

Analyse de la causalité entre la consommation d'énergie et la croissance économique :

Application au cas Tunisien 1971-2022

Neila Ben Afia

Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Sousse

Résumé

Dans le cadre de l'importance de l'énergie dans l'économie, notre objectif dans le présent travail, est de vérifier l'existence d'une relation d'équilibre à long terme entre la consommation d'énergie et la croissance économique d'une part, et d'autre part de chercher l'existence d'une relation de causalité entre les deux variables et d'identifier le sens de cette relation causale.

L'étude empirique, au contraire de certaines études antérieures, a montré qu'il existe une relation de causalité : la consommation d'énergie « cause » au sens de Granger la croissance économique en Tunisie. Aussi une relation d'équilibre à long terme entre les deux variables est vérifiée.

Mots –clés : Croissance économique, consommation d'énergie, relation de causalité, cointégration, modèle à correction d'erreur.

Introduction

Dans les années soixante dix, le secteur de l'énergie a apparu comme la principale source de devise de la Tunisie. Il a occupé un rôle relativement important dans la formation du PIB, ce secteur a fortement contribué à l'essor économique et industriel du pays.

Les dernières décennies sont caractérisées par un déclin des ressources pétrolières et gazières et par un accroissement soutenu du rythme de la consommation d'énergie .La Tunisie est devenue un importateur net d'énergie.

L'objectif de cet article est de mettre en évidence l'existence de relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique.

Deux types d'analyses sont mis en valeur dans cette étude pour justifier ces relations :

Le premier type de relation permet de tester l'existence d'une relation d'équilibre de long terme entre les variables.

Le deuxième type de relation permet de déterminer l'existence, le sens et le signe de la relation causale entre les deux variables

Nous explorerons alors les trois questions suivantes :

-Est-ce que la croissance économique cause au sens de Granger la consommation d'énergie ?

-Est-ce que la consommation d'énergie cause au sens de Granger la croissance économique ?

-Est-ce qu'il existe une relation significative d'équilibre entre l'énergie et la croissance économique ?

Notre travail se développe comme suit : La situation énergétique en Tunisie est présentée dans la première section, la revue de la littérature dans la deuxième section et les résultats empiriques sont présentés dans la troisième section.

Section I : La situation énergétique en Tunisie

I-1-Le cadre institutionnel et réglementaire de secteur de l'énergie en Tunisie

L'Etat joue un rôle prépondérant dans le développement de ce secteur, cependant dans le but d'accroître son contrôle et sa participation active et directe dans les industries énergétiques, il

suit d'autres voies d'intervention directe dans les activités énergétiques, il participe au capital des sociétés exploitantes du pétrole, aux opérations techniques et aux bénéfices qui en résultent.

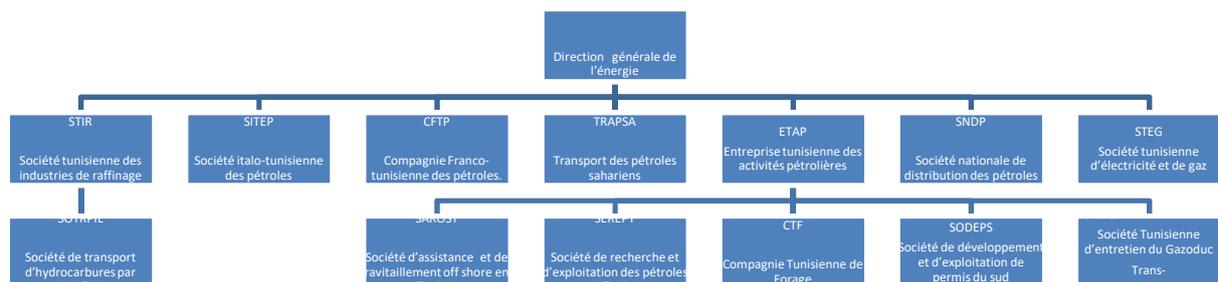
Les objectifs de l'Etat sont :

- D'assurer une gestion optimale dans ce secteur
- De créer des sociétés publiques nationales qui ont un rôle très important dans ce secteur.
- D'encourager des sociétés étrangères d'investir dans la recherche énergétique en Tunisie.

I-1-1: La création des entreprises publiques

Le secteur de l'énergie en Tunisie est placé sous l'autorité du ministère de l'industrie qui exerce son pouvoir à travers la direction générale de l'énergie (DGE). Il est caractérisé par une forte prédominance du secteur public, comme le montre l'organigramme suivant.

Figure 3-1 : Organisation du secteur énergétique en Tunisie.



Source : Agence nationale des énergies renouvelables (2000).

Les principaux opérateurs dans le secteur de l'énergie sont :

-Le secteur de raffinage, initialement opéré par une société mixte Tunisiano- Italienne, il est opéré par la suite par la société tunisienne des industries de raffinage (STIR), qui est une entreprise publique créée en 1961 par un accord de coopération entre l'Etat tunisien et un groupe pétrolier Italien, elle est entièrement nationalisée en 1975.

Son objectif est la production et l'importation de pétrole raffiné, elle possède la raffinerie nationale de la Tunisie, située dans la zone industrialo portuaire de Bizerte. Les deux tiers de l'espace sont consacrés au stockage de pétrole.

-Le secteur de distribution des produits pétroliers est partagé entre la société nationale de distribution des pétroles (SNDP) pour environ 50% et une dizaine des sociétés privées à capitaux essentiellement étrangers.

La société nationale de distribution des pétroles (SNDP) est une entreprise publique. Son objectif principal est la commercialisation des produits pétroliers et leurs dérivés. Elle possède 190 stations réparties sur tout le territoire national, dont 54 stations portuaires situées dans les ports de pêche.

- L'entreprise tunisienne des activités pétrolières (ETAP) a été créée en 1972 dans un but de nationalisation du secteur pétrolier. Elle a le statut juridique d'établissement public à caractère non administratif (EPNA). L'objectif de l'ETAP est de prospecter, d'explorer et de produire du pétrole et du gaz naturel sur le territoire tunisien.

En plus de son rôle d'intervention dans le domaine de la recherche pétrolière, elle participe depuis 1974 dans toutes les opérations d'importation des produits pétroliers raffinés destinés à compléter les besoins du marché local.

L'ETAP participe généralement en association avec des opérateurs étrangers à l'exportation et à la production d'hydrocarbures en Tunisie, elle commercialise pour le compte de l'Etat tunisien du pétrole brut, du gaz naturel, des huiles de base et du bitume.

Elle produit 2,3 millions de tonnes de pétrole par an, en moyenne de 71000 barils par jour, dont 1,4 million de tonnes sont exportés et 73% du total sont produits par 6 concessions : EL Borma, Ashtart, Oued Zar, Adam, Didon et Miskar. Elle produit aussi 6,8 millions de Nm³ de gaz naturel par jour dont 5,2 millions Nm³ pour la seule concession de Miskar (golfe de Gabes).

-Les secteurs de l'électricité et du gaz sont issus de la société tunisienne d'électricité et de gaz (STEG).

La STEG est une société tunisienne de droit public à caractère non administratif créée en 1962. Cette société assure la production, le transport et la distribution de l'électricité et du gaz naturel sur le territoire tunisien pour atteindre ses objectifs principales : l'électrification du pays et l'interconnexion du réseau.

En plus de ces entreprises publiques, il existe un certain nombre de sociétés privées qui interviennent essentiellement dans l'exploitation et la distribution pétrolière.

I-1 : Etude rétrospective de la demande d'énergie

Le secteur de l'énergie a connu une ère particulièrement florissante en Tunisie aux années soixante dix. Il a joué un rôle moteur dans le développement économique et social du pays.

Les ressources énergétiques de la Tunisie sont modestes, elles sont composées essentiellement de pétrole et de gaz. Le pétrole a représenté une source de revenu considérable, il est l'élément déterminant de la croissance économique du pays, il apparaît comme la principale source de devise du pays.

Les besoins énergétiques sont croissants, ils sont expliqués par l'amélioration du niveau de vie du citoyen tunisien et de la croissance de la production d'énergie.

En 2004 la consommation d'énergie par tête en Tunisie est de 0,87 tep, cette consommation est de cinq fois moins que la moyenne européenne, elle est dominée par les produits pétroliers avec une part de 49 % de la consommation d'énergie primaire, mais le gaz naturel est utilisé avec un pourcentage de 38 %.

Au cours de la période 1980-2004, la consommation d'énergie primaire s'est caractérisée par une évolution rapide de 3070 Ktep à 8500 Ktep à un taux annuel moyen de 4,2%. Le rythme de croissance de la consommation d'énergie est légèrement supérieur à celui de PIB à prix constant qui a atteint un taux de croissance annuel moyen de 2,3%. Ce résultat est due à la forte croissance de la consommation enregistrée dans le secteur agricole (6,5%), le secteur résidentiel (6,1%) et le secteur tertiaire (4,9%).

En 2004, le secteur de l'industrie s'est présenté comme le premier secteur consommateur d'énergie avec une part de 36% du total d'énergie finale, ce secteur est suivi du transport 32%, le secteur résidentiel avec environ 16 % du total, le secteur tertiaire 9% et enfin le secteur agricole avec une part de 8%.

Tableau 3-2: taux de croissance annuel moyen de la demande d'énergie pour la période 1980-2005 en %.

Produits	Taux de croissance annuel moyen
Pétrole	3,5%
Gaz naturel	17%
Electricité	6%
Total d'énergie	4,2%

Source : institut national de statistique (2007).

Le tableau 3-2 indique que la consommation du gaz naturel a enregistré un taux de croissance plus élevé 17% en moyenne par an suivi par l'électricité 6% et le pétrole 3,5%.

Durant la période 1980-2005, on a enregistré un changement dans la structure de la consommation des produits énergétiques en faveur du gaz naturel et d'électricité.

La part du gaz naturel est passée de 4% en 1980 à presque 31,6% en 2005, celle d'électricité est passée de 6,8% en 1980 à 23 ,5% en 2005.

La Tunisie a remplacé le pétrole par le gaz naturel dans la consommation intérieure, les nouvelles installations de production d'énergie sont en train de considérer le gaz naturel

comme une principale source de combustible, en 2003, les principaux consommateurs de cette ressource étaient :

- Le secteur de l'électricité : 78%.
- Le secteur industriel : 15,7%.
- Le secteur résidentiel : 4,3%.
- Le secteur tertiaire : 2%.

Tableau 3-3: parts des différents produits dans la demande d'énergie en%

Année	Pétrole	Gaz naturel	Electricité	Coke
1980	84,45	4	7,7	3,85
2005	43,70	31,6	23,5	1,2

Source : institut national de statistique (2007).

L'évolution de la production et de la consommation d'énergie dégage un bilan énergétique excédentaire. Cependant, cet excédent ne cesse de continuer, du fait de la quasi-stagnation de la production et la progression relativement soutenue de la consommation primaire et finale.

Donc devant ce contexte, l'économie de l'énergie devient indispensable pour orienter les consommateurs vers une utilisation rationnelle de l'énergie.

I-2 : Les solutions adoptées pour économiser l'énergie

L'Etat a lancé un programme d'économie d'énergie touchant tous les secteurs d'activité économique pour réduire la consommation d'énergie, ce programme vise à économiser deux millions de tonnes équivalent pétrole en 2010.

L'économie de l'énergie dans le secteur de bâtiment :

- Promouvoir d'avantage l'utilisation de l'énergie solaire pour le chauffage de l'eau dans les constructions collectives.
- Obliger les nouvelles constructions collectives à respecter des règles spécifiques en matière d'énergie.
- Remplacer les ampoules électriques ordinaires par des ampoules économiques.

L'économie de l'énergie dans le secteur du transport :

- Promouvoir d'avantage le transport public en commun
- Développer l'utilisation du transport ferroviaire et maritime des voyageurs et des marchandises.

La promotion des énergies renouvelables :

- Elever à 4% par an, la part des énergies renouvelables dans la production globale d'énergie.
- Renforcer l'utilisation des énergies renouvelables dans le secteur agricole.
- Développer la recherche scientifique dans le domaine de l'énergie renouvelable.

Section II : Revue de la littérature

Le travail pionnier de la première génération est celui de Kraft et Kraft (1978), Ils utilisent la technique de Sims, ces deux auteurs ont trouvé une causalité unidirectionnelle entre le PIB et la consommation d'énergie aux USA durant la période 1947-1974.

Le travail de Kraft et Kraft a été critiqué par Akarca et Long (1980). Ces derniers ont noté que la période choisie était instable, car elle incluait le premier choc pétrolier. Ils ont souligné que les résultats obtenus ne seraient pas les mêmes si cette période était écourtée de deux ans. Ils ont donc repris l'analyse avec la même technique, sur une période plus homogène allant de 1950 à 1968. Le test a révélé le manque de causalité entre le PIB et la consommation d'énergie. Pratiquement, toutes les études qui ont suivi sont étudiées par Yu et Hwang (1984),

Yu et Choi (1985). Ces études ont été consacrées aux séries américaines avec des résultats très variés .

Le premier texte de la deuxième génération semble être celui de Nachane, Nadkani et Karnik (1988). Ils ont adopté l'approche de (Engle et Granger) de la cointégration, ils ont trouvé une relation de long terme entre la consommation d'énergie et la croissance économique pour onze pays en développement et cinq pays développés. La méthodologie d'Engle et Granger a été ensuite appliquée par de nombreux auteurs à différents pays avec des résultats parfois ambigus.

L'étude de H. Yang (2000) sur la province chinoise de Taiwan a conduit à une causalité bidirectionnelle entre la croissance économique et la consommation d'énergie dans la période 1954-1997. L'analyse de A. Aqueel et M. Butt (2001) en ce qui concerne le Pakistan, en intégrant l'emploi comme variable additionnelle et en appliquant une version du test de Granger proposé par Hsiao, infère que la croissance économique cause la consommation totale d'énergie.

Masih et Masih (1996) sont parmi les premiers auteurs à utiliser la méthodologie de Johansen dans la recherche des relations entre énergie et croissance économique. Ainsi, pour un ensemble des pays asiatiques (L'Inde, le Pakistan, l'Indonésie, la Malaisie, Singapour et les Philippines), leurs études ont abouti aux conclusions suivantes :

- Qu'il existe une relation de long terme entre les deux variables dans le cas de l'Inde, le Pakistan et l'Indonésie ;
- Que la consommation d'énergie « cause » le PIB en Inde.
- Que le PIB « cause » la consommation d'énergie en Indonésie.
- Qu'il existe une causalité bidirectionnelle entre la consommation d'énergie et le PIB au Pakistan.
- Que pour les trois pays restants (Malaisie, Singapour et Philippines), l'utilisation d'un VAR ordinaire a révélé l'inexistence d'une relation de causalité entre le PIB et la consommation d'énergie.

Le cas de la Turquie a été testé sur la période 1960-1995 par U. Stoytas et ali (2001). Le résultat a indiqué l'existence d'une causalité unidirectionnelle de la consommation d'énergie

vers le PIB : la consommation d'énergie affecte positivement le PIB, cela suggère qu'il est possible, qu'à long terme, le programme d'économie de l'énergie puisse influencer la croissance économique.

La relation entre l'énergie et la croissance économique a été étudiée, toujours dans le cadre d'un modèle multivarié incluant le capital, le travail, l'énergie et le PIB par W. OK et K. Lee (2003) pour la Corée sur la période 1970-1999. Le modèle à correction d'erreur a montré qu'il existe une causalité bidirectionnelle de long terme entre l'énergie et la croissance économique, et unidirectionnelle de court terme de l'énergie vers la croissance économique.

Enfin, ils ont utilisé deux études concernant l'Afrique subsaharienne. La première est celle de O. Ebohon (1996) pour la Nigeria. Il a utilisé le test classique de Granger, cet auteur a trouvé une causalité bidirectionnelle entre la croissance économique et la consommation d'énergie pour ce pays.

La deuxième étude concerne le Malawi et a été réalisée par C. Jumbe (2004). Il a appuyé sur la méthodologie de Engle et Granger de la cointégration et la causalité au sens de Granger, son analyse a abouti à la conclusion selon laquelle, d'une part, il y a une causalité bidirectionnelle entre les consommations d'électricité et le PIB et d'autre part, il existe une causalité unidirectionnelle du PIB non agricole vers les consommations d'électricité.

Section III : Analyse de la causalité entre la consommation d'énergie et la croissance économique :

III-1-La présentation des données

Dans de nombreuses études concernant notre sujet, les termes de croissance économique et de consommation d'énergie, généralement ne sont pas clairement définis. Nous avons alors, sélectionné deux variables par rapport à leurs importances.

La variable qui est utilisée pour mesurer la croissance économique est le produit intérieur brut. En ce qui concerne la consommation d'énergie, on considère habituellement soit les différentes formes d'énergie (électricité, pétrole, gaz...), soit la consommation totale ou encore un indice agrégé, pondéré par les différentes sources d'énergie.

La variable consommation d'énergie (équivalent pétrole) a été utilisée comme indicateur de la consommation d'énergie.

Nos données sont annuelles et couvrent une longue période de 1971 à 2022. Elles ont été extraites respectivement du cédérom de la banque mondiale, de l'annuaire de l'institut national de statistique et du rapport de la banque centrale. Ces données sont traitées par le logiciel Eviews.

La variable mesurant l'activité économique est représentée par **PIB**, est mesurée en dollars US de 2010.

La variable mesurant la consommation d'énergie est représentée par **CE** est mesurée en Kg.
On considère le PIB et la consommation d'énergie par habitant.

III-2 : Les résultats et leurs interprétations

III-2-1 : Examen graphique

III-2-1-1: Evolution du PIB et de la consommation d'énergie

Figure 3-3 : Evolution de la consommation d'énergie.

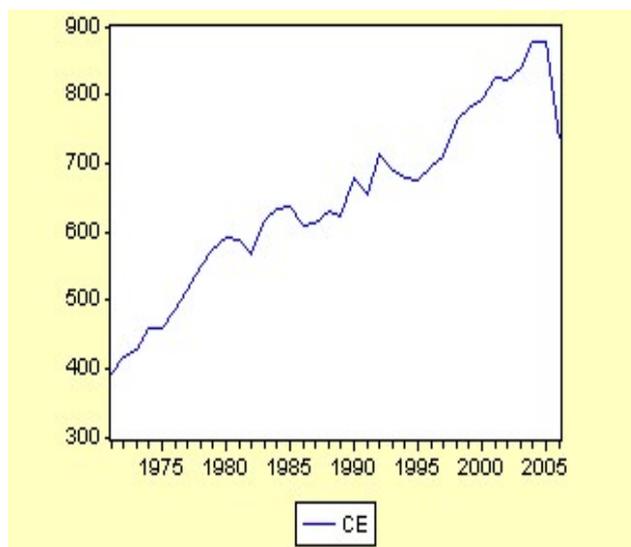


Figure 3-4 : Evolution du PIB

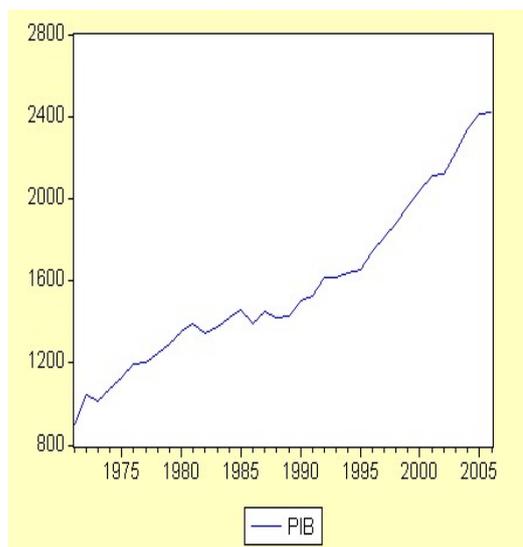
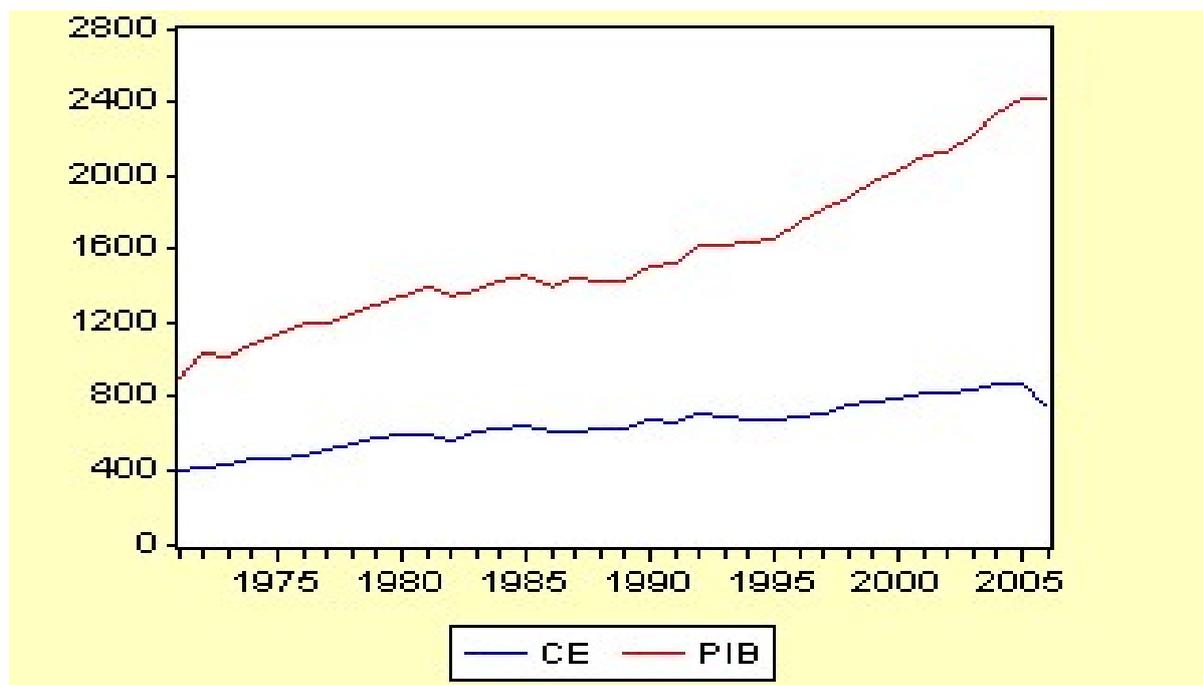


Figure : 3-5 : Evolution du PIB et de la consommation d'énergie.



La figure : 3-5 ci-dessus décrit l'évolution du Produit Intérieur Brut et de la consommation d'énergie en Tunisie de 1971 à 2022. On peut observer que ces deux variables présentent des évolutions de long terme semblables de 1971 à 2022 et elles sont caractérisées par un trend général à la hausse. Cela semble bien traduire qu'il existe une relation d'équilibre ou de cointégration entre ces deux séries. La corrélation entre ces deux variables est de 0,94. Cette valeur proche de 1 montre que les deux séries sont fortement corrélées.

Cependant, la baisse de la consommation d'énergie en 1982 et en 2005, s'explique par les effets de la crise pétrolière.

II-3: Etude de la relation entre les deux variables

Dans le cadre de notre étude, nous allons procéder aux étapes suivantes.

II-3-1 : Etude de la stationnarité

Pour chercher une relation de cointégration entre deux variables, il faut vérifier tout d'abord, qu'elles sont de même ordre d'intégration. Pour tester l'ordre d'intégration de ces deux variables (CE, PIB), il convient d'étudier leurs stationnarités. Dans notre étude, nous adoptons les stratégies de ADF (Augmented Dickey Fuller) et de Phillips Perron PP.

-Si la valeur du test statistique est inférieure à la valeur critique, il faut rejeter l'hypothèse nulle d'existence de racine unitaire et alors la série est stationnaire.

- En revanche si on obtient une valeur supérieure à la valeur critique, on accepte l'hypothèse nulle et la série admet une racine unitaire, alors la série est non stationnaire.

II-3-1 -1: Stationnarité de deux séries

•Stationnarité de la CE

Pour tester la stationnarité de la variable CE, on utilise le modèle (19) pour le test de Dickey-Fuller augmenté et le modèle (22) pour le test de PP (Phillips Perron), car le coefficient β est significativement nul et la constante α est non nulle.

En adoptant la stratégie de ADF pour la CE, dont les résultats sont présentés dans l'annexe, la valeur estimée de la statistique ADF (Augmented Dickey Fuller) est égale à (-1,805). Cette valeur est largement supérieure à la valeur critique pour les deux seuils statistiques de 1%, 5%. Donc on accepte l'hypothèse nulle de racine unitaire, la série CE est non stationnaire.

Pour la même série, le test statistique de PP (Phillips Perron) qui est égale à (-1,923) est supérieur aux trois valeurs critiques. La série CE est non stationnaire.

• Stationnarité de PIB

Pour tester la stationnarité de la variable PIB, on utilise le modèle (18) pour le test de Dickey-Fuller augmenté et le modèle (21) pour le test de PP (Phillips Perron), car les deux coefficients α et β sont significativement nuls .

La série PIB n'est pas stationnaire, les valeurs calculées de deux tests lues dans l'annexe sont strictement supérieures à chacune de trois valeurs critiques. En conséquence on accepte l'hypothèse nulle de racine unitaire.

Donc la série PIB est non stationnaire.

Ensuite on passe aux différences premières de deux séries.

II-3-1-2 : Stationnarité de premier ordre de deux séries

• *Stationnarité de premier ordre de la série CE*

“Pour tester la stationnarité de la variable DCE ,on utilise le modèle (18) pour le test de Dickey- Fuller augmenté et le modèle (21) pour le test de PP (Phillips Perron),car les deux coefficients α et β sont significativement nuls.

La valeur estimée de la statistique ADF (Augmented Dickey Fuller) de la variable DCE est égale à (-2,736), cette valeur lue dans l’annexe est inférieure seulement à la valeur critique au seuil statistique de 10%. On rejette l’hypothèse nulle d’existence de racine unitaire.

La variable DCE est stationnaire au niveau de 10%.

La valeur calculée de la statistique de PP (Phillips Perron) qui est égale à (-4,281) est justement inférieure à la valeur critique lue dans l’annexe pour les trois seuils statistiques de 1%, 5% et de 10%.

On rejette l’hypothèse nulle d’existence de racine unitaire.

En conséquence la série CE est stationnaire de premier ordre.

• *Stationnarité de premier ordre de la série PIB.*

Pour tester la stationnarité de la variable PIB, on utilise le modèle (19) pour le test de Dickey- Fuller augmenté et le modèle (22) pour le test de PP (Phillips Perron), car le coefficient β est significativement nul et la constante α est non nulle.

La valeur calculée de test ADF est égale à (-3,366). Cette valeur est strictement inférieure à la valeur critique lue dans l’annexe pour les trois seuils statistiques de 1%, 5% et de 10%, donc on rejette l’hypothèse nulle de racine unitaire, La variable DPIB est stationnaire.

La valeur estimée de la statistique de PP est égale à (-6,241), cette valeur est largement inférieure à la valeur critique lue dans l’annexe quelque soit le seuil statistique, donc on rejette H_0 .

La série DPIB est stationnaire.

Les modèles (18) (19) (21) et (22) sont présentés dans le chapitre 2

$$\Delta x_t = (\rho - 1)x_{t-1} + \sum_{j=2}^K \theta_j \Delta_{t-j+1} + \varepsilon_t \quad (18) : \text{processus sans trend et sans constante}$$

$$\Delta x_t = (\rho - 1)x_{t-1} + \sum_{j=2}^K \theta_j \Delta_{t-j+1} + \alpha + \varepsilon_t \quad (19) : \text{processus sans trend et avec constante}$$

$$\Delta x_t = (\rho - 1)x_{t-1} + \sum_{j=2}^K \theta_j \Delta_{t-j+1} + \alpha + \beta_t + \varepsilon_t \quad (20) : \text{processus avec trend et avec constante.}$$

$$\Delta x_t = (\rho - 1)x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (21) : \text{processus sans trend et sans constante}$$

$$\Delta x_t = (\rho - 1)x_{t-1} + \alpha + \varepsilon_t \quad (22) : \text{processus sans trend et avec constante}$$

$$\Delta x_t = (\rho - 1)x_{t-1} + \alpha + \beta_t + \varepsilon_t \quad (23) : \text{processus avec trend et avec constante.}$$

II-3-2 : Etude de la cointégration

Pour examiner une relation d'équilibre de long terme la consommation d'énergie et la croissance économique, on se base alors sur une analyse de cointégration pour chercher les interactions entre les deux variables.

Il existe deux méthodes d'analyse de relation de cointégration entre deux variables. Pour la présente étude, la méthode d'analyse utilisée est celle de Johansen. Cette méthode permet d'estimer et de tester les relations d'équilibre entre deux ou plusieurs variables.

Tableau 3-4 : Test de cointégration de Johansen

Les hypothèses		Test de la trace		Test de la valeur propre maximale	
Hypothèse nulle	Hypothèse alternative	Valeur de la trace	Valeur critique au seuil de 5%	Valeur propre	Valeur critique au seuil de 5%
r=0	r ≥ 1	33 ,134	20,261	27,036	15,892
r=1	r=2	6,097	9,164	6,097	9,164

On commence tout d'abord par les hypothèses suivantes :

H_0 : Absence de relation de cointégration.

H_1 : Il existe au moins une relation de cointégration.

La valeur calculée de la statistique de la trace est égale à (33,134), elle est strictement supérieure à la valeur critique qui est égale à (20,261).

La valeur calculée de la statistique de la valeur propre est égale à (27,036), elle est strictement supérieure à la valeur critique qui est égale à (15,892).

Donc on rejette H_0 et on accepte H_1 au niveau de 5%, c'est à dire qu'il existe au moins une relation de cointégration entre la consommation d'énergie et la croissance économique.

D'après les tests de stationnarité qui ont été fait, on sait que les deux variables sont intégrées d'ordre 1, donc il existe exactement une relation de cointégration .Cette conclusion intuitive se confirme si on effectue le test suivant :

H_0 : Il existe une relation de cointégration.

H_1 : Il existe deux relations de cointégration.

La valeur calculée de la statistique de la trace est égale à (6,097), elle est strictement inférieure à la valeur critique qui est égale à (9,164).

La valeur calculée de la statistique de la valeur propre est égale à (6,097), elle est strictement inférieure à la valeur critique qui est égale à (9,164).

On accepte H_0 et on rejette H_1 au niveau de 5%. C'est à dire il existe une seule relation de cointégration entre les deux variables. Donc on peut dire qu'il existe une relation d'équilibre de LT (long terme) entre la consommation d'énergie et la croissance économique en Tunisie.

II-3-3 : Estimation du modèle à correction d'erreur.

Le théorème de représentation de Engle et Granger, démontre que les séries non stationnaires, plus particulièrement celles qui possèdent une racine unitaire, doivent être représentées sous

forme de modèle à correction d'erreur si elles sont cointégrées, c'est-à-dire s'il existe une combinaison linéaire stationnaire entre elles. L'estimation du modèle vectoriel à correction d'erreur passe par la détermination de la relation de long terme ci-dessous.

$$\text{PIB} = 3 \text{ CE} - 341,5331$$

$$(17.52774) \quad (-3.062255)$$

Les valeurs entre parenthèses représentent les statistiques de Student associées aux coefficients estimés de la consommation d'énergie et de la constante.

D'après cette relation, à long terme, le PIB et la consommation d'énergie varient dans le même sens car le coefficient de la CE est positif. Ainsi, à long terme, une augmentation de 10% de la consommation d'énergie entraîne une augmentation de 30% du PIB.

L'estimation du modèle à correction d'erreur est donnée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3-5: Modèle vectoriel à correction d'erreur

variable	ΔCE	ΔPIB
$\Delta \text{CE} (-1)$	-0.129811 [-0.30632]	0.725212 [1.63223]
$\Delta \text{CE} (-2)$	0.073816 [0.18857]	0.814286 [1.98411]
$\Delta \text{PIB} (-1)$	-0.042181 [-0.15435]	-0.485334 [-1.69387]
$\Delta \text{PIB} (-2)$	-0.341953 [-0.46275]	-0.100682 [-1.49907]
Constante	16.17720 [1.15192]	55.50841 [3.76995]
R^2	0.095419	0.235831
\hat{F}	0.569612	1.666498
SCR	37559.11	41285.63

Les valeurs entre [] sont les valeurs de t-statistics.

D'après le tableau ci-dessus, les signes des coefficients peuvent être interprétés comme des contributions positives (signe +) dans l'évolution de deux variables, ou au contraire traduisent des contributions négatives (signe -).

On remarque également qu'à court terme, le PIB dépend négativement de sa valeur décalée d'une période et de deux périodes, il dépend positivement aussi de la consommation d'énergie lorsqu'elle est décalée d'une période et de deux périodes.

La consommation d'énergie dépend positivement de sa valeur décalée de deux périodes, elle dépend aussi négativement de sa valeur décalée d'une période et du PIB décalée de deux périodes.

II-3-4 : Test de causalité de Granger

La dernière étape de ce travail consiste à tester le sens de causalité entre la consommation d'énergie et la croissance économique.

La plupart des études concernant notre champ d'application ont eu pour objet principal de répondre à la question posée par Masih et Masih (1998) : « Does economic growth take precedence over energy use, or can energy use itself be a stimulus for economic growth via the indirect channels of effective aggregate demand and human capital, improved efficiency and technological progress ? ».

En d'autres termes :

- Le PIB est-il la cause de la consommation d'énergie : $CE = f(LPIB)$?
- La consommation d'énergie est-elle la cause du PIB : $LPIB = f(CE)$?

A ces deux cas, on peut ajouter deux autres situations souvent rencontrées :

- L'existence d'une causalité bidirectionnelle entre le PIB et la consommation d'énergie.
- Les deux variables sont indépendantes.

Cette relation entre la croissance économique et la consommation d'énergie est aujourd'hui bien établie dans les différentes études. Cependant, la direction de la causalité reste un sujet

très controversé. La détermination du sens de cette causalité est importante et a des implications en matière de politique économique.

Nous avons vu que l'existence d'une relation de cointégration entre ces deux variables entraînait l'existence d'une relation causale entre celles-ci dans au moins dans une direction. Cette relation de causalité est examinée à l'aide du test de causalité de Granger. Les résultats de ce test sont présentés dans l'annexe.

La démarche la plus simple pour tester la causalité est d'utiliser une spécification autorégressive, pour un nombre donné de retards fixés :

$$x_t = c_1 + \alpha_1 x_{t=1} + \dots + \alpha_p x_{t=p} + \beta_1 y_{t=1} + \dots + \beta_p y_{t=p} + \dots$$

On estime ce modèle par MCO et on effectue un test de Fisher :

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$$

$$\text{Soit } RSS_1 = \sum ut^2 \text{ sous } H_1$$

$$RSS_0 = \sum ut^2 \text{ sous } H_0$$

$$\text{La statistique de test est : } S_1 = \frac{(RSS_0 - RSS_1) / P}{RSS_1 (T - 2P - 1)}$$

Si $e S_1 > F_\alpha(\cdot)$ On rejette H_0 , donc y cause x.

Remarque : S_1 suit une distribution de Fisher uniquement lorsque les régresseurs sont fixes (non stochastiques) et les erreurs sont Gaussiennes.

Or ici, il y a parmi les régresseurs des variables dépendantes retardées ; on utilise alors un test asymptotiquement équivalent :

$$S_2 = \frac{T(RSS_0 - RSS_1)}{RSS_1} \sim \chi^2(p)$$

En utilisant la statistique suivant la loi de Fisher, les résultats de test de causalité de Granger qui sont lus dans l'annexe, montrent que la CE cause le PIB.

-Si on teste l'hypothèse nulle.

H_0 : Le PIB ne cause pas au sens de Granger la CE.

On accepte l'hypothèse nulle car on a $0,06861 < 0,79504$.

Ensuite on passe à H_1 .

H_1 : La CE ne cause pas au sens de Granger le PIB.

On rejette cette hypothèse car $0,928 > 0,3421$. C'est à dire que la CE cause au sens de Granger le PIB.

Ces résultats indiquent que la causalité bidirectionnelle entre les deux variables ne peut être rétablie, mais la causalité est vérifiée dans un seul sens. C'est la consommation d'énergie qui a causé la croissance économique en Tunisie de 1971 à 2006. D'une autre façon on peut dire que la maîtrise de l'énergie a amélioré la situation économique, la Tunisie est placée parmi les pays en développement les plus efficaces en matière énergétique.

Conclusion

Le but de notre étude étant d'examiner la relation entre la consommation d'énergie et un indicateur macroéconomique jugé le plus pertinent dans la mesure de l'activité économique, pour chercher les interactions entre la consommation d'énergie et la croissance économique. Empiriquement, l'application de cette théorie nécessite la démarche suivante (Jacquinot, 1989):

- Tester l'ordre d'intégration des séries (tests de racine unitaire) pour s'assurer qu'elles suivent une marche aléatoire (seul domaine d'application du théorème de représentation de Granger).
- Tester la cointégration pour déterminer l'existence d'une relation d'état stationnaire entre les variables.
- Estimer le modèle à correction d'erreur qui vise à rendre compte dans une même équation d'un écart éventuel par rapport à un équilibre de long terme et du processus d'ajustement à court terme de cet équilibre.

L'étude a montré que les deux séries étudiées sont cointégrées, les résultats de la méthode de cointégration de Johansen exposent que la consommation d'énergie présente une relation avec la croissance économique à court terme et à long terme.

La deuxième analyse se fait sur la base de l'analyse de causalité au sens de Granger. Le résultat de cette analyse indique que la causalité est unidirectionnelle de la consommation d'énergie vers le PIB (la consommation d'énergie affecte positivement le PIB), à long terme, le programme d'économie de l'énergie améliore la situation économique en Tunisie.

Notre étude présente une limite qui est l'absence de l'étude de la relation entre la consommation d'énergie, le prix d'énergie et les crises économiques. Cette limite pourra faire l'objet d'une autre recherche ultérieurement.

Bibliographie

- [1] Agence nationale des énergies renouvelables et IDEA consult (2000) « Etude d'impact des prix sur la demande d'énergie » Tunis, octobre.
- [2] Akarca A.T., Long T.V. (1979.« On the relationship between Energy and GNP», Journal of Energy and Development, pp 326-331.
- [3] Ambapour.S et Massamba.C(2005) «croissance économique et consommation d'énergie :au Congo :une analyse en terme de causalité » bureau d'application des methodes statistiques et informatiques pp1-13.
- [4] Aqeel A., Butt M.S (2001) « The relationship between energy consumption and economic growth in Pakistan». Asia-Pacific Development Journal, pp 101-110.
- [5] Antille G. (1984) « Utilisation des tableaux entrées-sorties pour l'analyse des interdépendances entre économie et énergie ». Revue Suisse d'Economie Politique et de Statistique, pp 261-279.
- [6] Bahri.Y (1993) « Maîtrise de l'énergie - l'électrification rurale par les systèmes photovoltaïques en Tunisie». Revue Tunisienne de l'Energie, pp33-35.
- [7] Bahri. Y et Dessus. B (1992) « Le potentiel tunisien d'énergie raisonnablement accessible dans les années 90, Revue de l'Energie, n°439, mai pp23-24.
- [8] Ben Jannet .H« Énergie et écodéveloppement en Tunisie» Observatoire de la viabilité énergétique2005/2006 pp6-8.
- [9] Berrah N.E. (1983) « Energie et développement: l'effet tunnel ». Revue de l'Energie, n° 356, août septembre, pp 409-415.
- [10] Bruneau C. (1996) « Analyse économétrique de la causalité: un bilan de l littérature » Revue d'Economie Politique, pp 325-353.

[11] Bruneau C., Nicolai J-P. (1989) « Une étude de causalité. Concepts et applications. L'exemple du marché pétrolier » Document de travail n° 1989-21. Banque de France.

[12] Campbell J.Y et Perron. P (1991) « Pitfalls and opportunities: what macroeconomists should know about unit roots». NBER Macroeconomics Annual, Vol 6 pp 141-201.

[13] Choi. J (1985) « The causal relationship between energy and GDP, an international comparison ». Journal of Energy and Development, pp 249-272.

[14] Claude .M «World Energy Outlook (2004) » International Energy Agency (IEA), pp331-337.

[15] Criqui.P(1984) « Le lien entre croissance économique et consommation d'énergie selon les stades de développement »problèmes économiques N °1884 ;juillet.

[16] Darne. O et Terraza. M (2002) « Les tests de non stationnarité des séries temporelles non saisonnières en économie» : une revue de littérature. Document de Travail n°2002-05. Laboratoire Montpellierain d'Economie Théorique et Appliquée. Université de Montpellier I.

[17] Davidson .J.E.H , Hendry .D.Fet Yeo.S (1978) « Econometric modelling of the aggregate time series relationship between consumer's expenditure in the U.K. Economic» Journal. pp 661-692.

[18] Destais G. (1989) « La modélisation des interactions énergie économie» Thèse de doctorat. IEPE, Grenoble.

[19] Dickey. D, Fuller.W (1979) « Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root», Journal of the American Statistical Association, Vol. 74, n°366, Part 1, June, pp 427-43.

[20] Dickey. D et Fuller. W (1981) « Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root» . *Econometrica*, pp 1057-1072

[21] Ebohon. O.J (1996) « Energy, economic growth and causality in developing countries ». *Energy Policy*. Vol. 24, pp 447-453.

[22] Engle .R. et Yoo .B.S (1987) « Forecasting and testing in cointegrated systems». *Journal of Econometrics*. Vol. 35, pp 143-159.

[23] Ertur. K.C (1998) « Méthodologie des tests de racine unitaire». Document de Travail n°9813, LATEC, Université de Bourgogne.

[24] Fatai. K, Oxley. L et Scrimgeour. F (2002) « Energy consumption and employment in New Zealand: searching for causality. Paper presented at NZAE Conference, Wellington, 26-28 June.

[25] Geweke. J, Meese. R et Dent. W (1983) «Comparing alternative tests of causality in temporal systems:analytic results and experimental evidence». *Journal of Econometrics*, pp 161-194.

[26] Glasure.Y.U (2002) « Energy and national income in Korea: further evidence on the role of omitted variables». *Energy Economics*. Vol. 24, n° 4, pp 355-365.

[27] Granger. C.W.J (1986) « Developments in the study of cointegrated variables. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*» . Vol 48. pp 213-228.

[28] Granger. C.W et Newbold. P (1974) «Spurious regressions in econometrics» . *Journal of Econometric*, pp 111-120.

[29] Guttormsen. A.G (2004) « Causality between energy consumption and economic growth». Discussion Paper D-24/2004. Department of Economics and Resource Management. Agricultural University of Norway.

[30] Hondroyannis. G , Lolos. S et Papapetrou E. (2002) « Energy consumption and economic growth: assessing the evidence from Greece». *Energy Economics*,pp 319-336.

[31] Houcarde . J.Ch et Ben Chaabane. N (1991) « Les liens énergie croissance dans les pays en développement (1960-1985)». *Economica*.

[32] Jobert. T (1992) « Test de racine unitaire : une stratégie et sa mise en oeuvre». *Cahiers Eco & Maths n° 92.44*, MAD Université de Paris I, Pantheon-Sorbonne .

[33] Johansen. S (1988) «Statistical analysis of cointegrating vectors». *Journal of Economic Dynamics and control*, pp 231-254.

[34] Johansen .S (1991) «Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vectors autoregressive models» . *Econometrica*, pp 1551-1580.

[35] Johansen. S (1995) « Likelihood-based inference in cointegrated vector autoregressive models» . Oxford University Press.

[36] Johansen .S et Juselius. K (1990) « Maximum likelihood estimation and inferences on cointegration with application to the demand for money ». *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, pp 160-210.

[37] Jumbe. C.B.L (2004) «Cointegration and causality between electricity consumption and GDP: empirical evidence from Malawi». *Energy Economics*, pp 61-68.

[38] Kéchiche.E (2004) « Etude de la causalité entre les rendements boursiers et les indicateurs macroéconomiques :Cas de la France» ,mémoire de mastère ,ISG,Sousse.

[39] Kraft. J et Kraft .A (1978) « On the relationship between energy and GNP». *Journal of Energy and Development*. pp 401-403.

[40] Laponche.B (2006) « Prospective et enjeux énergétiques mondiaux :un nouveau paradigme énergétique.» pp42-44 .

[41]Lardic. S et Mignon. V (2002) « Econométrie des séries temporelles macroéconomiques et financières. Economica, pp56-57.

[42]Louis .M (1998) « La consommation d'énergie dans le monde », observatoire de l'énergie pp75-77.

[43]Majdoub.M(1990) «Prévision à long terme de la demande énergétique en Tunisie :un scénario pour 2021 »,Agence de maîtrise de l'énergie Tunis pp130-134 .

[44]Martin.J.M (2000)« La consommation des sources d'énergie : utilisations finales, efficacité et productivité » Institut d'Economie et de Politique de l'Energie (CNRS- UPMF Grenoble) pp22-24).

[45]Masih .A.M.M et Masih. R (1996) «Energy consumption, real income and temporal causality: results from a multi-country study based on cointegration and error correction modeling techniques. Energy Economics, pp 165-183.

[46]Masih. A.M.M et Masih. R (1997) « On the temporal causal relationship between energy consumption, real income and prices: some new evidence from Asian-energy dependent NICs based on a multivariate cointegration/vector error correction approach» . Journal of Policy Modeling, pp 417-440.

[47]Masih. A.M.M et Masih. R (1998) « A multivariate cointegrate modeling approach in testing temporal causality between energy consumption, real income and prices», pp 1287-1298.

[48] Matly. M (1983) «Demande d'énergie et produit intérieur brut : vers une approche patrimoniale». Revue de l'Energie, n° 356, pp 416-425.

[49] Meallier .A Chouard et Passeron .H (1986) « Energie et économie dans l'OCDE. Une approche économétrique» . Revue de l'énergie, n° 383, pp 205-213.

[50] Medina.E « Consommation d'énergie, essai de comparaisons internationales »économie et statistique N°66, Avril.

[51] Mouttet.F , Plateau. C, Brillet. J.L « Morand J.P. (1983). Mini-DMS-énergie. Modèle des interactions économie-énergie» . Archives et Documents n° 74, INSEE .

[52] Mozumder.P et Marathe.A (2007) «Causality relationship between electricity consumption and GDP», Energy Policy 35 PP3-4.

[53] Nachane. D.M et Karnik. A.V (1988) « Co-integration and causality testing of the energy-GDP relationship: a cross-country study» . Applied Economics, pp 1511-1531.

[54] Nelson. C.R .et Plosser C.I. (1982) « Trends and random walks in macroeconomic time series. Journal of Monetary Economics», pp 139-162.

[55] Osterwald-Lenum. M (1992) «A note with quantiles of the asymptotic distribution of the maximum likelihood cointegration rank test statistics». Oxford Bulletin of Economics and statistics, pp 461-471.

[56] Percebois.J(1979) « Economie de l 'énergie »Economica, pp91-94.

[57] Percebois .J (1978) « énergie, croissance et calcul économique »revue économique n°29pp464-493.

[58] Percebois. J (1998) « L'apport de la théorie économique aux débats énergétiques». Creden, Cahier n° 99.11.15. Université de Montpellier I.

- [59]** Perron. P (1993) « Racines unitaires en macroéconomie» *Economica* pp 327-358.
- [60]** Perron .P et Campbell J.Y. (1992) «Racines unitaires en macroéconomie : le cas multidimensionnel». *Annales d'Economie et de Statistique*, pp 1-50.
- [61]** Prevot. J.f (1951) « Les variations concomitantes de l'énergie consommée et du produit national». *Journal de la Société Statistique de Paris*, janvier-mars , pp 23-41.
- [62]** Salmon. M (1982) « Error correction mechanisms» . *The Economic Journal*, pp615-629.
Sekkat .K (1989) « L'analyse de causalité comme méthode de détermination des filières industrielles ». *Annales d'Economie et de Statistique*, pp 191-224.
- [63]** Sims. C.A (1972) « Money, income and causality». *American Economic Review*, pp 540-552.
- [64]** Soytaş. U et Sari. R (2003) « Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets» . *Energy Economics*, pp 33-37.
- [65]** Soytaş .U, Sari. R et Ozdemir. O (2001) « Energy consumption and GDP relations in Turkey: cointegration and vector error correction analysis». pp 838-844.
- [66]** Spierer .C (1982) «La demande d'énergie en Suisse. Droz, Genève.
- [67]** Renou .P (1992) « Modélisation de la demande d'énergie : mise en évidence des substitutions énergétiques »Thèse de doctorat.
- [68]** Wang. B (1984) « The relationship between energy and GNP. Further results» . *Energy Economics*, pp 186-190.
- [69]** Watson. M.W (1989) « Interpreting the evidence on money-income causality». *Journal of Econometrics*. pp 161-182.

[70] Wolde –Rufael .Y(2005) « Energy demand and economic growth: The African experience» ,Journal of Policy Modeling pp 7-8 .