

Développement économique et dégradation de l'environnement en Tunisie

Ben Hmida R¹, Hammami S², Constantinescu ML³

Résumé

L'objectif de cet article est d'étudier la relation entre le produit intérieur brut, la consommation d'énergie et les émissions de dioxyde de carbone par habitant pour le cas de la Tunisie durant la période 1971-2004. Les résultats de l'analyse empirique affirment que la consommation d'énergie contribue à la croissance du pays mais la causalité n'est pas bidirectionnelle ce qui approuve que l'économie Tunisienne n'est pas fortement dépendante de l'énergie. La consommation d'énergie est essentiellement à l'origine de dégagement des émissions polluantes, donc son utilisation est jugée comme inefficace étant données que les pressions environnementales accompagnent la croissance du pays.

Abstract

The main goal of this paper is to study the relation between GDP, energy -consumption and emissions of dioxide carbone per capita in Tunisia for the period between 1971-2004. Results of empirical analysis confirm that energy consumption lead to an economic growth but the causality isn't bidirectional; subsequently this approved that Tunisian economic doesn't greatly depend in the energy. The energy consumption is essentially to the origin of pollutants emissions while the use of energy is judged as unefficient because environmental pressure go with economic growth.

¹ Doctorante en sciences économiques, unité de recherche (MODEVI), Faculté de Sciences Economiques et de Gestion, Université de Sfax, Tunisie. rania-benhmida@hotmail.fr

² Hammami Sami, Maitre de conférence à l'institut supérieur de gestion, Tunis, Sami_hammami2005@yahoo.fr

³ Dr. Lucretia Mariana Constantinescu; enseignant-chercheur, Dept. Management-Marketing, FSE, Universite VALAHIA, Roumanie; maraluconstantinescu@yahoo.com

1- Introduction

La relation entre le développement durable d'un pays et la qualité de son environnement est devenue un sujet d'actualité pour la littérature économique ces trois dernières décennies. Selon le sommet de Stockholm de 2001 «le développement durable doit satisfaire les besoins des générations présentes sans compromettre ceux des générations futures».

Il s'agit donc d'un concept proposant de trouver un équilibre entre notre mode de vie moderne (basé sur la croissance) et les limites supportables par notre planète.

Le concept de développement durable a été formulé dès les années 1970 visant à concilier le développement économique et social, la protection de l'environnement et la conservation des ressources naturelles. Il émerge graduellement entre 1970 et 1987, mais ce n'est qu'autour des années 1990 qu'il s'est réellement propagé.

Pour certains scientifiques biologiques mais aussi économistes tels que Georgescu-Roegen (1971), Meadows et al (1972), l'activité économique (production et consommation) entraîne l'épuisement des ressources naturelles, l'accumulation de déchets et la concentration des polluants qui dépassent la capacité de la biosphère (effet de serre, biodiversité⁴) et causent la dégradation de la qualité de l'environnement et la diminution du bien être social.

La Tunisie apparaît comme un espace d'étude intéressant étant donné qu'elle est considérée parmi les économies à croissance élevée dans la zone du Moyen-Orient et l'Afrique du Nord et elle souffre d'une offre énergétique insuffisante pour satisfaire la demande qui ne cesse d'augmenter de jour en jour.

La Tunisie a commencé à faire attention à la qualité de son environnement que récemment et ceci à cause de son insertion dans l'économie mondiale ce qui l'oblige de respecter des normes environnementales bien précises afin de bénéficier du transfert de la technologie « propre ».

2- Structure théorique

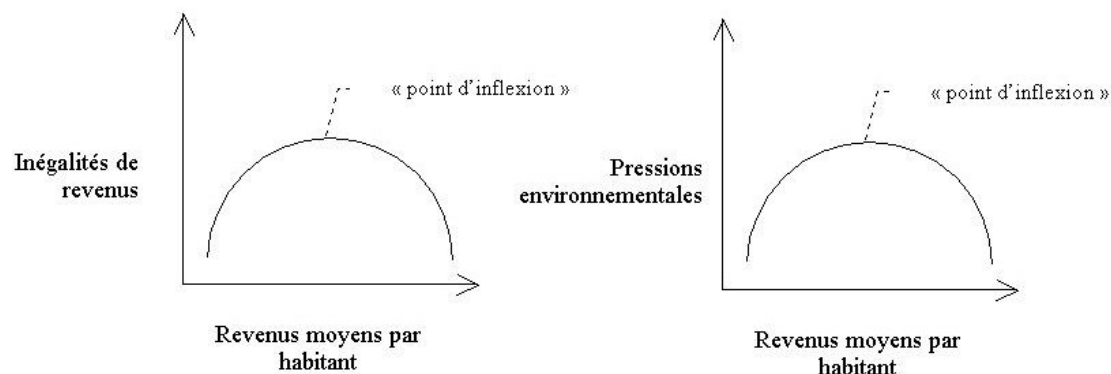
Au cours des années 1950, l'économiste Américain Simon Kuznets⁵ émettait l'hypothèse selon laquelle il existe une relation en « U » entre le niveau de développement économique d'un pays et le niveau d'équité de répartition des richesses et la période d'augmentation des inégalités ne serait que provisoire et elle finit par se stabiliser si un niveau

⁴ Selon les scientifiques, la biodiversité est la dynamique des interactions dans des milieux en changement qui sont causées par nos activités et par notre surexploitation des ressources.

⁵ Boutard.A, Brodhag.C.Gondran, N, lorsque le développement perd le Nord !courbes de Kuznets environnementales : l'apport des indicateurs alternatifs de type empreinte écologique dans la réflexion sur le développement durable.

minimum de revenu est atteint.

Figure 1 : Représentation des courbes de Kuznets « sociales » et « environnementales »



Source : Boutard.A, Brodhag.C, Gondran.N, lorsque le développement perd le Nord , page 28.

Cette hypothèse séduisante a inspiré un certain nombre d'économistes qui ont essayé d'observer si le même phénomène était valable pour les questions environnementales, en d'autres termes, un pays qui se développe crée les conditions d'une détérioration accrue de son environnement qui ne se stabilise que si un niveau minimum de développement est atteint.

Certains économistes ont défendu cette hypothèse tel est le cas de Beckerman⁶, qui a affirmé que « la forte corrélation entre les revenus et les mesures de protection de l'environnement démontre qu'à plus long terme, la meilleure façon d'améliorer votre environnement est de devenir riche⁶ », c'est-à-dire que la croissance économique est la meilleure façon qui garantit l'amélioration de la qualité de l'environnement.

Cependant, si on considère le niveau de revenu comme la variable d'entrée et la qualité de l'environnement comme la conséquence, ceci s'aligne avec l'approche de la durabilité faible qui suppose qu'il existe une possibilité de substitution entre capital naturel et artificiel, ce qui légitime à son tour la dégradation voire même l'épuisement des ressources naturelles. Une littérature abondante s'est concentrée autour de l'hypothèse de la courbe de Kuznets environnementale (CKE) au cours des quinze dernières années. Bimonte⁷ a montré que la croissance économique dans les pays riches est accompagnée par la dégradation de leurs milieux naturels car ces derniers ont tendance à préserver davantage leur environnement (la première phase de CKE). Dans le même ordre d'idées, Stern et al⁸ ou encore Bruyn et al⁹ ont

⁶ Beckerman, W. (1992). Economic growth and the environment : whose ?whose environmental ?. World Development, 20,481-496.

⁷ Bimonte, S. (2002). Information acces, income distribution, and the environment Kuznets Curve. Ecological Economics, 41, 145-156.

⁸ Stern, D.I, Common.M,S,Barbier, E.B.(1996). Economic growth and environmental degradation : the environment Kuznets Curve and sustainable development. World development, vol. 24, 7, 161-175.

confirmé que les émissions polluantes baissent si on atteint un seuil de revenu bien défini(c'est la deuxième phase de (CKE)).Le rapport de la banque mondiale(1991)¹⁰, qui est basé sur les travaux de Shafik et bandyopadhyay, ne vérifie la relation de type (CKE) que pour un nombre limité d'indicateurs, donc on ne peut pas admettre que la croissance économique est toujours une réponse au problème écologique. Et suite à ce premier constat international, plusieurs auteurs ont décidé de tester de nouveau l'hypothèse de la (CKE). Grossman et Krueger¹¹ ont pu expliquer la relation entre les différents indicateurs de l'environnement et le niveau de revenu d'un pays, ils ont conclu qu'aucune preuve ne montre que la qualité de l'environnement se détériore progressivement avec la croissance du pays, au contraire, pour la plus part des indicateurs, la croissance économique apporte une phase initiale de dégradation, suivie d'une phase d'amélioration. Quant à eux Selden et Song¹² ont émis l'hypothèse selon laquelle la relation entre la croissance économique et la qualité de l'environnement, qu'elle soit positive ou négative n'est pas fixé le long d'un chemin de développement du pays ; elle peut changer de signe selon qu'un pays atteint un niveau de revenu au cours duquel la demande des citoyens est d'offrir une infrastructure efficace et un environnement plus propre.

Selon Panayotou (1993)¹³, l'intensification de l'industrialisation entraîne l'épuisement des ressources et l'accélération de la production de déchets. A des niveaux plus élevés de développement, l'utilisation de technologies plus efficaces, et la demande accrue pour la qualité de l'environnement donnent comme résultat une baisse régulière de la dégradation de L'environnement. Il a montré aussi qu'une diminution monotone de la qualité de l'environnement avec la croissance du revenu ,demande des réglementations strictes pour l'environnement et même des limites au développement économique afin d'assurer le soutien de la vie écologique du système(Arrow et al.1995), et une augmentation monotone de la qualité de l'environnement donne à penser que les politiques qui accélèrent la croissance économique conduisent à une rapide amélioration de l'environnement et les politiques explicites de protection de l'environnement ne sont pas nécessaires. Enfin, si les hypothèses de la (CKE) sont suivies de

⁹ Bruyn, S. M., Van den Bergh J,C.J.M., Opshoor J.B. (1998) Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves, *Ecological Economics*, 25,161-175.

¹⁰ World Bank. (1992). *World Development Report 1992: development and the environment*, The World Bank

¹¹ Grossman, G.M., Krueger, A.B. (1995) Economic growth and the environment, *Quarterly Journal of Economics*, 110, 353-377.

¹² Selden T.M., Song D.S. (1994) .Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions ? *Journal of Environmental and Economic Management*, 27,147-162.

¹³ T. Panayotou. *Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development*, ILO Technology and Employment Programme, WP238 (Geneva), 1993.

preuves, les politiques de développement sont respectueuses à long terme, (à revenu élevé), mais sont la cause d'importants dommages environnementaux à court et à moyen terme (à faible et à moyen niveau de revenu).

Une autre critique a été avancée par les Anglo-saxons et qui est située dans le cadre de l'hypothèse du havre de pollution affirmant que la délocalisation des activités très polluantes et à faible valeur ajoutée dans les pays à revenu limité et dont les politiques environnementales sont jugées comme moins strictes sont à l'origine de la baisse des émissions polluantes constatées dans les pays riches.

A partir des reproches qui ont été adressées aux études sur la (CKE), la théorie de la durabilité forte essaye de surmonter au moins une partie de ces limites, cette dernière conçoit l'environnement comme le support de toute activité humaine ou plutôt comme «un capital naturel limité» constitué en amont du cycle de production par un ensemble de ressources et en aval du cycle de consommation par des milieux récepteurs, d'où l'hypothèse de la durabilité faible qui constitue l'environnement comme « un luxe réservé aux pays riches » a été renoncée, alors cette vision écosystémique a inversé les facteurs d'environnement et de développement ; la variable explicative est la capacité de l'environnement à fournir des ressources et à absorber des déchets et la variable expliquée est le niveau de développement.

Cette idée a inspiré Ehrlich et Holdren¹⁴ au début des années 1970 qui ont quantifié l'impact d'une société sur l'environnement à travers la somme de trois données à savoir : la population, le niveau de consommation et le type de technologie disponible.

Au milieu des années 1990, Mathis Wackernagel et William Rees¹⁵ ont élaboré un indicateur composite appelé « l'empreinte écologique » capable de combiner les impacts d'une société en termes d'utilisation des ressources et de pollution, ces auteurs pensent à l'économie comme un métabolisme industriel qui a besoin de manger des ressources et cette consommation deviendra déchet et finira par être rejetée, l'unité retenue dans cette étude sera la surface de la terre biologiquement productive, qui sera par la suite ramené à l'habitant(hectare/habitant).

On peut affirmer que la principale qualité de cette empreinte est son caractère synthétique qui assure la comparaison entre les pays et elle permet d'attribuer systématiquement l'impact écologique au consommateur et non au producteur, d'où la possibilité de délocalisation de la pollution des pays riches vers les pays pauvres(qui représente un problème central posé par l'hypothèse du havre de pollution)sera rejetée.

¹⁴ Holdren, J. Ehrlich, (1974). Human population growth and the global environment. American Science, 62,282-292.

¹⁵ Wackernagel, M., Rees, W. (1999.) Notre empreinte écologique, Ecosociété, p.207.

Sur la base des critiques adressées au PIB, vu son incapacité de refléter le niveau réel de développement des nations, les experts du PNUD au début des années 1990 ont proposé un nouveau concept celui de l'indice de développement humain¹⁶ (IDH) dont trois dimensions universelles sont jugées comme centrales : la capacité de bénéficier d'une vie longue et saine, le droit à l'éducation et aux connaissances et enfin l'accès aux ressources matérielles indispensables pour atteindre un niveau de vie décent, et dont le PIB (exprimé en parité de pouvoir d'achat et ramené à l'habitant) participe à son calcul.

Finalement, on peut affirmer qu'au cours des quinze dernières années, l'empreinte écologique et l'IDH ont réussi à attirer une audience de plus en plus large ce qui permet à son tour de faire évoluer positivement les modèles sur le plan méthodologique.

3- Les effets négatifs des émissions polluantes

Le défi majeur dont l'humanité doit faire face au cours de la prochaine décennie est de gérer les conséquences de son développement et essentiellement la qualité de son environnement. Le changement climatique et la pollution atmosphérique sont tous les deux causés principalement par les émissions polluantes naturelles et anthropiques¹⁷ et exercent une influence l'un sur l'autre.

3-1- les effets des émissions polluantes sur l'environnement

Les principaux éléments responsables de la pollution atmosphérique, issus d'émissions naturelles ou anthropiques (polluants primaires) et des transformations chimiques des composés ainsi émis (polluants secondaires) sont ; les oxydes de soufre, les oxydes d'azote, les composés organiques volatils ou COV (butane, propane, méthane, acétone...), le monoxyde de carbone, les particules primaires, secondaires et l'ozone.

Sous l'effet du rayonnement UV, des réactions chimiques peuvent se traduire entre ces polluants entraînent la formation d'ozone troposphérique, à la fois gaz à effet de serre (responsable de 10% de l'effet de serre anthropique) et polluant dangereux pour la santé humaine et les écosystèmes.

Par ailleurs, les particules et l'ozone forment le smog qui limite la visibilité dans l'atmosphère. Il peut être transporté sur des milliers de kilomètres par le vent et les courants atmosphériques.

Certains auteurs voient que le changement climatique est très probablement causé par les activités humaines et en particulier les émissions de gaz à effet de serre et il va avoir dans les prochaines années de multiples conséquences à savoir ; une augmentation de la

¹⁶ Noorbakhsh, F. (1998). A modified Human Development Index. World Development, Vol.(26),3, 517-528.

¹⁷ Tout élément provoqué directement ou indirectement par l'action de l'homme.

température moyenne du globe, une modification de précipitation c'est-à-dire plus de précipitations dans les hautes latitudes et moins de pluie dans la plupart des terres subtropicales¹⁸, une augmentation de la fréquence des événements extrêmes tels que les vagues de chaleur, les températures extrêmes, une multiplication des feux de forêts dus aux sécheresses, des perturbations globales qui vont entraîner un changement de la composition atmosphérique.

3-2- les effets des émissions polluantes sur la santé humaine

Les effets de la pollution atmosphérique sur la santé humaine¹⁹ dépendent d'une part de la dose qui varie selon la concentration des polluants, du volume d'air respiré et de la durée d'exposition, et d'autre part de l'état de santé personnelle de l'individu exposé. Ils se manifestent principalement chez les enfants, les personnes malades du cœur ou des poumons, les asthmatiques. Pour eux, la pollution peut favoriser la survenue de maladies, en aggraver certaines et parfois même précipiter le décès. A ce propos, on trouve :

- Le dioxyde d'azote (NO₂) qui est un gaz irritant, il pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires. Il provoque une hyper réactivité bronchique chez les patients asthmatiques et un accroissement de la sensibilité des bronches aux infections chez les enfants.
- Le benzène, il existe parmi les composés organiques volatils (COV), il est particulièrement toxique et peut avoir des effets sur le système nerveux, les globules et plaquettes sanguines. C'est également un agent cancérogène²⁰, capable d'induire une leucémie²¹.
- Le monoxyde de carbone (CO), à petites doses répétées, peut être responsable de maux de tête, vertiges, fatigues ou troubles sensoriels. En cas d'exposition très élevée et prolongée, il peut être mortel ou laisser un handicap définitif des neurones.
- L'ozone (O₃) provoque des irritations oculaires, de la toux et une affectation de la fonction pulmonaire, surtout chez les enfants et les patients asthmatiques. Ses effets sont accentués par l'exercice physique.
- Le dioxyde de soufre (SO₂) est un gaz irritant. Il est associé à une altération de la fonction pulmonaire chez les enfants et à une aggravation des symptômes respiratoires chez l'adulte (toux, gêne respiratoire). Les personnes asthmatiques y sont

¹⁸ Qui se trouvent dans la zone chaude du globe située au dessus du tropique par rapport à l'hémisphère Nord.

¹⁹ Les guides pratiques de l'ADEME.

²⁰ Un facteur provoquant, aggravant ou sensibilisant l'apparition d'un cancer.

²¹ Est un cancer affectant les cellules du sang appelé également tumeur liquide.

particulièrement sensibles.

- Les particules peuvent, surtout chez l'enfant, irriter les voies respiratoires inférieures et détériorer la fonction respiratoire dans son ensemble.

3-3- les effets des émissions polluantes sur les écosystèmes

Le polluant le plus oxydant est l'ozone, il réduit l'activité de la photosynthèse²² des plantes, ce qui se traduit de manière visible par l'apparition de tâches (nécroses)²³ sur la surface des feuilles des plantes. Cela entraîne un ralentissement de la croissance chez les végétaux et la réduction de rendement agricole.

Les oxydes d'azote (NOx) et le dioxyde de soufre (SO₂) contribuent fortement au phénomène des pluies acides dont les conséquences sont :

- Une dégradation du milieu naturel. En Europe, les pluies acides sont responsables d'une détérioration des forêts via deux phénomènes : la décomposition de la chlorophylle des feuilles et la perturbation de l'absorption par les arbres de sels minéraux du sol.
- L'acidification des lacs et des cours d'eau responsables d'une destruction, parfois irréversible, de la vie aquatique.

4- Etude empirique

Selon Brock et Taylor²⁴ (2005), la contribution des travaux théoriques dans la compréhension des relations entre la croissance et l'environnement n'est pas compensée par une étude empirique.

Ils confirment que cette régularité vient principalement de la littérature de la (CKE) et pour avoir des progrès dans ce domaine, les données doivent être examinées. Ils voient qu'il est nécessaire d'établir une relation entre la théorie et les données.

Ce n'est que récemment que les chercheurs ont commencé à illustrer les relations intertemporelles dans le domaine de l'énergie-environnement-revenu, employant les dernières techniques de séries temporelles multivariées, par exemple, Soyats et al²⁵(2007) qui ont étudié la causalité à long terme entre les émissions de carbone, l'utilisation de l'énergie et le revenu

²² Vautard.R, Didier Hauglustaine.(2007).Impact of global climate change on regional air quality: Introduction to the thematic issue.C. R. Geoscience, 339, 703–708.

²³ C'est la forme principale de mort d'une cellule.

²⁴ Brock,W.A., Taylor, M.S.(2005). Economic growth and the environment:a review of theory and empirics. In: Aghion, P., Durlauf,S.N. (Eds.), Handbook of Economic Growth, vol. 1B, pp. 1749–1821.

²⁵ Soyatas, U., Sari, R., Ewing, B.T.(2007). Energy consumption, income,and carbon emissions in the United States. Ecological Economics62, 482–489.

aux Etats-Unis, ils confirment l'absence d'un lien de causalité entre le revenu et les émissions de carbone, les revenus et la consommation d'énergie et que l'utilisation de l'énergie est la principale source des émissions polluantes.

Soytas et Sari²⁶ (2007) dans un modèle trivarié avec la consommation d'énergie, la croissance économique et les émissions de carbone, le résultat le plus important dans leur analyse est que les émissions de carbone causent avec un sens unidirectionnel la consommation d'énergie en Turquie, ceci provient essentiellement de la production de l'énergie (tel que l'électricité) et du secteur minier qui sont responsables de 30% des émissions de carbone en Turquie sans oublier le secteur manufacturier..

Kumbaroglu²⁷ (2003) a employé un modèle d'équilibre général pour évaluer l'impact économique de la taxation des émissions de CO₂, de l'oxyde d'azote (NO_x) et le soufre(S) qui existent dans les carburants de l'économie Turque, selon les résultats de son modèle, une taxe sur les émissions du soufre réduit le PIB, mais sur les (NO_x) augmente le PIB car les émissions de NO_x augmentent avec les combustibles importés et par conséquent il est possible d'améliorer à la fois l'environnement et l'économie.

Akbostanci et al²⁸ (2006) appliquent deux séries chronologiques et les techniques de données de panel pour tester l'hypothèse de la CKE pour les émissions de carbone en Turquie, leurs résultats ne sont pas conformes avec les principes de cette hypothèse. Lis²⁹ (2006) conclut que la relation entre les émissions de carbone et le revenu en Turquie est linéaire.

La relation entre la production et le niveau de la pollution a été aussi discutée par Martinez-Zarzo et Bengochea-Morancho³⁰ (2004) qui ont affirmé l'évidence que les émissions de CO₂ et le revenu national sont négativement reliés pour des niveaux bas de revenus, mais reliés positivement pour des niveaux élevés de revenu.

Cependant, l'augmentation nationale du niveau de revenu ne garantit pas nécessairement les efforts énormes fournis afin de contenir les émissions polluantes.

Les résultats empiriques de Shafik³¹ (1994) et Holtz-Eakin et Selden³² (1995) affirment que les

²⁶ Soytaş, U., Sari, R. (2007). Energy consumption, economic growth and carbon emissions ; challenges faced by an EU candidate member. *Ecological Economics*-02870 (9 pages).

²⁷ Kumbaroglu, G.S. (2003). Environmental taxation and economic effects: a computable general equilibrium analysis for Turkey. *Journal of Policy Modeling*, 25, 795–810.

²⁸ Akbostanci, E., Türüt-Aşık, S., Tunç, G.İ. (2006). The relationship between income and environment in Turkey: is there an environmental Kuznets curve? *International Conference in Economics–Turkish .Economic Association* Sept. 11–13, Ankara, Turkey.

²⁹ Lise, W. (2006). Decomposition of CO₂ emissions over 1980–2003 in Turkey. *Energy Policy* 34, 1841–1852.

³⁰ Martinez-Zarzo, I. et Bengochea-Morancho, A. (2004). Pooled mean group estimation of an environmental Kuznets curve for CO₂. *Economics Letters*, 82, 121–126.

³¹ Shafik N. (1994). Economic development and environmental quality. *An econometric analysis. Oxford Economic papers*, 46, 757–773.

émissions des polluants augmentent avec les niveaux de revenu.

Selon James B et Ang³³(2008) qui ont étudié les relations dynamiques entre le développement économique, les émissions polluantes et la consommation de l'énergie pour le cas de la Malaysia en utilisant une étude multivariée à correction d'erreur, la causalité est bidirectionnelle entre la croissance de revenu et l'augmentation de l'utilisation de l'énergie à long terme et cela implique que la Malaysia est une économie dépendante de l'énergie et qu'une partie de la croissance économique est assurée par la croissance industrielle utilisant intensivement l'énergie, pour la relation revenu-pollution, il y' a un sens de causalité unique partant de l'augmentation des émissions de CO₂ vers la croissance économique à long terme. Il y'a plusieurs auteurs qui ont utilisé les fonctions d'élasticité pour étudier les interactions entre le revenu et la qualité de l'environnement, on peut citer par exemple Mc Connell³⁴(1997) qui a examiné le rôle de l'élasticité revenu-demande de la qualité de l'environnement pour interpréter cette relation dans les modèles de type (CKE) et ceci par l'adaptation d'un modèle statistique pour une infinité de ménages et il a remarqué que la pollution est intensifiée par la consommation de l'énergie et ralentie lorsque cette dernière diminue.

4-1- Situation énergétique et environnementale de la Tunisie

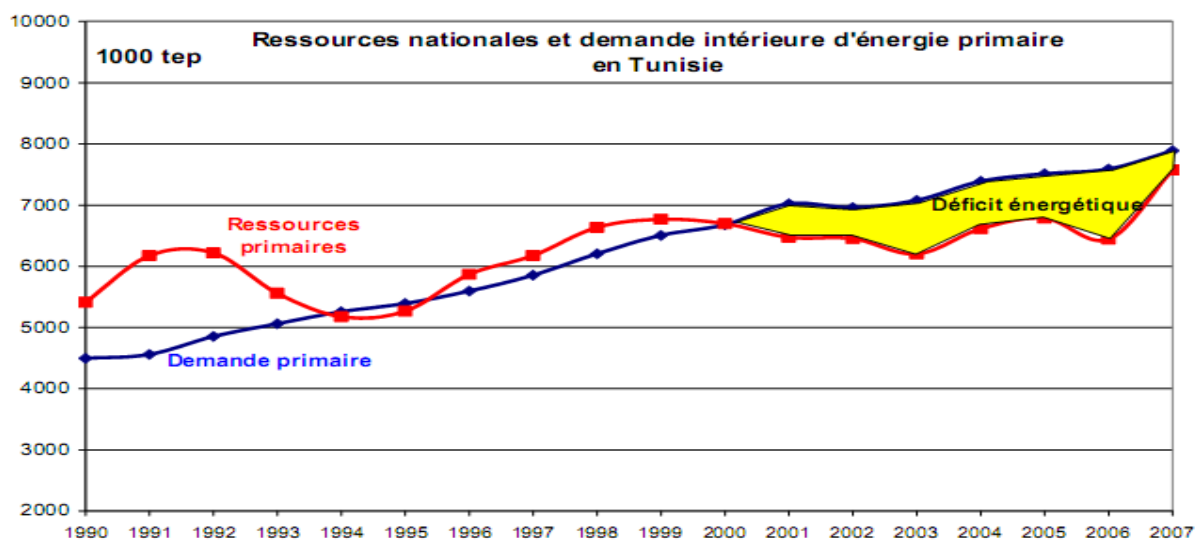
La Tunisie est un pays à faibles ressources naturelles qui est confrontée au développement que connaît le secteur de l'énergie à l'intérieur du pays et aux bouleversements qu'il connaît à l'extérieur tant sur les plans géopolitique, géoéconomique que technologique.

L'énergie est un secteur stratégique indispensable au développement socio-économique de la Tunisie où la balance énergétique est devenue déficitaire, après avoir été depuis quatre décennies excédentaire. En effet, selon les prévisions, les besoins énergétiques devraient augmenter à un rythme soutenu. Ceci pourra s'expliquer en partie par l'amélioration du niveau de vie du citoyen, alors que la production nationale est orientée à la baisse ce qui impliquera que le développement durable de la Tunisie, devrait compter dans les années à venir, sur de nouvelles sources de croissance.

³² Holtz-Eakin D, Selden TM.(1995). Stoking the fires ?CO₂ emissions and economic growth. *Journal of Public Economics*, 57, 85-101.

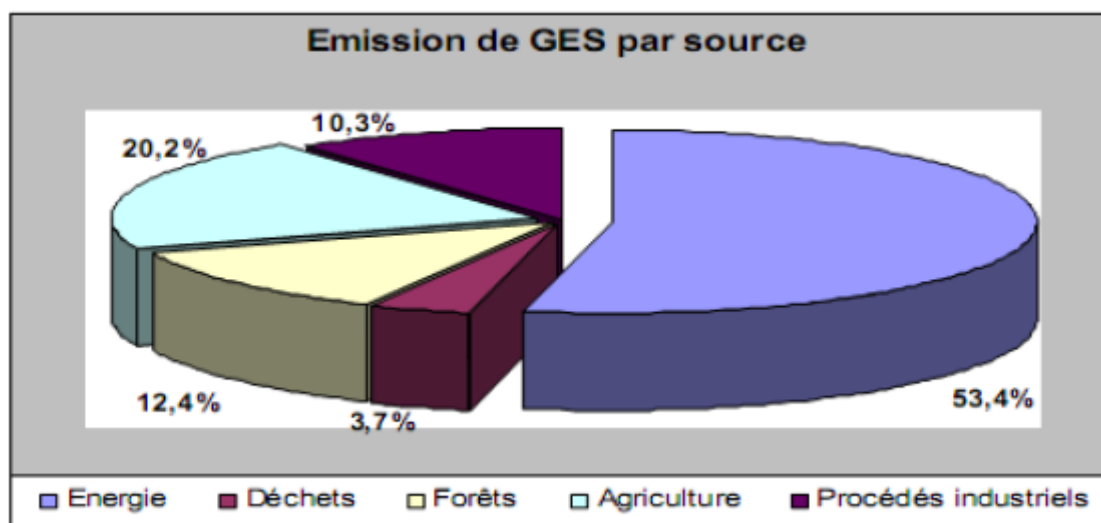
³³ James B. Ang.(2008). Economic development, pollutant emissions and energy consumption in Malaysia. *Journal of Policy Modeling*, 30, 271-27.

³⁴ Mc Connell.(1997). Income and the demand for environmental quality. *Environmental and development Economics*, vol 2 ; 383-400.



Source: ANME, Décembre 2008

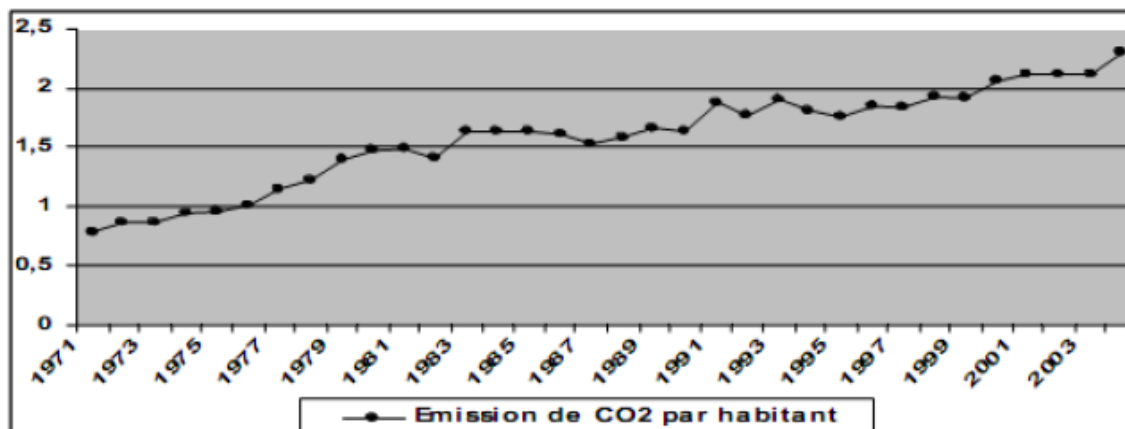
Depuis la tenue de la conférence de Rio en 1992, la nécessité de lutter contre les effets néfastes des changements climatiques est devenue une réalité de plus en plus dominante. Le secteur de l'énergie étant la principale source d'émission de gaz à effet de serre (GES) d'origine anthropique.



Source: Elaboration de l'auteur basée sur les données de l'ANME (2008)

La Tunisie, en tant que pays en développement, n'a pas d'engagement de réduction de GES vis-à-vis du Protocole de Koyoto³⁵. Toutefois, les études réalisées ont montré que, le niveau des émissions CO₂ par habitant a évolué au cours du temps.

³⁵ Le protocole de Koyoto exige une réduction totale d'émissions de gaz à effet de serre d'au moins 5% par rapport aux niveaux de 1990 durant la période d'engagement 2008-2012



Source: Elaboration de l'auteur basée sur les données de WDI(2006)

4-2- Modèle, données et méthodologie

Sur la base des travaux empiriques présentés ci-dessus, on peut exprimer la relation entre le niveau de développement d'un pays, la consommation d'énergie et les émissions de CO2 par la relation suivante :

$$\text{PIB} = f(\text{Et}, \text{Ct}) \quad (1)$$

Où (PIB) est le produit intérieur brut par habitant qui est employé afin d'indiquer le niveau de développement de la Tunisie, vu l'indisponibilité de l'indice de développement humain pour la période d'étude, (Et) représente la consommation d'énergie pour chaque citoyen Tunisien et finalement (Ct) qui mesure les émissions de dioxyde de carbone par habitant. On a choisit ces trois variables dans le but d'étudier la nature de la relation entre le niveau du développement de La Tunisie exprimé par le (PIB) et la qualité de son environnement représenté par (Et) et (Ct).

Les données utilisées dans cette étude sont annuelles et couvrant la période 1971- 2004, elles sont collectées à partir du (WEO, 2006) et (WDI, 2006).

Dans notre analyse empirique, on va commencer par le test de stationnarité de racine unitaire pour l'investigation des propriétés stochastiques des séries considérées dans le modèle, à ce propos on utilise le test d'Augmented-Dukey-Fuller (ADF) et de Phillips Perron (PP). Les résultats de ce test sont affichés dans le tableau (1) et montrent que les séries (PIB), (Et) et (Ct) sont stationnaires (intégrées d'ordre 1) et il est possible de les modéliser par le biais d'un processus VAR.

Tableau n°1 :

Variables	Nombre de retard	Test d'ADF en niveau		Stationnarité	Test d'ADF en première différence		Nombre de retard	Ordre d'intégration
		valeur critique	Valeur statistique		valeur critique	Valeur statistique		
PIB	1	-1.95	4.95	non	-1.95	-4.31	1	I(1)
Et	1	-2.95	-0.41	non	-2.95	-3.64	1	I(1)
Ct	1	-1.95	3.02	non	-1.95	-3.95	1	I(1)
Variables	Nombre de retard	Test PP en niveau			Test PP en première différence		Nombre de retard	Ordre d'intégration
		valeur critique	Valeur statistique		valeur critique	Valeur statistique		
PIB	1	-1.95	6.26	non	-1.95	-3.76	1	I(1)
Et	1	-3.55	-2.48	non	-1.95	-9.75	1	I(1)
Ct	1	-3.55	-2.60	non	-3.55	-7.42	1	I(1)

*I(1)=intégré d'ordre 1.

La première étape consiste à déterminer l'ordre p du processus VAR à retenir. A cette fin, nous avons estimé divers processus VAR pour des ordres de retard p allant de 1 à

3. Pour chaque modèle, nous avons calculé les critères d'information d'Akaike (AIC) et de Schwarz (SIC) ainsi que la log-vraisemblance (LV).

Le tableau 2 présente les résultats obtenus. On constate que les trois critères nous conduisent à retenir un processus VAR(1).

Tableau n°2 :

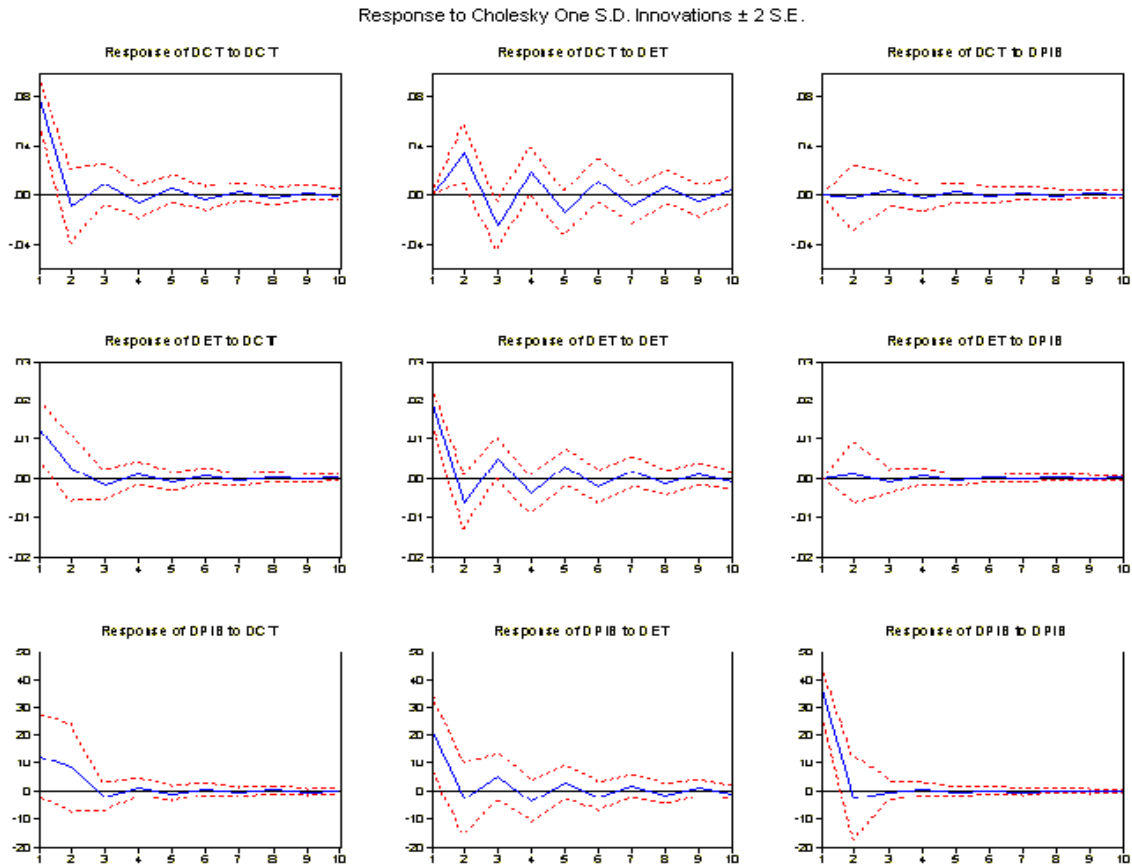
	1	2	3
Akaike info criterion	10.491	10.575	10.616
Akaike info criterion	10.674	10.898	11.083
Log likelihood	-163.866	-156.913	-149.242

En estimant le processus VAR(1), $Y_t = \zeta + \sum \Phi_i Y_{t-1} + \epsilon_t$

On remarque que $R^2 = 33\%$ et $R^2 \text{ ajusté} = 25\%$

Cela signifie que le modèle n'est pas fortement significatif cela est due à ce que la variable endogène (PIB) n'est pas uniquement expliqué par les variables exogènes du modèle à savoir (Et) et (Ct), toutefois on a choisi cette combinaison même si elle reste critiquable à un certain niveau dans le but d'estimer directement la relation entre le niveau de développement de la Tunisie et la qualité de son environnement qui reste à son tour assez compliquée et diffère d'un pays à un autre.

A ce stade, il nous paraît intéressant d'analyser les fonctions de réponse impulsion qui représentent l'effet d'un choc d'une innovation sur les variables du modèle sur dix périodes.



On remarque que si on effectue un choc sur la variable endogène (PIB), l'effet n'est pas instantané ce qui explique que la courbe relative à (Et) et (Ct) partent à l'origine.

Pour le cas de (Et), l'effet d'un tel choc est presque non significatif cela montre qu'un choc sur le (PIB) ne modifie pas généralement la consommation d'énergie, ce qui n'est pas validé pour le cas contraire, c'est-à-dire si on effectue un choc sur la consommation d'énergie, il engendre une réaction instantanée du (PIB) par habitant qui augmente au cours de la première période, par la suite il baisse et il reprend son amplitude mais avec un niveau moins élevé jusqu'à il s'amortit complètement à partir de la huitième période, ce qui implique que la consommation d'énergie contribue à la croissance du pays.

En ce qui concerne la réponse du (Ct) suite à un choc du (PIB), elle reste sans effet elle se déclenche légèrement au cours de la troisième année puis elle s'amortit rapidement, toutefois, si on inverse la situation, le (PIB) réagit instantanément et rejoint l'axe d'équilibre à la troisième année, ce qui montre que la croissance économique en Tunisie s'influence par les émissions polluantes mais temporairement, le choc commence à disparaître au bout de trois ans.

On remarque que l'effet d'un choc sur (Et) se répercute sur (Ct) à partir de la première année, il s'amortit lentement et ne disparaît qu'à la neuvième année ceci montre que la consommation d'énergie est essentiellement à l'origine du dégagement de (CO₂) et l'effet néfaste des émissions polluantes persiste et ne se dégage pas facilement et entièrement. Pour la réponse de (Et) suite à un choc de (Ct) est définie comme instantanée et s'amortit vers la troisième année, cela montre que l'effet de la consommation d'énergie sur les émissions de carbone sera plus significatif pour le cas contraire (c'est-à-dire si on effectue un choc sur (Et)).

En étudiant la causalité, on remarque que pour un retard p égal à 1, seul l'hypothèse nulle selon laquelle D(Et) ne cause pas D(Ct) est rejetée au seuil de 5% (la probabilité est inférieure à 5%,(0,00512)), (Et) cause directement les émissions polluantes, tandis que les autres variables n'auront pas une causalité directe.

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Probability
DET does not Granger Cause DCT	32	9.17188	0.00512
DCT does not Granger Cause DET		3.51363	0.07097
DPIB does not Granger Cause DCT	32	1.63321	0.21139
DCT does not Granger Cause DPIB		2.00546	0.16739
DPIB does not Granger Cause DET	32	0.10690	0.74606
DET does not Granger Cause DPIB		7.4E-05	0.99321

Cette étude peut être complétée par une analyse de la décomposition de la variance de l'erreur de prévision. On effectue ensuite le rapport entre chacune de ces variables et la variance totale pour obtenir son poids relatif en pourcentage. On va calculer la contribution de chacune des innovations à la variance de l'erreur à un horizon allant de

1 à 10. Les résultats relatifs à cette étude sont reportés dans le tableau ci-dessous.

Période	S.E.	DCT	DET	DPIB
1	43.32226	7.921796	23.07545	69.00275
2	44.24945	11.03885	22.46516	66.49600
3	44.55340	11.08060	23.32517	65.59423
4	44.73509	11.07527	23.84914	65.07559
5	44.84163	11.06727	24.15677	64.77596
6	44.90357	11.06226	24.33482	64.60292
7	44.93956	11.05932	24.43795	64.50273
8	44.96047	11.05762	24.49776	64.44462
9	44.97262	11.05662	24.53249	64.41088
10	44.97969	11.05605	24.55267	64.39128

La variance de l'erreur de prévision de D(PIB) est due pour 64,4 % à ses propres innovations, pour 24,5 % à celles de D(Et) et pour 11,1 à celles de D(ct).

Période	S.E.	DCT	DET	DPIB
1	0.022666	30.58532	69.41468	0.000000
2	0.023620	29.54396	70.19760	0.258445
3	0.024189	28.56519	71.09323	0.341585
4	0.024511	28.06078	71.55336	0.385859
5	0.024696	27.77906	71.81059	0.410342
6	0.024803	27.61918	71.95659	0.424230
7	0.024865	27.52748	72.04032	0.432194
8	0.024901	27.47459	72.08863	0.436788
9	0.024922	27.44397	72.11658	0.439447
10	0.024934	27.42622	72.13279	0.440989

La variance de l'erreur de prévision de D(Et) est due pour 72,2% à ses propres innovations, pour 27,4% à celle de D(Ct) et pour 0,4% à celles de D(PIB).

Période	S.E.	DCT	DET	DPIB
1	0.077680	100.0000	0.000000	0.000000
2	0.085297	84.15511	15.74243	0.102464
3	0.089318	77.64769	22.09844	0.253863
4	0.091596	74.28893	25.37240	0.338663
5	0.092896	72.48106	27.13368	0.385264
6	0.093644	71.47493	28.11380	0.411279
7	0.094076	70.90447	28.66949	0.426037
8	0.094326	70.57757	28.98794	0.434495
9	0.094472	70.38908	29.17155	0.439372
10	0.094556	70.28002	29.27779	0.442194

Pour le cas de la variance de l'erreur de $D(Ct)$, elle est due à 70,3% à ses propres innovations, à 29,3% à celles de $D(Et)$ et à 0,4% à celles de $D(PIB)$.

On en déduit que l'impact d'un choc sur $D(Et)$ affectant $D(PIB)$ est plus important que l'impact d'un choc sur $D(PIB)$ affectant $D(Et)$, ceci est vrai pour le cas d'un choc sur $D(Ct)$ affectant $D(Et)$.

4-3- Interprétation des résultats

Dans cet article, on examine la relation dynamique entre le (PIB), les émissions de (CO_2) et la consommation d'énergie pour le cas de la Tunisie durant la période 1971-2004, en utilisant la modélisation VAR.

A la lumière des résultats de l'analyse économétrique, on a conclut que si on effectue un choc sur la consommation d'énergie, cela engendre une réaction instantanée du (PIB) qui s'amortie à partir de la huitième année, impliquant que la consommation d'énergie contribue à la croissance du pays mais la causalité n'est pas bidirectionnelle ce qui approuve que l'économie de la Tunisie n'est pas fortement dépendante de l'énergie. Ce résultat est cohérent avec la réalité, selon l'ANME (Agence Nationale de Maîtrise de l'Energie), une baisse de la contribution de l'énergie dans la formation du produit intérieur brut a été marquée ces dernières années et si on applique les politiques de conservation de l'énergie, cela n'affecte pas sévèrement la performance économique.

On a remarqué aussi que la consommation d'énergie est essentiellement à l'origine du dégagement de CO_2 dont l'effet persiste et ne se dégage pas facilement. Selon l'ANME(2008), la principale source d'émissions de gaz à effet de serre en Tunisie est le secteur de l'énergie avec 53,4%, basés sur les hypothèses de la (CKE), ces résultats montrent une utilisation inefficace de l'énergie en Tunisie, les pressions environnementales accompagnent la consommation d'énergie qui participe à son tour à la croissance du pays (on se trouve dans la première phase de la courbe de Kuznets). Selon James et Ang³⁶

« la persistance de la dégradation de la qualité de l'environnement est considérée comme une externalité négative sur l'économie étant donné qu'elle peut affecter la santé et en conséquence la productivité et la croissance du pays ». Pour le cas contraire,

³⁶ James, B. Ang,(2008),Economic development, pollutant emissions and energy consumption in Malaysia, Journal of policy Modelling 30,271-278.

c'est-à-dire lors d'un choc sur (PIB), on remarque que la réponse de (Ct) est non significatif, cela implique que les émissions polluantes ne sont pas influencés par le niveau de croissance du pays, c'est-à-dire que la Tunisie n'a pas encore atteint le seuil de revenu optimum qui favorise l'amélioration de la qualité de son environnement (c'est la deuxième phase de la courbe de Kuznets).

On peut affirmer que la Tunisie utilise inefficacement l'énergie et elle est tenue de prendre en considération les retombées de la dégradation de la qualité de son environnement, d'où la nécessité de promouvoir d'avantages les politiques de conservation de l'énergie et les investissements d'efficience énergétique (les énergies renouvelables représentent actuellement moins de 0,5%³⁷ de la consommation d'énergie primaire en Tunisie), surtout que cela ne défavorise pas sa croissance.

En conclusion, il est important de noter que les résultats auxquels on a aboutit dépendent des variables choisies dans le modèle et de la période d'étude. D'autres variables peuvent être modélisées sur une période bien définie et faisant l'objet d'une autre étude au future.

³⁷ Selon l'ANME, Décembre (2008)

Bibliographie

- Akbostanci, E., Türüt-Aşık, S., Tunç, G.İ.(2006).The relationship between income and environment in Turkey: is there an environmental Kuznets curve? International Conference in Economics–Turkish Economic Association Sept. 11–13, Ankara, Turkey.
- Beckerman,W. (1992). Economic growth and the environment: whose growth? Whose environmental? *World Development*, 20,481-496.
- Bimonte,S.(2002). Information access, income distribution, an the Environmental Kuznets Curve.*Ecological Economics*, 41,145-156.
- Brock, W.A., Taylor, M.S.(2005). Economic growth and the environment:a review of theory and empirics. In: Aghion, P., Durlauf, S.N. (Eds.), *Handbook of Economic Growth*, vol. 1B, pp. 1749–1821.
- Bruyn, S.M., Van den Bergh J, C.J.M., Opshoor J.B. (1998) Economic growth and emissions:reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves, *Ecological Economics*, 25,161-175.
- Dobson, A. (1996).A typology of environmental sustainabilities.*Environmental policies*, vol.5, n.3.
- Grossman, G.M., Krueger, A.B. (1995) Economic growth and the environment, *Quarterly Journal of Economics*, 110, 353-377.
- Holdren,J., Ehrlich,P.(1974). Human population growth and the global environment. *American Science*, 62, 282-292.
- Holtz-Eakin D,Selden TM.(1995).Stoking the fires ?CO₂ emissions and economic growth.*Journal of Public Economics*,57, 85-101.
- James, B.Ang, (2008), Economic development, pollutant emissions and energy consumption in Malaysia, *Journal of policy Modelling* 30,271-278.
- Kumbaroglu,G.S.(2003).Environmental taxation and economic effects: a computable general equilibrium analysis for Turkey.*Journal of Policy Modeling*, 25,795–810.
- Kuznets,S. (1955).Economic growth and income inequality. *American Economic Review*, 45,1-28.
- Lise, W. (2006). Decomposition of CO₂ emissions over 1980–2003 in Turkey. *Energy Policy* 34, 1841–1852.
- Martinez-Zarzo.I et Bengochea-Morancho.A. (2004). Pooled mean group estimation of an environmental Kuznets curve for CO₂.*Economics Letters*, 82, 121-126.
- Mc Connell.(1997). Income and the demand for environmental quality. *Environmental and*

- development Economics, vol 2 ; 383-400.
- Noorbakhsh, F. (1998). A modified Human Development Index. *World Development*, Vol. (26), 3, 517-528.
- Selden T.M., Song D.S. (1994). Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions ? *Journal of Environmental and Economic Management*, 27, 147-162.
- Shafik N. (1994). Economic development and environmental quality. An econometric analysis. *Oxford Economic papers*, 46, 757-773.
- Soytas, U., Sari, R. (2007). Energy consumption, economic growth and carbon emissions; challenges faced by an EU candidate member. *Ecological Economics*-02870 (9 pages).
- Soytas, U., Sari, R., Ewing, B.T. (2007). Energy consumption, income, and carbon emissions in the United States. *Ecological Economics* 62, 482-489.
- Stern, D.I, Common. M, S, Barbier, E.B. (1996). Economic growth and environmental degradation: the environment Kuznets Curve and sustainable development. *World development*, vol. 24, 7, 161-175.
- T. Panayotou. Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development, ILO Technology and Employment Programme, WP238 (Geneva), 1993.
- Vautard R., Didier Hauglustaine. (2007). Impact of global climate change on regional air quality: Introduction to the thematic issue. *C. R. Geoscience*, 339, 703-708.
- Wackernagle, M., Rees, W. (1999). Notre empreinte écologique, *Ecosociété*, p.207.
- World Bank. (1992). *World Development Report 1992: development and the environment*, The World Bank.