



Croissance économique, consommation d'énergie et développement durable : l'exemple de la région méditerranéenne

Esseghir Asma et Haouaoui Leila¹

Institut Supérieur de Gestion de Tunis, UAQUAP

Résumé

Depuis la fin des années 1970 et en raison de la gravité des crises d'énergie (les chocs pétroliers de 1973 et de 1979), les pays développés ont pris conscience que leur prospérité matérielle, basée sur l'utilisation intensive de ressources naturelles épuisables, était menacée. Cette prise de conscience de la finitude des ressources naturelles était à l'origine de nombreuses études empiriques, (Erol et Yu, 1987; Masih et Masih, 1996; Asafu-Adjaye, 2000; Morimoto et Hope, 2004; Lee, 2006; Lee et Chang 2007) qui ont porté sur la relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique. En fait, le modèle de développement industriel, basé en grande partie sur les ressources non renouvelables, est perçu comme invivable. Il est donc indispensable de mettre en œuvre un nouveau mode de développement porteur de nouveaux enjeux : le développement durable. Dans cette stratégie de développement durable, des politiques visant les économies d'énergies ainsi que des politiques d'encouragement et de développement de technologies faisant appel à des énergies renouvelables, s'appuient sur des analyses de la relation liant la consommation d'énergie à la croissance économique. Comment peut-on maintenir la croissance économique tout en respectant les droits des générations futures à réaliser leur propre développement ? S'inscrivant dans ce cadre d'analyse, nous avons étudié la relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique à la recherche du sens de la causalité. Notre étude porte sur un panel de douze pays méditerranéens, sur une période allant de 1980 à 2005. Utilisant le modèle de production de Chang et Lee (2008) et des techniques économétriques très récentes, nous avons distingué les relations de court et de long terme entre la consommation d'énergie et la croissance économique. Une relation de causalité unidirectionnelle allant de la consommation d'énergie vers la croissance économique a été identifiée dans le long et le court terme pour le panel tout entier. La répartition géographique des pays (Nord, Sud et Est) nous a permis de différencier cette relation

¹ asmaesseghir@yahoo.com, haouaoui.leila@yahoo.fr

Depuis la publication du rapport Meadow en 1972 et les chocs pétroliers de 1973 et de 1979, les pays développés ont pris conscience que leur prospérité matérielle était basée sur l'utilisation intensive de ressources naturelles épuisables, et que par conséquent, outre l'économique et le social, un troisième aspect avait été négligé : l'aspect environnemental. En 1992, la conférence de Rio a marqué un tournant décisif dans la façon de penser le développement. En effet, depuis cette date il n'est plus permis de penser le développement en excluant les questions environnementales. Les modèles et stratégies de développement jusque là utilisés sont remis en question. La politique environnementale est venue s'ajouter aux politiques économiques. Pour assurer un développement durable, il est devenu nécessaire d'assurer l'intégration de l'économique, de l'environnemental et du social et de développer des outils stratégiques à cet effet. Outre le problème de viabilité, un problème d'équité se pose. En effet, la crise écologique et climatique menace surtout les pays en développement qui, souhaitant atteindre un niveau de croissance économique similaire à celui des pays industrialisés, risquent d'accélérer la dégradation de l'environnement et par conséquent de la biosphère. En fait, notre développement, basé en grande partie sur les ressources non renouvelables, est considéré comme étant inéquitable. Il est donc indispensable de mettre en œuvre un nouveau mode de développement porteur de nouveaux enjeux : « le développement durable ».

La sévérité des crises de l'énergie (1973, 1979-1980), était à l'origine de nombreux travaux empiriques portant sur la relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique (Erol et Yu, 1987; Masih et Masih, 1996; Asafu-Adjaye, 2000; Morimoto et Hope, 2004; Lee, 2006; Lee et Chang 2007). Cette relation a été saisie sous deux angles différents : celui de la fonction de demande d'énergie et celui de la fonction de production globale. Les travaux du premier groupe, dont notamment Masih et Masih (1998), Asafu-Adjaye (2000), Fatai et al. (2004) et Oh et Lee (2004) ont utilisé la fonction de demande d'énergie, avec trois variables, l'énergie, le PIB et le prix de l'énergie, mesuré par l'indice des prix à la consommation. Alors que le modèle utilisant la fonction de production prend en compte l'énergie, au même titre que les facteurs de production, capital et travail, révolutionnant par là, le modèle de croissance traditionnel de Solow (Yu et Choi (1985), Masih et Masih (1996), Glasure et Lee (1998), Yang (2000), Soytaş et Sari (2003), Shiu et Lam (2004), Paul et Bhattacharya (2004), Morimoto et Hope (2004)).

Sur le plan empirique, la plupart des études ont porté sur un seul pays (Stern, 1993, 2000 et Oh et Lee, 2004) et celles qui ont utilisé les données de panel, ont le plus souvent ignoré la relation de cointégration entre les variables (Olatubi et Zhang, 2003). Même si Al-Iriani (2006) avait appliqué la technique de causalité de panel pour déterminer la relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique, on note l'absence du terme de correction d'erreur dans son modèle. Il semble que le secteur énergétique est aussi responsable en partie de l'acidification de l'air, des sols et des eaux, de l'accumulation des déchets solides et de la pollution thermique à l'échelle locale comme planétaire. En conséquence, dans une stratégie de développement durable, la question énergétique est une priorité, ce qui explique que la plupart des pays adoptent aujourd'hui des politiques visant les économies d'énergies ainsi que des politiques d'encouragement et de développement de technologies faisant appel à des énergies renouvelables. De telles politiques s'appuient normalement sur des analyses de la relation liant la consommation d'énergie à la croissance économique. Comment peut-on maintenir la croissance économique tout en respectant les droits des générations futures à réaliser leur propre développement ? Quel est l'impact d'une politique de conservation d'énergie sur la croissance économique à court et à long terme ?

S'inscrivant dans ce cadre, notre travail ambitionne de contribuer au débat existant sur la place de l'énergie dans la fonction de production (Stern (1993, 2000), Oh et Lee (2004), Ghali et El-Sakka (2004) et Beaudreau (2005), par l'analyse de la relation de causalité entre la consommation d'énergie et la croissance économique ainsi que leurs implications environnementales dans les pays méditerranéens. En fait, le sens de causalité a une implication sur la politique économique. En effet, outre la finitude des ressources naturelles, se pose le problème de l'équité et donc de la responsabilité vis-à-vis des générations futures. Dans ce contexte, une analyse de la relation énergétique en matière de croissance et développement, permet d'une part d'évaluer notre processus de développement et d'orienter l'organisation de l'industrie dans un souci d'économie thermodynamique par une mise en place de politique énergétique adéquate, particulièrement lorsqu'il s'agira d'opérer une transition énergétique par la promotion des énergies renouvelables.

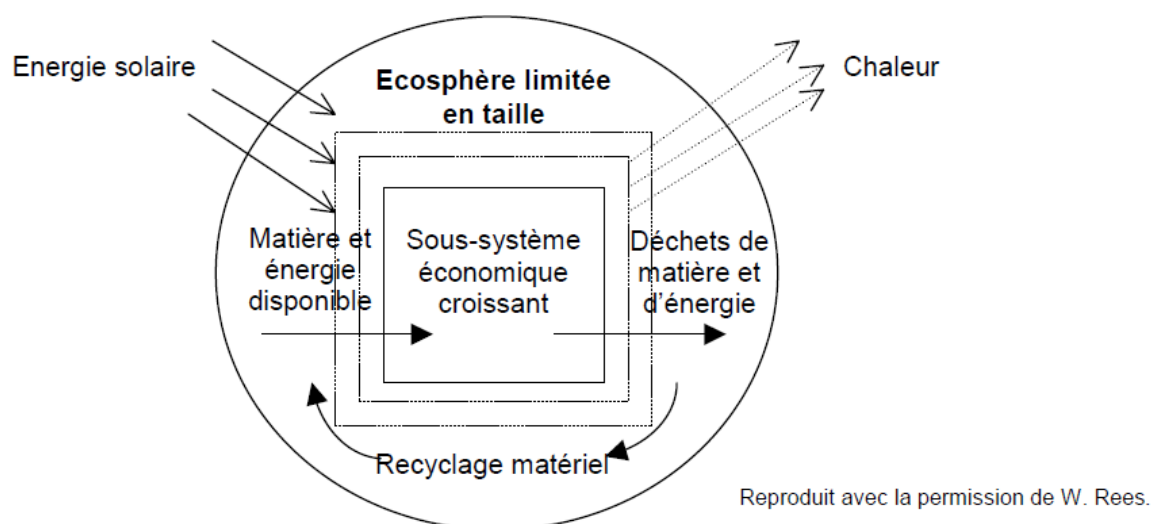
Pour répondre à cet ensemble d'interrogations, nous organiserons la suite de l'article comme suit : une première section sera consacrée à la présentation du cadre théorique et du modèle retenu. Contrairement aux nombreuses études antérieures qui ont utilisé des modèles bi-variés, nous proposons un modèle à plusieurs variables dont nous détaillerons les propriétés dans une deuxième section. La dernière section sera réservée à l'interprétation des résultats empiriques et aux recommandations qui en découlent.

I. Le modèle

La prise en compte de l'écologie et des ressources naturelles dans les théories économiques ne date pas d'aujourd'hui, puisque en 1976 déjà Georgescu-Roegen (1979), en se basant sur le principe d'entropie (thermodynamique) arrivait à démontrer que le processus économique n'est pas isolé et indépendant puisqu'«il ne peut fonctionner sans un échange continu qui altère l'environnement de façon cumulative et sans être en retour influencé par ces altérations».

Certains nouveaux modèles de l'économie-biophysique se basent exclusivement sur l'énergie et la considèrent comme l'unique facteur primaire de production. Ceci stipule que le stock d'énergie, existant, se dégrade au cours du processus économique. Ces modèles ignorent la loi de conservation de l'énergie et supposent que l'énergie disponible dans chaque période est exogène. Par ailleurs, plusieurs économistes écologiques (Hall et al. (1986), Gever et al. (1986), Kaufmann (1987), et Costanza (1980)) ont montré que plus l'énergie utilisée pour produire les inputs intermédiaires, tels que les carburants, est importante plus la qualité des réservoirs diminue. Par conséquent, l'accroissement du prix de l'énergie, entraîne une augmentation de la valeur d'usage qui influencera la pénurie des ressources (Cleveland, 1999). En effet, la considération de l'énergie comme étant l'unique facteur primaire de production, étant donné l'existence d'autres ressources, a créé des conflits. Par ailleurs, la modification de la qualité des ressources conduit à des changements dans les coefficients d'input et /ou d'output (les changements techniques). Brown et Herendeen (1996) ont montré que la valeur des ressources est déterminée par leur énergie solaire et géologique interne. Ainsi, le changement de la qualité des ressources entraîne un changement de l'énergie intrinsèque des ressources, plutôt qu'un changement des coefficients des inputs et /ou des outputs.

Contrairement aux économistes néoclassiques, les économistes écologiques considèrent que la sphère économique n'est pas isolée du monde naturel où elle y puiserait les ressources naturelles dont elle a besoin et où elle y jetterait les déchets, mais qu'elle y est bel et bien intégrée et dépendante. Ils considèrent que le système économique n'est qu'un sous système de l'écosphère comme le montre le graphique suivant.



Source : Prinet (2004)

La sphère économique est intégrée dans l'éco sphère et son maintien et/ou son expansion est tributaire de l'apport énergétique. De plus, étant donné les limites de l'écosphère, le sous système économique ne peut croître indéfiniment. Il devient évident qu'entre le processus économique et l'environnement, il y a une continuelle interaction Georgescu-Roegen (1979). Il est temps de reconnaître que la nature joue un rôle important dans le processus économique et d'intégrer les phénomènes de l'environnement dans les approches économiques.

Cette approche biophysique a incité plusieurs économistes à revoir le modèle de croissance traditionnel de Solow basé uniquement sur les deux facteurs de production (le capital et le travail) et à y intégrer l'énergie comme étant un facteur de production essentiel. Dans le cadre de ses travaux portant sur les États-Unis, Stern (1993, 2000) suggère d'évaluer la production à partir de l'énergie productive, du stock de capital et du travail. Il s'est basé sur le fait que toute production requiert la mise en œuvre et la transformation d'une certaine quantité de matière. Ce processus de transformation ne peut se réaliser qu'en présence d'une quantité d'énergie bien déterminée. Par ailleurs, Pokrovski (2003) considérait que l'énergie est au même titre que la main d'œuvre un facteur essentiel dans le processus de production, par conséquent elle acquiert toutes les propriétés d'un facteur de production. Ainsi, la fonction de production est déterminée par le stock de capital, le travail et l'énergie. De même, Ghali et El-Sakka (2004) ont intégré l'énergie dans la fonction de production pour étudier la relation entre la croissance économique et les différents facteurs de production au Canada. A partir de ces perspectives, Thompson (2006) suggérait que chaque quantité supplémentaire d'énergie permet de créer des emplois supplémentaires ce qui permet de transformer la matière première en capital. En se basant sur l'indispensabilité de l'énergie dans le maintien des activités économiques, vu l'impact que procure sa demande de plus en plus croissante dans le processus de production, Lee et Chang (2008) dénotent que l'exclusion de la consommation d'énergie de la fonction de production est un acte déraisonnable.

En se référant aux travaux précédents, nous retiendrons l'intégration de l'énergie dans la fonction de production et nous utiliserons le modèle de production de Chang et Lee (2008). Ce choix est non seulement motivé par l'aptitude de ce modèle à déterminer le sens de la causalité entre la croissance économique et la consommation d'énergie mais aussi par sa spécificité à distinguer entre les causalités de long et de court terme. Ce modèle s'écrit comme suit:

$$Y = f(Ks, L, E) \quad (1)$$

Où Y représente la production totale ou le PIB réel, Ks le stock de capital réel, L le travail et E l'énergie.

II. Analyse empirique

Les travaux empiriques qui ont étudié la relation entre la consommation d'énergie et la croissance du PIB procèdent souvent par des analyses en utilisant les séries temporelles, les données de panel, l'approche bi-variée (les études avec seulement deux variables : consommation d'énergie et PIB réel) ou l'approche multi variée. Par ailleurs, Mehara (2007) identifie quatre générations d'approches méthodologiques. La première génération est composée des études basées sur la méthode VAR et sur le test de causalité de Granger. En fait, Kraft et Kraft (1978) constatent qu'il y a une causalité unidirectionnelle allant du PIB à la consommation d'énergie. Ce même rapport de causalité unidirectionnelle a été mis en évidence par Masih et Masih (1997) pour la Taïwan et la Corée. La deuxième et la troisième génération appliquent les tests de racine unitaire et de cointégration sur les séries temporelles. La quatrième génération utilise les tests de racine unitaire et de cointégration basés sur les données de panel.

Certaines études ont utilisé la technique de décomposition de la variance. Masih et Masih (1998) par exemple, y ont recouru pour analyser l'effet des innovations en énergie sur les prévisions de la variance du revenu, au Sri-Lanka et en Thaïlande. Masih et Masih (1997) ont analysé l'effet des chocs en énergie sur la variance du revenu en Corée et en Taïwan. Soytaş et Sari (2003) ont analysé l'impact de la consommation d'énergie sur le revenu en utilisant des données agrégées, sur la période 1950-1992, en Turquie. Les études récentes utilisent un cadre multi-varié, car le cadre bi-varié, où la consommation d'énergie et le PIB sont les seules variables, peut entraîner des problèmes de biais (Masih et Masih (1997, 1998) Asafu-Adjaye (2000), Glasure (2002), Narayan et Smyth (2009)). D'autres études, dont notamment Chang et Lee (2005), utilisent la méthode des MCO, sans étudier les propriétés de stationnarité de la série. Granger et Newbold (1974) ont souligné que si on ne tient pas compte de la stationnarité, cela pourrait conduire à des conclusions erronées sur les relations entre les variables.

En fait, les modèles VAR sont seulement capables d'identifier les relations de court terme. De plus, ils sont incapables de déterminer la cointégration entre les variables car la relation de long terme disparaît avec la première différenciation tandis qu'avec un modèle à correction d'erreurs (MCE), on est en mesure de distinguer les relations de causalité, de court et de long terme, entre les variables (Oh et Lee, 2004). Comme nous l'avons déjà mentionné, les études précédentes ont étudié la causalité pour un seul pays en utilisant les séries temporelles. Cependant, les données de panel peuvent fournir beaucoup plus d'informations que les séries temporelles.

Tous ces arguments nous incitent à utiliser les données de panel, notamment les modèles à correction d'erreur, et ce après avoir appliqué les tests de racines unitaires et de cointégration sur les données de panel.

En effet, l'estimation de la fonction de production (1) utilisant les MCE nous permettra de déterminer le sens de causalité entre la consommation d'énergie et la croissance économique, à court et à long terme.

En écriture logarithmique, l'équation (1) peut être modélisée sous ces deux formes :

$$PIB_{it} = \delta_{1i} + \delta_{2it} + \gamma_{1i}EU_{it} + \gamma_{2i}LF_{it} + \gamma_{3i}GFCF_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$EU_{it} = \delta'_{1i} + \delta'_{2it} + \gamma'_{1i}PIB_{it} + \gamma'_{2i}LF_{it} + \gamma'_{3i}GFCF_{it} + \varepsilon'_{it} \quad (3)$$

PIB, EU, LF et GFCF sont respectivement les logs du PIB réel, de la consommation d'énergie, de la main d'œuvre et de la formation brute de capital fixe et ε_{it} étant un terme d'erreur.

L'équation (2) permet de régresser le PIB sur la consommation d'énergie, la main d'œuvre et la formation brute de capital fixe. Cependant, l'équation (3) permet de régresser la consommation d'énergie sur le reste des variables. Ces deux régressions nous permettront de déterminer le sens de causalité entre la croissance économique et la consommation d'énergie, à partir de la significativité des paramètres, et ce après avoir accordé les modifications nécessaires à ce modèle (en recourant aux MCE).

Notre étude porte sur douze pays méditerranéens, sur une base de vingt et un pays, et s'étend sur la période 1980-2005. Il s'agit de l'Albanie, l'Algérie, la Croatie, l'Égypte, la France, Israël, le Liban, le Maroc, la Slovénie, la Syrie, la Tunisie et la Turquie. Ces pays peuvent être classés en trois sous groupes, suivant leur positionnement géographique : les pays du Nord méditerranée (Albanie, Croatie, France et Slovénie), ceux de l'Est (Israël, Liban, Syrie et Turquie) et ceux du Sud (Algérie, Maroc, Égypte et Tunisie).

Les variables² utilisées sont: le PIB (*PIB (2000 = 100)*), la consommation d'énergie (*energy use in kilotons of equivalent oil*) (EU), la main d'œuvre (*labor force*) (LF), la formation brute de capital fixe réelle (*real gross capital formation (2000 = 100)*) (GFCF).

Les représentations graphiques (voir annexe) des différentes séries utilisées nous permettent d'avoir une première analyse descriptive de notre échantillon, avant de procéder à l'estimation proprement dite. Ils montrent les différentes variations du PIB et de la consommation d'énergie pour chaque pays de l'échantillon. On constate que le PIB et la consommation d'énergie suivent un sentier similaire et ce pour tous les pays de l'échantillon. Ceci confirme que ces différentes variables sont liées par une relation commune ce qui a justifié des estimations plus approfondies.

Pour étudier la stationnarité des séries utilisées, nous avons eu recours aux tests de racine unitaire sur données de panel (Fisher, Maddala et Wu (1999) et Pesaran (2003)). Les résultats de ces deux tests sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Tests de racine unitaire sur les variables en panel

Modèle	Sans trend				Avec trend			
	PIB	EU	LF	GFCF	PIB	EU	LF	GFCF
<i>A niveau</i>								
Pesaran	-1,25	-0,97	0,44	0,03	-4,60 ***	-2,13***	1,70	1,27
Fisher-ADF	4,14	26,91	11,53	6,36	129,64***	84,74***	27,13	14,70
<i>Première différenciation</i>								
Pesaran	-8,25 ***	-9,41 ***	-6,28***	-5,95***	-6,63 ***	-7,94 ***	-4,86***	-3,78 ***
Fisher-ADF	326,91***	249,15***	169,45***	156,82***	273,08***	193,79***	141,20***	121,11***

Source : Nos estimations (2008)

(***), (**) et (*) montrent que l'hypothèse nulle correspondante peut être rejetée respectivement à 1%, 5% ou 10%.

² Elles ont été collectées à partir du cdrom du *World Development Indicators* (version 2008).

Pour toutes les variables, l'hypothèse nulle d'absence de racine unitaire n'a pu être rejetée en niveau. En différence première, cette hypothèse est rejetée pour l'ensemble des variables de l'analyse. Les deux tests utilisés confirment que les séries sont stationnaires dès la première différenciation ce qui nous amène à conclure que les séries en panel sont toutes intégrées d'ordre un (I(1)). La vérification des propriétés de non stationnarité pour toutes les variables du panel nous amène à étudier l'existence d'une relation de long terme entre celles-ci.

Rappelons que la cointégration peut être définie comme un co-mouvement systématique à long terme entre deux ou plusieurs variables économiques (Yoo, 2006). Afin de mettre en évidence cette relation et en se basant sur les résultats du test de racine unitaire en panel, nous procédons au test de cointégration en panel de Westerlund (2007), nous considérons que globalement toutes les variables du panel sont intégrées d'ordre un. L'idée sous-jacente est de tester l'absence de cointégration tout en déterminant si chacun des individus du panel peut adopter un modèle à correction d'erreur. Deux paires de tests peuvent être distinguées « G » et « P ». Les tests en panel, « *panel tests* » : Pa et Pt, supposent que α_i (le terme de correction d'erreur (TCE)) est le même pour tout i, et sont donc conçus pour tester H_0 contre $H^p_1: \alpha_i = \alpha < 0$ pour tout i. Le rejet de H_0 est donc considéré comme le rejet de la non cointégration pour le panel tout entier. La seconde paire de test, appelée « *group mean tests* » : Ga et Gt, n'exige pas l'égalité des paramètres α_i entre les différents individus du panel, ce qui signifie que H_0 est testée contre $H^g_1: \alpha_i < 0$ pour au moins un individu i.

Tableau 2 : Test de cointégration en panel

Statistique	PIB-EU	PIB-LF	PIB-GFCF	EU-LnLF	EU-LnGFCF	LF-GFCF
Gt	-2,06***	-4,63***	-1,545**	-4.36***	-1.985***	-1.24**
Ga	-4,21*	-25,97***	-1,34	-19.18***	-3.777	-0.75
Pt	-6,28***	-20,02***	-4,58***	-10.478***	-6.655***	1.11**
Pa	-3,59*	-28,51***	-1	-15.496***	-3.155***	0.20

Source : Nos estimations (2008)

(***), (**) et (*) montrent que l'hypothèse nulle correspondante peut être rejetée respectivement à 1%, 5% ou 10%.

A partir des résultats présentés dans le tableau 2, nous constatons que les deux couples de test parviennent à rejeter l'hypothèse nulle de non cointégration des séries pour le panel tout entier. Nous pouvons donc conclure que le PIB et la consommation d'énergie entretiennent une relation de long terme dans la région méditerranéenne, ce qui suggère la pertinence du recours à un modèle à correction d'erreur pour mettre en évidence les relations de court et de long terme entre la croissance économique et la consommation d'énergie.

L'existence d'au moins une relation de cointégration entre les variables, toutes intégrées d'ordre un, I(1), impose la mise en œuvre d'un modèle à correction d'erreur pour estimer la relation entre la croissance économique et la consommation d'énergie dans la région méditerranéenne. En se référant à Westerlund 2007, nous pouvons écrire notre modèle à correction d'erreur comme suit :

$$\Delta \text{PIB}_{it} = \delta_{11i} + \delta_{12i}t + \alpha_{1i}\text{PIB}_{it-1} + \lambda_{11i}\text{EU}_{it-1} + \lambda_{12i}\text{LF}_{it-1} + \lambda_{13i}\text{GFCF}_{it-1} + \sum_{j=1}^{pi} \alpha_{ij}\Delta \text{PIB}_{it-j} + \sum_{j=0}^{pi} \gamma_{11ij}\Delta \text{EU}_{it-j} + \sum_{j=0}^{pi} \gamma_{12ij}\Delta \text{LF}_{it-j} + \sum_{j=0}^{pi} \gamma_{13ij}\Delta \text{GFCF}_{it-j} + \varepsilon_{1it} \quad (4)$$

$$\Delta \text{EU}_{it} = \delta_{21i} + \delta_{22i}t + \alpha_{2i}\text{EU}_{it-1} + \lambda_{21i}\text{PIB}_{it-1} + \lambda_{22i}\text{LF}_{it-1} + \lambda_{23i}\text{GFCF}_{it-1} + \sum_{j=1}^{pi} \alpha_{ij}\Delta \text{PIB}_{it-j} + \sum_{j=0}^{pi} \gamma_{21ij}\Delta \text{EU}_{it-j} + \sum_{j=0}^{pi} \gamma_{22ij}\Delta \text{LF}_{it-j} + \sum_{j=0}^{pi} \gamma_{23ij}\Delta \text{GFCF}_{it-j} + \varepsilon_{2it} \quad (5)$$

Où les γ_{1ij} et les γ_{2ij} représentent les élasticités de court terme et les ratios ($\lambda_{1i} / \alpha_{1i}$) et ($\lambda_{2i} / \alpha_{2i}$) représentent les élasticités de long terme, respectivement dans l'équation (4) et (5). Ces ratios sont les rapports des coefficients caractérisant l'équilibre de long terme par rapport au coefficient du terme de correction d'erreur. α_{1i} et α_{2i} étant les termes de correction d'erreur, respectivement dans l'équation (4) et (5). Elles représentent aussi la vitesse des coefficients d'ajustement dont la négativité et la significativité statistique valident le modèle à correction d'erreur. Elles mesurent la vitesse avec laquelle la croissance économique et la consommation d'énergie atteindront l'équilibre de long terme. Ces paramètres ont des implications importantes sur la dynamique du système. Le signe négatif de la vitesse estimée des coefficients d'ajustement indique la convergence vers l'équilibre de long terme. En effet, plus la valeur du coefficient du terme de correction d'erreur est élevée plus la réponse des variables est forte. Plus elle est faible, plus le temps de retour à l'équilibre est long. Quand le TCE est statistiquement significatif dans les deux modèles, un changement dans une variable affecte les autres à travers un système de rétroaction, ce qui prouve l'existence d'un lien de causalité bidirectionnelle entre les variables.

III. Présentation et discussion des résultats empiriques

La discussion porte sur les estimations des équations 4 et 5 et en vue de donner une robustesse à nos résultats nous avons procédé à des estimations à un niveau global (1), pour les répartir par la suite en groupe géographique (Nord, Sud et Est) et ceci afin de mettre en relief les spécificités relatives de la relation *croissance économique-consommation d'énergie* au sein de chaque groupe (2).

A. Analyse globale

Le tableau (3) résume les résultats concernant l'estimation de l'équation (4). Il montre que le terme d'erreur est bien négatif et significatif ce qui valide notre recours au MCE. En effet, la significativité du terme de correction d'erreur valide l'existence d'une relation de long terme dans le processus de cointégration, et les mouvements entre les différentes variables du modèle sont considérés comme permanents. L'impact de ces différents déterminants qui influencent de manière significative la croissance économique dans la région méditerranéenne est aussi bien significatif à court terme qu'à long terme. En effet les élasticités de long terme affichent des significativités statistiques à hauteur de 1% et 5% respectivement pour la FBCF et l'EU tandis que la main d'œuvre n'est pas significative. A court terme, la consommation d'énergie est significativement positive. Par ailleurs, la significativité et la négativité du terme de correction d'erreur prouvent l'existence d'une relation allant de la consommation d'énergie vers la croissance économique. Autrement dit, l'acceptation de l'équation (4) confirme l'hypothèse consistant à considérer l'énergie comme un facteur de production au même titre que le travail et le capital.

Tableau 3 : Estimation du modèle à correction d'erreur-équation 4

	Court terme			Long terme			TCE
	ΔEU	ΔLF	$\Delta GFCF$	$\Delta EU/TCE$	$\Delta LF/TCE$	$\Delta GFCF/TCE$	
ΔPIB	0,25***	0,13	0,13***	0,39*	-0,12	-1,24**	-0,01*

Source : Nos estimations (2008)

(***), (**) et (*) montrent que l'hypothèse nulle correspondante peut être rejetée respectivement à 1%, 5% ou 10%.

Ces résultats ont des implications sur les politiques économiques et énergétiques dans la région. Ainsi, l'adoption d'une politique de conservation d'énergie dans la région doit prendre en considération les risques d'un impact négatif à court et à long terme. Puisqu'il existe une dynamique économique fortement dépendante de l'énergie et qu'une économie de l'énergie risque d'entraîner une décroissance économique.

Les résultats (tableau 4) concernant l'estimation de l'équation (5) montrent bien que le terme de correction d'erreur du panel ainsi que tous les autres paramètres du modèle sont non significatifs. Ceci confirme l'absence d'une causalité allant de la croissance économique vers la consommation d'énergie et par conséquent l'absence d'une causalité bidirectionnelle dans la région méditerranéenne entre la croissance économique et la consommation d'énergie.

Tableau 4 : Estimation du modèle à correction d'erreur - équation 5

	Court terme			Long terme			
	Δ PIB	Δ LF	Δ GFCF	Δ PIB/TCE	Δ LF/TCE	Δ GFCF/TCE	TCE
Δ EU	0,64	0,15	0,00	5,29	-1,17	-5,32	-0,01

Source : Nos estimations (2008)

(***), (**) et (*) montrent que l'hypothèse nulle correspondante peut être rejetée respectivement à 1%, 5% ou 10%.

En conclusion, la présence d'une relation de causalité unidirectionnelle allant de la consommation d'énergie vers la croissance économique et la significativité de la consommation d'énergie à court et à long terme indiquent que la mise en œuvre d'une politique de conservation d'énergie dans la région, afin de garantir la durabilité du développement, aura des conséquences néfastes sur la croissance économique. Ces résultats sont conformes à ceux de Stern (1993, 2000), Oh et Lee (2004) et Paul et Bhattacharya (2004) qui soulignent que l'énergie est l'une des pierres angulaires de la fonction de production. De plus, ces résultats confirment ceux de Yu et Choi (1985) pour les Philippines, de Masih et Masih (1996) pour l'Inde, de Shiu et Lam (2004) pour la Chine et de Chang et Lee (2008) pour 16 pays asiatiques, qui ont défendu l'hypothèse qui stipule l'existence d'une relation unidirectionnelle allant de la consommation d'énergie vers la croissance économique.

B. Analyse par groupes

En fait, la dynamique économique dans la région méditerranéenne n'est pas homogène, elle diffère d'un emplacement géographique à un autre, nous distinguerons alors ceux du nord (l'Albanie, la Croatie, la France et la Slovénie), ceux de l'est (Le Liban, la Syrie, la Turquie et Israël) et ceux du sud (l'Algérie, l'Égypte, le Maroc et la Tunisie). Cette classification va nous fournir une meilleure identification de la relation de causalité entre la croissance économique et la consommation d'énergie dans la région.

1. Les pays du Nord

Les tableaux (5) et (6) présentent les résultats d'estimation des équations (4) et (5) du panel Nord. Tous les paramètres estimés à partir de l'équation (4) sont significatifs, cependant, ceux de l'équation (5) ne le sont pas. Ceci traduit l'existence d'une dynamique de court et de long terme unidirectionnelle allant de la consommation d'énergie vers la croissance économique. En effet, la croissance économique du panel Nord est très sensible à toute variation dans la consommation d'énergie, ce qui pourrait être attribué à la nature de sa structure économique industrialisée, consommatrice d'énergie. Chontanawat et al (2008) affirment que pour 70% des pays de l'OCDE, la relation de causalité entre énergie et PNB est effective mais qu'elle ne

l'est que pour 46% des pays non-OCDE. Ces pays, étant plus concernés que ceux de l'Est et du Sud par le Protocole de Kyoto, ils auront du mal à modérer leur consommation d'énergie sans que leur croissance économique soit affectée. Il serait donc difficile d'opérer une transition rapide vers les énergies propres. Une politique d'économie d'énergie, basée, notamment sur le recours aux énergies renouvelables doit être soigneusement établie afin de minimiser ses impacts néfastes sur l'économie.

Tableau 5 : Estimation de l'MCE - pays du Nord - équation 4

	Court terme			Long terme			
	ΔEU	ΔLF	$\Delta GFCF$	$\Delta EU/TCE$	$\Delta LF/TCE$	$\Delta GFCF/TCE$	TCE
Panel (Nord)	0,38***	0,35**	0,11***	0,28*	-0,69**	-0,76***	-0,03***

Source : Nos estimations (2008)

(***), (**) et (*) montrent que l'hypothèse nulle correspondante peut être rejetée respectivement à 1%, 5% ou 10%.

Tableau 6 : Estimation de l'MCE-pays du Nord-équation 5

	Court terme			Long terme			
	ΔPIB	ΔLF	$\Delta GFCF$	$\Delta PIB/TCE$	$\Delta LF/TCE$	$\Delta GFCF/TCE$	TCE
Panel (Nord)	0,99***	0,19	-0,03	5,47	5,40	-9,62	0,00

Source : Nos estimations (2008)

(***), (**) et (*) montrent que l'hypothèse nulle correspondante peut être rejetée respectivement à 1%, 5% ou 10%.

2. Les pays de l'Est

L'estimation du modèle à correction d'erreur pour le panel Est (tableaux (7) et (8)) confirme aussi la persistance de la relation de causalité entre la croissance économique et la consommation d'énergie. Cependant, le sens de cette causalité est différent, il va de la croissance économique vers la consommation d'énergie, autrement dit toute variation dans la croissance économique affecte la consommation d'énergie, tandis qu'une variation dans la consommation d'énergie est sans effet sur la croissance économique; ce qui pourrait être attribué non seulement à la structure économique du panel Est, qui est différente de celle du panel Nord, mais aussi au climat politique tendu qui règne dans les pays de l'Est. Ainsi, la consommation d'énergie ne s'accroît que si les conditions économiques et politiques sont favorables. Ceci s'explique par le fait qu'un épanouissement économique entraîne un accroissement des revenus, ce qui conduit par conséquent à l'accroissement de la consommation d'énergie (i.e. en acquérant de nouveaux moyens de transports). Le panel Est, bien qu'il ne soit pas concerné par la réduction des (GES) et par conséquent par la réduction de la consommation d'énergie, peut adopter des politiques de conservation d'énergie sans pour autant entraver sa croissance économique. En présence de telle causalité unidirectionnelle, une politique d'économie d'énergie n'aura aucun effet négatif sur la croissance économique. C'est dans cette optique que s'inscrit la mise en place de projets MDP³, basés notamment sur le recours aux énergies renouvelables et sur l'investissement dans des technologies propres, aidera ces derniers à bénéficier d'un environnement viable, vivable et équitable. Le défi est de pouvoir réussir la transition énergétique sans augmenter la pollution atmosphérique.

³ Mécanisme de développement propre : permet aux pays de l'annexe 1 d'acquérir des crédits d'émissions par le billet de projets financés dans des pays en développement.

Tableau 7 : Estimation de l'MCE - pays de l'Est - équation 4

	Court terme			Long terme			
	ΔEU	ΔLF	$\Delta GFCF$	$\Delta EU/TCE$	$\Delta LF/TCE$	$\Delta GFCF/TCE$	TCE
Panel (Est)	0,11	0,06	0,17***	-1,06	-0,30	-0,19	0,01

Source : Nos estimations (2008)

(***) , (**) et (*) montrent que l'hypothèse nulle correspondante peut être rejetée respectivement à 1%, 5% ou 10%.

Tableau 8 : Estimation de l'MCE-pays de l'Est - équation 5

	Court terme			Long terme			
	ΔPIB	ΔLF	$\Delta GFCF$	$\Delta PIB/TCE$	$\Delta LF/TCE$	$\Delta GFCF/TCE$	TCE
Panel (Est)	0,26	-0,28	0,03	1,37***	-0,73***	-1,43**	-0,05***

Source : Nos estimations (2008)

(***) , (**) et (*) montrent que l'hypothèse nulle correspondante peut être rejetée respectivement à 1%, 5% ou 10%.

3. *Les pays du Sud*

Les tableaux (9) et (10) montrent la non significativité des termes de correction d'erreur dans les deux modèles; ceci se traduit par l'absence d'une dynamique de long terme entre la croissance économique et la consommation d'énergie dans le panel Sud. Cependant, la significativité de la consommation d'énergie et de la croissance économique à court terme, respectivement dans les modèles (4) et (5), confirme que cette relation n'est pas totalement absente mais elle est plutôt bidirectionnelle dans le court terme. La nature de cette relation pourrait être attribuée à la structure économique de ce panel faiblement industrialisé. Ce panel, étant plus sensible que les autres, ressentira immédiatement l'impact de toute décision de conservation d'énergie mais nous pouvons signaler que cet effet n'est pas permanent, il disparaît dans le long terme.

Tableau 9 : Estimation de l'MCE - pays du Sud - équation 4

	Court terme			Long terme			
	ΔEU	ΔLF	$\Delta GFCF$	$\Delta EU/TCE$	$\Delta LF/TCE$	$\Delta GFCF/TCE$	TCE
Panel (Sud)	0,13**	0,00	0,13***	0,49	-1,20	-0,66	-0,01

Source : Nos estimations (2008)

(***) , (**) et (*) montrent que l'hypothèse nulle correspondante peut être rejetée respectivement à 1%, 5% ou 10%.

Tableau 10 : Estimation de l'MCE - pays du Sud - équation 5

	Court terme			Long terme			
	ΔPIB	ΔLF	$\Delta GFCF$	$\Delta PIB/TCE$	$\Delta LF/TCE$	$\Delta GFCF/TCE$	TCE
Panel (Sud)	0,30**	-0,18	0,07	42,41***	-15,01	-35,81	0,00

Source : Nos estimations (2008)

(***) , (**) et (*) montrent que l'hypothèse nulle correspondante peut être rejetée respectivement à 1%, 5% ou 10%.

Enfin, on peut conclure que la répartition géographique des pays de la région méditerranéenne nous a aidé à éclaircir les conclusions quant à la relation de causalité entre la croissance économique et la consommation d'énergie. Il apparaît clairement que la mise en

œuvre d'une politique de conservation d'énergie est préjudiciable à la croissance économique surtout au Nord. Mais il est également impératif de rappeler que la politique énergétique des gouvernements devrait se déplacer vers une efficacité énergétique plus approfondie afin d'assurer une maîtrise adéquate des émissions des (GES).

Conclusion

Dans cet article, nous avons étudié la relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique dans le cadre de développement durable nécessitant la mise en place de politique environnementale en l'occurrence une politique énergétique s'appuyant sur des énergies renouvelables et une technologie propre, pour un panel de douze pays méditerranéens, sur une période allant de 1980 à 2005. Nous avons utilisé des techniques économétriques très récentes, notamment, le modèle à correction d'erreur de Westerlund. Cette méthode, prenant en considération la non stationnarité et la cointégration des séries, nous a permis de distinguer les relations de court terme de celles de long terme. En effet, une relation de causalité unidirectionnelle allant de la consommation d'énergie vers la croissance économique a été identifiée dans le long et le court terme pour le panel tout entier. Ce résultat est en relation étroite avec les structures économiques et aura un impact sur les politiques énergétiques. Ainsi, une politique d'économie d'énergie dans la région méditerranéenne risque 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 méditerranéens étudiés en trois groupes, selon leur emplacement géographique : le panel Nord (l'Albanie, la Croatie, la France et la Slovénie), le panel Est (Le Liban, la Syrie, la Turquie et Israël) et le panel Sud (l'Algérie, l'Égypte, le Maroc et la Tunisie). Grâce à cette classification, nous avons pu dégager des résultats beaucoup plus spécifiques et beaucoup plus robustes. En effet, la croissance économique du panel Nord est très sensible à toute variation dans 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 de ce panel où le tissu industriel est assez développé. Ces pays, étant plus concernés que ceux de l'Est et du Sud 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 du panel Nord 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 du panel Nord, celle du panel Est est non tributaire de la consommation d'énergie. En effet, la consommation d'énergie du panel Est ne 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 Sud, nous notons que sa croissance économique est non tributaire de la consommation d'énergie. 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.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AL IRIANI M.A. (2006), « Energy–GDP relationship revisited: an example from GCC countries using panel causality », *Energy Policy*, vol 34 (17), p. 3342–3350.
- ASAFU ADJAYE J. (2000), « The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries », *Energy Economics*, vol 22, p. 615–625.
- BEAUDREAU B.C. (2005), « Engineering and economic growth », *Structural Change and Economic Dynamics*, vol 16, p 211–220.
- BROWN M. T., HERENDEEN R. A. (1996), « Embodied energy analysis and energy analysis: a comparative view », *Ecological Economics*, vol 19, p. 219-236.
- CHONTANAWAT J., LESTER C., HUNT PIERSE R. (2008), « Does energy consumption cause economic growth? : Evidence from a systematic study of over 100 countries », *Journal of Policy Modeling*, vol 30, p. 209-220.
- CLEVELAND C. J., STERN D. I. (1999), *Indicators of natural resource scarcity: a review and synthesis*, J. C. J. M. van den Bergh (ed.), Handbook of Environmental and Resource, Economics, Edward Elgar, Cheltenham.
- COSTANZA R. (1980), « Embodied energy and economic valuation », *Science*, vol 210, p. 1219-1224.
- EROL U., YU E.S.H. (1987), « Time series analysis of the causal relationships between U.S. energy and employment », *Resources and Energy*, vol 9, p. 75–89.
- FATAI K., OXLEY L., SCRIMGEOUR F.G. (2004), « Modelling the causal relationship between energy consumption and GDP in New Zealand, Australia, India, Indonesia, the Phillippines and Thailand », *Mathematics and Computers in Simulation*, vol 64, p. 431–445.
- GEORGESCU-ROEGEN N. (1979), *La décroissance. Entropie- Ecologie-Economie*, Paris : Les Éditions Sang de la terre, 1995, Nouvelle édition, 254 pp. téléchargeable sur l'adresse : http://www.uqac.quebec.ca/zone30/Classiques_des_sciences_sociales/index.html
- GEVER J., KAUFMANN R. K., SKOLE D., VOROSMARTY C. (1986), *Beyond Oil: The Threat to Food and Fuel in the Coming Decades*, Ballinger, Cambridge, Mass.
- GHALI K.H., EL SAKHA M.I.T. (2004), « Energy use and output growth in Canada: a multivariate cointegration analysis », *Energy Economics*, vol 26 (2), p. 225–238.
- GLASURE Y.U., LEE A.R. (1998), « Cointegration, error-correction, and the relationship between GDP and electricity: the case of South Korea and Singapore », *Resource and Energy Economics*, vol 20, p. 17–25.
- GRANGER C., NEWBOLD P. (1974), « Spurious regressions in econometrics », *Journal of Econometrics*, vol 2, p. 111–120.
- HALL C. A. S., CLEVELAND C. J., KAUFMANN R. K. (1986), *Energy and Resource Quality: The Ecology of the Economic Process*, Wiley Interscience, New York.
- KANE CH. S. (2009), « Demande d'énergie et croissance économique dans l'UEMOA : Une analyse sur panel hétérogène non stationnaire », *Revue africaine de l'Intégration*, Vol. 3, p. 1-33.
- KAUFMANN R. K. (1987), « Biophysical and Marxist economics: learning from each other », *Ecological Modelling*, vol 38, p. 91-105.
- KRAFT J., KRAFT A. (1978), «On the relationship between energy and GNP », *Journal of Energy and Development*, vol 3, p. 401–403.
- KUZNETS S. (1955), « Economic growth and income inequality », *American Economic Review*, vol 49, p. 1-28.
- LEE C. (2005), « The impact of energy consumption on economic growth: Evidence from linear and nonlinear models in Taiwan », *Energy*, vol 32, p. 2282–2294.
- LEE C. (2006), « The causality relationship between energy consumption and GDP in G-11 countries revisited », *Energy Policy*, vol 34 (9), p. 1086–1093.
- LEE C. (2008), « Energy consumption and economic growth in Asian economies: A more comprehensive analysis using panel data », *Resource and Energy Economics*, vol 30, p. 50–65.
- 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*, vol 61, p. 631-652.
- MASIH A.M.M., MASIH R. (1996), « Electricity consumption, real income and temporal causality: results from a multi-country study based on cointegration and error correction modeling techniques », *Energy Economics*, vol 18, p. 165–183.
- MASIH A.M.M., MASIH R. (1998), « A multivariate cointegrated modeling approach in testing temporal causality between energy consumption, real income and prices with an application to two Asian LDCs », *Applied Economics*, vol 30 (10), p. 1287–1298.
- MEHARA M. (2007), « Energy consumption and economic growth: the case of oil exporting countries ». *Energy Policy*, vol 35, p. 2939–2945.
- MORIMOTO R., HOPE C. (2004), « The impact of electricity supply on economic growth in Sri Lanka », *Energy Economics*, vol 26, p. 77–85.

- NARAYAN P. K., SMYTH R. (2009), « Multivariate granger causality between electricity consumption, exports and GDP: Evidence from a panel of Middle Eastern countries », *Energy Policy*, vol 37, p. 229–236.
- OH W., LEE K. (2004), « Energy consumption and economic growth in Korea: testing the causality relation », *Journal of Policy Modeling*, vol 26, p.973–981.
- OLATUBI W.O., ZHANG Y. (2003), « A dynamic estimation of total energy demand for the Southern States », *Review of Regional Studies*, vol 33 (2), p. 206–228.
- PAUL S., BHATTACHARYA R.N. (2004), « Causality between energy consumption and economic growth in India: a note on conflicting results », *Energy Economics*, vol 26, p. 977–983.
- POKROVSKI V.N. (2003), « Energy in the theory of production », *Energy*, vol 28, p. 769–788.
- PRINET E. (2004), Développer une économie écologique, *Notes pour l'association 4D*, février, 8p. Accessible sur le lien suivant : http://equitecho.org/IMG/pdf_Developper_une_economie_ecologique_-_4D.pdf
- RISOUD B. (1999), « Développement durable et analyse énergétique d'exploitation agricole », *Economie rurale*, vol 252, p. 16-27.
- SHIU A., LAM P. (2004), « Electricity consumption and economic growth in China », *Energy Policy*, vol 32, p. 47–54.
- SOYTAS U., SARI R. (2003), « Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets », *Energy Economics*, vol 25, p. 33–37.
- THOMPSON H. (2006), « The applied theory of energy substitution in production », *Energy Economics*, vol 28 (4), p. 410–425.
- WESTERLUND J. (2007), « Testing for error correction in panel data », *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, vol 69, p. 709-748.
- YANG H.Y., (2000), « A note on the causal relationship between energy and GDP in Taiwan », *Energy Economics*, vol 22, p. 309–317.
- YOO S.H. (2006), « The causal relationship between electricity consumption and economic growth in the ASEAN countries », *Energy Policy*, vol 34 (18), p. 3573–3582.
- YU S.H., CHOI J.Y. (1985), « The causal relationship between energy and GNP: an international comparison », *Journal of Energy Development*, vol 10, p. 249–272.

Annexe Evolution du PIB et de la consommation d'énergie des 12 pays

