorégressif des résidus estimés tels que :

$$\hat{\varepsilon}_{it} = \rho_i \hat{\varepsilon}_{it-1} + u_{it}. \quad ^{240}$$

La différenciation entre la dimension intra et interindividuelles s'effectue au niveau de la formulation de l'hypothèse alternative. Les tests basés sur la dimension intra-individuelle formulant l'hypothèse alternative $H1 : \rho_i = \rho < 1, \forall i$ pour chaque membre du panel, il existe un coefficient autorégressif unique et identique. On prétabli une valeur commune de ρ pour toutes les unités individuelles. Cette première catégorie comprend les statistiques dites « intra-dimension » ou « within ».

Dans la dimension interindividuelle, L'hypothèse alternative s'écrit $\rho_i < 1 \forall i$. On ne prétabli plus une valeur de ρ commune à toutes les unités, ce test permet de prendre en compte

²³⁷ Valerie mignon « test de racine unitaire et de cointégration sur données de panel : une revue de la littérature » université paris X mars 2004 page 13

²³⁸ Guirane Samba Ndiaye « institutions financières et développement économique » université d'auvergne, clement-Feraud1 juillet 2008 page 254.

²³⁹ Peter pedroni « critical values for cointegration tests in heterogenous panels with multiple regressions » Oxford Bulletin of economics of economics and statistics, Blackwell publishers 1999 page 656

²⁴⁰ Cyriacguillaumin idem page 11.

l'hétérogénéité entre les individus sous l'hypothèse alternative. Ces statistiques sont compris par cette seconde catégorie sont dites : «inter-dimensions» ou «between».²⁴¹

On s'apercevoir ainsi que le test basé sur la dimension between est plus général au sens où il autorise la présence d'hétérogénéité entre les individus sous l'hypothèse alternative.²⁴²

Ces quatre statistiques sont composées par les sept statistiques de Pedroni de quatre statistiques de type intra-dimension et de trois autres de type inter-dimensions.

Les quatre statistiques intra-dimension sont ce qu'on appelle test du ratio de la variance paramétrique (panel ν -statistique), le t -statistique de Philips-Perron (panel t -statistique (non paramétrique)), le ρ de Philips et Pedroni (panel ρ -statistique), la statistique de Dickey-Fuller Augmenté (panel t -statistique (paramétrique)).

Panel ν – Statistics:

$$T^2 N^{3/2} Z_{\hat{\nu}_{N,T}} \equiv T^2 N^{3/2} \left(\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{\mathbb{1}\mathbb{1}_i^2} \hat{e}_{i,t-1}^2 \right)^{-1}$$

Panel ρ – Statistics:

$$T^2 N^{3/2} Z_{\hat{\rho}_{N,T}} \equiv T^2 N^{3/2} \left(\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{\mathbb{1}\mathbb{1}_i^2} \hat{e}_{i,t-1}^2 \right)^{-1}$$

Panel t – Statistique (PP):

$$Z_{t_{N,T}} = \left(\bar{\sigma}_{N,T}^2 \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{\mathbb{1}\mathbb{1}_i^2} \hat{e}_{i,t-1}^2 \right)^{-1/2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{\mathbb{1}\mathbb{1}_i^2} (\hat{e}_{i,t-1} \Delta \hat{e}_{i,t} - \hat{\lambda}_i)$$

Les trois statistiques inter-dimensions sont la statistique ρ Philips-Perron (groupe ρ -statistique).

Panel t – Statistique (DFA):

$$Z_{t_{N,T}}^* \equiv \left(\bar{S}_{N,T}^{*2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{\mathbb{1}\mathbb{1}_i^2} \hat{e}_{i,t-1}^{*2} \right)^{-1/2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{\mathbb{1}\mathbb{1}_i^2} \hat{e}_{i,t-1}^* \Delta \hat{e}_{i,t}^*$$

Pour le modele between:

Group ρ – Statistics

$$TN^{-1/2} \tilde{Z}_{\hat{\rho}_{N,T-1}} \equiv TN^{-1/2} \sum_{i=1}^N \left(\sum_{t=1}^T \hat{e}_{i,t-1}^2 \right)^{-1} \sum_{t=1}^T (\hat{e}_{i,t-1} \Delta \hat{e}_{i,t} - \hat{\lambda}_i)$$

Groupe t – Statistique (non paramétrique)

$$N^{-1/2} \tilde{Z}_{t_{N,T-1}} \equiv N^{-1/2} \sum_{i=1}^N (\hat{\sigma}_i^2 \sum_{t=1}^T \hat{e}_{i,t-1}^2)^{-1/2} \sum_{t=1}^T (\hat{e}_{i,t-1} \Delta \hat{e}_{i,t} - \hat{\lambda}_i)$$

Groupe t – Statistique (paramétrique)

$$N^{-1/2} \tilde{Z}_{t_{N,T}}^* \equiv N^{-1/2} \sum_{i=1}^N \left(\sum_{t=1}^T \hat{S}_i^{*2} \hat{e}_{i,t-1}^{*2} \right)^{-1/2} \sum_{t=1}^T \hat{e}_{i,t-1}^* \Delta \hat{e}_{i,t}^*$$

²⁴¹ Vincent Fromentin idem page 292.

²⁴² Valerie Mignon idem page 14

Avec

$$\hat{\lambda}_i = \frac{1}{T} \sum_{s=1}^{K_i} \left(1 - \frac{S}{K_i + 1}\right) \sum_{t=s+1}^T \hat{\mu}_{i,t} \hat{\mu}_{i,t-s}$$

$$\hat{S}_i^2 \equiv \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{\mu}_{i,t}^2, \hat{\sigma}_i^2 = \hat{S}_i^2 + 2\hat{\lambda}_i$$

$$\hat{\sigma}_{N,T}^2 \equiv \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N \hat{L}_{11i} \hat{\sigma}_i^2$$

$$\hat{S}_i^{*2} \equiv \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{\mu}_{i,t}^{*2}$$

$$\hat{S}_{N,T}^{*2} \equiv \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N \hat{S}_i^{*2}$$

$$\hat{L}_{11i}^2 = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{\eta}_{i,t}^2 + \frac{2}{T} \sum_{s=1}^{K_i} \left(1 - \frac{S}{K_i + 1}\right) \sum_{t=s+1}^T \hat{\eta}_{i,t} \hat{\eta}_{i,t-s}$$

Où les résidus μ_{it} , $\mu_{i,t}^*$ et $\hat{\eta}_{it}$ proviennent des

$$\hat{e}_{i,t} = \hat{\gamma}_i \hat{e}_{i,t-1} + \hat{\mu}_{i,t}$$

$$\hat{\gamma}_i \hat{e}_{i,t-1} + \sum_{k=1}^{K_i} \hat{\gamma}_{i,k} \Delta \hat{e}_{i,t-k} + \hat{\mu}_{i,t}^*$$

$$\Delta y_{i,t} = \sum_{m=1}^M \hat{b}_{mi} \Delta x_{mi,t} + \hat{\eta}_{i,t}^{243}$$

On remarque que les statistiques «between» diffèrent de celles dites «within» puisqu'elle ne comporte pas de terme \hat{L}_{11i}^2 (la variance conditionnelle de long terme individuelle des résidus).²⁴⁴

Afin de mettre en œuvre les différents tests, Pedroni suggère une procédure en cinq étapes :

- ✓ Première étape : On estime la relation de long terme ρ et on récupère les résidus estimés \hat{e}_{it} .
- ✓ Deuxième étape : Pour chaque individu, on différencie la série y_{it} et on calcule les résidus issus de la régression suivante :

$$\Delta y_{it} = b_{1i} \Delta x_{1,it} + b_{2i} \Delta x_{2,it} + \dots + b_{Mi} \Delta x_{M,it} + \eta_{it}$$

- ✓ Troisième Etape : On calcule la variance de long terme \hat{L}_{11i}^2 de $\hat{\eta}_{it}$
- ✓ Quatrième Etape : En utilisant les résidus estimés \hat{e}_{it} on choisit la régression appropriée.

Pour les tests non paramétriques, à l'exception des tests de type t de Dickey-Fuller Augmenté, on estime la relation :

$$\hat{e}_{i,t} \equiv \hat{\rho}_i \hat{e}_{i,t-1} + \hat{u}_{i,t}$$

²⁴³ Vincent Fromentin idem pages 292,293

²⁴⁴ Vincent Fromentin idem page 292.

On calcule la variance de long terme de $\hat{u}_{i,t}$ notée $\hat{\sigma}_i^2$. On en déduit alors $\hat{\lambda}_i = \frac{1}{2}(\hat{\sigma}_i^2 - \hat{S}_i^2)$ ou \hat{S}_i^2 désigne la variance de $\hat{u}_{i,t}$. Pour les tests paramétriques, on estime la relation :

$$\hat{\epsilon}_{i,t} \equiv \hat{\rho}_i \hat{\epsilon}_{i,t-1} + \sum_{k=1}^{Ki} \hat{\rho}_{ik} \Delta \hat{\epsilon}_{i,t-k} + \hat{u}_{it}^*$$

On calcule la variance de \hat{u}_{it}^* , notée \hat{S}_i^{*2}

- ✓ Cinquième Etape : A l'aide des calculs réalisés dans les étapes précédentes, il est possible de construire l'une des sept statistiques présentées.

Pedroni (1995, 1997) a montré que, sous des normalisations appropriées basées sur des fonctions de mouvement browniens, chacune des sept statistiques suit une loi normale centrée réduite pour T suffisamment importants :

$$\frac{x_{N,T} - \sqrt{N}}{\sqrt{v}} \rightarrow N(0,1) \text{ ou } x_{N,T}$$

Désigne l'une des sept statistiques normalisées.

Pedroni (1999) a tabulé les valeurs des moments μ_{etv} nécessaires à la définition de telles normalisations en fonction du nombre de régresseurs et de la présence ou non d'une constante et d'un trend dans les relations de long terme.

A partir de ces valeurs, il est alors possible de calculer les valeurs critiques relatives à chacun des sept tests.

Les simulations effectuées par Pedroni (1997) montrent que, pour des valeurs de T supérieures à 100, les sept statistiques donnent des résultats comparables en termes de puissance.

Le test le plus puissant pour des échantillons de petite taille ($T < 20$) est le test basé sur la dimension inter (between) au test ADF (group t – statistique).

VI. 3 L'estimation de la relation de long terme :

L'affirmation de l'existence d'une relation de cointégration entre les séries doit être suivie, par l'estimation de la relation de long terme.²⁴⁵

Pour considérer des systèmes de variables cointégrées, tout comme pour faire des tests sur les vecteurs de cointégration, il est en conséquence nécessaire d'utiliser une méthode d'estimation efficace.

Plusieurs techniques existent, comme l'exemple de la méthode FM-OLS (Fully Modified Ordinary Least Squares) initialement proposée par Phillips et Hansen (1990) aussi la méthode des moindres carrés dynamiques (Dynamic Ordinary Least Squares, DOLS) de Saikkonen (1991) et Stock et Watson (1993).

Pour le cas des données de Kao, panel et Chiang (2000) ont montré que ces deux techniques conduisaient à des estimateurs asymptotiquement distribués selon une loi normale de moyenne nulle.

Des résultats similaires sont obtenus par Phillips et Moon (1999) et Pedroni (1996) pour la méthode FM-OLS.²⁴⁶

²⁴⁵ Hurlin mignon « la synthèse des tests de cointégration sur données de panel » université d'orleans et paris X

2006 pages 26

²⁴⁶ Hurlin et Mignon idem page 26

Nous choisissons de développer que la méthode DOLS. Si on prend le modèle à effet fixes suivant :

$$y_{it} = a_i + x'_{it}\beta + \mu_{it} \quad (4.8)$$

Où $i = 1, \dots, N$ et $t = 1, \dots, T$

VI. Avec y_{it} une matrice de dimension $(1,1)$ et composé de k vecteurs, a_i sont les effets fixes, μ_{it} est un terme stationnaire. $x_{it} = x_{i,t-1} + \varepsilon_{it}$ où x est un processus intégré d'ordre 1.

En reprenant la logique de Saikkonen (1991), Le processus μ_{it} peut être représenté par : $\mu_{it} = \sum_{j=-\infty}^{\infty} c_{ij}\varepsilon_{it+j} + v_{i,t}$ (4.9) pour tout i

On en déduit que : $\sum_{j=-\infty}^{\infty} \|c_{ij}\| < \infty$. $v_{i,t}$ est un processus stationnaire de moyenne nulle.

Il n'y a pas de corrélations avec les valeurs avancées et retardées et entre ε_{it} et $v_{i,t}$.

En substituant (4.9) dans (4.8), on obtient : $y_{it} = a_i + x'_{it}\beta + \sum_{j=-\infty}^{\infty} c_{ij}\varepsilon_{it+j} + v_{i,t}$

La méthode des moindres carrés dynamiques consiste à inclure dans la relation de cointégration des valeurs avancées et retardées de Δx_{it} pour éliminer la corrélation entre les variables explicatives et le terme d'erreur. On peut alors en déduire l'équation de référence :

$$y_{it} = a_i + x'_{it} + \sum_{j=-\infty}^{\infty} c_{ij}\Delta x_{it+j} + v_{it} \quad (4.9)$$

Maintenant on va présenter brièvement le modèle à correction d'erreur.

Pour cela, on considère une représentation VECM dans un système complet, une telle représentation autorise l'existence de dynamiques inter-individuelles: le taux de croissance d'une variable endogène observée pour un individu donné peut dépendre des autres variables endogènes du système observées pour ce même individu (que ce soit au travers des relations de cointégration et/ou de la dynamique de court terme) mais aussi de l'ensemble des variables endogènes observées pour les autres individus du panel.

Clairement, soit $x_{it} = (x_{it}^{(1)}, \dots, x_{it}^{(k)})'$ un vecteur de k variables $I(1)$ observées pour un individu $i = 1, \dots, N$ à la période $t = 1, \dots, T$. On note $x_t = (x'_{1t}, \dots, x'_{Nt})'$ le vecteur empilé de dimension $(Nk, 1)$ des variables individuelles. Cette représentation VECM dans un système complet (full system VECM) est appelé le système suivant (Groen et Kleibergen, 2003) :

$$\Delta x_t = \delta + \theta + \Pi x_{t-1} + \Gamma W_t + \varepsilon_t$$

$$(Nk, 1) = (Nk, 1) + (Nk, 1) + (Nk, Nk)(Nk, 1) + (Nk, Nkp)(Nkp, 1) + (Nk, 1)$$

Commentons un peu les différents termes de ce modèle. Les deux premiers éléments correspondent aux composantes déterministes de la représentation VECM.

Le vecteur $\delta = (\delta'_1, \dots, \delta'_N)'$ regroupe les Nk effets individuels (supposés fixes) associés à chaque individu et à chaque variable endogène.

D'une autre façon, les coefficients des tendances déterministes regroupées par le vecteur θ que l'on présumé a priori différents pour tout variable considérée et pour tout individu. Le troisième terme du modèle (1) correspond bien certainement au terme définissant à la fois les forces de rappel et les éventuelles relations de cointégration sur lesquelles nous reviendrons en détail. On présume que la matrice Π peut être partitionnée de la façon suivante :

$$\Pi = \begin{pmatrix} \Pi_{11} & \dots & \Pi_{1N} \\ \dots & \Pi_{ij} & \dots \\ \Pi_{N1} & \dots & \Pi_{NN} \end{pmatrix} \text{ Où les matrices } \Pi_{ij} \text{ sont de dimension } (k, k).$$

L'ensemble des éléments liés à la dynamique d'ajustement de court terme est regroupé par le quatrième terme TW_t de la relation (1). Pour abrégé, on présume que pour purger toute l'auto-

corrélation des résidus du modèle (1), il est indispensable d'introduire le même nombre p d'éléments différenciés retardés pour tous les individus du panel. Ainsi, on pose :

$$W_t = (\Delta x'_{1,t-1}, \dots, \Delta x'_{1,t-p}, \dots, \Delta x'_{N,t-1}, \dots, \Delta x'_{N,t-p})$$

$$\Gamma = \begin{pmatrix} \Gamma_{11} & \dots & \Gamma_{1N} \\ \dots & \Gamma_{ij} & \dots \\ \Gamma_{N1} & \dots & \Gamma_{NN} \end{pmatrix}$$

Où les matrices Γ_{ij} sont de dimension (k, kp) et où les vecteurs individuels $\Delta x_{i,t-p}$ de dimension $(k, 1)$ contiennent les différences premières retardées des k variables endogènes pour l'individu i . Enfin, le vecteur $\varepsilon_t = (\varepsilon'_{1t}, \dots, \varepsilon'_{Nt})'$ comporte les N vecteurs de résidus individuels $\varepsilon_{it} = (\varepsilon_{it}^{(1)}, \dots, \varepsilon_{it}^{(k)})'$ associés aux k résidus de chaque VECM individuel.²⁴⁷

VI. 4 Panel Granger Causalité :

La Cointégration en données panel est une méthode qui permet de vérifier l'existence ou l'absence de la relation à long terme entre les variables. Elle ne précise pas le sens de la causalité. Lorsqu'une relation de Co-intégration existe entre les variables, elle doit être modélisée dans un modèle à correction d'erreur dynamique Engle et Granger (1987).

Le but principal de chaque étude est d'établir des liens de causalité entre la variable endogène et l'ensemble des variables exogènes, les tests de causalité de Granger seront basés sur les régressions suivantes :

$$(1 - L) \begin{bmatrix} ENR_{it} \\ GDP_{it} \\ HTE_{it} \\ CO2_{it} \\ POP_{it} \\ EPI_{it} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{i ENR} \\ a_{i GDP} \\ a_{i HTE} \\ a_{i CO2} \\ a_{i POP} \\ a_{i EPI} \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^p (1 - L) \begin{bmatrix} \vartheta_{11ip} & \vartheta_{12ip} \\ \vartheta_{21ip} & \vartheta_{22ip} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ENR_{it-p} \\ GDP_{it-p} \\ HTE_{it-p} \\ CO2_{it-p} \\ POP_{it-p} \\ EPI_{it-p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_{ENR_i} \\ \beta_{GDP_i} \\ \beta_{HTE_i} \\ \beta_{CO2_i} \\ \beta_{POP_i} \\ \beta_{EPI_i} \end{bmatrix} ECT_{t-1} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \end{bmatrix}$$

p représente le Lag (la longueur de retard), $1-L$ est le premier opérateur de différence et ECT_{t-1} signifie le terme décalé de correction d'erreur provenant de la relation de la Cointégration. Un modèle de correction d'erreur permet de distinguer entre la relation à long terme et à court terme dans la causalité de Granger. La dynamique de court terme sont capturés par les différents coefficients des termes décalés. La signification statistique des coefficients de chaque variable explicative est utilisée pour tester la causalité de Granger à long terme tandis que la signification des coefficients de ECT_{t-1} donne des informations sur la causalité de court terme. Il est également souhaitable de vérifier si les deux sources de causalité sont conjointement significatives.

V. Conclusion :

L'appel aux tests de Cointégration sur données de panel, établi sur une double dimension d'analyse (individuelle et temporelle) comparé à l'étude sur données temporelles, autorisant ainsi de mener une analyse prédominante pour étudier les relations macroéconomique.

Les tests de racine unitaire en panel sont varié à chaque'un et présente une importance comparé à d'autre. Nous avons mis en réalité une double évolution de ces tests depuis les travaux fondateurs de Levin et Lin (1992) : un changement vers des modélisations hétérogènes avec les travaux de Im, Pesaran et Shin (1997) et de Maddala et Wu (1999) et, dernièrement, une évolution vers une considération des dépendances inter- individuelles. Cette dernière introduit une division entre deux

²⁴⁷

Hurlin et Mignon idem pages 4, 5

générations de tests. La seconde génération est aujourd'hui en pleine construction étant donné la variété des formes possibles de corrélations inter-individuelles.

Près des deux générations de tests présentés ici, il convient de noter que depuis le début de la décennie actuelle se développe une troisième catégorie de tests : les tests de racine unitaire en panel incluant la possibilité de ruptures structurelles. Depuis les travaux pionniers de Perron (1989), il est effectivement bien réputé que le fait de ne pas prendre en considération des ruptures structurelles — lorsqu'elles existent — peut générer un biais grâce du non rejet de l'hypothèse de racine unitaire conduisant à une fuite de puissance significative de ces tests. Un même problème dans le cas des tests en panel. Effectivement, les tests de racine unitaire en panel, reposant sur une composition linéaire des statistiques de tests sur séries individuelles, souffrent ainsi de la même difficulté de biais et de diminution de puissance si un changement structurel est d'actualité.

Cadre Pratique

I. Introduction :

Le cadre théorique qui a été présenté dans les chapitres précédant, nous a servi essentiellement à présenter un cadre d'analyse et à générer des relations théoriques qui nous ont été extrêmement utile pour élaborer notre propre modèle. En effet, le cadre théorique qui est le fondement de toute étude empirique, apporte un contenu de légitimité à notre problématique, comme elle sert à clarifier les concepts et permet de définir chaque notions. "Une approche théorique est une structure potentielle d'explication qui comporte un certain nombre d'éléments. Elle comprend d'abord des postulats qui traduisent la vision des choses sur laquelle elle s'appuie ainsi que des concepts qui permettent de cerner et de classer les phénomènes à étudier. Elle précise, par des propositions, l'ensemble des relations postulées entre les différents concepts et sous-concepts de l'approche et pose quelques hypothèses sur des relations entre concepts qui, si elles peuvent être vérifiées et confirmées, pourront être transformées en lois générales ou en généralisations théoriques. Ce n'est que lorsqu'on aboutit à de telles lois générales que l'on peut parler de théories." (Mace, 1992)²⁴⁸.

C'est pourquoi, notre partie empirique est relative à l'aspect théorique et s'intéresse d'abord aux généralités sur la spécification du modèle utilisé et ce concernant les différentes variables employées, la période de l'étude choisie ainsi que les différents panels de notre étude. Il s'agira ensuite dans cette partie de suivre les étapes de la méthode de la Cointégration en Données de Panel, en commençant par les tests des racines unitaires en finissons par le test de Panel Granger Causalité, et ceci pour tous les panels. L'analyse économique entreprise dans cette étape, sera de mettre l'accent sur les différentes interprétations des résultats et aussi de faire part des différentes recommandations économiques possibles et plausibles pour chaque panel de notre étude.

II. Présentation du modèle :

En général, les études énergétiques Top-Down prennent en compte dans leurs analyse les aspects suivants : Economique, Politique, Technologique - sur la consommation totale d'énergie, ainsi prennent en compte des spillovers. La modélisation de la demande totale d'énergie peut être appliquée soit à l'ensemble de l'économie, soit au niveau sectoriel, comme le secteur résidentiel, commercial et industriel, pour ensuite obtenir l'ensemble de la consommation par addition. C'est cette première approche qui est privilégiée. Notre modélisation procède sur deux niveaux : au premier niveau, La consommation totale d'énergie primaire mesurée en Quadrillion Btu est

²⁴⁸ Gordon Mace, Professeur au Département de sciences politiques de l'Université Laval, Québec (en 1981).

exprimée comme variable endogène. Au second niveau, les autres variables employées représentant les différents aspects tels que : le prix d'énergie, l'exportation de la haute technologie, PIB, l'émission de CO₂, etc... sont présentés en qualité de variables exogènes. En effet, l'usage de l'énergie repose sur l'utilisation des différents équipements et les réponses des consommateurs à des variations de prix ou de revenus peuvent s'échelonner sur plusieurs périodes à cause des coûts d'ajustement, etc... De façon plus formelle, le modèle intégré de la demande totale d'énergie primaire peut être exprimé comme suit :

$$\text{Log (ENR}_{it}) = C(1)* \text{Log (GDP}_{it}) + C(2)* \text{Log (HTE}_{it}) + C(3)* \text{Log (CO2}_{it}) + C(4)* \text{Log (POP}_{it}) + C(5)* \text{Log (EPI}_{it})$$

Le modèle de notre essai de validation empirique est tiré de notre étude de la revue de la littérature concernant notre sujet. L'hypothèse est faite que la consommation totale d'énergie primaire engagée par les gouvernements est une fonction du PIB, l'exportation de la haute technologie, Émissions totales de dioxyde de carbone (CO₂), la population et l'Indice des prix de l'énergie. Le modèle est présenté sous forme de relation linéaire entre les différentes variables exprimées en Log. Ainsi, nous définissons :

ENR_{it} : comme la consommation totale d'énergie primaire le pays (i) de l'année t ;

GDP_{it} : Comme le PIB (Produit Intérieur Brut) pour le pays (i) de l'année t ;

HTE_{it} : Comme l'exportation de la haute technologie pour le pays (i) de l'année t ;

CO_{2it} : Comme émissions totales de dioxyde de carbone (CO₂) provenant de la consommation d'énergie pour le pays (i) de l'année t ;

POP_{it} : Comme la population pour le pays (i) de l'année t ;

EPI_{it} : comme Indice des prix de l'énergie pour le pays (i) de l'année t ;

III. Données et méthodologie :

III.1 Analyse des données :

L'ensemble de données comprend des observations pour 92 pays sur la période 1992-2012 réparties en 6 Panel, obtenu à partir de la base de données de U.S. Energy Information Administration (eia stat) 2015, UN data 2015 (A world of information), Statistiques-Mondiales 2015, World Bank Data 2015, Encyclopedia of the Nations 2015, Knoema Stat 2015. Les données de la consommation totale d'énergie primaire définie en Quadrillion Btu²⁴⁹, PIB - l'exportation de la haute technologie - Indice des prix de l'énergie sont définies en dollars (États-Unis) à prix courants et taux de change courants respectivement en : milliards – millions – Indice de prix en dollars, émissions totales de dioxyde de carbone (CO₂) définie en millions de tonnes métriques et la population est exprimé en millions.

Notre base de données comprend 92 pays. Nous avons classé les pays en six panels en fonction de la région et les continents pour examiner si il y'a des différences structurelles. Groupes de pays sont énumérés comme suit :

- Asie et les pays océaniques : (Australie, Chine, Indonésie, Japon, Malaisie, Nouvelle-Zélande, Philippines, Hong Kong, Singapour, Thaïlande),

²⁴⁹ British thermal unit(s).

- les pays du Moyen-Orient (Arabie saoudite, Bahreïn, Émirats arabes unis, Jordanie, Koweït, Oman, Qatar),
- les pays d'Amérique : (Argentine, Barbade, Belize, Bolivie, Brésil, Canada, Chili, Colombie, Costa Rica, Dominique, Équateur, États-Unis d'Amérique, Guatemala, Honduras, Jamaïque, Mexique, Nicaragua, Paraguay, Pérou, Sainte-Lucie, Saint-Kitts-et-Nevis, Saint-Vincent-et-les-Grenadines, Salvador, Suriname, Trinité-et-Tobago, Uruguay, Venezuela),
- les pays d'Europe : (Allemagne, Autriche, Chypre, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Malte, Norvège, Pays-Bas, Portugal, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, Suède, Suisse, Turquie),
- les pays d'Afrique : (Afrique du Sud, Algérie, Égypte, Gabon, Kenya, Madagascar, Malawi, Maroc, Maurice, Ouganda, République centrafricaine, Togo, Tunisie, Zambie, Zimbabwe),
- les pays Eurasie : (Arménie, Azerbaïdjan, Biélorussie, Estonie, Fédération de Russie, Géorgie, Kazakhstan, Kirghizstan, Lettonie, Lituanie, République de Moldavie, Ukraine).

III.2 Méthodologie :

Dans l'analyse de la relation dans le long terme en données de panel, le choix de la technique appropriée est une question théorique et empirique très importante. La cointégration est la technique la plus appropriée pour étudier la relation à long terme entre nos variables. La stratégie empirique utilisée dans le présent document peut être divisée en quatre étapes principales. Tout d'abord, les tests des racines unitaires en panel (« IPS », « LLC », etc..) sont entrepris. Deuxièmement, si elles sont intégrées du même ordre, les tests Co-intégration sont utilisés. Troisièmement, si les séries sont cointégrées, le vecteur de co-intégration dans le long terme est estimé en utilisant les méthodes (FMOLS) et (DOLS). Enfin, le test de causalité de Granger en panel sera entrepris.

IV. Résultat Empirique :

- ❖ **Remarque** : Les tableaux présentant les résultats *des tests des racines unitaires en données de panel* et les tests de *Co-intégration en données de panel* de tous les panels (continents) sont relatifs au modèle avec trend et constante, les deux autres modèles (avec constante, ou ni constante ni tendance) sont basés sur les mêmes testes que précédemment, les résultats atteints étaient analogues à celles du modèle avec trend et constante.

IV.1 Afrique :

IV. 1. 1 Tests de racine unitaire :

Pour étudier la stationnarité des séries utilisées, nous avons eu recours aux tests de racine unitaire sur données de panel (Levin Lin et Chu, IM Pesaran et Shin, Breitung, Maddala et Wu ainsi que le test de Hadri et le test de Heteroscedastic consistent. Les résultats de ces tests sont présentés dans les tableaux suivant :

Tableau 5.1 : Tests de racine unitaire pour les variables des pays de la Zone Africaine.

Null : Unit Root		Null : NO Unit Root						
Methods	Levin, Lin and Chu (LLC)	Breitung t-stat	Im, Pesaran And Shin (IPS) W-stat	MW – ADF Fisher Chi-square	MW – PP Fisher Chi-square	Hadri Z-stat	Heteroscedastic consistent Z-stat	
Variables								
Level	Log ENR	-4.19600 (0.0000)*	0.04948 (0.5197)	2.72130 (0.0033)*	47.9325 (0.0109)	47.4047 (0.0124)	6.03779 (0.0000)*	6.35857 (0.0000)*
	Log GDP	-2.18584 (0.0144)	-0.88069 (0.1892)	-1.12282 (0.1308)	34.7817 (0.2507)	27.6140 (0.5909)	7.56927 (0.0000)*	7.08884 (0.0000)*
	Log HTE	-1.51143 (0.0653)	-1.79185 (0.0366)	-2.42524 (0.0076)*	52.5245 (0.0067)*	57.7981 (0.0017)*	5.84184 (0.0000)*	6.09648 (0.0000)*
	Log CO2	0.05390 (0.5215)	2.88788 (0.9981)	-1.89951 (0.0287)	53.4131 (0.0053)*	37.9174 (0.1519)	6.53863 (0.0000)*	5.01527 (0.0000)*
	Log POP	2.37201 (0.9912)	NA	5.22539 (1.0000)	22.4339 (0.8378)	75.1953 (0.0000)*	8.13393 (0.0000)*	8.24043 (0.0000)*
	Log EPI	-0.19494 (0.4227)	NA	4.65423 (1.0000)	3.52963 (1.0000)	1.22697 (1.0000)	5.13568 (0.0000)*	5.13568 (0.0000)*
First difference	Δ Log ENR	-14.2140 (0.0000)*	-4.93788 (0.0000)*	-12.7147 (0.0000)*	166.434 (0.0000)*	230.560 (0.0000)*	0.24659 (0.4026)	3.31153 (0.0005)*
	Δ Log GDP	-7.98504 (0.0000)*	-5.49331 (0.0000)*	-7.96834 (0.0000)*	111.197 (0.0000)*	149.450 (0.0000)*	2.48432 (0.0065)	2.47172 (0.0067)*
	Δ Log HTE	-14.5695 (0.0000)*	-9.80467 (0.0000)*	-14.4710 (0.0000)*	189.234 (0.0000)*	219.577 (0.0000)*	0.71629 (0.2369)	1.01511 (0.1550)
	Δ Log CO2	-5.18461 (0.0000)*	-0.57220 (0.2836)	-8.74632 (0.0000)*	120.245 (0.0000)*	148.425 (0.0000)*	0.12402 (0.4506)	2.48388 (0.0065)*
	Δ Log POP	-4.72959 (0.0000)*	NA	-4.68133 (0.0000)*	112.122 (1.0000)	63.0626 (0.0004)*	8.61029 (0.0000)*	8.52983 (0.0000)*
	Δ Log EPI	-10.5861 (0.0000)*	-11.5223 (0.0000)*	-9.10128 (0.0000)*	128.366 (0.0000)*	310.462 (0.0000)*	1.92697 (0.0270)	1.92697 (0.0270)

* Indique la signification statistique à 1 %. Δ est l'opérateur de différence première.

Le tableau résume les résultats des tests de (LLC), (IPS), (BRT), (MW), le test de Hadri ainsi que le test de *Heteroscedastic consistent*, appliqués sur les différentes variables du modèle. Les tests de racine unitaire montrent que l'ensemble des séries statistiques au niveau sont affecté d'une racine unitaire (voir tableau 5.1). La sélection des nombres de retard pour chaque individu est calculé à partir Schwarz info criterion. En passant aux différences premières, on constate que toutes les séries, sont stationnaires. On en conclut qu'elles sont intégrées d'ordre un $\{I(1)\}$, que ce soit pour le modèle avec trend et constante, ou avec constante, ou ni constante ni tendance.

IV. 1. 2 Co-intégration :

Après la vérification des propriétés de non-stationnarité pour toutes les variables du panel nous amène à étudier l'existence d'une relation à long terme entre ces variables. C'est-à-dire l'étude de l'existence d'une relation de cointégration, et ce en appliquant les tests de cointégration de Pedroni qui sont basées sur des tests de racine unitaire sur des résidus estimés. Les résultats sont comme suit :

Tableau 5 2: Tests de Co-intégration en panel pour les pays de la Zone Africaine.

Methods	Within dimension (panel statistics)			Between dimension (individuals statistics)		
	Test	Statistique	Prob	Test	Statistique	Prob
LOGPIB LOGELEC						
Pedroni (1999)	Panel v-statistic	-1.793850	0.9636	Group ρ-statistic	2.563654	0.9948
	Panel rho-statistic	1.235816	0.8917	Group pp-statistic	-12.94756*	0.0000
	Panel PP-statistic	-10.28767*	0.0000	Group ADF-statistic	-9.263762*	0.0000
	Panel ADF-statistic	-9.125422*	0.0000			
Pedroni (2004) (Weighted statistic)	Panel v-statistic	-3.060396	0.9989			
	Panel rho-statistic	0.854238	0.8035			
	Panel PP-statistic	-10.09604*	0.0000			
	Panel ADF-statistic	-9.322113*	0.0000			

* Indique la signification statistique à 5 %.

Le tableau (5.2) résume les résultats des sept (07) statistiques de Co-intégration de Pedroni. Elles ont été établies par Eviews 8.0 qui possède un programme approprié permettant de traiter la Co-intégration sur données de panels hétérogènes. La Co-intégration des variables dépend de la valeur de la probabilité associée à chaque statistique. A partir des résultats des tests de cointégration de Pedroni nous pouvons remarquer que sur l'ensemble des sept statistiques, quatre présentent des valeurs de probabilité inférieures à 5 %. Il s'agit principalement de (Panel pp-Statistic) et (Panel ADF-Statistic) pour ce qui est des tests intra-individuelles « Pedroni (1999), Pedroni (2004) (Weighted statistic) », et on a aussi (Group PP-Statistic) et (Group ADF-Statistic) pour les tests inter-individuelles « Pedroni (1999) ». De ce fait, l'ensemble de ces tests montre l'existence d'une relation de cointégration. Dans ce qui suit, nous allons estimer la relation à long terme de la cointégration en utilisant les méthodes les plus adéquates pour ce type d'approche.

IV. 1. 3 Estimation de la relation à long terme avec les méthodes FMOLS et DOLS :

Ayant prouvé que les variables sont stationnaires en différences premières et l'existence d'une co-intégration à long terme dans les étapes précédentes. Dans cette étape, nous appliquons les tests de l'estimation de ces relations à long terme en panel en utilisant les méthodes FMOLS et DOLS, des estimateurs proposés par Pedroni (2001) et Mark et Sul (2003). Les estimateurs FMOLS et DOLS donnent en général des résultats différents. Il est important de souligner que la méthode DOLS présente l'inconvénient de réduire le nombre de degrés de liberté en incluant un maillage dans les variables étudiées, ce qui conduit à des estimations moins fiables. Comme la taille de notre échantillon est importante surtout dans la dimension temporelle, l'estimateur DOLS peut donner des résultats acceptables. Dans notre analyse, ce qu'il nous intéresse est le résultat offert par l'estimateur FMOLS dimension Within (Pooled) mais ça n'empêche pas que nous nous penchons aussi sur l'analyse des autres résultats fournis par l'estimateur DOLS dans les deux dimensions.

Nous présentons maintenant l'estimation de l'impact à long terme de toutes les variables explicatives sur la consommation globale de l'énergie primaire dans le continent Africain. Les résultats de l'estimateur FMOLS en panel ne figurent pas semblables aux estimateurs DOLS dans tous les cas, tous les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 5 3 : Estimation FMOLS et DOLS de la relation à long terme pour le Panel Africain

Dependent Variable		FMOLS					DOLS				
<i>ENR</i>											
Variables	<i>GDP</i>	<i>HTE</i>	<i>CO2</i>	<i>POP</i>	<i>EPI</i>	<i>GDP</i>	<i>HTE</i>	<i>CO2</i>	<i>POP</i>	<i>EPI</i>	
Within Results	[2.91903	[21.4928	[5.65675	[0.35488	[-5.5339	[0.07356	[0.02358	[-0.03544	[-0.79755	[0.05947	
	116.3310	526.292	232.6875	387.0903	-1614.24	1.276683	9.51236	-0.46433	-4.48885	3.67281	
	(0.0000)*	(0.000)*	(0.0000)*	(0.0000)*	(0.000)*	(0.2211)	(0.000)*	(0.6491)	(0.0004)*	(0.002)*	
Between Results	[0.021207	[-0.0061	[0.62367	[0.75595	[-0.0133	[0.05146	[-0.0180	[0.53094	[1.19523	[-0.0573	
	1.059632	-1.86761	19.47798	6.876732	-0.80989	0.893915	-2.07938	5.438716	2.871328	-0.97149	
	(0.2902)	(0.0629)	(0.0000)*	(0.0000)*	(0.4187)	(0.3721)	(0.0385)*	(0.0000)*	(0.0044)*	(0.3321)	

* Indique la signification statistique à 5 %.

Le tableau ci-dessus établit l'élasticité à long terme entre les différentes variables du modèle à partir des estimateurs FMOLS et DOLS pour le panel africain (les coefficients peuvent être interprétés comme l'élasticité, parce que les variables sont exprimées en logarithmes naturels). Il est intéressant de noter que les résultats dans la dimension within (Intra-individuelle) ne diffèrent pas des résultats de la dimension between (Inter-individuelle).

La modélisation de la dimension Within nous permet de prendre en compte de l'hétérogénéité des individus dans leur dimension temporelle et / ou individuelle. L'estimateur within élimine les effets spécifiques individuels (différences persistantes entre les pays sur la période) ; elle favorise l'information temporelle.

Tous les coefficients estimés de la dimension Within (Pooled) indiquent que GDP, HTE, CO2, POP sont corrélées positivement sauf le coefficient de EPI qui est corrélé négativement et de façon significative à la consommation d'énergie au seuil de 5 %. Globalement, les résultats de la régression des variables explicatives GDP, HTE, CO2, POP et EPI sur ENR dans la dimension Within en utilisant l'estimateur des données de panel FMOLS dévoilent une forte relation à long terme entre les variables exogènes de notre modèle et la variable endogène ENR, et montrent aussi l'importance de toutes ces variables pour expliquer la consommation énergétique dans ces pays. Contrairement à l'utilisation de l'estimateur DOLS dans cette même dimension nous acceptons au seuil de 5 % la significativité des coefficients que de trois variables HTE, POP et EPI.

Dans la dimension Between de la relation à long-terme, nous constatons que les deux estimateurs FMOLS et DOLS ont deux coefficients communs (CO2 et POP) qui sont

significativement différents de 0, mais l'estimateur DOLS indique la significativité d'une autre variable qui est HTE.

Les résultats obtenus pour la Zone Africaine indiquent qu'une augmentation de 1% de quelconque des variables GDP, HTE, CO2, POP et EPI augmente la consommation ENR, respectivement de 2,91 % ; 21,49 % ; 5,65 % ; 0,35 % ; -5,53 %, pour tous les individus. Il faut souligner que l'Afrique a des résultats négatifs et significatifs pour quelques variables tels que : EPI dans la dimension Within, en revanche pour le reste des variables, les coefficients sont positifs et statistiquement significative au seuil de significativité de 1% et 5% que ce soit pour la méthode FMOLS ou DOLS. Ces résultats mettent en avant la participation des différentes variables à la consommation globale d'énergie primaire, il faut préciser que ce même panel a des tests significatifs et parfois différents en passant de la méthode FMOLS à la méthode DOLS, il faut prendre ses résultats avec la plus grande prudence.

IV. 1. 4 Panel Granger causalité :

L'existence de la Co-intégration implique l'existence de causalité au moins dans une direction. Ayant constaté qu'il existe une relation à long terme entre GDP, HTE, CO2, POP, EPI et ENR. La prochaine étape a pour but de tester les liens de causalité entre ces variables en utilisant le test de panel Granger Causalité. Une analyse de causalité de Granger est effectuée afin de déterminer si il y'a une puissance de prévisibilité potentielle d'un indicateur à l'autre. Les résultats du test de Panel Granger Causalité pour tous les individus sont résumés dans le tableau suivant. Il convient de noter que le retard optimal a été établi en utilisant les critères d'information d'Akaike et Schwarz.

Tableau 5 4 : Test de Panel Granger Causalité pour Panel Africain

Lags = 7	ENR	GDP	HTE	CO2	POP	EPI
ENR		0.29659 (0.9546)	0.39401 (0.9051)	6.76859* (4.E-07)	0.52655 (0.8138)	0.18807 (0.9876)
GDP	1.29887 (0.2529)		1.24032 (0.2825)	1.96091 (0.0622)	0.58130 (0.7707)	1.95296 (0.0634)
HTE	2.01667* (0.0550)	0.42334 (0.8870)		0.83954 (0.5557)	0.57140 (0.7786)	1.66059 (0.1208)
CO2	3.17628* (0.0034)	1.09204 (0.3698)	2.41905* (0.0214)		0.54546 (0.7992)	0.04392 (0.9999)
POP	0.80932 (0.5805)	1.33296 (0.2365)	1.34041 (0.2331)	0.54690 (0.7981)		0.49217 (0.8396)
EPI	0.95044 (0.4690)	3.70315* (0.0009)	1.19691 (0.3062)	1.61734 (0.1324)	0.43964 (0.8763)	

* Indique la signification statistique à 5%.

Notre étude, a pour but d'illustrer les relations interactives entre l'ensemble des variables GDP, HTE, CO2, POP, EPI et entre ENR, mais cela ne fait pas obstacle à l'étude de toutes les relations possibles. A partir des résultats des tests de Panel Granger Causalité présentés dans le tableau ci-dessus on peut en déduire le sens des relations causales qui peuvent figurées entre les variables au seuil critique (probabilité d'erreur) de 5%.

Les résultats indiquent qu'une causalité unidirectionnelle existe de HTE vers ENR, il y'a aussi une causalité bidirectionnel à signaler entre le CO2 et ENR. La conclusion qui peut être tirée de ces

tests est que la causalité entre ENR et CO2 est plus forte par rapport à la relation de cause à effet allant de HTE à ENR en Afrique. En ce qui concerne les autres relations de causalité entre toutes les variables, les résultats montrent une relation de causalité unidirectionnelle d'EPI au GDP et de CO2 vers HTE.

IV.2 L'Amérique :

IV. 2. 1 Tests de racine unitaire :

Pour étudier la stationnarité des séries utilisées, nous avons eu recours aux tests de racine unitaire sur données de panel (Levin Lin et Chu, IM Pesaran et Shin, Breitung, Maddala et Wu ainsi que le test de Hadri et le test de Heteroscedastic consistent). Les résultats de ces tests sont présentés dans les tableaux suivant :

Tableau 5 5 : Tests de racine unitaire pour les variables des pays de la Zone Américaine.

Methods	Levin, Lin and Chu (LLC)	Breitung t-stat	Im, Pesaran And Shin (IPS) W-stat	MW-ADF Fisher Chi-square	MW-PP Fisher Chi-square	Hadri Z-stat	Heteroscedastic consistent Z-stat	
Variables								
Level	Log ENR	-4.28113 (0.0000)*	1.95683 (0.9748)	-1.33212 (0.0914)	63.3864 (0.0292)	58.5729 (0.0697)	7.62211 (0.0000)*	19.4417 (0.0000)*
	Log GDP	-0.35784 (0.3602)	1.40721 (0.9203)	0.84964 (0.8022)	53.0373 (0.5115)	43.4745 (0.8466)	7.24525 (0.0000)*	7.16636 (0.0000)*
	Log HTE	-4.14586 (0.0000)*	-0.38170 (0.3513)	-3.38559 (0.0004)*	98.5774 (0.0002)*	102.051 (0.0001)*	7.38536 (0.0000)*	7.16572 (0.0000)*
	Log CO2	-0.8854 (0.1880)	2.24141 (0.9875)	-0.32308 (0.3733)	62.7685 (0.1934)	50.9342 (0.5934)	9.48061 (0.0000)*	7.86450 (0.0000)*
	Log POP	0.32349 (0.6268)	NA	0.01451 (0.5058)	80.2608 (0.0000)*	485.994 (0.0000)*	12.7155 (0.0000)*	11.4778 (0.0000)*
	Log EPI	-0.26154 (0.3968)	NA	6.24430 (1.0000)	6.35334 (1.0000)	2.20854 (1.0000)	6.89024 (0.0000)*	6.89024 (0.0000)*
First difference	Δ Log ENR	-17.7305 (0.0000)*	-6.67430 (0.0000)*	-17.3012 (0.0000)*	277.157 (0.0000)*	327.328 (0.0000)*	0.35444 (0.3615)	3.65478 (0.0001)*
	Δ Log GDP	-12.9787 (0.0000)*	-10.1432 (0.0000)*	-9.55430 (0.0000)*	178.145 (0.0000)*	180.774 (0.0000)*	0.33210 (0.3699)	2.13229 (0.0165)
	Δ Log HTE	-16.7277 (0.0000)*	-4.22517 (0.0000)*	-13.2699 (0.0000)*	267.090 (0.0000)*	385.860 (0.0000)*	2.37234 (0.0088)*	3.93942 (0.0000)*
	Δ Log CO2	-11.2339 (0.0000)*	-5.57845 (0.0000)*	-13.1330 (0.0000)*	239.922 (0.0000)*	335.011 (0.0000)*	0.70522 (0.2403)	3.98217 (0.0000)*
	Δ Log POP	-12.0698 (0.0000)*	2.03037 (0.9788)	-14.2296 (0.0000)*	170.238 (0.0000)*	79.9720 (0.0124)	8.50680 (0.0000)*	7.65636 (0.0000)*
	Δ Log EPI	-14.2027 (0.0000)*	-15.4723 (0.0000)*	-12.2106 (0.0000)*	231.058 (0.0000)*	558.832 (0.0000)*	2.58531 (0.0049)*	2.58531 (0.0049)*

* Indique la signification statistique à 1%. Δ est l'opérateur de différence première.

Le tableau résume les résultats des tests de (LLC), (IPS), (BRT), (MW), le test de Hadri ainsi que le test de *Heteroscedastic consistent* appliqués sur les variables du modèle. L'application des tests de racine unitaire indique que l'ensemble des séries statistiques est affecté d'une racine unitaire (voir tableau 5.5). Il est à noter que le nombre de retard est fixé au maximum pour chaque variable, la sélection des nombres de retard pour chaque individu est programmée par Schwarz info criterion pour tous les tests. A partir des différences premières effectuées sur toutes les variables, on constate que toutes les séries, sont stationnaires. On en conclut qu'elles sont intégrées d'ordre un $\{I(1)\}$, que ce soit pour le modèle avec trend et constante, ou avec constante, ou ni constante ni tendance.

IV. 2. 2 Co-intégration :

La vérification des propriétés de non-stationnarité pour toutes les variables du panel nous amène à étudier l'existence d'une relation à long terme entre ces variables. C'est-à-dire l'étude de l'existence d'une relation de cointégration, et ce en appliquant les tests de cointégration de Pedroni basées sur des tests de racine unitaire sur des résidus estimés. Les résultats sont comme suit :

Tableau 5 6: Tests de Co-intégration en panel pour les pays de la Zone Américaine.

Methods	Within dimension (panel statistics)			Between dimension (individuals statistics)		
	Test	Statistique	Prob	Test	Statistique	Prob
LOGPIB LOGELEC						
Pedroni (1999)	Panel v-statistic	-173.1783	1.0000	Group p-statistic	3.740720	0.9999
	Panel rho-statistic	3.548490	0.9998	Group pp-statistic	-16.66841	0.0000
	Panel PP-statistic	-3.126564	0.0009	Group ADF-statistic	-10.65072	0.0000
	Panel ADF-statistic	-2.796571	0.0026			
Pedroni (2004)(Weighted statistic)	Panel v-statistic	-2.656876	0.9961			
	Panel rho-statistic	1.271152	0.8982			
	Panel PP-statistic	-13.68955	0.0000			
	Panel ADF-statistic	-10.35355	0.0000			

* Indique la signification statistique à 1%.

Le tableau (5.6) offre les résultats des sept (07) statistiques de Co-intégration de Pedroni. La Co-intégration des variables dépend de la valeur de la probabilité associée à chaque statistique. A partir des résultats des tests de cointégration de Pedroni nous pouvons observer que sur les sept statistiques, il y'en a quatre présentent des valeurs de probabilité inférieures à 1 %. Il s'agit principalement de (Panel pp-Statistic) et (Panel ADF-Statistic) pour ce qui est des tests intra-individuelles « Pedroni (1999), Pedroni (2004) (Weighted statistic) », et on a aussi (Group PP-Statistic) et (Group ADF-Statistic) pour les tests inter-individuelles « Pedroni (1999) ». De ce fait, l'ensemble de ces tests montre l'existence d'une relation de cointégration. Dans ce qui suit, nous allons estimer la relation à long terme de la cointégration en utilisant les méthodes les plus adéquates pour ce type d'approche.

IV. 2. 3 Estimation de la relation long terme avec les méthodes FMOLS et DOLS :

Étant prouvé qu'il existe une certaine cointégration à long terme, nous allons élaborer l'avant dernière étape de notre travail qui se résume sur la valorisation des taux de coingration en utilisant

les méthodes d'estimations FMOLS et DOLS, ce sont des estimateurs proposés par Pedroni en 2001 et Mark et Sul (2003).

La différence entre ces deux méthodes que DOLS estime pour un nombre très réduits de données par contre FMOLS prend en considération un grand nombre d'informations ce qui ramène la méthode DOLS à réduire le nombre de degré de liberté. Comme indiqué précédemment, nous avons une taille d'échantillons très importante, on va prendre les résultats du FMOLS dimension Within (Pooled) en priorité par rapport à DOLS.

Comme le panel qui précède, on va estimer l'impact à long terme de toutes les variables explicatives sur la consommation globale énergétique primaire dans le continent Américain, les résultats sont comme suit dans le tableau suivant :

Tableau 5 7: Estimation FMOLS et DOLS de la relation à long terme pour le Panel Américain

Dependent Variable		FMOLS					DOLS				
<i>ENR</i>											
Variables	<i>GDP</i>	<i>HTE</i>	<i>CO2</i>	<i>POP</i>	<i>EPI</i>	<i>GDP</i>	<i>HTE</i>	<i>CO2</i>	<i>POP</i>	<i>EPI</i>	
Within Results	[-5.9644	[-1.2233	[-3.2619	[0.83240	[0.34577	[-20.398	[0.10375	[2.22430	[36.2139	[1.57726	
	-469.327	-109.778	-225.746	453.237	74.3415	-2.40763	3.296132	2.620671	2.097121	1.762444	
	(0.0000)*	(0.0000)*	(0.0000)*	(0.0000)*	(0.0000)*	(0.0316)	(0.0058)*	(0.0212)	(0.0561)	(0.1015)	
Between Results	[0.12737	[0.01159	[0.50153	[0.05738	[-0.0381	[-0.6387	[0.00045	[0.52371	[0.67342	[0.00040	
	0.77880	2.21138	14.7425	0.15769	-1.69140	-0.97440	0.047027	5.741024	0.477104	0.005660	
	(0.4365)	(0.0275)	(0.0000)*	(0.8748)	(0.0914)	(0.3303)	(0.9625)	(0.0000)*	(0.6335)	(0.9955)	

* Indique la signification statistique à 1%.

Le tableau ci-dessus établit l'élasticité à long terme entre les différentes variables du modèle à partir des estimateurs FMOLS et DOLS pour la zone américaine (les coefficients peuvent être interprétés en tant qu'élasticité, parce que les variables sont exprimées en logarithmes naturels). Il est intéressant de noter que les résultats dans la dimension within (Intra-individuelle) ne diffèrent pas des résultats de la dimension between (Inter-individuelle).

La modélisation de la dimension Within nous permet de prendre en compte de l'hétérogénéité des individus dans leur dimension temporelle et / ou individuelle. L'estimateur within élimine les effets spécifiques individuels (différences persistantes entre les pays sur la période) ; elle favorise l'information temporelle.

Tous les coefficients estimés de la dimension Within (Pooled) indiquent que HTE, CO2, POP, EPI sont corrélées positivement sauf le coefficient de GDP qui est corrélé négativement et de façon significative à la consommation d'énergie au seuil de 1%. Globalement, les résultats de la régression des variables explicatives GDP, HTE, CO2, POP et EPI sur ENR dans la dimension Within en utilisant l'estimateur des données de panel FMOLS dévoilent une forte relation à long terme entre les variables exogènes de notre modèle et la variable endogène ENR, et montrent aussi l'importance de toutes ces variables pour expliquer la consommation énergétique dans ces pays. Contrairement lors l'utilisation de l'estimateur DOLS dans cette même dimension nous acceptons au seuil de 1% la significativité d'un seul coefficient qui est lié avec la variable : HTE.

Dans la dimension Between de la relation à long-terme, nous constatons que les deux estimateurs FMOLS et DOLS ont un coefficient commun (CO₂) qui est significativement différent de 0.

Les résultats obtenus pour cette zone indiquent qu'une augmentation de 1% de quelconque des variables GDP, HTE, CO₂, POP et EPI augmente la consommation ENR, respectivement de -5.96 % ; -1.22 % ; -3.26 % ; 0.83 % ; 0.34 %, pour tous les individus. Il faut souligner que les Amériques a des résultats négatifs et significatifs pour quelques variables tels que : HTE dans la dimension Within, en revanche pour le reste des variables, les coefficients sont positifs et statistiquement significative au seuil de significativité de 1% que ce soit pour la méthode FMOLS ou DOLS. Ces résultats mettent en avant la participation des différentes variables à la consommation globale d'énergie primaire, il faut préciser que ce même panel a des tests significatifs et parfois différents en passant de la méthode FMOLS à la méthode DOLS, il faut prendre ses résultats avec une certaine prudence.

IV. 2. 4 Panel Granger causalité :

L'existence de Co-intégration implique l'existence de causalité au moins dans une direction. Ayant constaté qu'il existe une relation à long terme entre GDP, HTE, CO₂, POP, EPI et ENR. La prochaine étape est faite pour but de tester le lien de causalité entre ces variables en utilisant le test de panel Granger Causalité. Ce document se concentre sur la relation entre GDP, HTE, CO₂, POP, EPI et ENR. Une analyse de causalité de Granger est effectuée afin de déterminer si il y'a une puissance de prévisibilité potentielle d'un indicateur à l'autre. Les résultats du test de Panel Granger Causalité pour tous les individus sont résumés dans le tableau suivant. Il convient de noter que retard optimal a été créé en utilisant les critères d'information d'Akaike et Schwarz.

Tableau 5 8 : Test de Panel Granger Causalité pour Panel Américain

Lags = 2	ENR	GDP	HTE	CO ₂	POP	EPI
ENR		2.65786 (0.0711)	3.13624 (0.0443)	8.06517* 	0.24232 (0.7849)	0.06755 (0.9347)
GDP	0.34623 (0.7075)		5.34807* 	0.64756 (0.5238)	0.17926 (0.8359)	3.78928 (0.0233)
HTE	5.13761* (0.0062)	0.29433 (0.7452)		1.27963 (0.2791)	0.21877 (0.8036)	0.54473 (0.5803)
CO₂	5.21511* (0.0057)	4.93497* (0.0075)	3.57698 (0.0287)		0.14004 (0.8694)	1.11035 (0.3302)
POP	10.0517* (5.E-05)	4.93957* (0.0075)	6.18490* (0.0022)	2.67145 (0.0701)		0.42890 (0.6515)
EPI	3.88274 (0.0212)	1.06222 (0.3465)	1.34881 (0.2605)	2.34837 (0.0966)	0.11558 (0.8909)	

* Indique la signification statistique à 1%.

Notre étude, a pour but de démontrer les relations interactives entre l'ensemble des variables GDP, HTE, CO₂, POP, EPI et entre ENR, mais cela ne fait pas obstacle à l'étude de toutes les relations possibles. A partir des résultats des tests de Panel Granger Causalité présentés dans le tableau ci-dessus on peut en déduire le sens des relations causales qui peuvent figurées entre les variables au seuil critique (probabilité d'erreur) de 1%.

Les résultats indiquent l'existence de deux causalités unidirectionnelles se trouvant de HTE vers ENR et POP vers ENR, comme il y'a aussi une causalité bidirectionnelle à signaler entre le CO2 et ENR. La conclusion qui peut être tirée de ces tests est que la causalité entre ENR et CO2 est plus robuste par rapport aux relations de cause à effet unidirectionnelles en Amériques. En ce qui concerne les autres relations de causalité entre le reste des variables, les résultats illustrent des relations de causalité unidirectionnelle de POP et CO2 à GDP, enfin de POP et GDP vers HTE.

IV.3 Asie et Océanie :

IV. 3. 1 Tests de racine unitaire :

Le choix d'un certain nombre de tests de racine unitaire nous a permis dans cette phase d'étudier la stationnarité des séries présentées. Les résultats de ces tests sont introduisent dans le tableau suivant :

Tableau 5 9: Tests de racine unitaire pour les variables des pays de la Zone Asiatique et Océanienne

Null: Unit Root		Null: NO Unit Root						
Methods	Levin, Lin and Chu (LLC)	Breitung t-stat	Im, Pesaran And Shin (IPS) W-stat	MW-ADF Fisher Chi-square	MW-PP Fisher Chi-square	Hadri Z-stat	Heteroscedastic consistent Z-stat	
Variables								
Level	Log ENR	-1.58367 (0.0566)	1.11929 (0.8685)	-0.93873 (0.1739)	26.4464 (0.1516)	14.9932 (0.7768)	5.72354 (0.0000)*	6.13590 (0.0000)*
	Log GDP	1.10140 (0.8646)	0.22604 (0.5894)	1.80814 (0.9647)	10.4962 (0.9583)	6.47221 (0.9981)	5.71254 (0.0000)*	5.16354 (0.0000)*
	Log HTE	-3.34069 (0.0004)*	1.77641 (0.9622)	-1.45183 (0.0733)	30.7030 (0.0592)	41.0736 (0.0036)*	7.28963 (0.0000)*	5.78634 (0.0000)*
	Log CO2	-1.33636 (0.0907)	0.33860 (0.6325)	-1.05685 (0.1453)	30.5906 (0.0608)	22.5320 (0.3124)	5.10123 (0.0000)*	5.03328 (0.0000)*
	Log POP	-4.81039 (0.0000)*	5.82612 (1.0000)	-2.05294 (0.0200)	43.3088 (0.0019)*	3.41770 (1.0000)	6.88500 (0.0000)*	6.55672 (0.0000)*
	Log EPI	-0.15917 (0.4368)	NA	3.80016 (0.9999)	2.35309 (1.0000)	0.81798 (1.0000)	4.19327 (0.0000)*	4.19327 (0.0000)*
First difference	Δ Log ENR	-7.77700 (0.0000)*	-3.56116 (0.0002)*	-7.84172 (0.0000)*	88.8394 (0.0000)*	128.072 (0.0000)*	1.22949 (0.1094)	1.97283 (0.0243)
	Δ Log GDP	-8.10420 (0.0000)*	-5.33658 (0.0000)*	-5.48945 (0.0000)*	62.5952 (0.0000)*	65.8538 (0.0000)*	0.45774 (0.3236)	0.45163 (0.3258)
	Δ Log HTE	-8.98572 (0.0000)*	-7.12304 (0.0000)*	-7.27673 (0.0000)*	80.1226 (0.0000)*	116.368 (0.0000)*	0.50607 (0.3064)	4.45866 (0.0000)
	Δ Log CO2	-8.78011 (0.0000)*	-3.11898 (0.0009)*	-8.23338 (0.0000)*	92.3244 (0.0000)*	106.241 (0.0000)*	1.00326 (0.1579)	2.18860 (0.0143)
	Δ Log POP	-3.84257 (0.0001)*	NA	-9.01874 (0.0000)*	116.927 (0.0000)*	91.5023 (0.0000)*	0.28439 (0.3881)	1.28446 (0.0995)
	Δ Log EPI	-8.64350 (0.0000)*	-9.39863 (0.0000)*	-7.43116 (0.0000)*	85.5771 (0.0000)*	206.975 (0.0000)*	1.57337 (0.0578)	1.57337 (0.0578)

* Indique la signification statistique à 1%. Δ est l'opérateur de différence première.

Le tableau contient les résultats des tests de (LLC), (IPS), (BRT), (MW), le test de Hadri ainsi que le test de *Heteroscedastic consistent* appliqués sur les variables du modèle. L'application des tests de racine unitaire dévoile que l'ensemble des séries statistiques est affecté d'une racine unitaire (voir tableau 5.9). Il est à noter que le nombre de retard est fixé au maximum pour chaque variable, la sélection des nombres de retard pour chaque individu est programmée par Schwarz info criterion pour tous les tests. A partir des différences premières effectuées sur toutes les variables, on constate que toutes les séries, sont stationnaires. On en induit qu'elles sont intégrées d'ordre un $\{I(1)\}$, que ce soit pour le modèle avec trend et constante, ou avec constante, ou ni constante ni tendance.

IV. 3. 2 Co-intégration :

Après avoir testé les propriétés de non stationnarité des séries, on va procéder à la deuxième démarche qui est la révélation de l'existence d'une relation à long terme à l'aide de ce qu'on appelle les tests de cointégration, les résultats sont afficher dans le tableau suivant:

Tableau 5 10 : Tests de Co-intégration en panel pour les pays de la Zone Asiatique et Océanienne

Methods	Within dimension (panel statistics)			Between dimension (individuals statistics)		
	Test	Statistique	Prob	Test	Statistique	Prob
LOGPIB LOGELEC						
Pedroni (1999)	Panel v-statistic	-0.316741	0.6243	Group p-statistic	2.713818	0.9967
	Panel rho-statistic	1.324141	0.9073	Group pp-statistic	-6.739177	0.0000
	Panel PP-statistic	-3.841161	0.0001	Group ADF-statistic	-5.170018	0.0000
	Panel ADF-statistic	-4.770102	0.0000			
Pedroni (2004)(Weighted statistic)	Panel v-statistic					
		-1.788688	0.9632			
	Panel rho-statistic	0.414756	0.6608			
	Panel PP-statistic	-7.548350	0.0000			
	Panel ADF-statistic	-8.233274	0.0000			

* Indique la signification statistique à 1%.

Le tableau (5.10) résume les résultats des sept (07) statistiques de Co-intégration de Pedroni. La Co-intégration des variables dépend de la valeur de la probabilité associée à chaque statistique. A partir des résultats des tests de cointégration de Pedroni nous pouvons observer que dans sept statistiques, on trouve que quatre présentent des valeurs de probabilité inférieures à 1 %. Il s'agit principalement de (Panel pp-Statistic) et (Panel ADF-Statistic) pour ce qui est des tests intra-individuelles « Pedroni (1999), Pedroni (2004) (Weighted statistic) », et on a aussi (Group PP-Statistic) et (Group ADF-Statistic) pour les tests inter- individuelles « Pedroni (1999) ». De ce fait, l'ensemble de ces tests détecte l'existence d'une relation de cointégration. Dans ce qui suit, nous allons estimer la relation de cointégration en se basant sur les méthodes les plus adéquates pour ce type d'approche.

IV. 3. 3 Estimation de la relation long terme avec les méthodes FMOLS et DOLS :

Ayant prouvé que les variables sont stationnaires en différences premières et l'existence d'une co-intégration à long terme dans les étapes précédentes. Dans notre analyse, nous nous intéressons par le résultat qui est offert par l'estimateur FMOLS dimension Within (Pooled) mais ça n'empêche pas que nous nous penchons aussi sur l'analyse des autres résultats fournis par l'estimateur DOLS dans les deux dimensions.

Nous estimons maintenant l'impact à long terme de toutes les variables explicatives sur la consommation globale de l'énergie primaire dans le continent Africain. Les résultats de l'estimateur FMOLS en panel ne figurent pas semblables aux estimateurs DOLS dans tous les cas, tous les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 5 11: Estimation FMOLS et DOLS de la relation à long terme pour le Panel Asiatique et Océanien

Dependent Variable	FMOLS					DOLS				
	GDP	HTE	CO2	POP	EPI	GDP	HTE	CO2	POP	EPI
<i>ENR</i>										
Variables	<i>GDP</i>	<i>HTE</i>	<i>CO2</i>	<i>POP</i>	<i>EPI</i>	<i>GDP</i>	<i>HTE</i>	<i>CO2</i>	<i>POP</i>	<i>EPI</i>
Within Results	[-2.19567	[-0.5563	[3.11566	[0.25917	[0.10964	[-0.0298	[-0.0152	[1.16858	[-0.2579	[-0.0871
	-97.5209	-23.3584	109.9080	89.88617	15.0054	-1.04844	-1.80859	22.35728	-1.90881	-9.31297
	(0.0000)*	(0.0000)*	(0.0000)*	(0.0000)*	(0.000)*	(0.2980)	(0.0748)	(0.0000)*	(0.0604)	(0.000)*
Between Results	[0.041666	[0.06847	[0.65859	[0.50359	[-0.0261	[0.03272	[0.06290	[0.64116	[0.53855	[-0.0199
	3.030939	5.581937	15.15343	2.213753	-2.23812	1.750811	3.846560	10.29028	1.791731	-1.29137
	(0.0028)*	(0.0000)*	(0.0000)*	(0.0281)	(0.0264)	(0.0816)	(0.0002)*	(0.0000)*	(0.0747)	(0.1981)

* Indique la signification statistique à 1%.

Le tableau ci-dessus suggère l'élasticité à long terme entre les différentes variables du modèles à partir des estimateurs FMOLS et DOLS pour la zone Asiatique et Océanienne (les coefficients peuvent être interprétés en tant qu'élasticité, parce que les variables sont exprimées en logarithmes naturels). Il est intéressant de noter que les résultats dans la dimension within (Intra-individuelle) ne diffèrent pas des résultats de la dimension between (Inter-individuelle).

La modélisation de la dimension Within nous permet de prendre en compte de l'hétérogénéité des individus dans leur dimension temporelle et / ou individuelle. L'estimateur within élimine les effets spécifiques individuels (différences persistantes entre les pays sur la période) ; elle favorise l'information temporelle.

Tous les coefficients estimés de la dimension Within (Pooled) indiquent que CO2, POP, EPI sont corrélées positivement sauf les coefficients de GDP et HTE qui sont corrélés négativement et de façon significative à la consommation d'énergie au seuil de 1 %. Globalement, les résultats de la régression des variables explicatives GDP, HTE, CO2, POP et EPI sur ENR dans la dimension Within en utilisant l'estimateur des données de panel FMOLS dévoilent une forte relation à long terme entre les variables exogènes de notre modèle et la variable endogène ENR, et montrent aussi l'importance de toutes ces variables pour expliquer la consommation énergétique dans ces pays. Contrairement lors l'utilisation de l'estimateur DOLS dans cette même dimension nous acceptons au seuil de 1 % la significativité de deux coefficients qui sont liés avec les variables : CO2 et EPI.

Dans la dimension Between de la relation à long-terme, nous constatons que les estimateurs FMOLS et DOLS fournissent deux coefficients communs (CO2) qui sont significativement différent de 0, mais l'estimateur FMOLS indique en plus la significativité d'une autre variable qui est GDP.

Les résultats obtenus pour cette zone indiquent qu'une augmentation de 1% de quelconque des variables GDP, HTE, CO2, POP et EPI augmente la consommation ENR, respectivement de -2.19 % ; -0.55 % ; 3.11 % ; 0.25 % ; 0.10 %, pour tous les individus. Il faut souligner que cette zone des résultats négatifs et significatifs pour quelques variables tels que : HTE dans la dimension Within, en revanche pour le reste des variables, les coefficients sont positifs et statistiquement significative au seuil de significativité de 1% que ce soit pour la méthode FMOLS ou DOLS. Ces résultats mettent en avant la participation des différentes variables à la consommation globale d'énergie primaire, il faut préciser que ce même panel a des tests significatifs et parfois différents en passant de la méthode FMOLS à la méthode DOLS, il faut prendre ses résultats avec une certaine prudence.

IV. 3. 4 Panel Granger causalité :

L'existence de Co-intégration implique l'existence de causalité au moins dans une direction. Ayant constaté qu'il existe une relation à long terme entre GDP, HTE, CO2, POP, EPI et ENR. La prochaine étape est faite pour but de tester le lien de causalité entre ces variables en utilisant le test de panel Granger Causalité. Ce document se concentre sur la relation entre GDP, HTE, CO2, POP, EPI et ENR. Une analyse de causalité de Granger est effectuée afin de déterminer si il y'a une puissance de prévisibilité potentielle d'un indicateur à l'autre. Les résultats du test de Panel Granger Causalité pour tous les individus sont résumés dans le tableau suivant. Il convient de noter que retard optimal a été créé en utilisant les critères d'information d'Akaike et Schwarz.

Tableau 5 12 : Test de Panel Granger Causalité pour Panel Asiatique et Océanien

Lags =2	ENR	GDP	HTE	CO2	POP	EPI
ENR		5.27566* (0.0059)	5.31440* (0.0057)	2.56532 (0.0796)	0.64827 (0.5241)	0.33959 (0.7125)
GDP	6.62265* (0.0017)		0.10212 (0.9030)	5.91955 (0.0032)	1.24723 (0.2897)	0.56547 (0.5691)
HTE	3.18354* (0.0137)	0.16468 (0.8483)		1.69402 (0.1866)	0.11138 (0.8947)	0.30351 (0.7386)
CO2	13.6746 (3.E-06)	5.54360* (0.0046)	5.97893 (0.0030)		0.37309 (0.6891)	0.68059 (0.5076)
POP	4.74082* (0.0098)	2.38673 (0.0948)	9.37548* (0.0001)	3.63976 (0.0282)		0.11341 (0.8928)
EPI	5.05559* (0.0073)	13.5251 (3.E-06)	15.0189 (9.E-07)	2.56995 (0.0793)	0.05755 (0.9441)	

* Indique la signification statistique à 1%.

Notre étude, a pour but de démontrer les relations interactives entre l'ensemble des variables GDP, HTE, CO2, POP, EPI et entre ENR, mais cela ne fait pas obstacle à l'étude de toutes les relations possibles. A partir des résultats des tests de Panel Granger Causalité présentés dans le tableau ci-dessus on peut en déduire le sens des relations causales qui peuvent figurées entre les variables au seuil critique (probabilité d'erreur) de 1%.

Les résultats indiquent l'existence de trois causalités unidirectionnelles se trouve allant de chacune des variables suivantes : CO2, POP et EPI vers ENR, comme il y'a aussi deux causalités bidirectionnelles à signaler entre le GDP et ENR ainsi qu'entre HTE et ENR. La conclusion qui peut être extrait de ces tests est que les causalités entre ENR et CO2 ; et ENR et HTE sont plus

robustes que celles des relations de cause à effet unidirectionnelle en Asie et Océanie. En ce qui concerne les autres relations de causalité entre le reste des variables, les résultats illustrent des relations de causalité unidirectionnelle de CO2, POP et EPI à HTE, de EPI vers GDP et enfin une causalité bidirectionnelle entre CO2 et GDP.

IV.4 Eurasie :

IV. 4. 1 Tests de racine unitaire :

Notre analyse débute avec les tests de stationnarité en utilisant les racines unitaires sur données de panel, les résultats de ces tests sont affichés dans le tableau suivant :

Tableau 5 13 : Tests de racine unitaire pour les variables des pays de la Zone Eurasiatique.

Null: Unit Root		Null: NO Unit Root						
Methods	Levin, Lin and Chu (LLC)	Breitung t-stat	Im, Pesaran And Shin (IPS) W-stat	MW-ADF Fisher Chi-square	MW-PP Fisher Chi-square	Hadri Z-stat	Heteroscedastic consistent Z-stat	
Variables								
Level	Log ENR	-1.17656 (0.1197)	NA	-1.03846 (0.1495)	31.1019 (0.1509)	32.1944 (0.1222)	4.53683 (0.0000)*	3.44812 (0.0003)*
	Log GDP	0.66009 (0.7454)	NA	4.56435 (1.0000)	4.78809 (1.0000)	2.24321 (1.0000)	5.19355 (0.0000)*	4.64791 (0.0000)*
	Log HTE	-2.61084 (0.0045)*	0.43247 (0.6673)	1.74439 (0.0405)	34.0937 (0.0830)	32.4344 (0.1166)	6.06921 (0.0000)*	5.09317 (0.0000)*
	Log CO2	--1.23457 (0.1085)	0.97974 (0.8364)	-0.43029 (0.3335)	26.5720 (0.3248)	34.5477 (0.0754)	5.01541 (0.0000)*	3.84766 (0.0001)*
	Log POP	0.25131 (0.5992)	2.72902 (0.9968)	1.20986 (0.8868)	31.4676 (0.1408)	10.3011 (0.9932)	8.86477 (0.0000)*	7.58737 (0.0000)*
	Log EPI	-2.79493 (0.0026)*	NA	2.01687 (0.9781)	7.22313 (0.9996)	5.21040 (1.0000)	4.52419 (0.0000)*	4.52419 (0.0000)*
First difference	Δ Log ENR	-13.3078 (0.0000)*	NA	-10.7854 (0.0000)*	142.733 (0.0000)*	176.578 (0.0000)*	2.94065 (0.0016)*	1.60330 (0.0544)
	Δ Log GDP	-6.14081 (0.0000)*	NA	-3.98540 (0.0000)*	55.7787 (0.0002)*	58.4146 (0.0001)*	1.23607 (0.1082)	1.10252 (0.1351)
	Δ Log HTE	-9.17141 (0.0000)*	-4.54903 (0.0000)*	-8.24238 (0.0000)*	99.6360 (0.0000)*	145.996 (0.0000)*	1.99055 (0.0233)	2.15159 (0.0157)
	Δ Log CO2	-8.90496 (0.0000)*	-1.86453 (0.0311)	-6.71943 (0.0000)*	82.4991 (0.0000)*	102.318 (0.0000)*	5.33438 (0.0000)*	8.55090 (0.0000)*
	Δ Log POP	-0.87485 (0.1908)	3.98154 (1.0000)	-6.35719 (0.0000)*	91.9108 (0.0000)*	119.156 (0.0000)*	6.73715 (0.0000)*	5.57109 (0.0000)*
	Δ Log EPI	-11.4045 (0.0000)*	NA	-9.55134 (0.0000)*	124.578 (0.0000)*	277.892 (0.0000)*	1.46175 (0.0719)	1.46175 (0.0719)

* Indique la signification statistique à 1%. Δ est l'opérateur de différence première.

Le tableau résume les résultats des tests de (LLC), (IPS), (BRT), (MW), le test de Hadri ainsi que le test de *Heteroscedastic consistent*, appliqués sur les différentes variables du modèle. Les tests de racine unitaire montrent que l'ensemble des séries statistiques au niveau sont affecté d'une racine unitaire (voir tableau 5.13). La sélection des nombres de retard pour chaque individu est calculé à partir Schwarz info criterion. En passant aux différences premières, on constate que toutes les séries, sont stationnaires. On en conclut qu'elles sont intégrées d'ordre un $\{I(1)\}$, que ce soit pour le modèle avec trend et constante, ou avec constante, ou ni constante ni tendance.

IV. 4. 2 Co-intégration :

Cette étape confirme ou dénie l'existence d'une relation à long terme, pour cela, on fait recours à la cointégration en données de panel de pedroni pour dévoiler cela, les résultats atteints sont comme suit :

Tableau 5 14 : Tests de Co-intégration en panel pour les pays de la Zone Eurasiatique.

Methods	Within dimension (panel statistics)			Between dimension (individuals statistics)		
	Test	Statistique	Prob	Test	Statistique	Prob
LOGPIB LOGELEC						
Pedroni (1999)	Panel v-statistic	5.760035	0.0000	Group p-statistic	3.381278	0.9996
	Panel rho-statistic	-0.181250	0.4281	Group pp-statistic	-17.34347	0.0000
	Panel PP-statistic	-4.774861	0.0000	Group ADF-statistic	-7.063912	0.0000
	Panel ADF-statistic	-4.697892	0.0000			
Pedroni (2004)(Weighted statistic)	Panel v-statistic	-3.497518	0.9998			
	Panel rho-statistic	2.095704	0.9819			
	Panel PP-statistic	-15.51278	0.0000			
	Panel ADF-statistic	-6.846046	0.0000			

* Indique la signification statistique à 5%.

Le tableau (5.14) résume les résultats des sept (07) statistiques de Co-intégration de Pedroni, établies par Eviews 8.0. A partir des résultats des tests de cointégration de Pedroni nous pouvons remarquer que sur l'ensemble des sept statistiques, quatre présentent des valeurs de probabilité inférieures à 5 %. Il s'agit principalement de (Panel pp-Statistic) et (Panel ADF-Statistic) de la dimension Within « Pedroni (1999), Pedroni (2004) (Weighted statistic) », et on a aussi (Group PP-Statistic) et (Group ADF-Statistic) de la dimension Between « Pedroni (1999) ». De ce fait, l'ensemble de ces tests montre l'existence d'une relation de cointégration. Dans ce qui suit, nous procédons à l'estimation de cette relation.

IV. 4. 3 Estimation de la relation long terme avec les méthodes FMOLS et DOLS :

Ayant prouvé que les variables sont stationnaires en différences premières et l'existence d'une cointégration à long terme dans les étapes précédentes. Dans notre analyse, nous nous intéressons par le résultat qui est offert par l'estimateur FMOLS dimension Within (Pooled) mais ça n'empêche pas que nous nous penchons aussi sur l'analyse des autres résultats fournis par l'estimateur DOLS dans les deux dimensions.

Nous estimons maintenant l'impact à long terme de toutes les variables explicatives sur la consommation globale de l'énergie primaire dans le continent Eurasien. Les résultats de l'estimateur FMOLS en panel ne figurent pas semblables aux estimateurs DOLS dans tous les cas, tous les résultats sont présentés dans la suite :

Tableau 5 15: Estimation FMOLS et DOLS de la relation à long terme pour le Panel Eurasien.

Dependent Variable	FMOLS					DOLS				
	GDP	HTE	CO2	POP	EPI	GDP	HTE	CO2	POP	EPI
<i>ENR</i>										
Variables	<i>GDP</i>	<i>HTE</i>	<i>CO2</i>	<i>POP</i>	<i>EPI</i>	<i>GDP</i>	<i>HTE</i>	<i>CO2</i>	<i>POP</i>	<i>EPI</i>
Within Results	[-2.59699	[3.83334	[5.78189	[-1.4223	[-3.4951	[0.00968	[0.01786	[0.51680	[-0.2581	[-0.0314
	-132.537	84.2604	157.7971	-312.905	-205.635	0.31539	1.34041	6.527292	-0.77920	-0.67356
	(0.0000)*	(0.000)*	(0.0000)*	(0.000)*	(0.0000)*	(0.7528)	(0.1817)	(0.0000)*	(0.4368)	(0.5014)
Between Results	[0.010155	[-0.0163	[0.50873	[-1.4653	[0.03359	[-0.0862	[-0.0573	[0.33725	[-2.2392	[0.14077
	0.229798	-0.97276	5.452783	-2.38352	0.536745	-0.59305	-0.88303	1.084278	-1.38269	0.91053
	(0.8185)	(0.3319)	(0.0000)*	(0.0181)	(0.5921)	(0.5538)	(0.3783)	(0.2796)	(0.1684)	(0.3637)

* Indique la signification statistique à 5%.

Le tableau ci-dessus établit l'élasticité à long terme entre les différentes variables du modèle à partir des estimateurs FMOLS et DOLS pour le panel Eurasien (les coefficients peuvent être interprétés comme l'élasticité, parce que les variables sont exprimées en logarithmes naturels). Il est intéressant de noter que les résultats dans la dimension within (Intra-individuelle) ne diffèrent pas des résultats de la dimension between (Inter-individuelle).

La modélisation de la dimension Within nous permet de prendre en compte de l'hétérogénéité des individus dans leur dimension temporelle et / ou individuelle. L'estimateur within élimine les effets spécifiques individuels (différences persistantes entre les pays sur la période) ; elle favorise l'information temporelle.

Tous les coefficients estimés de la dimension Within (Pooled) indiquent que GDP, POP, EPI sont corrélées négativement sauf les coefficients de HTE, CO2, qui sont corrélés positivement et de façon significative à la consommation d'énergie au seuil de 5 %. Globalement, les résultats de la régression des variables explicatives GDP, HTE, CO2, POP et EPI sur ENR dans la dimension Within en utilisant l'estimateur des données de panel FMOLS dévoilent une forte relation à long terme entre les variables exogènes de notre modèle et la variable endogène ENR, et montrent aussi l'importance de toutes ces variables pour expliquer la consommation énergétique dans ces pays. Contrairement à l'utilisation de l'estimateur DOLS dans cette même dimension nous acceptons au seuil de 5 % la significativité du coefficient de la variable CO2.

Dans la dimension Between de la relation à long-terme, nous constatons que sur les deux estimateurs FMOLS et DOLS, y en a que l'estimateur FMOLS qui fournit un seul coefficient (CO2) qui est significativement différents de 0.

Les résultats obtenus pour la Zone Eurasiatique indiquent qu'une augmentation de 1% de quelconque des variables GDP, HTE, CO2, POP et EPI augmente la consommation ENR, respectivement de -2.59 % ; 3.83 % ; 5.78 % ; -1.42 % ; -5,53 %, pour tous les individus. Il faut souligner que l'Eurasie a des résultats négatifs et significatifs pour quelques variables tels que : EPI dans la dimension Within, en revanche pour le reste des variables, les coefficients sont positifs et statistiquement significative au seuil de significativité de 1% et 5% que ce soit pour la méthode

FMOLS ou DOLS. Ces résultats mettent en avant la participation des différentes variables à la consommation globale d'énergie primaire, il faut préciser que ce même panel a des tests significatifs et parfois différents en passant de la méthode FMOLS à la méthode DOLS, il faut prendre ses résultats avec la plus grande prudence.

IV. 4. 4 Panel Granger causalité :

L'existence de Co-intégration implique l'existence de causalité au moins dans une direction. Ayant constaté qu'il existe une relation à long terme entre GDP, HTE, CO2, POP, EPI et ENR La prochaine étape est faite pour but de tester le lien de causalité entre ces variables en utilisant le test de panel Granger Causalité. Ce document se concentre sur la relation entre GDP, HTE, CO2, POP, EPI et ENR. Une analyse de causalité de Granger est effectuée afin de déterminer si il y'a une puissance de prévisibilité potentielle d'un indicateur à l'autre. Les résultats du test de Panel Granger Causalité pour tous les individus sont résumés dans le tableau suivant. Il convient de noter que retard optimal a été créé en utilisant les critères d'information d'Akaike et Schwarz.

Tableau 5 16 : Test de Panel Granger Causalité pour Panel Eurasien

Lags =2	ENR	GDP	HTE	CO2	POP	EPI
ENR		0.98747 (0.3745)	0.60920 (0.5449)	4.08233* (0.0184)	0.58158 (0.5600)	0.11020 (0.8957)
GDP	0.19889 (0.8198)		1.85552 (0.1592)	0.39456 (0.6745)	0.09400 (0.9103)	2.37455 (0.0959)
HTE	2.72980 (0.0678)	0.10004 (0.9048)		0.45585 (0.6346)	1.70177 (0.1852)	1.20170 (0.3030)
CO2	1.44705 (0.2379)	0.52973 (0.5896)	0.53752 (0.5851)		0.80800 (0.4473)	0.21056 (0.8103)
POP	4.84053* (0.0089)	0.29346 (0.7460)	0.07024 (0.9322)	2.36425 (0.0968)		0.00411 (0.9959)
EPI	0.21098 (0.8100)	1.04344 (0.3543)	2.26889 (0.1063)	0.69029 (0.5027)	0.62754 (0.5350)	

* Indique la signification statistique à 5%.

Notre étude, a pour but d'illustrer les relations interactives entre l'ensemble des variables GDP, HTE, CO2, POP, EPI et entre ENR, mais cela ne fait pas obstacle à l'étude de toutes les relations possibles. A partir des résultats des tests de Panel Granger Causalité présentés dans le tableau ci-dessus on peut en déduire le sens des relations causales qui peuvent figurées entre les variables au seuil critique (probabilité d'erreur) de 5%.

Les résultats indiquent l'existence d'une causalité unidirectionnelle à signaler de POP vers ENR et allant d'ENR vers CO2. En ce qui concerne les autres relations de causalité entre toutes les variables, il n'existe aucune relation de cause à effet.

IV.5 Europe :

IV. 5. 1 Tests de racine unitaire :

De la même façon que la partie précédente, on va commencer par les tests de stationnarité et les résultats sont comme suit dans le tableau suivant :

Tableau 5 17 : Tests de racine unitaire pour les variables des pays de la Zone Européenne.

Null: Unit Root							Null: NO Unit Root	
Methods	Levin, Lin and Chu (LLC)	Breitung t-stat	Im, Pesaran And Shin (IPS) W-stat	MW-ADF Fisher Chi-square	MW-PP Fisher Chi-square	Hadri Z-stat	Heteroscedastic consistent Z-stat	
Variables								
Level	<i>Log ENR</i>	2.43128 (0.9925)	6.27470 (1.0000)	3.37417 (0.9996)	35.0576 (0.7673)	35.5189 (0.7497)	9.13138 (0.0000)*	8.84268 (0.0000)*
	<i>Log GDP</i>	-2.06156 (0.0196)	NA	2.51174 (0.9940)	16.7861 (0.9998)	7.69254 (1.0000)	4.90629 (0.0000)*	5.06829 (0.0000)*
	<i>Log HTE</i>	-2.55422 (0.0053)*	-2.30269 (0.0106)	-0.27346 (0.3922)	44.8624 (0.3527)	38.0114 (0.6467)	6.86160 (0.0000)*	7.82172 (0.0000)*
	<i>Log CO2</i>	1.08144 (0.8602)	4.39054 (1.0000)	3.48273 (0.9998)	30.5301 (0.9055)	29.5744 (0.9256)	9.34797 (0.0000)*	8.53268 (0.0000)*
	<i>Log POP</i>	5.67711 (1.0000)	6.04950 (1.0000)	2.42233 (0.9923)	76.9835 (0.0008)*	19.5516 (0.9988)	9.72087 (0.0000)*	9.70793 (0.0000)*
	<i>Log EPI</i>	-0.23066 (0.4088)	NA	5.50696 (1.0000)	4.94148 (1.0000)	1.71775 (1.0000)	6.07662 (0.0000)*	6.07662 (0.0000)*
	<i>Δ Log ENR</i>	-15.9261 (0.0000)*	-6.41536 (0.0000)*	-13.6931 (0.0000)*	221.239 (0.0000)*	328.133 (0.0000)*	3.46338 (0.0000)*	5.20734 (0.0003)*
	<i>Δ Log GDP</i>	-9.08479 (0.0000)*	NA	-8.00360 (0.0000)*	144.169 (0.0000)*	171.638 (0.0000)*	-0.53784 (0.7047)	-0.09103 (0.5363)
	<i>Δ Log HTE</i>	-13.6731 (0.0000)*	-6.01827 (0.0000)*	-12.8235 (0.0000)*	207.467 (0.0000)*	279.483 (0.0000)*	2.26890 (0.0116)	4.12906 (0.0000)*
	<i>Δ Log CO2</i>	-17.2269 (0.0000)*	-8.45682 (0.0000)*	-14.9719 (0.0000)*	239.253 (0.0000)*	279.125 (0.0000)*	7.43252 (0.0000)*	13.3978 (0.0000)*
First difference	<i>Δ Log POP</i>	-4.82982 (0.0000)*	3.21951 (0.9994)	-5.62610 (0.0000)*	142.415 (0.0000)*	184.028 (0.0000)*	6.66291 (0.0000)*	6.74275 (0.0000)*
	<i>Δ Log EPI</i>	-12.5256 (0.0000)*	-13.6410 (0.0000)*	-10.7688 (0.0000)*	179.712 (0.0000)*	434.647 (0.0000)*	2.28003 (0.0113)*	2.28003 (0.0113)*

* Indique la signification statistique à 1%. Δ est l'opérateur de différence première.

Le tableau résume les résultats des tests de racines unitaires fournies par les tests de (LLC), (IPS), (BRT), (MW), le test de Hadri ainsi que le test de *Heteroscedastic consistent* appliqués sur les variables du modèle. L'application des tests de racine unitaire indique que l'ensemble des séries statistiques est affecté d'une racine unitaire (voir tableau 5.17). Il est à noter que le nombre de retard est fixé au maximum pour chaque variable, la sélection des nombres de retard pour

chaque individu est programmée par Schwarz info criterion pour tous les tests. A partir des différences premières effectuées sur toutes les variables, on constate que toutes les séries, sont stationnaires. On en conclut qu'elles sont intégrées d'ordre un $\{I(1)\}$, que ce soit pour le modèle avec trend et constante, ou avec constante, ou ni constante ni tendance.

IV. 5. 2 Co-intégration :

Comme précédemment pour les tests de cointegration, les résultats sont comme suit :

Tableau 5 18 : Tests de Co-intégration en panel pour les pays de la Zone Européenne.

Methods	Within dimension (panel statistics)			Between dimension (individuals statistics)		
	Test	Statistique	Prob	Test	Statistique	Prob
LOGPIB LOGELEC						
Pedroni (1999)	Panel v-statistic	-3.598180	0.9998	Group ρ-statistic	4.466939	1.0000
	Panel rho-statistic	2.496201	0.9937	Group pp-statistic	-22.26986	0.0000
	Panel PP-statistic	-17.20748	0.0000	Group ADF-statistic	-10.53057	0.0000
	Panel ADF-statistic	-12.45252	0.0000			
Pedroni (2004)(Weighted statistic)	Panel v-statistic	-2.939673	0.9984			
	Panel rho-statistic	2.559771	0.9948			
	Panel PP-statistic	-14.43868	0.0000			
	Panel ADF-statistic	-9.189092	0.0000			

* Indique la signification statistique à 1%.

Le tableau (5.18) offre les résultats des sept (07) statistiques de Co-intégration fournies par Pedroni. La Co-intégration des variables se fie à la valeur de la probabilité associée à chaque statistique. A partir des résultats des tests de cointégration de Pedroni, nous pouvons observer que sur les sept statistiques, il y'en a quatre présentent des valeurs de probabilité inférieures à 1 %. Il s'agit principalement de (Panel pp-Statistic) et (Panel ADF-Statistic) appropriés respectivement aux méthodes de : « Pedroni (1999), Pedroni (2004) (Weighted statistic) », et deux statistiques de « Pedroni (1999) » : (Group PP-Statistic) et (Group ADF-Statistic). Par conséquent, l'ensemble de ces tests suggère l'existence d'une relation de cointégration. Comme une toute continuité logique, nous estimons la relation à long terme en utilisons les méthodes ; FMOLS et DOLS.

IV. 5. 3 Estimation de la relation long terme avec les méthodes FMOLS et DOLS :

Étant prouvé qu'il existe une certaine cointegration à long terme, nous allons élaborer l'avant dernière étape de notre travail qui se résume sur la valorisation des taux de coingration en utilisant les méthodes d'estimations FMOLS et DOLS, ce sont des estimateurs proposés par Pedroni en 2001 et Mark et Sul (2003).

La différence entre ces deux méthodes que DOLS estime pour un nombre très réduits de données par contre FMOLS prend en considération un grand nombre d'informations ce qui ramène la méthode DOLS à réduire le nombre de degré de liberté. Comme indiqué précédemment, nous avons une taille d'échantillons très importante, on va prendre les résultats du FMOLS dimension Within (Pooled) en priorité par rapport à DOLS.

Comme le panel qui précède, on va estimer l'impact à long terme de toutes les variables explicatives sur la consommation globale énergétique primaire dans le continent Européen, les résultats sont comme suit dans le tableau suivant :

Tableau 5 19 : Estimation FMOLS et DOLS de la relation à long terme pour le Panel Européen

Dependent Variable		FMOLS					DOLS				
ENR											
Variables		GDP	HTE	CO2	POP	EPI	GDP	HTE	CO2	POP	EPI
Within Results		[-0.3522	[-0.9847	[-0.4845	[1.48332	[-1.3745	[-0.0769	[0.0039	[0.80493	[-0.0763	[0.07860
		-19.8491	-47.0660	-21.8308	392.8882	-99.9709	-6.93270	1.017250	49.79294	-0.93399	13.1306
		(0.000)*	(0.0000)*	(0.0000)*	(0.0000)*	(0.000)*	(0.000)*	(0.3107)	(0.0000)*	(0.3518)	(0.000)*
Between Results		[-0.0225	[0.02993	[0.59621	[1.19047	[-0.0085	[-0.0212	[0.03143	[0.58381	[1.10232	[-0.0034
		-1.51261	3.572220	26.21194	8.153216	-1.13190	-0.97540	2.587353	17.78062	5.977389	-0.29697
		(0.1312)	(0.0004)*	(0.0000)*	(0.0000)*	(0.2584)	(0.3299)	(0.0100)*	(0.0000)*	(0.0000)*	(0.7666)

* Indique la signification statistique à 1%.

Le tableau ci-dessus établit l'élasticité à long terme entre les différentes variables du modèle à partir des estimateurs FMOLS et DOLS pour les pays européens (les coefficients peuvent être interprétés en tant qu'élasticité, parce que les variables sont exprimées en logarithmes naturels). Il est intéressant de noter que les résultats dans la dimension within (Intra-individuelle) ne diffèrent pas des résultats de la dimension between (Inter-individuelle).

La modélisation de la dimension Within nous permet de prendre en compte de l'hétérogénéité des individus dans leur dimension temporelle et / ou individuelle. L'estimateur within élimine les effets spécifiques individuels (différences persistantes entre les pays sur la période) ; elle favorise l'information temporelle.

Tous les coefficients estimés de la dimension Within (Pooled) indiquent que GDP, HTE, CO2, EPI sont corrélées négativement sauf le coefficient de POP qui est corrélé positivement et de façon significative à la consommation d'énergie au seuil de 1%. Globalement, les résultats de la régression des variables explicatives GDP, HTE, CO2, POP et EPI sur ENR dans la dimension Within en utilisant l'estimateur des données de panel FMOLS dévoilent une forte relation à long terme entre les variables exogènes de notre modèle et la variable endogène ENR, et montrent aussi l'importance de toutes ces variables pour expliquer la consommation énergétique dans ces pays. Contrairement lors l'utilisation de l'estimateur DOLS dans cette même dimension nous acceptons au seuil de 1% la signification de trois coefficients qui sont liés avec les variables : GDP, CO2 et EPI.

Concernant la dimension Between de la relation à long-terme, nous constatons que les deux estimateurs FMOLS et DOLS fournissent trois coefficients communs (HTE, CO2 et POP) qui vérifient l'hypothèse de la signification des coefficients de régression ($\neq 0$).

Les résultats obtenus pour cette zone indiquent qu'une augmentation de 1% de quelconque des variables GDP, HTE, CO2, POP et EPI augmente la consommation ENR, respectivement de -0.35 % ; -0.98 % ; -0.48 % ; 1.48 % ; -1.37 %, pour tous les individus. Il faut souligner que l'Europe a des résultats négatifs et significatifs pour quelques variables tels que : HTE dans la dimension Within, en revanche on trouve aussi des variables, dont les coefficients sont positifs et

statistiquement significative au seuil de significativité de 1% que ce soit pour la méthode FMOLS ou DOLS. Ces résultats mettent en avant la participation des différentes variables à la consommation globale d'énergie primaire, il faut préciser que ce même panel a des tests significatifs et parfois différents en passant de la méthode FMOLS à la méthode DOLS, il faut prendre ses résultats avec une certaine prudence.

IV. 5. 4 Panel Granger causalité :

L'existence de Co-intégration implique l'existence de causalité au moins dans une direction. Ayant constaté qu'il existe une relation à long terme entre GDP, HTE, CO2, POP, EPI et ENR. La prochaine étape est faite pour but de tester le lien de causalité entre ces variables en utilisant le test de panel Granger Causalité. Ce document se concentre sur la relation entre GDP, HTE, CO2, POP, EPI et ENR. Une analyse de causalité de Granger est effectuée afin de déterminer si il y'a une puissance de prévisibilité potentielle d'un indicateur à l'autre. Les résultats du test de Panel Granger Causalité pour tous les individus sont résumés dans le tableau suivant. Il convient de noter que retard optimal a été créé en utilisant les critères d'information d'Akaike et Schwarz.

Tableau 5 20 : Test de Panel Granger Causalité pour Panel Européen

Lags =3	ENR	GDP	HTE	CO2	POP	EPI
ENR		4.95653* (0.0022)	2.99685 	21.1913* (1.E-12)	2.39241 (0.0682)	1.40905 (0.2398)
GDP	0.92828 (0.4271)		3.73590 (0.0114)	1.09718 (0.3502)	2.97130 (0.0318)	5.69828* (0.0008)
HTE	3.99787* (0.0080)	1.35298 (0.2569)		0.62091 (0.6018)	1.06217 (0.3651)	2.99823 (0.0307)
CO2	5.05224* (0.0019)	4.72553* (0.0030)	2.92741 (0.0337)		0.65922 (0.5776)	0.12530 (0.9451)
POP	1.54502 (0.2025)	7.86258* (4.E-05)	6.87171* (0.0002)	2.73864 (0.0433)		0.18877 (0.9040)
EPI	4.50827* (0.0040)	5.54506* (0.0010)	8.46129* (2.E-05)	3.75910 (0.0111)	5.15193* (0.0017)	

* Indique la signification statistique à 1%.

Notre étude, a pour but de démontrer les relations interactives qui peuvent figurer entre l'ensemble des variables GDP, HTE, CO2, POP, EPI et entre ENR, mais cela ne fait pas obstacle à l'étude de toutes les relations possibles. A partir des résultats des tests de Panel Granger Causalité présentés dans le tableau ci-dessus on peut en conclure le sens des relations causales qui peuvent figurées entre les variables au seuil critique (probabilité d'erreur) de 1%.

D'après les résultats présentés au tableau (5.20), on peut extraire l'existence de trois causalités unidirectionnelles allant de HTE et EPI vers ENR et ENR vers GDP, comme il y'a aussi une causalité bidirectionnelle à signaler entre le CO2 et ENR. La conclusion qui peut être tirée de ces tests est que la causalité entre ENR et CO2 est plus robuste par rapport aux relations de cause à effet unidirectionnelles en Europe. En ce qui concerne les autres relations de causalité entre le reste des variables, les résultats illustrent des relations de causalité unidirectionnelle de POP et CO2 à GDP, même de POP et EPI vers HTE, EPI vers POP et enfin une causalité bidirectionnelle entre GDP et EPI.

IV.6 Moyen Orient :

IV. 6. 1 Tests de racine unitaire :

De la même manière que les parties précédente, on va commencer par les tests de stationnarité et les résultats sont comme suit dans le tableau suivant :

Tableau 5 21: Tests de racine unitaire pour les variables des pays du Moyen Orient.

Null: Unit Root							Null: NO Unit Root	
Methods	Levin, Lin and Chu (LLC)	Breitung t-stat	Im, Pesaran And Shin (IPS) W-stat	MW-ADF Fisher Chi-square	MW-PP Fisher Chi-square	Hadri Z-stat	Heteroscedastic consistent Z-stat	
Variables								
Level	Log ENR	0.95555 (0.8304)	-0.32764 (0.3716)	-0.58699 (0.2786)	17.4681 (0.2321)	29.8822 (0.0079)*	5.12731 (0.0000)*	3.82323 (0.0001)*
	Log GDP	-2.11988 (0.0170)	-0.08077 (0.4678)	-0.40113 (0.3442)	12.4517 (0.5701)	8.50843 (0.8612)	5.75884 (0.0000)*	5.63341 (0.0000)*
	Log HTE	-2.49926 (0.0062)*	-1.17589 (0.1198)	-1.14836 (0.1254)	22.1967 (0.0747)	21.7098 (0.0848)	4.39158 (0.0000)*	4.89393 (0.0000)*
	Log CO2	76.0321 (1.0000)	18.7670 (1.0000)	7.24708 (1.0000)	3.44893 (0.9980)	2.23855 (0.9998)	3.88280 (0.0001)*	3.82240 (0.0001)*
	Log POP	-0.47233 (0.3183)	NA	2.03302 (0.9790)	13.3841 (0.4965)*	0.37446 (1.0000)	5.99909 (0.0000)*	4.94824 (0.0000)*
	Log EPI	-0.13317 (0.4470)	NA	3.17944 (0.9993)	1.64716 (1.0000)	0.57258 (1.0000)	3.50834 (0.0002)*	3.50834 (0.0002)*
First difference	Δ Log ENR	-8.73304 (0.0000)*	-1.78209 (0.0374)	-8.94417 (0.0000)*	73.6512 (0.0000)*	99.6558 (0.0000)*	1.12248 (0.1308)	1.29100 (0.0984)
	Δ Log GDP	-8.53182 (0.0000)*	-6.92414 (0.0000)*	-6.77563 (0.0000)*	62.0970 (0.0000)*	82.0109 (0.0000)*	2.04536 (0.0204)	1.85173 (0.0320)
	Δ Log HTE	-8.10476 (0.0000)*	-6.24551 (0.0000)*	-6.34620 (0.0000)*	62.2290 (0.0000)*	113.277 (0.0000)*	2.55948 (0.0052)*	1.98607 (0.0235)
	Δ Log CO2	112.148 (1.0000)*	20.2617 (1.0000)*	7.51073 (1.0000)*	0.33760 (1.0000)*	6.70548 (0.9455)*	2.86441 (0.0021)*	2.86872 (0.0021)*
	Δ Log POP	-3.94936 (0.0000)*	-2.05625 (0.0199)	-4.84455 (0.0000)*	61.5477 (0.0000)*	9.67915 (0.7852)	1.00443 (0.1576)	1.49469 (0.0675)
	Δ Log EPI	-7.23167 (0.0000)*	-7.85348 (0.0000)*	-6.21736 (0.0000)*	59.9040 (0.0000)*	144.882 (0.0000)*	1.31637 (1.31637)	1.31637 (1.31637)

* Indique la signification statistique à 1%. Δ est l'opérateur de différence première.

Le tableau résume les résultats des tests de (LLC), (IPS), (BRT), (MW), le test de Hadri ainsi que le test de *Heteroscedastic consistent*, appliqués sur les différentes variables du modèle. Les tests de racine unitaire indiquent que l'ensemble des séries statistiques au niveau sont affecté d'une racine unitaire (voir tableau 1). La sélection des nombres de retard pour chaque individu est calculé à partir Schwarz info criterion. En passant aux différences premières, on constate que

toutes les séries, sont stationnaires. On en conclut qu'elles sont intégrées d'ordre un $\{I(1)\}$, que ce soit pour le modèle avec trend et constante, ou avec constante, ou ni constante ni tendance.

IV. 6. 2 Co-intégration :

Comme précédemment pour les tests de cointégration, les résultats sont comme suit :

Tableau 5 22 : Tests de Co-intégration en panel pour les pays du Moyen Orient.

Methods	Within dimension (panel statistics)			Between dimension (individuals statistics)		
	Test	Statistique	Prob	Test	Statistique	Prob
LOGPIB LOGELEC						
Pedroni (1999)	Panel v-statistic	1.206913	0.1137	Group p-statistic	2.727006	0.9968
	Panel rho-statistic	1.749285	0.9599	Group pp-statistic	-2.918056	0.0018
	Panel PP-statistic	-2.131585	0.0165	Group ADF-statistic	-3.764791	0.0001
	Panel ADF-statistic	-4.502840	0.0000			
Pedroni (2004)(Weighted statistic)	Panel v-statistic	-1.472577	0.9296			
	Panel rho-statistic	1.166641	0.8783			
	Panel PP-statistic	-4.513366	0.0000			
	Panel ADF-statistic	-5.847194	0.0000			

* Indique la signification statistique à 5%.

Le tableau (5.22) résume les résultats des sept (07) statistiques de Co-intégration de Pedroni. La Co-intégration dépend essentiellement à la valeur de la probabilité associée à chaque estimation. En se basant sur les résultats représentés sur le tableau ci-dessus, on peut remarquer qu'il y a quatre valeurs de probabilité inférieures à 5 %. Il s'agit concrètement de (Panel pp-Statistic) et (Panel ADF-Statistic) qui appartiennent aux tests intra-individuelles « Pedroni (1999), Pedroni (2004) (Weighted statistic) », et on a aussi (Group PP-Statistic) et (Group ADF-Statistic) pour les tests inter-individuelles « Pedroni (1999) ». À partir de là, l'ensemble de ces tests dévoile l'existence d'une relation de cointégration. Dans ce qui suit, l'estimation est une étape nécessaire afin de modéliser cette relation de long terme.

IV. 6. 3 Estimation de la relation long terme avec les méthodes FMOLS et DOLS :

Ayant prouvé que les variables sont stationnaires en différences premières et l'existence d'une co-intégration à long terme dans les étapes précédentes. Dans notre analyse, nous nous intéressons par le résultat qui est offert par l'estimateur FMOLS dimension Within (Pooled) mais ça n'empêche pas que nous nous penchons aussi sur l'analyse des autres résultats fournis par l'estimateur DOLS dans les deux dimensions.

Nous estimons maintenant l'impact à long terme de toutes les variables explicatives sur la consommation globale de l'énergie primaire dans la région du Moyen Orient. Les résultats de l'estimateur FMOLS en panel ne figurent pas semblables aux estimateurs DOLS dans tous les cas, tous les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 5 23 : Estimation FMOLS et DOLS de la relation à long terme pour le Panel du Moyen Orient

Dependent Variable	FMOLS					DOLS				
	GDP	HTE	CO2	POP	EPI	GDP	HTE	CO2	POP	EPI
<i>ENR</i>										
Variables										
Within Results	[0.18746	[1.28668	[2.04762	[1.49840	[0.17840	[0.01040	[-0.0084	[0.01642	[0.54811	[0.11138
	5.578081	30.3990	22.02592	64.13692	6.672967	0.11030	-1.03030	0.07034	3.640692	1.10453
	(0.0000)*	(0.000)*	(0.0000)*	(0.0000)*	(0.0000)*	(0.9127)	(0.3091)	(0.9443)	(0.0008)*	(0.2760)
Between Results	[0.087706	[-0.0137	[0.008253	[1.201956	[0.030569	[-0.1890	[-0.0293	[-0.0195	[2.330283	[-0.0259
	0.900680	[-1.7761	1.035430	6.400672	0.331874	-0.8419	-1.0194	-0.0419	4.48074	-0.1668
	(0.3698)	(0.0786)	(0.3028)	(0.0000)*	(0.7406)	(0.4016)	(0.3102)	(0.9666)	(0.0000)*	(0.8678)

* Indique la signification statistique à 5%.

Le tableau ci-dessus établit l'élasticité à long terme entre les différentes variables du modèle à partir des estimateurs FMOLS et DOLS pour le panel du Moyen Orient (les coefficients peuvent être interprétés comme l'élasticité, parce que les variables sont exprimées en logarithmes naturels). Il est intéressant de noter que les résultats dans la dimension within (Intra-individuelle) ne diffèrent pas des résultats de la dimension between (Inter-individuelle).

La modélisation de la dimension Within nous permet de prendre en compte de l'hétérogénéité des individus dans leur dimension temporelle et / ou individuelle. L'estimateur within élimine les effets spécifiques individuels (différences persistantes entre les pays sur la période) ; elle favorise l'information temporelle.

Tous les coefficients estimés de la dimension Within (Pooled) indiquent que GDP, HTE, CO2, POP, EPI sont corrélées positivement et de façon significative à la consommation d'énergie au seuil de 5 %. Globalement, les résultats de la régression des variables explicatives GDP, HTE, CO2, POP et EPI sur ENR dans la dimension Within en utilisant l'estimateur des données de panel FMOLS dévoilent une forte relation à long terme entre les variables exogènes de notre modèle et la variable endogène ENR, et montrent aussi l'importance de toutes ces variables pour expliquer la consommation énergétique dans ces pays. Contrairement à l'utilisation de l'estimateur DOLS dans cette même dimension nous acceptons au seuil de 5 % la significativité que d'une seule variable POP.

Dans la dimension Between de la relation à long-terme, nous remarquons que les deux estimateurs FMOLS et DOLS ont un coefficient commun (POP) qui est significativement différent de 0.

Les résultats obtenus pour la zone du Moyen Orient indiquent qu'une augmentation de 1% de quelconque des variables GDP, HTE, CO2, POP et EPI augmente la consommation ENR, respectivement de 0.18 % ; 1.28 % ; 2.04 % ; 1.49 % ; 0.17 %, pour tous les individus. Il faut souligner que le Moyen Orient a des résultats négatifs et significatifs pour quelques variables tels que : HTE dans la dimension Within de l'estimateur DOLS, en revanche pour le reste des variables, les coefficients sont positifs et statistiquement significatifs au seuil de significativité de 1% et 5%

que ce soit pour la méthode FMOLS ou DOLS. Ces résultats mettent en avant la participation des différentes variables à la consommation globale d'énergie primaire, il faut préciser que ce même panel a des tests significatifs et parfois différents en passant de la méthode FMOLS à la méthode DOLS, il faut prendre ses résultats avec la plus grande prudence.

IV. 6. 4 Panel Granger causalité :

L'existence de Co-intégration implique l'existence de causalité au moins dans une direction. Ayant constaté qu'il existe une relation à long terme entre GDP, HTE, CO2, POP, EPI et ENR. La prochaine étape est faite pour but de tester le lien de causalité entre ces variables en utilisant le test de panel Granger Causalité. Ce document se concentre sur la relation entre GDP, HTE, CO2, POP, EPI et ENR. Une analyse de causalité de Granger est effectuée afin de déterminer si il y'a une puissance de prévisibilité potentielle d'un indicateur à l'autre. Les résultats du test de Panel Granger Causalité pour tous les individus sont résumés dans le tableau suivant. Il convient de noter que retard optimal a été créé en utilisant les critères d'information d'Akaike et Schwarz.

Tableau 5 24 : Test de Panel Granger Causalité pour Panel du Moyen Orient

Lags = 2	ENR	GDP	HTE	CO2	POP	EPI
ENR		1.56200 (0.2137)	0.49080 (0.6136)	3.37229* 	2.80667 (0.0641)	2.88975 (0.0592)
GDP	2.33854 (0.1006)		0.56771 (0.5686)	8.96827* 	3.03488* 	0.84042 (0.4339)
HTE	0.93748 (0.3950)	4.55675* 		0.81605 (0.4451)	1.09103 (0.3398)	0.14698 (0.8635)
CO2	4.83449* 	0.29944 (0.7418)	1.80789 (0.1693)		5.34594* 	0.81537 (0.4448)
POP	0.01027 (0.9898)	2.95692 (0.0555)	2.72956 (0.0701)	0.14177 (0.8680)		0.39019 (0.6777)
EPI	0.24615 (0.7822)	1.36926 (0.2580)	1.04044 (0.3571)	8.39143* 	1.06818 (0.3467)	

* Indique la signification statistique à 5%.

Notre étude, a pour but d'illustrer les relations interactives entre l'ensemble des variables GDP, HTE, CO2, POP, EPI et entre ENR, mais cela ne fait pas obstacle à l'étude de toutes les relations possibles. A partir des résultats des tests de Panel Granger Causalité présentés dans le tableau ci-dessus on peut en déduire le sens des relations causales qui peuvent figurées entre les variables au seuil critique (probabilité d'erreur) de 5%.

Les résultats mentionnés au tableau indiquent la présence d'une causalité bidirectionnelle à signaler entre le CO2 et ENR. En ce qui concerne les autres relations causales entre toutes les variables, les résultats montrent des relations de causalité unidirectionnelle d'EPI et GDP vers CO2, ainsi que de CO2 et GDP vers POP et enfin une dernière relation causale unidirectionnelle allant de HTE vers GDP.

V. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons examiné la relation liant la consommation d'énergie à un ensemble de variables représentant différents aspects²⁵⁰ dans le cadre du développement durable qui nécessitent d'adopter une politique environnementale efficace passe obligatoirement par la mise en place d'une politique énergétique qui s'appuie sur d'autres formes d'énergie qui respectent l'environnement et une utilisation rationnelle de technologie moins polluante. Dans notre étude, nous avons eu recours à des techniques économétriques très récentes, notamment, la cointégration en données de panel. Cette méthode, prenant en considération le non stationnarité, nous a permis de distinguer les relations de court terme de celles de long terme. En effet, plusieurs relations de causalité unidirectionnelle allant de plusieurs variables exogènes vers la consommation d'énergie ont été identifiées dans le long et le court terme pour tous les panels, aussi des relations bidirectionnelles ont été déterminées entre ces variables. Ces résultats sont en relation étroite avec les structures économiques et auront un impact sur les politiques énergétiques futurs. Ainsi, des politiques d'économies d'énergie dans ces zones risquent d'impacter négativement la croissance économique étant la nature de la relation de causalité. Par la suite, et afin d'affiner les résultats de notre étude, nous avons procédé à la classification des pays étudiés en six groupes (panel), selon leur emplacement géographique :

- le panel Américain (Argentine, Brésil, USA, Mexique,...) ;
- le panel Africain (Algérie, Maroc, Tunisie, Afrique du Sud,...) ;
- le panel Européen (Allemagne, France, Grèce, Turquie,...) ;
- le panel Asiatique et Océanique (Australie, Chine, Nouvelle Zélande, Japon,...) ;
- le panel Eurasie (Arménie, Azerbaïdjan, Kazakhstan, Kirghizstan,...) ;
- le panel du Moyen-Orient (Arabie saoudite , Bahreïn, Émirats arabes unis, Jordanie,...).

Grâce à cette classification, nous avons pu avoir avec des résultats beaucoup plus spécifiques et beaucoup plus robustes. En effet, l'hypothèse de l'existence de la relation à long terme (Cointégration) entre la consommation d'énergie et le reste des variables pour tous les panels est validée. On peut constater que la différence à long terme figure seulement dans le taux d'élasticité entre la variable endogène et les variables exogènes (c'est-à-dire la contribution des variables exogènes à expliquer la consommation d'énergie). Arrivant à la causalité qui est très sensible à toute variation dans les différents aspects qui lient la consommation d'énergie, qu'elle soit à court ou à long terme, ce qui pourrait être attribué à la nature de la structure économique dans chaque panel où le tissu industriel est assez développé, ces panels, étant plus concernés que d'autres panels par le Protocole de Kyoto, seront appelés à établir une politique d'économie d'énergie beaucoup plus efficace. En effet, une politique de conservation d'énergie vise au développement durable en incitant les pays de quelques panels à respecter les conventions internationales en la matière, et à préserver les ressources énergétiques non renouvelables pour les générations futures. Contrairement à la croissance économique des panels contenant des pays développés, celle des autres panels est non tributaire de la consommation d'énergie. En effet, la consommation d'énergie du panel des pays en voie de développement ou sous-développés tels que ; Arménie, Géorgie, Togo,...etc... ne

²⁵⁰ « PIB, l'exportation de la haute technologie, Indice des prix de l'énergie, émissions totales de dioxyde de carbone (CO2) et enfin la population ».

s'accroît que suite à un épanouissement économique, ce qui pourrait être attribué au climat politique très tendu de ce panel. Ainsi, si le climat politique est favorable à la croissance économique, cette dernière s'épanouit, ce qui entraîne par conséquent une stimulation de la consommation d'énergie. Subséquemment, ce panel peut adopter une politique de conservation d'énergie sans pour autant entraver sa croissance économique. En ce qui concerne le panel du Moyen-Orient, nous notons que sa consommation d'énergie est non tributaire de la croissance économique. Ceci revient à la nature de sa structure économique, non industrialisée, basée principalement sur le tourisme et sur d'autres activités non consommatrices d'énergie. Par conséquent, une politique de conservation d'énergie ne sera pas en mesure d'entraver sa croissance économique. Pour ces économies la transition vers des technologies propres peut se faire à un moindre coût. D'où le grand intérêt des projets s'inscrivant dans le cadre du MDP.

Conclusion Générale

L'énergie est un élément vital pour les pays au même titre que la nourriture ou l'accès à l'eau pour l'être humain. La croissance démographique (la population mondiale n'a cessé de s'accroître où en un siècle, elle a quadruplé et la consommation d'énergie par habitant a été multipliée par 7), la mobilité des gens, le développement rapide des pays émergents, la croissance brusque de la haute technologie et la variation du prix de l'énergie,...etc... construits sur le modèle de consommation des pays du monde, contribuent à une véritable explosion des besoins énergétiques qui sont non contrôlés. Pour autant, l'observation de la production et de la consommation d'énergie à l'échelle mondiale montre de fortes inégalités entre les différents continents ; entre producteurs, et consommateurs d'autre part, créant ainsi des liens de dépendance et/ou des tensions importantes. L'épuisement annoncé des énergies fossiles, l'instabilité politique des principales zones de production - comme le Moyen-Orient -, le réchauffement climatique, conduisent des États à unir leurs forces pour réduire leurs consommations énergétiques, les atteintes à l'environnement et à promouvoir un nouveau modèle de développement (protocole de Kyoto). Le développement durable ou soutenable des sociétés devient un enjeu planétaire mais l'utilisation des énergies renouvelables, une des solutions préconisées, progresse dans de faibles proportions.

La consommation d'énergie suscite partout des préoccupations au sein des collectivités et compte parmi les plus grands défis actuels de l'économie mondiale. Les impératifs sociaux et économiques sous-jacents aux solutions de gestion des données sur l'énergie visent à diminuer les coûts et à respecter les meilleures pratiques environnementales. Pour assurer cette dernière, des mesures d'efficacité touchant notamment la consommation énergétique et de nouvelles technologies de limitation des émissions ont été implémentées pour rationaliser la trajectoire énergétique ainsi que pour lutter contre les changements climatiques.

A toutes les échelles, l'enjeu énergétique est étroitement lié à la question du développement durable des pays. Notre étude met l'accent sur les rôles de plusieurs facteurs sur la consommation énergétique à court et à long terme, c'est pour cela que dans notre thèse, on a abordé la notion de trajectoire énergétique afin d'expliquer tout facteur interagissant sur cette dernière.

Au terme de cette étude, on peut constater que l'augmentation des besoins domestiques en énergie, suite à la variation des différents facteurs telle que la croissance de la population qui entraîne une surexploitation des ressources naturelles. Il est exploité environ 13,37 milliards de tep

en 2012 (6,1 en 1973) et si rien n'est fait, les populations vont connaître d'ici quelques années une crise d'énergie. Cette surexploitation se traduit par l'utilisation continue de la consommation énergétique située non seulement dans une zone particulière, mais dans toutes les zones continentales, sachant que cette utilisation d'énergie diffère d'un continent à l'autre selon les structures économiques des pays de chaque panel. Cette surexploitation des ressources génère des problèmes de dégradation de la biodiversité.

Au regard des différents résultats et conclusions auxquels nous avons abouti, nous suggérons, pour renforcer la contribution des différents aspects à la consommation d'énergie comme moyen de développement durable à long terme sans porter atteinte au capital naturel, une série d'actions qui vont de la production jusqu'à la consommation de l'énergie en passant par sa commercialisation comme suit :²⁵¹

Une réponse incontournable aux exigences des partenaires ➡ Les reportages sur la gestion de l'énergie ainsi que sur ses impacts environnementaux et financiers font la manchette de publications importantes. Des entreprises de styles aussi différents que Microsoft et Home Dépôt montent en épingle leurs solutions de gestion de l'énergie. Les solutions de gestion de l'énergie permettent aux organisations de respecter les obligations réglementaires sur la réduction des émissions de carbone tout en répondant aux attentes des employés, des clients et de la collectivité en matière de politiques économiques responsables.

Diminuer la consommation d'énergie : impératifs économiques et sociaux ➡ Pour comprendre la nature et la structure du marché des TIC éco responsables (DETIC), il faut comprendre la place que la gestion de l'énergie et l'efficacité énergétique occupent dans le débat sur les changements climatiques. Les gouvernements et les entreprises se sont attelés à la tâche de trouver et de déployer des solutions qui diminueront la consommation d'énergie et la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. La corrélation entre consommation d'énergie, coûts et écologie est simple mais cruciale : une baisse de la consommation diminue la facture énergétique ainsi que les dommages à l'environnement.

Programmes de gestion de l'énergie et d'efficacité énergétique ➡ Nombre d'organismes publics et d'entreprises souhaitent déployer des programmes d'efficacité énergétique qui leur permettront de prendre des décisions judicieuses en s'appuyant sur la mesure continue de la consommation d'énergie. La mise en œuvre d'un programme d'efficacité énergétique se décompose en trois phases répétibles :

1. Planification et conception – Cette phase vise la collecte de données sur l'utilisation de l'énergie et sur les économies possibles. Il est en effet indispensable de disposer de données de référence afin d'élaborer l'étude de rentabilité des scénarios et de retenir les plus avantageux.
2. Mise en œuvre – Pendant cette phase, on met en application les décisions prises au cours de la phase de conception. La mise en œuvre vise l'amélioration des processus et de l'utilisation des équipements.
3. Évaluation – Après la mise en œuvre, il est essentiel d'évaluer les résultats atteints et d'en tirer des leçons. Cette phase a pour but de procéder à des analyses fines des données sur la

²⁵¹ Energy_Management_Briefing, CGI, 2009.

consommation d'énergie et d'approfondir les leçons de l'expérience afin de prendre des décisions efficaces.

Solution de gestion de l'énergie → Chaque pays se caractérise par structure économique privative. A partir de chaque structure, on trouve des solutions de gestion d'énergie qui représentent dans son ensemble un système de surveillance et d'analyse qui fournit l'information nécessaire pour mesurer finement la consommation d'énergie dans toutes les entités de l'organisation. Dans le cadre d'une mise en œuvre intégrale, les données sur la consommation d'énergie sont croisées avec les données sur les processus pour conduire à un contrôle de l'infrastructure fondé sur l'« information écologique ».

Mise en œuvre de la solution → On recommande de subdiviser la mise en œuvre de solutions en quatre phases menant à des possibilités croissantes d'économie d'énergie. Les estimations indiquent que les baisses de consommation potentielles peuvent totaliser jusqu'à 20 ou 30 pour cent au terme des quatre phases décrites ci-dessous.

- Analyse automatique des données – Cette phase comprend la mise en œuvre de la solution et la production des analyses initiales.
- Analyse des données en temps réel – Pendant cette phase, on intègre les compteurs et les senseurs du client au tableau de bord de la consommation d'énergie afin d'effectuer des mesures en temps réel et d'élargir la base de renseignements.
- Croisements en temps réel des données sur la consommation avec les données sur les processus – Ces croisements permettent de procéder à des analyses et à des réglages plus poussés de la consommation d'énergie.
- Contrôle de l'infrastructure fondé sur l'information écologique – À cette étape, on contrôle la consommation d'énergie à distance grâce à l'information écologique.

Couplage économie – énergie → Toute activité économique dépend de l'énergie. Elle constitue son moteur principal et irremplaçable. Croissance de l'économie et croissance de la consommation d'énergie ont toujours été de pair. Pour pouvoir "relancer" l'économie, et par là augmenter la consommation et les revenus, il faut disposer de plus d'énergie. Et si, comme cela semble bien être le cas, la production mondiale d'énergie ne parvient plus à croître significativement – et elle est même probablement amenée à décroître – l'économie s'en ressentira forcément. Les pays développés seront en première ligne, obligés de modérer leur consommation en raison de la volonté de croissance des pays en développement dont le niveau de consommation (et de revenus) reste bien inférieur. Le découplage est relatif lorsque la croissance de la consommation d'énergie est moins forte que celle de l'économie. Par exemple, une croissance de l'économie de 3 % avec une croissance de la consommation d'énergie de seulement 2 %. Plus optimiste est le découplage absolu, qui permettrait de faire croître l'économie tout en faisant décroître la consommation d'énergie.

Implications de l'étude pour les recherches futures

Les résultats de cette étude confirment la place importante de l'énergie dans les moyens d'existence des ménages dans le monde. Mais la question qui se pose généralement après chaque étude est de savoir si les conclusions qu'elle a permis de tirer peuvent s'appliquer ailleurs. C'est pour cette raison qu'on a établi une étude comparative en étudiant la trajectoire énergétique dans différents continents. Il serait donc opportun de mener, à l'avenir, la même étude dans d'autres zones en faisant une projection sur chaque continent et cela en la scindant par région ; Nord, Sud, Est et Ouest pour comparer les tendances. Ensuite, il a été identifié plusieurs normes et traditions

qui concourent ou empêchent l'utilisation de l'énergie, où on remarque d'un côté que dans des panels l'utilisation de l'énergie a pour but la croissance économique et le développement durable et dans autres panels, l'utilisation de cette dernière sert à satisfaire la satisfaction des besoins humains comme le transport, le chauffage, etc... . Il serait intéressant d'évaluer quel est l'impact de ces normes et traditions sur la consommation d'énergie dans ces continents. Enfin, l'intérêt porté au système de consommation d'énergie dans cette étude est resté localisé dans les relations à long terme et l'estimation de ces relations ainsi qu'en faisant qu'en tentant de déterminer les relations causales.

Il s'avère donc nécessaire, pour la durabilité de la contribution de ces aspects à la rationalisation de la consommation des pays de cette ressource importante et pour permettre la conservation, de développer une approche intégrée et participative d'une bonne gestion de l'énergie et d'essayer de répondre aux attentes des populations en satisfaisant leurs besoins prioritaires. Il est indispensable de concilier les besoins des populations de l'énergie et les impératifs de protection de l'environnement. Les suggestions énumérées ci-dessus peuvent servir d'indicateurs aux différents acteurs et à divers niveaux.

Liste des Tableaux

Chapitre I :

Tableau 1 1 : La sécurité énergétique selon les contextes des pays	10
Tableau 1 2: Systeme d'équivalences énergétiques utilise en France.....	19
Tableau 1 3: Approvisionnement énergétique de la France en 2004 (en Mtep)	19
Tableau 1 4: Consommation d'énergie en France en 2004 (en Mtep).....	19
Tableau 1 5: Quelques exemples de modèles utilisés dans l'union européenne (avec l'indication de l'institution qui les a élaborés).	24

Chapitre II :

Tableau 2 1: Production mondiale d'énergie primaire en 2008 en milliards de tep (Gtep).....	51
Tableau 2 2: Répartition de la consommation sur différent secteurs.....	56
Tableau 2 3: Scénario du conseil mondial de l'énergie.....	57
Tableau 2 4: Réserves d'énergie primaire fossiles (base 2009).....	58
Tableau 2 5: Potentiel solaire en Algérie.....	65

Chapitre III :

Tableau 3 1: Exemple d'un panel	86
---------------------------------------	----

Chapitre IV :

Tableau 4 1 : Tests de racines unitaires en Panel.....	122
Tableau 4 2: Facteurs d'ajustement de la t-Statistique Corrigée.....	128
Tableau 4 3 Moments des Statistiques Individuelles $\hat{t}iT$	131
Tableau 4 4: Moments des Statistiques Individuelle $\hat{t}iT(\rho_i, 0)$	132
Tableau 4 5: seuils critiques de la distribution CADF.....	136

Chapitre V :

Tableau 5 1 : Tests de racine unitaire pour les variables des pays de la Zone Africaine.....	149
Tableau 5 2: Tests de Co-intégration en panel pour les pays de la Zone Africaine.....	150
Tableau 5 3 : Estimation FMOLS et DOLS de la relation à long terme pour le Panel Africain	151
Tableau 5 4 : Test de Panel Granger Causalité pour Panel Africain	152

<i>Tableau 5 5 : Tests de racine unitaire pour les variables des pays de la Zone Américaine.</i>	<i>153</i>
<i>Tableau 5 6: Tests de Co-intégration en panel pour les pays de la Zone Américaine.</i>	<i>154</i>
<i>Tableau 5 7: Estimation FMOLS et DOLS de la relation à long terme pour le Panel Américain..</i>	<i>155</i>
<i>Tableau 5 8 : Test de Panel Granger Causalité pour Panel Américain.....</i>	<i>156</i>
<i>Tableau 5 9: Tests de racine unitaire pour les variables des pays de la Zone Asiatique et Océanienne.....</i>	<i>157</i>
<i>Tableau 5 10 : Tests de Co-intégration en panel pour les pays de la Zone Asiatique et Océanienne</i>	<i>158</i>
<i>Tableau 5 11: Estimation FMOLS et DOLS de la relation à long terme pour le Panel Asiatique et Océanien</i>	<i>159</i>
<i>Tableau 5 12 : Test de Panel Granger Causalité pour Panel Asiatique et Océanien</i>	<i>160</i>
<i>Tableau 5 13 : Tests de racine unitaire pour les variables des pays de la Zone Eurasiatique.</i>	<i>161</i>
<i>Tableau 5 14 : Tests de Co-intégration en panel pour les pays de la Zone Eurasiatique.....</i>	<i>162</i>
<i>Tableau 5 15: Estimation FMOLS et DOLS de la relation à long terme pour le Panel Eurasien. .</i>	<i>163</i>
<i>Tableau 5 16 : Test de Panel Granger Causalité pour Panel Eurasien.....</i>	<i>164</i>
<i>Tableau 5 17 : Tests de racine unitaire pour les variables des pays de la Zone Européenne.....</i>	<i>165</i>
<i>Tableau 5 18 : Tests de Co-intégration en panel pour les pays de la Zone Européenne.</i>	<i>166</i>
<i>Tableau 5 19 : Estimation FMOLS et DOLS de la relation à long terme pour le Panel Européen</i>	<i>167</i>
<i>Tableau 5 20 : Test de Panel Granger Causalité pour Panel Européen.....</i>	<i>168</i>
<i>Tableau 5 21: Tests de racine unitaire pour les variables des pays du Moyen Orient.</i>	<i>169</i>
<i>Tableau 5 22 : Tests de Co-intégration en panel pour les pays du Moyen Orient.</i>	<i>170</i>
<i>Tableau 5 23 : Estimation FMOLS et DOLS de la relation à long terme pour le Panel du Moyen Orient.....</i>	<i>171</i>
<i>Tableau 5 24 : Test de Panel Granger Causalité pour Panel du Moyen Orient</i>	<i>172</i>

Liste des Figures

Chapitre I :

<i>Figure 1 1 : Transformation de l'énergie.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 1 2 : Consommation d'énergie finale par secteur</i>	<i>12</i>
<i>Figure 1 3: Consommation d'énergie primaire dans le secteur résidentiel et tertiaire</i>	<i>13</i>
<i>Figure 1 4: Évolution des consommations unitaires des résidences principales en kWh/m2 à climat normal, bois inclus, base 100 en 1976 :</i>	<i>13</i>
<i>Figure 1 5: Consommation d'énergie des transports et PIB en France</i>	<i>14</i>
<i>Figure 1 6 : Les dimensions de la sécurité énergétique et le rôle potentiel de l'énergie nucléaire..</i>	<i>27</i>
<i>Figure 1 7: Les formes d'énergie et leurs usages principaux.....</i>	<i>35</i>
<i>Figure 1 8: Allemagne, Espagne, Royaume-Uni : 3 bilans énergétiques contrastés</i>	<i>35</i>
<i>Figure 1 9: Projet pilote de centrale sans émission de CO2 à Brandenburg, Allemagne (© 2011).</i>	<i>37</i>
<i>Figure 1 10: Objectifs, Stratégies et Mesures énergétiques</i>	<i>44</i>

Chapitre II :

<i>Figure 2 1: Production totale d'énergie primaire (classé par combustibles)</i>	<i>50</i>
<i>Figure 2 2: Production totale d'énergie primaire (classé par Régions)</i>	<i>51</i>
<i>Figure 2 3: La consommation d'énergie finale dans le monde en 2009.....</i>	<i>51</i>
<i>Figure 2 4: Consommations totale d'énergie (classé par combustibles)</i>	<i>52</i>
<i>Figure 2 5: Consommations totale d'énergie (classé par régions)</i>	<i>52</i>
<i>Figure 2 6: Evolution de la consommation énergétique.....</i>	<i>53</i>
<i>Figure 2 7: Evolution de la demande énergétique mondiale.....</i>	<i>53</i>
<i>Figure 2 8: Evolution de la consommation mondiale dans le monde.....</i>	<i>54</i>

Bibliographie

1. <OECD etudes economique sbeglique 2011.pdf>. (2011).
2. Athena, A. (n.d.). et Energie, 1–95.
3. Bank, W. (2005). Energy Security Issues. *World Bank*. Retrieved from http://siteresources.worldbank.org/INTRUSSIANFEDERATION/Resources/Energy_Security_eng.pdf
4. Carpentier, J. (n.d.). *Laboulimie énergétique, suicidedel'humanité?*
5. Collection, L. A., & Recherche, D. E. L. A. (n.d.). De la Recherche à l' Industrie.
6. Debrouwer, P. F. (n.d.). Apports et les limites des travaux de l' Ecole de Copenhague .
7. Demain, N. D. E. (n.d.). *L'énergie de demain*.
8. DOSSIER. (2008), 1–109.
9. Doucet, G. (2007). Energy Scenario Development Analysis: WEC Policy to 2050, 94.
10. Énergie renouvelable et efficacité énergétique en Tunisie : emploi , qualification et effets économiques. (n.d.).
11. Énergies, L. E. S. (2012). Les énergies. *et pays en devefooppem ' e rit*. (n.d.).
12. European Commission. (2010). Efficacité Énergétique dans le secteur industriel.
13. Future politique énergétique du Québec : un projet de société attendu. (2013).
14. Groupe, O. M. M. (2005). *Piégeage et stockage du dioxyde de carbone*. *Journal of Organometallic Chemistry* (Vol. 228). Retrieved from http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_spm_ts_fr.pdf
15. Heraud, J. (2013). Chapitre 1 Les grands enjeux de l'économie de l'énergie.
16. LA MAÎTRISE DE L' ÉNERGIE. (1999).
17. Payette, A., & Mascotto, G. (2011). *Le secteur énergétique chinois : élaboration de politiques , acteurs , quête et stratégie énergétique*.
18. Pédagogique, C. (n.d.). Energies renouvelables et économies d' énergie Présentation du document.
19. Percebois, J. (1999). L' Apport De La Theorie Economique Aux Debats Energetiques. *Recherche*, (33), 1–36.

20. Pereira, L. (n.d.). ECONOMIQUES D ' INVESTISSEMENTS EN INFRASTRUCTURES DE TRANSPORTS (II) L ' utilisation de modèles pour évaluer les relances par le BTP, (Ii).
21. Politique du Secteur de l ' Énergie du Groupe de la BAD Politique du Secteur de l ' Énergie du Groupe de la BAD. (n.d.).
22. Politique sur l ' Efficacité Énergétique de la CEDEAO (PEEC). (2012).
23. Stéphan, C. (n.d.). L ' énergie dans le monde : bilan et perspectives Deuxième édition.
24. Suisse, T. E. (n.d.). Stratégie énergétique 2050.
25. Travail, D. De. (2002). LABORATOIRE D ' ANALYSE.
26. VARIABLE : prix de l ' énergie 1 . DÉFINITION DE LA VARIABLE 2 . INDICATEURS PERTINENTS (permettant de suivre l ' évolution de la variable dans le temps). (n.d.), 1–15.
27. BESLAY Christophe, ZELEM Marie-Christine, « Le paradoxe du consommateur moderne, Modérer ses consommation d'énergie dans une société toujours plus énergivore », in JUAN Salvador (dir.), *Consommer autrement. La réforme écologique des modes de vie*, Collection Sociologie et Environnement, Editions de l'Harmattan, Paris, 2008, pp. 277-296.
28. Bidart, A. (2003). Les énergies fossiles et renouvelables.
29. Iea. (2011). World Energy Outlook. International Energy Agency, 1–666. <http://doi.org/10.1787/weo-2011-en>
30. Mondial, S. S. (n.d.). Sommet solaire mondial.
31. Baltagi, B. (1998). Panel Data Methods. *Handbook of Applied Economic Statistics*, (409), 291–324.
32. Asma, E. (2011). Croissance économique , consommation d ' énergie et développement durable : l ' exemple de la région méditerranéenne, 1–17.
33. Cameron, R., & Keppler, J. H. (2010). La sécurité d ' approvisionnement énergétique et le rôle du nucléaire, 4–8.
34. Comit, L., & Newsletters, E. (2014). Co n s o m m a t i o n d ' é n e r g i e f i n a l e d a n s l e m o n d e, 1–7.
35. Final, R. (2012). Evaluation des conséquences sociales , économiques et administratives d ' un prix élevé du baril de pétrole en Région de Bruxelles-Capitale, 0–98.
36. Hache, E., & Lantz, F. (2010). Volatilité des prix et transactions sur les marchés pétroliers : une analyse économétrique des changements. IFP Working Paper, 7–9.
37. L ' énergie sous toutes ses formes : définitions. (n.d.), (m).
38. Omri, A. (2013). CO2 emissions, energy consumption and economic growth nexus in MENA countries: Evidence from simultaneous equations models. *Energy Economics*, 40, 657–664. <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.09.003>
39. Ourrinet, J. B., & Université, P. (2007). Quelle politique énergétique pour l ' Union européenne ? 1, 2007, 723–731.
40. Sylvain, Q. (2008). Energie et développement : quels enjeux?
41. Apergis, N., & Payne, J. E. (2012). Renewable and non-renewable energy consumption-growth nexus: Evidence from a panel error correction model. *Energy Economics*, 34(3), 733–738. <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.04.007>
42. Boug, P. (n.d.). Modelling Energy Demand in Germany A Cointegration Approach.
43. Kolodziej, M., & Kaufmann, R. K. (2014). Oil demand shocks reconsidered: A cointegrated vector autoregression. *Energy Economics*, 41, 33–40. <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.10.009>

44. Mohammadi, H., & Parvaresh, S. (2014). Energy consumption and output: Evidence from a panel of 14 oil-exporting countries. *Energy Economics*, 41, 41–46. <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.11.002>
45. Pardo Martínez, C. I. (2013). An analysis of eco-efficiency in energy use and CO₂ emissions in the Swedish service industries. *Socio-Economic Planning Sciences*, 47(2), 120–130. <http://doi.org/10.1016/j.seps.2012.11.004>
46. Savulescu, L., Kim, J. K., & Smith, R. (2005). Studies on simultaneous energy and water minimisation - Part II: Systems with maximum re-use of water. *Chemical Engineering Science*, 60(12), 3291–3308. <http://doi.org/10.1016/j.ces.2004.12.036>
47. Sung, B., & Song, W. Y. (2013). Causality between public policies and exports of renewable energy technologies. *Energy Policy*, 55, 95–104. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.063>
48. Twas. (2008). Sustainable energy for developing countries. SAPI EN. S. Surveys and Perspectives ..., 1–48. Retrieved from <http://sapiens.revues.org/823> \nwww.twas.org
49. Yanqing, X., & Mingsheng, X. (2012). A 3E Model on Energy Consumption, Environment Pollution and Economic Growth ---An Empirical Research Based on Panel Data. *Energy Procedia*, 16, 2011–2018. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.01.306>
50. Akarca, A.T., Long, T.V., 1980. On the relationship between energy and GNP: a re-examination. *Journal of Energy and Development* 5 (2), 326–331.
51. Akinlo, A., 2008. Energy consumption and economic growth: evidence from 11 Sub-Sahara African countries. *Energy Econ.* 30 (5), 2391–2400.
52. Breitung, J., 2000. The local power of some unit root tests for panel data. *Advances in Econometrics* 15, 161–177.
53. Chiou-Wei, S., Chen, C.-F., Zhu, Z., 2008. Economic growth and energy consumption revisited—evidence from linear and nonlinear Granger causality. *Energy Econ.* 30 (6), 3063–3076.
54. Ciarreta, A. Zarraga, 2010. Economic growth-electricity consumption causality in 12 European countries: A dynamic panel data approach *Energy Policy* 38 (2010) 3790–3796
55. Engle, R.F., Granger, C.W.J., 1987. Cointegration and error correction: representation, estimation and testing. *Econometrica* 55, 251–276.
56. Ferguson, R., Wilkinson, W., Hill, R., 2000. Electricity use and economic development. *Energy Policy* 28 (13), 923–934.
57. Hadri, K., 2000a. Testing for stationarity in heterogeneous panel application. *Econometric Journal* 3, 148–161.
58. İlhan Ozturk, Alper Aslan, Huseyin Kalyoncu “Energy consumption and economic growth relationship: Evidence from panel data for low and middle income countries” *Energy Policy* 38 (2010) 4422–4428
59. Im KS, Pesaran MH, Shin Y (2003) Testing for unit roots in heterogeneous panels. *J Econometrics* 115:53–74
60. K. Ali Akkemik, Koray Göksal » Energy consumption-GDP nexus: Heterogeneous panel causality analysis” *Energy Economics* 34 (2012) 865–873
61. Kao, C., Chiang, M.-H., 2000. On the estimation and inference of a cointegrated regression in panel data. In: Baltagi, B.H. (Ed.), *Advances in Econometrics: Nonstationary Panels. Panel Cointegration and Dynamic Panels*, 15, pp. 179–222.
62. Kraft, J., Kraft, A., 1978. On the relationship between energy and GNP. *Journal of Energy and Development* 3, 401–403.
63. Lee, C.-C., Chang, C.-P., 2007. The impact of energy consumption on economic growth: evidence from linear and nonlinear models in Taiwan. *Energy* 32 (12), 2282–2294.

64. Levin A, Lin CF, Lin ChuJ (2002) Unit root tests in panel data: asymptotic and finite-sample properties. *J Econometrics* 108:1–24
65. Maddala, G.S., Wu, S., 1999. A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 631–652 Special Issue.
66. Mark, N.C., Sul, D., 2002. Cointegration vector estimation by panel DOLS and long-run money demand. NBER Technical Working Papers 0287, National Bureau of Economic Research, Inc.
67. Nadia S. Ouedraogo «Energy consumption and economic growth: Evidence from the economic community of West African States (ECOWAS)” *Energy Economics* 36 (2013) 637–647
68. Nadia S. Ouedraogo «Energy consumption and economic growth: Evidence from the economic community of West African States (ECOWAS)” *Energy Economics* 36 (2013) 637–647
69. Narayan, P.K., Smyth, R., Prasad, A., 2007. Electricity consumption in the G7 countries: a panel cointegration analysis of residential demand elasticities. *Energy Policy* 35 (9), 4485–4494.
70. Nicholas Apergis, James E. Payne «Energy consumption and economic growth in Central America: Evidence from a panel cointegration and error correction model” *Energy Economics* 31 (2009) 211–216
71. Nicholas Apergis, James E. Payne. A dynamic panel study of economic development and the electricity consumption-growth nexus *Energy Economics* 33 (2011) 770–781
72. Odhiambo, N., 2010. Energy consumption, prices and economic growth in three SSA countries: a comparative study. *Energy Policy* 38 (5), 2463–2469.
73. Ozturk, I., 2010. A literature survey on energy-growth nexus. *Energ Policy* 38 (1), 340–349.
74. Payne, J.E., 2010. Survey of the international evidence on the causal relationship between energy consumption and growth. *J. Econ. Stud.* 37 (1), 53–95.
75. Payne, J.E., 2010. Survey of the international evidence on the causal relationship between energy consumption and growth. *J. Econ. Stud.* 37 (1), 53–95.
76. Pedroni, P., 1997. Panel cointegration, asymptotic and finite sample properties of pooled time series tests, with an application to the PPP hypothesis: new results. *Economics Working Paper*, Indiana University.
77. Pedroni, P., 1999. Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 61, 653–678.
78. Pedroni, P., 2001. Purchasing power parity tests in cointegrated panels. *Rev. Econ. Stat.* 3 (A), 121 li.
79. Pedroni, P., 2004. Panel cointegration: asymptotic and finite sample properties of fooled time series tests with an application to the PPP hypothesis. *Econometric Theory* 20, 597–625.
80. Pirlogea, C., Cicea, C., 2012. Econometric perspective of the energy consumption and economic growth relation in European Union. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16(8), 5718–5726.
81. Possibly integrated processes. *J. Econ.* 66, 225–250.
82. Robin Coers, Mark Sanders «The energy–GDP nexus; addressing an old question with new methods” *Energy Economics* 36 (2013) 708–715
83. Theodoros Zachariadis «Exploring the relationship between energy use and economic growth with bivariate models: Abstract New evidence from G-7 countries” *Energy Economics* 29 (2007) 1233–1253
84. Wolde-Rufael, Y., 2006. Electricity consumption and economic growth: a time series experience for 17 African countries. *Energy Policy* 34, 1106–1114.
85. Wolde-Rufael, Y., 2009. Energy consumption and economic growth: the experience of African countries revisited. *Energy Econ.* 31 (2), 217–224.

86. Yu, E., Hwang, B., 1984. The relationship between energy and GNP. Further results. *Energy Economics* 6, 186–190.
87. Amato, A., Ruth, M., Kirshen, P. & Horwitz, J. (2005), 'Regional energy demand response to climate change : Methodology and application to the commonwealth of massachusetts', *Climate Change* 71, 175–201.
88. Bigano, A., Bosello, F. & Marano, G. (2006), *Energy demand and temperature : A dynamic panel analysis.*, working paper 112, FEEM.
89. Destais, G., Fouquau, J. & Hurlin, C. (2007b), *Energy development and energy intensity : A panel data analysis*, in J. Keppler, R. Bourbonnais & J. Girod, eds, 'The Econometrics of Energy Systems', Palgrave, chapter 5, pp. 98–120.
90. Maddala, G., Trost, R., Li, H. & Joutz, F. (1997), 'Estimation of shortrun and long-run elasticities of energy demand from panel data using shrinkage estimators', *Journal of Business and Economic Statistics* 15, 90–100.
91. Alam, M. J., Begum, I. A., Buysse, J., Rahman, S., & Van Huylenbroeck, G. (2011). Dynamic modeling of causal relationship between energy consumption, CO2 emissions and economic growth in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 3243–3251. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.029>
92. Al-mulali, U., & Binti Che Sab, C. N. (2012). The impact of energy consumption and CO₂ emission on the economic growth and financial development in the Sub Saharan African countries. *Energy*, 39(1), 180–186. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.032>
93. Apergis, N., & Payne, J. E. (2009). Energy consumption and economic growth in Central America: Evidence from a panel cointegration and error correction model. *Energy Economics*, 31(2), 211–216. <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.09.002>
94. Apergis, N., & Payne, J. E. (2010). Renewable energy consumption and economic growth: Evidence from a panel of OECD countries. *Energy Policy*, 38(1), 656–660. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.002>
95. Begum, R. A., Sohag, K., Abdullah, S. M. S., & Jaafar, M. (2015). CO2 emissions, energy consumption, economic and population growth in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 594–601. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.205>
96. Behmiri, N. B., & Pires Manso, J. R. (2014). The linkage between crude oil consumption and economic growth in Latin America: The panel framework investigations for multiple regions. *Energy*, 72, 233–241. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.028>
97. Belke, A., Dobnik, F., & Dreger, C. (2011). Energy consumption and economic growth: New insights into the cointegration relationship. *Energy Economics*, 33(5), 782–789. <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.02.005>
98. Dagher, L., & Yacoubian, T. (2012). The causal relationship between energy consumption and economic growth in Lebanon. *Energy Policy*, 50, 795–801. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.034>
99. Hamit-Haggar, M. (2012). Greenhouse gas emissions, energy consumption and economic growth: A panel cointegration analysis from Canadian industrial sector perspective. *Energy Economics*, 34(1), 358–364. <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.06.005>
100. Heidari, H., Turan Katircioğlu, S., & Saeidpour, L. (2015). Economic growth, CO2 emissions, and energy consumption in the five ASEAN countries. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 64, 785–791. <http://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.07.081>
101. Jahangir Alam, M., Ara Begum, I., Buysse, J., & Van Huylenbroeck, G. (2012). Energy consumption, carbon emissions and economic growth nexus in Bangladesh: Cointegration and dynamic causality analysis. *Energy Policy*, 45, 217–225. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.022>
102. Karanfil, F., & Li, Y. (2014). Electricity consumption and economic growth: Exploring panel-specific differences. *Energy Policy*, 82, 264–277. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.12.001>

103. Kasman, A., & Duman, Y. S. (2015). CO2 emissions, economic growth, energy consumption, trade and urbanization in new EU member and candidate countries: A panel data analysis. *Economic Modelling*, 44, 97–103. <http://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.10.022>
104. Kiviyiro, P., & Arminen, H. (2014). Carbon dioxide emissions , energy consumption , economic growth , and foreign direct investment : Causality analysis for Sub-Saharan Africa. *Energy*, 74, 595–606. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2014.07.025>
105. Narayan, P. K., & Smyth, R. (2008). Energy consumption and real GDP in G7 countries: New evidence from panel cointegration with structural breaks. *Energy Economics*, 30(5), 2331–2341. <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.10.006>
106. Nasreen, S., & Anwar, S. (2014). Causal relationship between trade openness, economic growth and energy consumption: A panel data analysis of Asian countries. *Energy Policy*, 69, 82–91. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.02.009>
107. Omri, A. (2013). CO2 emissions, energy consumption and economic growth nexus in MENA countries: Evidence from simultaneous equations models. *Energy Economics*, 40, 657–664. <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.09.003>
108. Ouedraogo, N. S. (2013). Energy consumption and human development: Evidence from a panel cointegration and error correction model. *Energy*, 63, 28–41. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2013.09.067>
109. Pao, H. T., & Tsai, C. M. (2011). Multivariate Granger causality between CO2 emissions, energy consumption, FDI (foreign direct investment) and GDP (gross domestic product): Evidence from a panel of BRIC (Brazil, Russian Federation, India, and China) countries. *Energy*, 36(1), 685–693. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2010.09.041>
110. S0360544212000370 (3). (n.d.).
111. Saboori, B., Sapri, M., & bin Baba, M. (2014). Economic growth, energy consumption and CO2 emissions in OECD (Organization for Economic Co-operation and Development)'s transport sector: A fully modified bi-directional relationship approach. *Energy*, 66, 150–161. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2013.12.048>
112. Saboori, B., & Sulaiman, J. (2013). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) countries: A cointegration approach. *Energy*, 55, 813–822. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2013.04.038>
113. Saidi, K., & Hammami, S. (2014). The impact of energy consumption and {CO2} emissions on economic growth: Fresh evidence from dynamic simultaneous-equations models. *Sustainable Cities and Society*, 14(0), -. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2014.05.004>
114. Saidi, K., & Hammami, S. (2015). The impact of CO 2 emissions and economic growth on energy consumption in 58 countries, 1, 62–70.
115. Salahuddin, M., & Gow, J. (2014). Economic growth, energy consumption and CO2 emissions in Gulf cooperation council countries. *Energy*, 73, 44–58. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.054>
116. Tiwari, A. K., Shahbaz, M., & Adnan Hye, Q. M. (2013). The environmental Kuznets curve and the role of coal consumption in India: Cointegration and causality analysis in an open economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 519–527. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.031>
117. Wang, S. S., Zhou, D. Q., Zhou, P., & Wang, Q. W. (2011). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in China: A panel data analysis. *Energy Policy*, 39(9), 4870–4875. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.032>

Liste des Publications

1. "A Macro-Econometric Study Of Oil Energy : OAPEP Panel's Data Analysis " **BELMOKADDEM,M., KHETIB, S.M.B. , GUELLIL, M.S.** JSES. Vol.2, No. 1, Summer 2013. <http://jses.ase.ro/downloads/Vol2NO1/213belmokaddem.pdf>
2. Electricity Consumption and Economic Growth: Test analysis using panel Co-integration. " **Ghouali.Y.Z, Belmokaddem.M, Sahraoui.M.A, Guellil.M.S,** IJSE. Vol.1, July 30,2014. <http://ijnngt.org/upload/journal8/P3.pdf>
3. Causal interactions between foreign direct investment (FDI),electricity consumption and economic growth: evidence from dynamic panel co-integration models. **Belmokaddem.M, Ghouali.Y.Z, Guellil.M.S, Sahraoui.M.A,** JSES. Vol.3, No. 2, Winter 2014. <http://jses.ase.ro/downloads/Vol3NO2/Belmokaddem.pdf>
4. « Consommation d’Energie et Croissance Economique : Essai d’Analyse Par le Recours à la Cointegration en panel», **Ghouali.Y.Z, Belmokaddem.M, Guellil.M.S.,** *Revue Valaque d’Etudes Economiques*, Vol.5(19), No. 1, 2014. http://www.rvee.eu/images/2014/no1/04.rvee%20vol.5%2019%20no.1_2014%20%20mostefa%20belmokaddem.pdf
5. «Tourism Spending-Economic Growth Causality in 49 Countries: A Dynamic Panel Data Approach», **Guellil.M.S, Belmokaddem.M, Sahraoui.M.A, Ghouali.Y.Z.,** *Procedia Economics and Finance* “Elsevier”, DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00402-5, Volume 23, 2015, Pages 1613–1623.
6. “Causal interactions between FDI, and economic growth: Evidence from dynamic panel Co-integration models”, **Sahraoui.M.A, Belmokaddem.M, Guellil.M.S, Ghouali.Y.Z,** ‘*Procedia Economics and Finance* “Elsevier”, DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00541-9, Volume 23, 2015, Pages 276–290.
7. « Factors Affecting CO2 Emissions in the BRICS Countries: A Panel Data Analysis », **Ghouali.Y.Z, Belmokaddem.M, Sahraoui.M.A, Guellil.M.S.,** *Procedia Economics and Finance* “Elsevier”, DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00890-4, Volume 26, 2015, Pages 114–125.

Résumé :

La consommation mondiale d'énergie fait référence à l'énergie totale utilisée par tous civilisation humaine. Typiquement mesurée par an, elle s'agit de toute l'énergie mobilisée pour les différents secteurs industriels et technologique,...etc..., dans le monde. Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), la consommation d'énergie internationale n'a cessé de croître au cours de la dernière décennie ; où il constitue l'un des principaux secteurs ayant la plus forte croissance dans le monde.

Cette étude analyse la relation entre la consommation mondiale d'énergie et différents aspects tels que ; économiques, environnementaux, politiques,... et cela pour les six continents, en utilisant les tests de cointégration en données de panel et les tests de Panel Granger Causalité. Les résultats indiquent l'existence d'une relation à long terme entre la consommation d'énergie et l'ensemble des variables. Les résultats indiquent également des relations de causalité ; bidirectionnelles, unidirectionnelles et neutres entre la consommation d'énergie et certaines variables. Ces résultats pourraient être un bon outil pour hiérarchiser la répartition des ressources entre les secteurs pour assurer une meilleure politique énergétique et de bons résultats économiques.

Mots-clés : Panel cointégration, la Consommation d'énergie, PIB, CO2, l'exportation de la haute technologie, Population et Prix de l'énergie, FMOLS et estimateurs DOLS, Panel Granger causalité.

Abstract:

World energy consumption refers to the total energy used by all of human civilization. Typically measured per year, it involves all energy harnessed from every energy source applied towards humanity's endeavors across every industrial and technological sector, across every country. According to the International Energy Agency (IEA), the international energy consumption has been growing steadily over the last decade; where it constitutes one of the leading sectors with the fastest growing in the world.

This study analyzes the relationship between Global Energy Consumption and different aspects such as; Economic, Environmental, Political,... in six panels, using the panel co-integration and panel Granger causality tests. The results show a significant way, which is a co-integrating relationship between energy consumption and the variables package. The results also indicate bidirectional, unidirectional and neutral causality between energy consumption and some variables, which could be a good tool to prioritize the allocation of resources across industries to ensure a better energetic policy in general and economic outcomes

Keywords: Panel Co-integration, Energy Consumption, GDP, High Technology export, CO2, Population and Energy Price, FMOLS and DOLS Estimators, Panel Granger Causality.

المخلص :

يشير استهلاك الطاقة في العالم الى إجمالي الطاقة المستخدمة من قبل كل المجتمعات البشرية. ويقاس عادة في السنة، فهو يضم كل أنواع الطاقة المخصصة للأغراض الصناعية والتكنولوجية في مختلف القطاعات في العالم. ووفقا لوكالة الطاقة الدولية (IEA)، فإن إجمالي استهلاك الطاقة لم يتوقف عن التزايد طوال العقود الماضية. حيث أنه واحد من القطاعات الرئيسية ذات معدلات نمو قوية في العالم.

يكمن الهدف من هذه الدراسة في محاولة استعمال تقنيات الحديثة لتحليل التكامل المتزامن لبيانات العينات الزمنية panel من اجل دراسة تأثير تدفقات كل من الجانب الاقتصادي، التكنولوجي والجانب السياسي على إجمالي الطاقة المستهلكة ل 92 دولة مقسمة الى ستة مجموعات. فمن الناحية النظرية إن لهذه الجوانب تأثير على عملية استهلاك الطاقة، كما نصت نماذج النمو الحديثة على أن استهلاك الطاقة يعتبر احد المحددات المهمة للنمو الاقتصادي، فهو يساهم في تكوين رأس المال، و نقل التكنولوجيا كما يعتبر محفز مهم لدعم المنافسة.

والنتائج المحصل عليها انطلاقا من تحليل بيانات Panel الغير متجانسة Hétérogène تشير إلى وجود علاقة على المدى الطويل بين استهلاك الطاقة ومختلف المتغيرات الممثلة لهذه الجوانب. كما أنه تشير النتائج المتوصل اليها الى وجود علاقة سببية بين هذه المتغيرات لكن هذه الأخيرة تختلف من مجموعة الى أخرى. هذه النتائج يمكن أن تكون وسيلة جيدة لتحديد أولويات تخصيص الموارد بين القطاعات لضمان أفضل سياسة نشطة وأداء اقتصادي جيد.

الكلمات المفتاحية: التكامل المتزامن، استهلاك الطاقة، الناتج المحلي الإجمالي، CO2، تصدير التكنولوجيا العالية، أسعار الطاقة، عدد السكان، المقدرات FMOLS و DOLS و سببية Granger .