

# **ANALYSE DES LIENS ENTRE CROISSANCE ECONOMIQUE ET CONSOMMATION D'ENERGIE AU MALI**

**Issa SACKO<sup>1</sup>**

**CERFOD - FSJE - Université du MALI**

**RESUME :** La consommation d'énergie primaire influence la croissance économique d'un pays. Théoriquement, il y a une relation entre les variables croissance économique et consommation d'énergie dans un pays. Nous avons voulu savoir dans cet article quelle était la nature de cette relation dans le cas du Mali. Pour cela nous avons utilisé la théorie de la cointégration. Après avoir vérifié que les deux séries étaient séparément intégrées d'ordre 1 (c'est-à-dire stationnaires en différence première), nous avons procédé au test de cointégration entre ces deux séries. Le test ADF en deux étapes d'ENGLE et GRANGER nous a permis d'accepter l'hypothèse nulle de non-cointégration. Les trajectoires des séries divergent sur la période 1960 –1998.

## **ABSTRACT :**

The primary energy consumption influences the economic growth of a country. Theoretically, there is a relation between the variables of economic growth and consumption of energy in a country. In this article, we had wanted to know the nature of this relation in the case of Mali. In order to do this, we had used the theory of cointegration. After having verified that the two series were separately integrated in order 1 (that is to say stationary in the first difference), we proceeded to the cointegration test between these two series. The ADF (Augmented Dickey Fuller) test in two stages of Engle and Granger permitted us to accept the void hypothesis of non cointegration. The trajectories of these two series diverge over the period 1960 – 1998.

La question de l'accès à l'énergie est un point fondamental dans le défi du développement, car l'énergie tient une place particulière dans l'économie du fait de ses caractéristiques propres. L'énergie peut être utilisée comme bien de consommation finale (éclairage, cuisine, chauffage, climatisation...) ou comme facteur de production ou encore comme bien de consommation intermédiaire. Comme bien de consommation intermédiaire,

---

<sup>1</sup> Faculté de Sciences Juridiques et Economiques, BP 276, Bamako (Mali).

l'énergie est analysée en tant que substitut ou comme complément aux autres facteurs de production (capital et travail). Elle est complémentaire dans la mesure où il n'est pas envisageable de faire fonctionner des machines sans énergie, et substituable dans la mesure où sa disponibilité peut permettre d'économiser des facteurs de production rares. Sa disponibilité permet également l'émergence de nouvelles productions de biens et services ( par exemple possibilité de mise à disposition de nouveaux services de santé, d'éducation, de communication avec l'électrification rurale en Afrique Subsaharienne).

L'énergie est une composante essentielle du développement économique et social. Selon la théorie, l'augmentation de la consommation énergétique est l'effet de la croissance économique. On observe une double corrélation entre croissance économique et consommation énergétique : une corrélation dans le temps (l'énergie consommée augmente<sup>2</sup> parallèlement à la production mesurée par le Produit intérieur brut) et une corrélation dans l'espace (les pays les plus développés sont aussi ceux dont la consommation d'énergie est la plus élevée). La double corrélation entre l'intensité de la consommation d'énergie et le niveau de revenu a elle même plusieurs causes :

- La première est que le développement ajoute à l'activité économique, des industries souvent consommatrices d'énergie ( papier, chimie, sidérurgie, métallurgie). L'intensité énergétique du PIB est en particulier très sensible au poids des industries grosses consommatrices d'énergie dans l'ensemble de l'activité industrielle.
- La seconde est que même dans les secteurs traditionnels, le développement est exigeant en énergie. L'agriculture moderne permet par exemple de quintupler les rendements par rapport à l'agriculture traditionnelle, mais au prix d'une consommation d'énergie multipliée par quinze.
- La troisième est les choix technologiques faits au niveau des équipements producteurs, transformateurs et utilisateurs d'énergie. A structure productive identique, de fortes divergences existent au niveau du coefficient E/Y selon les techniques mises en oeuvre.
- La quatrième est le taux d'indépendance énergétique. Il semble exister une certaine corrélation entre le contenu énergétique du PIB d'un pays et son taux d'indépendance énergétique : plus ce dernier s'accroît, plus le rapport E/Y augmente car le pays a tendance à opter pour des technologies et des comportements « energy using ».

---

e-mail : i\_sacko@yahoo.fr

<sup>2</sup> Cette augmentation parallèle se mesure par le coefficient d'élasticité qui est le rapport entre le taux d'augmentation de la consommation d'énergie et le taux de croissance du PIB, au cours de la même période. Ce coefficient est souvent proche de 1. (Il varie selon les pays et les périodes entre 0,5 et 2, valeurs rarement atteintes).

Ce travail se propose de tester la relation entre croissance économique et consommation d'énergie en recourant à la théorie de la cointégration. Le test de cointégration est appliqué afin d'approfondir les résultats de précédents tests que nous avons effectués<sup>3</sup>. Nous allons voir dans le cas du Mali, comment la consommation d'énergie est liée à la croissance économique et quelle est l'évolution de leurs trajectoires.

Le travail se divise en deux grandes parties. La première partie fait le tour de la question énergétique dans l'analyse économique et décrit ensuite la consommation d'énergie dans ses principales caractéristiques au Mali. La deuxième partie traite du lien entre énergie et croissance économique au Mali en utilisant comme outil, la théorie de la cointégration. Nous présenterons la définition de la cointégration, puis la méthodologie et le modèle, ensuite nous ferons le test de la cointégration en deux étapes, avant de donner les résultats et la conclusion.

## **Première partie : QUESTIONS ENERGETIQUES**

Existe-t-il une relation entre la croissance de l'activité économique (représentée par le produit intérieur brut) et la consommation d'énergie ? En d'autre terme, est-ce que le rapport qui existe à un moment donné dans un pays déterminé entre la consommation d'énergie totale de l'année et le produit intérieur brut permet de se faire une idée du rôle de l'énergie dans l'activité économique ?

La croissance économique est nécessairement accompagnée d'une augmentation parallèle et globale de la consommation d'énergie pensait-on. Cette consommation croît presque mécaniquement au fur et à mesure de la croissance économique. Cette liaison bien connue<sup>4</sup> apparaît donc de prime abord comme une relation technique entre le PIB d'une part et la quantité globale d'énergie incorporée dans les biens de cet agrégat d'autre part. Cette liaison a pu être observée dans certains pays et à certains moments. Mais malgré l'intensité de cette relation, il faut se garder de conclure que celle-ci présente un caractère rigide, ce qui implique ou pourrait impliquer que tout accroissement du prix de l'énergie entraîne *ipso facto* un ralentissement de la croissance dans le long terme. Jusqu'au premier choc pétrolier (1973-1974), le coefficient moyen d'élasticité dans les pays de l'OCDE était de 1%, ce qui impliquait que toute augmentation du PIB de 1% entraînait une augmentation égale de la

---

<sup>3</sup> Voir SACKO Issa (1997) ; « Impacts des fluctuations des prix du pétrole sur les économies subsahariennes, importatrices de produits pétroliers », Thèse pour le Doctorat en Sciences Economiques, Université Paris X – Nanterre.

<sup>4</sup> Parmi les nombreux travaux consacrés à tel ou tel aspect de cette question, on peut citer :

- « How industrial societies use energy », Johns Hopkins University Press Baltimore, 1977 ;
- Percebois J. « Energie, croissance et calcul économique », *Revue Economique* n° 29, 1978, pp 464 – 493.
- Mainguy Y. « L'économie de l'énergie », Dunod, Paris 1967.

consommation d'énergie. Mais depuis 1974-1975 et surtout depuis 1979, la consommation d'énergie par unité de PIB s'est réduite dans ces pays.

Les réponses qui sont apportées avant 1973 à la question des liens énergie - croissance économique sur la base des tendances observées convergeaient vers la même réponse : la consommation d'énergie d'une nation croît au rythme de son produit intérieur brut. Mais après le choc pétrolier de 1973, cette relation change profondément, un décalage apparaît dans les pays développés surtout, mettant en cause le modèle d'avant 1973, qu'on pensait général et universel<sup>5</sup>.

Très peu d'études sur les liens consommation d'énergie et croissance économique ont été effectuées sur les pays en Afrique Subsaharienne. Le but de cet article est donc d'appliquer la théorie de la cointégration à l'étude de cette relation dans le cas d'un pays subsaharien faiblement consommateur d'énergie, le Mali. Appliquer cette approche permet de savoir la nature de la relation de long terme entre les deux variables (consommation d'énergie et croissance économique), ce qui peut être fort utile pour planifier la demande d'énergie et par là le développement du secteur énergétique.

L'analyse de la situation énergétique dans les pays subsahariens importateurs de pétrole fait ressortir les cinq traits majeurs suivants : une consommation faible mais en forte croissance, une grande disparité socio-économique et spatiale dans la consommation, la prédominance de l'usage du pétrole, le déficit énergétique et les prix élevés de l'énergie. Leur bas profil énergétique se traduit par une faible consommation énergétique qui est en général sous une forme traditionnelle.

Notre objectif étant d'étudier un pays faiblement consommateur d'énergie, nous avons choisi le Mali parce qu'il présente les cinq traits majeurs, caractéristiques de la situation énergétique des pays subsahariens et aussi parce que nous avons pu y réunir les données.

Mais avant d'étudier les liens entre énergie et croissance économique, nous allons voir comment l'énergie a évolué dans la pensée économique et quelles sont les principales caractéristiques de l'énergie au Mali.

---

<sup>5</sup> Deux interprétations s'affrontent sur la validité du modèle :

- Pour la première, la validité du modèle est suspendue tant que l'économie mondiale traverse une zone de fortes turbulences ;  
- Pour la seconde, le modèle n'était ni général, ni universel : il décrivait simplement la situation exceptionnelle des économies industrielles, entre 1950- 1973 (les « trente glorieuses » de J. Fourastié).

## **A. L'énergie dans l'analyse économique**

### **A1. Evolution de la place de l'énergie dans théorie économique**

Les premières mentions explicites de la question énergétique dans les théories économiques ont été faites il y a environ deux siècles<sup>6</sup>. En effet, c'est dans le contexte de la révolution industrielle (fin du XVIII ème siècle) que les augmentations de productivité permises par la mise en oeuvre des machines utilisant des énergies diverses<sup>7</sup> deviennent très importantes pour que l'on se pose la question de leur intégration dans les modèles analytiques classiques basés sur la combinaison entre les trois facteurs de production : le travail, le capital et la terre.

Pour Adam Smith, l'origine essentielle du prix des marchandises se trouve dans le travail, mais il convient d'y ajouter le profit (revenu du capital) et la rente (revenu de la terre). Cependant, l'utilisation des machines entraîne des gains de productivité assez importants que l'on ne peut plus passer sous silence. Le facteur énergétique posait problème par rapport aux modèles théoriques existants. Les théoriciens de l'époque étaient embarrassés face à l'émergence de ce qui ne pouvait être considéré comme un facteur de production à part entière. Pour résoudre ce problème, Smith considéra que les gains de productivité (dus à l'utilisation des machines) se diluent dans les rémunérations des facteurs de production classiques<sup>8</sup> c'est-à-dire dans les salaires et les profits.

L'évolution technologique posa avec acuité, la nécessité de proposer une analyse plus pertinente de la question énergétique. J.-B. Say<sup>9</sup> mentionne de façon explicite les augmentations de productivité tirées de l'utilisation des machines et tente d'en connaître la nature. Mais ses laborieuses explications qui visent à réintégrer l'énergie dans les facteurs de production connus, ne sont guères convaincantes.

Ricardo tenta également d'étudier la question de l'énergie en introduisant un nouveau chapitre sur l'existence des machines, dans la troisième édition de son livre sur les « Principes de l'économie politique et de l'impôt »<sup>10</sup>. Ricardo considère que l'existence des machines

---

<sup>6</sup> MINVIELLE J.-P., « La question énergétique au Sahel », Khartala, 1999.

<sup>7</sup> Energie animale, hydraulique, vapeur etc.

<sup>8</sup> Voir SMITH A. « Recherche sur la nature et les causes de la richesse des nations », 1776, Chapitre VI : partie constituante du prix des marchandises.

<sup>9</sup> Dans son « Traité d'économie politique ou simple exposition de la manière dont se forment, se distribuent ou se consomment les richesses », 1803.

<sup>10</sup> Edition publiée en 1821.

relativise l'assertion suivante d'Adam Smith « la valeur échangeable des marchandises serait précisément en proportion de la quantité de travail employée ».

Ces quelques tentatives théoriques ont essayé d'étudier l'influence des machines et de l'énergie sur la production et sur les intérêts des différentes classes de la société. Mais ce sont les travaux de Stanley JEVONS<sup>11</sup> qui marquèrent véritablement le début de l'introduction de la question énergétique dans l'analyse économique.

Viennent ensuite les théories néoclassiques qui n'ont pas fait grand cas de l'énergie comme facteur de production, car pour eux, les systèmes productifs se réduisent à la combinaison de trois facteurs : le travail, le capital et la terre.<sup>12</sup>

L'analyse économique des questions énergétiques s'est réellement développé vers la fin des années soixante. Ce développement coïncide avec l'attention désormais croissante accordée aux impacts des processus économiques sur l'environnement et l'écologie. C'est Y. MAINGUY qui publia en 1967, le premier ouvrage<sup>13</sup> explicitement consacré à la place de l'énergie dans l'économie.

## A2. Liens entre énergie et croissance économique

La consommation d'énergie d'un pays dépend par ordre d'importance, des 4 facteurs suivants : produit intérieur brut, niveau des prix finals de l'énergie, climat et impact des politiques d'efficacité énergétique.

A tout objet est associé une quantité d'énergie réellement dépensée pour le produire. L'énergie se définit comme un potentiel qui permet le déplacement et/ ou la modification de la matière. Dans le processus thermodynamique, cette énergie est utilisée pour extraire de la matière, reproduire la force de travail, façonner des outils, produire des objets et d'une façon générale, satisfaire les besoins du vivant. Tous les actes du système économique et social exigent une dégradation d'énergie.

L'énergie constituant un facteur important de la croissance économique, les économistes ont cherché à savoir quels liens existent entre la consommation d'énergie d'un pays et son niveau de développement. On peut faire cette analyse pour un pays en étudiant la relation consommation d'énergie / production.

---

<sup>11</sup> Dès 1865, Stanley JEVONS a mené des travaux sur l'impact de la limitation de la production de charbon sur le développement industriel au Royaume-Uni.

<sup>12</sup> C'est par la suite que la terre disparut dans les fonctions de production parce que ayant été définitivement intégrée dans le capital.

<sup>13</sup> MAINGUY Y., « L'économie de l'énergie », Dunod (collection Finances et Economie), 1967.

On peut analyser la relation existant entre consommation d'énergie et production d'un pays en calculant l'indice de l'intensité énergétique de la production, qui est le rapport entre la quantité d'énergie utilisée (mesurée par exemple en tonnes d'équivalent pétrole) et la valeur ajoutée de la production (par exemple PIB en milliers de dollars).

Il est particulièrement délicat de qualifier la relation consommation d'énergie / croissance économique car l'intensité énergétique de la production est un indicateur susceptible d'interprétations pouvant être ambiguës.<sup>14</sup>

Pour les pays moins développés comme au Sahel, la faiblesse de l'intensité énergétique résulte de l'insuffisance des systèmes productifs (cause par exemple de la carence des machines, de la non disponibilité des énergies et de la non optimisation de leur usage). Dans ce cas, la croissance de l'intensité énergétique<sup>15</sup> de la production serait plutôt l'indication qu'ils s'engagent dans la voie du développement économique que celle de la gestion optimisée des ressources.

L'analyse de la relation entre consommation d'énergie et croissance économique dans les pays d'Afrique Subsaharienne rencontre des difficultés à cause de l'insuffisance de l'information statistique. En effet, l'importance des énergies non commerciales dans la production est mal connue et il y a un fort secteur informel mal comptabilisé qui contribue également à la production nationale.

## ***B. Principales caractéristiques de la consommation d'énergie au Mali***

Nous allons décrire les principales caractéristiques de la consommation d'énergie du pays.

Aux alentours de la seconde guerre mondiale, le système énergétique au Mali était essentiellement basé sur des combustibles prélevés sur la nature (bois de feu). La situation présentait un équilibre précaire, vite compromis par l'explosion démographique et par le développement accéléré des villes (ce qui a entraîné des changements dans les modes de

---

<sup>14</sup> Exemple, un indice élevé c'est-à-dire une consommation importante d'énergie pour la production d'une unité de Produit intérieur brut (PIB) peut être l'indicateur positif de la mise en oeuvre de processus productifs hautement mécanisés et performants. Mais il peut également être l'indicateur négatif d'une mauvaise gestion des ressources énergétiques c'est-à-dire, l'indice d'une utilisation non rationnelle de l'énergie (utilisation d'équipements peu efficaces par exemple, ce qui entraînerait de fortes pertes dans le rendement de la chaîne énergétique).

<sup>15</sup> Par contre, c'est la diminution de l'intensité de la production qui caractérise les économies post-industrielles. Ces économies voient en effet diminuer la part des productions fortes consommatrices (sidérurgie, papeterie, cimenterie ...) alors qu'augmente celle de productions peu gourmandes en énergie (services, biens de haute technologie). Cette diminution reflète le niveau de maturité atteint par un pays et son impact sur la structure du PIB.

consommation comme par exemple la substitution<sup>16</sup> du charbon de bois au bois de feu). A cela s'ajoute un déséquilibre externe du au recours aux importations d'énergie « modernes », principalement les produits pétroliers, qui pèsent lourdement sur la balance des paiements. Les énergies commerciales importées qui ne représentent qu'un faible pourcentage dans les bilans énergétiques constituent néanmoins une lourde charge pour la balance commerciale du Mali car elles sont importées ou produites à partir des énergies importées.

Le Mali n'est ni producteur de pétrole, ni de gaz naturel. Il ne dispose en outre d'aucune capacité de raffinage et importe donc la totalité des produits pétroliers consommés. Ces produits pétroliers occupent une large part dans la demande totale d'énergie commerciale.

Seulement 1% de la consommation d'énergie est assuré par l'électricité. Les consommations moyennes d'électricité par habitant restent faibles. Environ 7% seulement de la population ont accès à l'électricité. Les prévisions gouvernementales d'augmentation du taux de desserte de la population en électricité sont de 23% en 2007. Mais cette progression ne touchera que les populations urbaines et les 3% de population rurale située à proximité des réseaux électriques. Il est envisagé de recourir aux énergies nouvelles et renouvelables pour satisfaire les besoins en électricité des populations rurales.

Le Mali consomme très peu d'énergie, c'est un pays à bas profil énergétique. Son bas profil énergétique se traduit par une faible consommation d'énergie qui est très largement dominée par des sources d'énergie traditionnelle.<sup>17</sup> Il y a domination des énergies non commerciales et faiblesse des consommations d'énergies importées. Le bois (utilisé sous forme de bois de feu et de charbon de bois) est la principale énergie utilisée au Mali. Il constitue à peu près la seule source d'énergie des populations rurales et représente plus de deux tiers de l'énergie totale consommée.<sup>18</sup> La consommation des ménages en bois de feu représente 90% de l'énergie domestique consommée. On l'estime entre 1,4 et 1,9 kg par personne et par jour en milieu urbain et à 2,1 kg par personne et par jour en milieu rural.

Il n'y a jusqu'à présent pas de réponse appropriée à la crise du bois de feu. Certaines zones du Mali ont de plus en plus de difficultés à se procurer des combustibles ligneux pour couvrir leurs besoins énergétiques minimum. Ceci compromet leurs approvisionnements futurs. La consommation d'énergie non commerciale continue d'augmenter en termes absolus

---

<sup>16</sup> La conséquence de cette substitution est la réduction de l'efficacité globale de la filière bois-énergie.

<sup>17</sup> On appelle énergie traditionnelle, tous les combustibles issus de la biomasse : bois et charbon de bois, déchets des scieries, sous-produits de l'industrie agro-alimentaire, résidus agricoles, déchets animaux etc.

<sup>18</sup> Selon De MONTALEMBERT (1983), en 1980, la part de la consommation du bois de feu dans la consommation totale d'énergie était de 91%.

mais plus lentement que celle de l'énergie commerciale<sup>19</sup>. Néanmoins, le rythme de la transition vers l'utilisation des formes d'énergie commerciales au lieu des combustibles ligneux restera l'un des facteurs déterminants de la demande d'énergie au cours des prochaines décennies.

La consommation de bois de feu pose d'énormes problèmes environnementaux à cause de la déforestation. C'est pourquoi les deux volets énergie et environnement sont étroitement associés dans le plan national d'action<sup>20</sup> adopté par le gouvernement en Septembre 1998.

La situation énergétique du Mali se caractérise par une double dépendance : dépendance vis-à-vis des produits pétroliers dont les importations sont une contrainte importante dans les échanges extérieurs et une dépendance vis-à-vis du bois de feu dont les ressources se raréfient. Les forêts se dégradent au rythme des consommations de bois qui excèdent la production naturelle. Dans ce pays, deux systèmes énergétiques fonctionnent selon des logiques différentes. L'un traditionnel (bois de feu, charbon de bois), et l'autre moderne (produits pétroliers, électricité etc.) répondent à une demande sociale dont les niveaux qualitatifs et quantitatifs sont très inégaux. Il y a donc une dualité du système énergétique.

Dans l'analyse de l'énergie au Mali, il faut aussi distinguer les énergies commerciales des énergies non commerciales :

- les énergies commerciales sont des énergies appelées modernes, commercialisées par des circuits bien connus et dont la consommation et la production peuvent être évaluées avec précision. Ce sont les produits pétroliers, l'électricité, le gaz, le charbon ;
- les énergies traditionnelles sont le bois, le charbon de bois, les déchets végétaux et animaux utilisés comme combustibles. Ils jouent un rôle important au Mali. On les appelle improprement des énergies non commerciales car une partie passe par des circuits commerciaux plus ou moins bien connus. Il y a tout un système de collecte, de stockage ainsi qu'un réseau de distribution et de commercialisation mis en place. La production et la consommation des énergies traditionnelles sont difficiles à estimer à cause de l'autoconsommation et des réseaux d'approvisionnement. La dualité des systèmes énergétiques a une implication au niveau des prix. En général, les prix des énergies

---

<sup>19</sup> Elle a été plus lente que celle de l'énergie commerciale parce que les quantités physiques disponibles se raréfient (ce qui pose beaucoup de problèmes au Mali comme à d'autres pays sahéliens). De plus l'urbanisation progressive freine la croissance de ces énergies).

<sup>20</sup> Ce plan d'action pour l'environnement comprend quatre programmes d'actions prioritaires : gestion des ressources naturelles, gestion des ressources hydrauliques, amélioration des conditions de vie et gestion de l'information environnementale.

conventionnelles sont très élevés et généralement supérieurs aux prix moyens internationaux, tandis que les prix des énergies traditionnelles sont indirectement subventionnés dans la mesure où le coût de reproduction de la ressource est généralement insignifiant. Le coût d'accès à l'énergie est quasi gratuit dans le milieu rural, et la valeur d'achat du bois est largement sous-estimée dans le prix de production du charbon de bois, d'où la subvention indirecte aux énergies traditionnelles. Les marchés de l'énergie commerciale au Mali se caractérisent par l'étroitesse des marchés et la place prépondérante des produits pétroliers par rapport aux autres énergies modernes.

Pour résumer, les caractéristiques de l'énergie au Mali sont : une consommation faible mais en forte croissance, une grande disparité des niveaux de consommation, la prédominance de la part du pétrole dans les consommations d'énergies commerciales, le déficit énergétique et les prix élevés de l'énergie.

Le niveau de la consommation d'énergie commerciale dépend de plusieurs facteurs parmi lesquels on peut citer : les prix relatifs des différentes formes d'énergie, le niveau de l'activité économique et sa répartition entre les différents secteurs, la population (son niveau et ses caractéristiques) etc.

Au Mali, la spécificité de la situation des énergies modernes est marquée par la polarisation sur les problèmes pétroliers. Il y a une grande part des consommations de carburant pour le transport dans le total des énergies commerciales. Il y a aussi une ampleur des besoins spécifiques en produits pétroliers à cause de l'absence de sources alternatives et massives de carburants et de la lenteur de pénétration des réseaux interconnectés électriques et gaziers pour la prise en charge des demandes denses.

Il y a également des surcoûts dus à l'équipement énergétique liées en partie à la structure même de la demande. Sur de dernier point, on peut citer le cas de l'électricité dont les surcoûts de transmission – distribution entraînés par l'éloignement des unités de consommation et des lieux de production, ce qui grève en particulier le coût des programmes d'électrification rurale.<sup>21</sup>

Au cours de la période 1960 - 1998, pour laquelle nous disposons de données cohérentes pour ce pays, le niveau absolu de la consommation d'énergie a été multipliée par 4,3. Au cours de cette période, le taux de croissance annuel moyen des approvisionnements

---

<sup>21</sup> Banque mondiale, « Electrification rurale », Washington, 1977.

totaux en énergie primaire (ATEP) a été de 3,50%. Au cours de la même période, le taux de croissance annuel moyen du PIB a été de 2,37%.

**Tableau 1** : Taux de croissance de la consommation d'énergie (EC) et du produit intérieur brut (PIB) en % par an

	1961-1972	1972-1985	1986-1998
EC	4,98	3,78	2,28
PIB	3,56	- 3,50	5,54

Source : Calculs de l'auteur, à partir des données provenant de l'Annuaire Statistique des Nations-Unies et des Statistiques Financières Internationales du FMI.

Depuis le début des années 1960, le taux de croissance moyen de la consommation d'énergie n'a fait que décroître. Sur la période 1986 - 1998, il a été inférieur à la croissance de la population, ce qui s'est traduit par une baisse considérable de la consommation d'énergie par tête d'habitant.

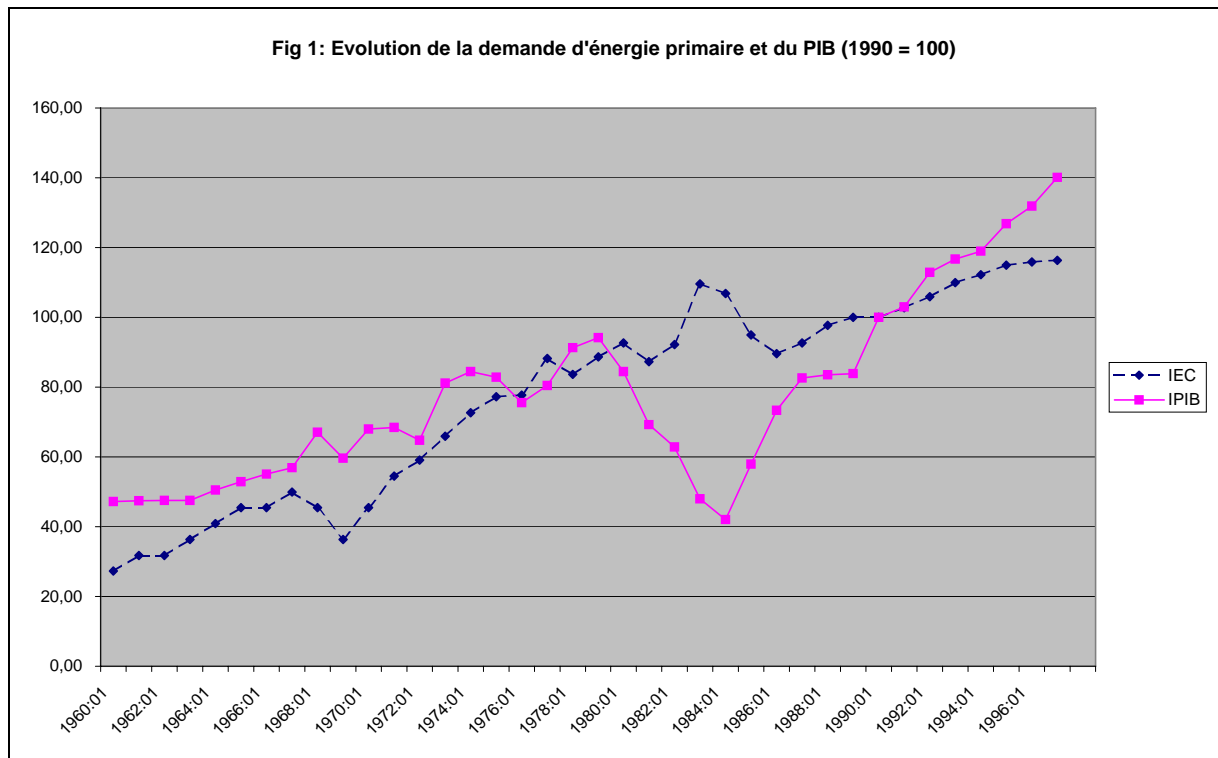
Dans les années 80, la croissance de la demande d'énergie a été inférieure à celle de la décennie précédente. Comme le montre la figure 1, la croissance de la demande d'énergie (EC) n'a pas dépassé celle du produit intérieur brut (PIB)<sup>22</sup>. C'est vers le milieu des années 70 qu'elle rattrape la croissance du produit intérieur brut pour la dépasser vers le début des années 80. Dans la troisième période l'écart entre la croissance de l'activité économique et celle de la consommation d'énergie augmente à cause de la crise économique et financière que traversait le pays dans les années 80. Il y a baisse du taux de croissance économique tandis que la consommation d'énergie continue d'augmenter sous la pression des besoins incompressibles.

La question énergétique est difficile à résoudre au Mali, pays qui ne dispose pas de pétrole, ni de charbon, les ressources hydroélectriques sont presque inexploitées et la disponibilité de combustibles ligneux se dégrade de jour en jour.

Sur l'ensemble de la période, la croissance d'énergie a eu une croissance régulière. A part une baisse entre 1967 et 1970, la consommation d'énergie marque une nette tendance à l'augmentation. Malgré une évolution en dents de scie, le PIB a augmenté jusqu'au début des années 80 et a fortement chuté vers le milieu des années 1980. Après cette période de crise, la

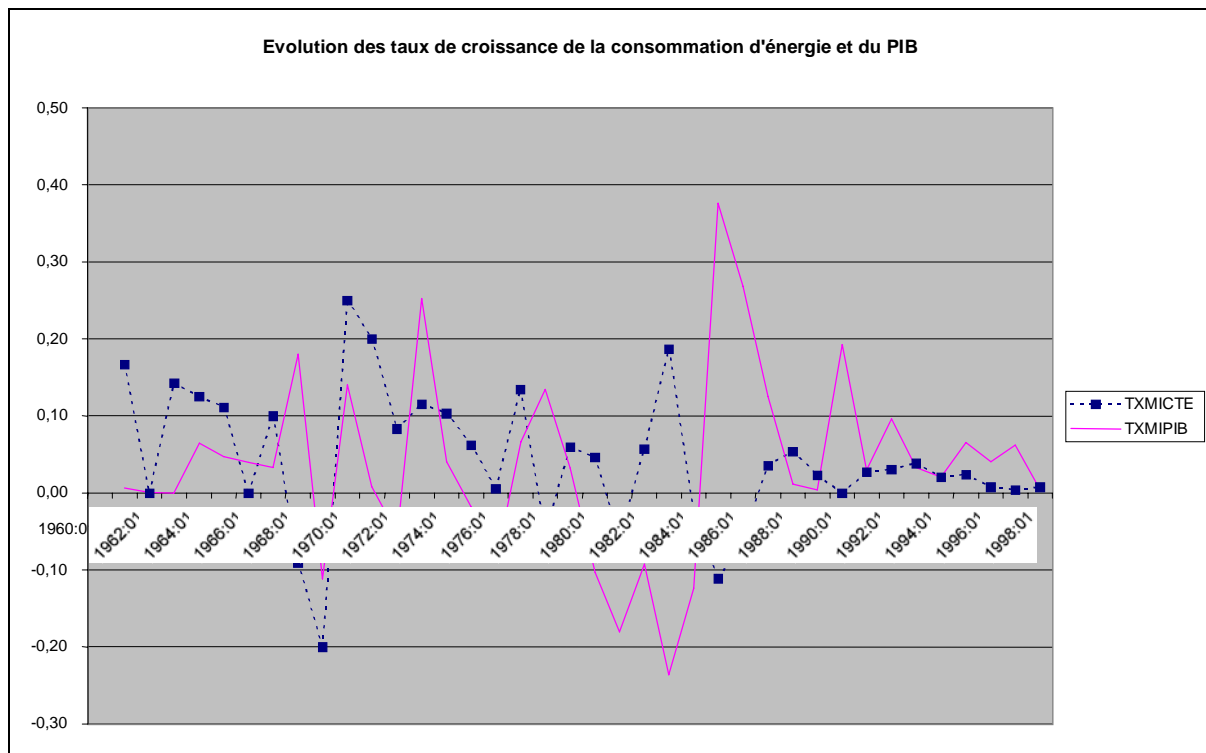
<sup>22</sup> Les chiffres concernant le PIB sont exprimés en dollars des Etats-Unis de 1990.

courbe du PIB se redresse et dépasse même la courbe EC comme c'était d'ailleurs le cas jusqu'en 1975.



Sources : L'auteur, suivant les données de l'ONU et du FMI.

Il y a un décrochage important de la consommation d'énergie en 1969, puis elle va régulièrement augmenter à un rythme régulier jusqu'en 1984. La consommation baisse en 1986 et depuis lors elle connaît une croissance régulière. Il y a une tendance lourde d'accroissement de la consommation d'énergie sur la période. La croissance du PIB est irrégulière. Elle prend une forme cyclique jusqu'à la fin des années 80 avec une succession de taux de croissance positifs et négatifs. La croissance chute jusqu'au milieu des années 80 (suite au second choc pétrolier). Puis vient une période d'augmentation de la production qui continue jusqu'à la fin de la période étudiée.



Sources : L'auteur, suivant les données de l'ONU et du FMI.

Dans ce graphique il est difficile d'identifier des régularités. Il y a de fortes poussées des taux de croissance de la consommation d'énergie ou du PIB, mais elles ne correspondent pas aux mêmes périodes.

L'élasticité de la demande d'énergie par rapport au niveau de l'activité au Mali est de 0,91. Cette élasticité étant inférieure à 1, cela veut dire que la demande d'énergie croît plus lentement que le niveau de l'activité économique. A cet égard le Mali se démarque<sup>23</sup> de la plupart des pays en développement qui ont des élasticités de la demande d'énergie par rapport au PIB supérieures à un.<sup>24</sup> En effet, l'intensité énergétique ne cesse de croître dans les pays en voie de développement parce que la consommation d'énergie par tête est si basse qu'elle augmente beaucoup plus vite que l'activité économique.<sup>25</sup> Or divers éléments de stratégies permettent d'éviter de s'engager dans une telle impasse peuvent être débattus. On peut par exemple conseiller une utilisation rationnelle de l'énergie pour abaisser le coefficient d'élasticité énergie / croissance. Contrairement aux idées reçues à propos des pays dont la

<sup>23</sup> Ce cas du Mali pourrait s'expliquer par le faible niveau de développement économique et d'une quasi absence de ressources énergétiques (pas de pétrole, pas de charbon, dégradation permanente de la disponibilité de combustibles ligneux, potentialités hydrauliques faiblement exploitées).

<sup>24</sup> HOURCADE J. C. et Ben CHAABANE N. " Les liens énergie-croissance dans les pays en développement (1960-1985), proposition méthodologique pour une formalisation des liens énergie-mode de développement" , in GUVENEN O., LABYS W. C., LESOURD J. B., « Politique économique et marchés internationaux de matières premières - Analyse économétriques », Paris, Economica, 1991.

<sup>25</sup> MARTIN J.-M. « Economie politique de l'énergie », Armand Colin, Coursus, Paris, 1992.

consommation par tête est faible, les indicateurs de consommation unitaire montrent que pour l'industrie et les transports, il existe un important volant d'économie d'énergie possible. Et c'est ce qui rend possible aux pays du Tiers-monde de ne pas tomber dans le piège d'un modèle de développement prédateur en énergie.

Pour finir, on peut dire que la crise énergétique au Mali est plurielle et appelle une combinaison de réponses. C'est ainsi que la résolution du problème du bois de feu ne relève pas de la même logique que faire face à la croissance explosive des besoins en carburant ou fournir la base énergétique de la croissance industrielle. Le problème à résoudre est donc celui de la gestion d'un phénomène technologique et du contexte économique, social et écologique.

## **Deuxième partie : Analyse du lien consommation d'énergie et croissance économique**

La croissance économique a une incidence sur la demande d'énergie et notre proposition théorique est que la consommation d'énergie primaire est fonction du revenu. Nous allons donc vérifier si la relation classique  $EC = f(\text{PIB})$  est vérifiée au Mali, ce qui revient à éclairer la relation énergie / croissance économique à partir d'une analyse économétrique.

### **A. Quels instruments pour l'analyse**

Quels sont les liens entre croissance économique et consommation d'énergie et à quels instruments peut-on recourir pour en faire l'analyse ?

On peut utiliser différents instruments du point de vue de l'analyse économique et des techniques économétriques :

#### **a) L'élasticité de la consommation d'énergie par rapport au produit et au prix**

En régime de croissance économique stabilisée, c'est-à-dire en l'absence de transformations rapides des structures de branches et des techniques d'utilisation de l'énergie, les élasticités peuvent être de bons instruments. On peut calculer l'élasticité-produit et / ou l'élasticité-prix.

**\*\* L'élasticité-produit** : est le rapport entre la variation relative de la consommation d'énergie et celle du PIB durant une période de temps donnée

$$e_{\text{pdt}} = \frac{\frac{\Delta C}{C}}{\frac{\Delta \text{PIB}}{\text{PIB}}}$$

Avant le premier choc pétrolier, cette élasticité était supérieure à 1 dans tous les pays, ce qui signifie une croissance de la consommation d'énergie plus que proportionnelle à celle de l'activité économique.

\*\* **L'élasticité-prix** : est le rapport entre la variation relative de la consommation d'énergie et celle du prix de l'énergie durant une période de temps donnée.

$$e_{\text{prix}} = \frac{\frac{\Delta C}{C}}{\frac{\Delta P_E}{P_E}}$$

A court terme (moins d'un an), cette élasticité est en général très faible, le consommateur ne pouvant pas changer facilement ses équipements utilisateurs d'énergie. A long terme, elle est plus élevée, dès lors qu'intervient le remplacement du capital.

## b) L'intensité énergétique du PIB

Dans le domaine de l'énergie, il est fréquent de s'intéresser à des périodes de temps longues (plusieurs décennies par exemple), il faut recourir à d'autres instruments que les élasticités. On utilise alors l'intensité énergétique du PIB, c'est-à-dire la quantité en volume physique de la consommation d'énergie nécessaire pour produire une unité de valeur ajoutée. Cet indicateur doit être cependant utilisé avec beaucoup de précautions car ni le numérateur (agrégation de différentes sources d'énergie, à l'aide d'équivalences souvent conventionnelles), ni le dénominateur c'est-à-dire le PIB, ne sont homogènes. Cependant, la désagrégation de E/PIB par grands secteurs d'activité (ménages, industrie, agriculture, transport...) permet de définir des intensités énergétiques sectorielles et de mettre en lumière les facteurs explicatifs de la consommation d'énergie soit dans l'espace, soit dans le temps. L'intensité énergétique c'est-à-dire la consommation

d'énergie par unité de PIB est l'indicateur de référence par lequel passent toutes les analyses de long terme dans le domaine énergétique. Elle permet de relier la consommation d'énergie et la croissance (sans toutefois faire apparaître le prix des énergies comme un facteur déterminant pour la demande). Ainsi, le revenu a une grande importance dans l'explication de la consommation d'énergie.

Le modèle synthétique de J.C. Hourcade et N. Berrah représentait l'élasticité énergie / PIB en fonction du niveau de développement ; cette élasticité culminant après le début de l'industrialisation et se réduisant fortement pour les économies matures entrant dans un stade post-industriel.

### c) La cointégration

Plusieurs propriétés statistiques ne s'appliquent qu'à des séries stationnaires. Dès lors, il se pose des problèmes dans la mesure où la plupart des séries représentant des variables économiques sont affectées par une tendance de long terme. Des simulations empiriques ont permis à Granger et à Newbold de montrer que la distribution du  $t$  de Student dans un modèle simple du type  $Y_t = ax_t + b + \mu_t$  en présence de racine unitaire ne peut plus être interprété selon la loi de Student Fisher. Entre les séries admettant des racines unitaires, il existe des corrélations fortuites (« spurious correlation ») qui n'ont aucune signification véritable et qui n'ont pas de véritables fondements. On peut donc conclure à l'existence de relations qui en réalité n'existent pas. Granger et Newbold ont montré que ce cas est très probable si la régression a un DW faible et un  $\bar{R}^2$  élevé. Ces résultats ont été également confirmé de façon mathématique par PCB Phillips qui a montré qu'en présence de racine unitaire, le DW était aussi biaisé vers la valeur zéro. De ce fait la question de travailler sur des séries non stationnaires s'est trouvée posée.

#### **Perspective qu'offre la cointégration :**

La théorie de la cointégration permet de préciser les conditions dans lesquelles il est légitime de travailler sur des séries non stationnaires :

- Ne pas mélanger dans une équation des variables ayant des ordres d'intégration différents ;

- Dans une équation de nature dynamique, quand on introduit des décalages sur des variables, il faut respecter le même nombre de décalage sur toutes les variables ou au moins sur les principales variables.
- Il est donc recommandé de commencer un travail d'économétrie par la recherche de l'ordre d'intégration des variables (test de racine unitaire, puis différence première ...). Il faut ensuite s'assurer que les relations économétriques appartiennent à l'espace de cointégration des variables (non unicité de la relation ) en déterminant l'ordre d'intégration des résidus et en montrant que l'ordre d'intégration des résidus est inférieur à l'ordre d'intégration des variables.

## **B. Cointégration et relation de long terme**

Selon ENGLE et GRANGER (1987), deux variables sont dites cointégrées si la combinaison linéaire des dites variables est stationnaire<sup>26</sup>. Plus généralement si l'on prend un vecteur  $Y_t$  ayant au moins deux composantes, on dira que les composantes du vecteur  $\{Y_t\}$  sont intégrées d'ordre  $(d, b)$  notée  $Y_t \sim CI(d, b)$  si :

a) toutes les composantes de  $Y_t$  sont intégrées d'ordre  $d$  noté  $I(d)$

b) il existe un vecteur  $\beta$  ( $\beta \neq 0$ ) tel que  $x_t = \beta' Y_t \sim I(d-b)$ ,  $b > 0$ .

$x_t$  est alors stationnaire autour d'une tendance déterministe lorsque  $d = b$  (par exemple  $d = b = 1$ ).

Si  $Y_t$  a  $n$  composantes, il peut exister  $r$  ( $r \leq n-1$ ) vecteurs cointégrants indépendants entre-eux.

En proposant de méthodes rigoureuses, la théorie de la cointégration permet d'examiner avec de nouveaux outils la question largement débattue des liens énergie-croissance<sup>27</sup>.

De nombreux tests permettent d'estimer les relations de long terme entre deux variables. GONZALO (1994) a recensé quelques principaux tests de cointégration :

a) les tests en deux étapes basés sur les moindres carrés ordinaires,

b) les tests basés sur les moindres carrés non linéaires,

---

<sup>26</sup> Un processus  $Y_t$  est strictement stationnaire lorsque la loi de celui-ci ne change pas dans le temps, c'est-à-dire que la loi de  $(Y_{t_1}, \dots, Y_{t_m})$  est la même que celle de  $(Y_{t_1+j}, \dots, Y_{t_m+j})$  pour tout  $n$ -uplet  $(t_1, \dots, t_n)$  et pour tout  $j$ . En général, on se contente de la stationnarité faible dont la condition est satisfaite si le processus est du second ordre et si ses premiers moments sont invariants dans le temps.

- c) les tests basés sur l'analyse en composante principale,
- d) les tests basés sur les corrélations canoniques,
- e) les tests basés sur le maximum de vraisemblance dans un modèle à correction d'erreur entièrement spécifié.

Nous présenterons le premier test que nous avons appliqué dans ce travail.

## METHODOLOGIE ET MODELE

Le modèle que nous testons s'exprime au travers d'une hypothèse qui est la liaison entre la consommation d'énergie et le revenu représenté par l'activité économique (ou le PIB). La relation construite à travers cette proposition fondamentale est  $EC = f(\text{PIB})$  avec  $f' > 0$ .

La consommation d'énergie est présentée comme étant fonction de l'activité économique. Est-ce que ce modèle est valide dans le cas du Mali ?

Mesure du développement économique et de la consommation d'énergie :

D'une manière générale, la mesure du PIB pose les problèmes méthodologique de la représentativité du PIB comme indicateur pertinent des consommations, du passage à une unité de compte monétaire commune (en général le dollar des Etats-Unis) et la fiabilité des mesures pour certains pays.

Le terme de consommation d'énergie est ambigu. La consommation d'énergie concerne essentiellement les ménages et les entreprises. Pour beaucoup de ménages au Mali, la consommation d'énergie sous forme de bois de feu, de déchets animaux ou végétaux relève encore de l'économie de subsistance.

## PRESENTATION DES SERIES

Avant de commencer les études empiriques, nous allons présenter les séries utilisées. Les séries utilisées EC (Consommation d'énergie, en milliers de tonnes métriques d'équivalent houille) et PIB (Produit intérieur brut, en millions de dollars de 1990) sont des données annuelles, provenant de l'Annuaire Statistique des Nations-Unies (différentes

---

<sup>27</sup> Cette question (qui émergea très tôt, S. Jevons, 1865), a été traitée par l'économie et la politique de l'énergie à partir des années 1950.

éditions) pour ce qui concerne EC et des Statistiques Financières Internationales du FMI, pour le PIB. Les données pour chacune des deux séries couvrent la période 1960-1998.

Les différentes estimations utilisent des variables prises en logarithmes. L'hypothèse de stationnarisation étant nécessaire à l'inférence statistique (une série non stationnaire en variance admet une variance qui croît avec le temps<sup>28</sup>), nous avons procédé aux tests de racine unitaire<sup>29</sup>.

Nous allons comme recommandé dans un travail économétrique, commencer par chercher l'ordre d'intégration des variables (tests de racine unitaire en niveau puis en différences) et nous assurer par la suite que les relations économétriques obtenues appartiennent à l'espace de cointégration des variables en déterminant l'ordre d'intégration de la série des résidus.

### RAPPEL DU TEST DE RACINE UNITAIRE<sup>30</sup>

La première étape consiste à tester le modèle comprenant une tendance et une dérive. C'est le modèle [1] présenté ci-dessous. Soit  $Y_t$ , la série dont on teste la non-stationnarité.  $Y_t$  s'écrit :

$$[1] Y_t = \alpha + \beta_t + \gamma Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

où  $t$  représente la tendance et  $\varepsilon_t$  un bruit blanc. On teste tout d'abord la significativité de la tendance. On teste ensuite la significativité de la dérive représentée par la constante  $\alpha$ . Lorsque la constante et la dérive sont significatives, on teste alors l'hypothèse de non stationnarité  $\gamma = 1$  contre l'alternative  $|\gamma| < 1$ .

Lorsque la tendance dans le modèle [1] n'est pas significative, la relation utilisée pour le test devient :

$$[2] Y_t = \alpha + \gamma Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

La première étape du test consiste à tester la significativité de la dérive. Si  $\alpha$  est significatif, alors on teste l'hypothèse de non-stationnarité en utilisant le modèle [2] ci-dessus.

Lorsque la tendance et la dérive du modèle [1] ne sont pas significatives, le test repose sur la relation :

---

<sup>28</sup> Une variance qui croît avec le temps est infinie pour  $t$  tendant vers l'infini. Les statistiques des tests usuels ne sont plus valides dans ce cas.

<sup>29</sup> Le test de racine unitaire s'interprète comme un test de stationnarité. En effet, si une série possède au moins une racine unitaire elle ne peut pas être stationnaire tandis qu'une série qui n'a pas de racine unitaire peut être stationnaire. On peut donc utiliser le test de Dickey-Fuller pour tester la stationnarité d'un processus temporel (ARMA ou ARIMA) au lieu du test de Box et Pierce.

$$[3] Y_t = \gamma Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

Comme dans les deux modèles précédents, on teste l'hypothèse nulle de non-stationnarité  $\gamma = 1$  contre l'alternative  $|\gamma| < 1$ .

Lorsque le résidu  $\varepsilon_t$  dans les relations précédentes n'est pas un bruit blanc, il convient d'ajouter à celles-ci, des retards de la variable  $Y$  différenciée pour blanchir le résidus. Il s'agit alors du test de Dickey et Fuller Augmenté (ADF).

Nous avons aussi utilisé le test URAUTO, procédure de Paco GOERLICH<sup>31</sup> pour tester l'existence de la racine unitaire dans les séries. Cette procédure utilise une correction non paramétrique et teste au taux de significativité de 5%. Elle teste d'abord le modèle avec constante et trend. Si elle ne peut pas rejeter l'hypothèse de racine unitaire, elle fait test joint (de tendance = 0 et racine = 1). Si elle n'arrive pas à ce niveau à rejeter l'hypothèse de la racine unitaire et de trend non linéaire, elle passe au test de la régression avec constante sans trend. Si la procédure ne peut pas rejeter l'hypothèse de racine unitaire, elle fait un test joint de la constante = 0 et racine = 1 pour voir si la constante est significative et si la racine unitaire est acceptée. Si on ne peut pas rejeter l'hypothèse de la constante  $t = 0$  et racine = 1, la procédure fait la régression sans constante et sans trend.

## PRESENTATION DES TESTS BASES SUR LES MOINDRES CARRÉS ORDINAIRES (MCO).

Un certain nombre d'outils permettant de tester l'hypothèse de cointégration entre deux séries chronologiques ont été présentés par ENGLE et GRANGER (1987). Dans tous les tests, l'hypothèse nulle est celle de non-cointégration et l'alternative est celle de cointégration.

Soient  $Y_1$  et  $Y_2$  deux séries pour lesquelles on veut examiner l'hypothèse de cointégration. On estime la « régression de cointégration » suivante :

$$[4] Y_{1t} = \alpha + \beta Y_{2t} + e_t$$

L'hypothèse de cointégration peut être testée en utilisant l'un des tests suivants :

1) Le premier test repose sur la statistique de Durbin et Watson de la relation de cointégration notée CRDW. Lorsque la statistique DW est suffisamment large, le résidu  $e_t$  est stationnaire et par conséquent  $Y_{1t}$  et  $Y_{2t}$  sont cointégrées.

---

<sup>30</sup> Le lecteur peut se reporter à ERTUR Cem (1992), pour une présentation détaillée de la stratégie des tests de racine unitaire.

<sup>31</sup> Procédure écrite en Décembre 1990 par Paco Goerlich, révisée en 1993 par lui, pour RATSs version 4, documentation ajoutée en 1994 par Tom Doan.

2) Le deuxième test est un test de racine unitaire (appelé Dickey et Fuller ou DF) effectué sur le résidu de la régression de cointégration. Si ce résidu contient une racine unitaire,  $Y_{1t}$  et  $Y_{2t}$  ne sont pas cointégrées. Ce test repose sur l'équation suivante :

$$[5] e_t = \rho e_{t-1} + \mu_t$$

où  $e_t$  est le résidu de la relation de cointégration ( $\mu_t$  étant un bruit blanc).

3) Le test suivant est un test de Dickey et Fuller augmenté (ADF) lorsque les résidus de la relation de cointégration sont autocorrélés.

Il existe d'autres tests basés sur le RVAR (VAR restreint) qui requiert l'estimation de deux équations dont on teste la significativité jointe ou le VAR non restreint noté UVAR.

Des études empiriques montrent que ces différents tests aboutissent au même résultat (HAKKIO et RUSH, 1989). Nous avons donc utilisé le test d'Engle et Granger pour tester la non-stationnarité sur les résidus<sup>32</sup> de la relation de cointégration.

#### RESULTAT DU TEST DE COINTEGRATION EN DEUX ETAPES :

Les variables ne peuvent être cointégrées que si elles sont intégrées du même ordre. Nous avons donc d'abord testé, l'ordre d'intégration des différentes séries utilisées. Pour cela, nous avons aussi utilisé la procédure de Paco GOERLICH dont nous donnons les résultats en annexe pour ne pas surcharger l'exposé. Le tableau ci-dessous donne les résultats de tests de racine unitaire que nous avons effectué.

Tableau n° 2 : Résultat des tests de racine unitaire

	Niveau	Différence première	Conclusion
LPIB + Constante + Trend	- 2,363	- 4,193	La série n'a pas de racine unitaire en différence première
LEC + Constante + Trend	-1,913	- 5,3	La série n'a pas de racine unitaire en différence première
Valeur critique <sup>33</sup> à (5%)	- 3,60	- 3,60	

Nous avons utilisé le multiplicateur de Lagrange pour choisir la mesure du retard optimal.

<sup>32</sup> Quand le test de Dickey-Fuller se pratique aussi sur les résidus des équations, il porte le nom de test de Engle et Granger.

<sup>33</sup> Source : W. A. FULLER, « Introduction to Statistical Time Series », New-York ; Willey, 1976, P. 373.

Le tableau 2 nous informe sur la présence d'une racine unitaire en niveau pour chacune des séries et sur l'absence de racine unitaire dès la première différenciation. Donc les deux variables sont stationnaires en différence première. Elles sont intégrées d'ordre 1.

Après avoir déterminé l'ordre d'intégration des séries, nous pouvons appliquer la méthode d'estimation.

## LA METHODE D'ESTIMATION EN DEUX ETAPES D'ENGLE ET GRANGER

### Estimation de la relation statique et tests de cointégration

Puisque les séries  $EC_t$  et  $PIB_t$  sont intégrées au même ordre, on peut estimer la relation statique avec constante

$$\text{Log } EC_t = \alpha + \beta \text{Log } PIB_t + \varepsilon_t$$

On obtient  $\text{Log } EC_t = 4,49 + 0,97 \text{Log } PIB_t$

$$(37,50) \quad (4,94)$$

$$\bar{R}^2 = 0,40 \quad DW = 0,22 \quad Q^*(8) = 68,60$$

Même si le modèle explique 40% ( $\bar{R}^2$ ) de la variance totale, les statistiques de Durbin- Watson (DW) et de Ljung- Box ( $Q^*$ ) sont une illustration d'une « régression fallacieuse » au sens de GRANGER et NEWBOLD (1974). Selon ces auteurs, si la statistique DW est marquée par une valeur basse, alors la spécification adoptée est mauvaise et ceci, quelque soit la valeur du  $\bar{R}^2$ .

### LES TESTS DE COINTEGRATION :

A la fin de la première étape de la méthode d'estimation d'Engle et Granger, il est nécessaire de vérifier si les perturbations  $Z_t$  de la relation statique sont stationnaires afin de confirmer l'hypothèse de cointégration des séries et donc la validité de la spécification adoptée sur le long terme. Dans cette optique, les tests<sup>34</sup> de racine unitaire ont été transposés

<sup>34</sup> ENGLE et GRANGER (1987) proposent sept tests, et PHILLIPS (1987) propose un test.

et utilisés dans le cadre de la théorie de la cointégration. Engle et Granger recommandent parmi les sept tests qu'ils ont proposé, d'utiliser le test ADF qui s'est avéré le plus puissant au regard des simulations effectuées.

Le test ADF (Augmented Dickey Fuller) consiste à tester l'existence d'une racine unité dans les résidus estimés  $\hat{Z}_t$  de la relation statique  $Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \hat{Z}_t$  ; soit le test ADF suivant :

$$\phi = \rho = 1 \text{ (processus AR}(p))$$

Si le test de Student calculé du coefficient  $\phi$  est supérieur à la valeur théorique, on accepte  $H_0 : \phi = 0$  (équivalent à accepter  $\rho = 1$ ), les variables  $Y_t$  et  $X_t$  ne sont pas cointégrées. Nous avons donc effectué la régression de  $\text{Log EC}_t = C + \beta \text{Log PIB}_t + \varepsilon_t$ . Nous avons récupéré le résidu afin d'y appliquer la première étape de la méthode ADF (pour voir si les résidus sont stationnaires).

Le test de Student calculé est = -2,11. La valeur critique<sup>35</sup> pour les tests de cointégration étant inférieur à la valeur calculée, on accepte donc l'hypothèse  $H_0$  : les perturbations suivent une "marche aléatoire" et on refuse donc l'hypothèse de cointégration des deux séries. Les variables ne sont pas cointégrées, en particulier le Log de EC et celui de PIB ne suivent pas des évolutions parallèles sur la période.

## **CONCLUSION :**

Cet article en s'intéressant à la relation énergie / croissance économique a montré que les variables croissance économique et consommation d'énergie ne sont pas cointégrées dans le cas du Mali. L'application des tests de cointégration en deux étapes d'ENGLE et GRANGER n'a pas permis de rejeter l'hypothèse de non-cointégration entre les séries  $\text{EC}_t$  et  $\text{PIB}_t$ . Les sentiers des deux séries divergent. Il est nécessaire pour obtenir des sentiers de croissance parallèles, d'introduire d'autres variables explicatives susceptibles de justifier l'écart. Cependant un tel objectif dépasse le cadre de cet article et devrait faire l'objet de recherches ultérieures.

---

<sup>35</sup> Voir Engle et Yoo (1987).

## Remerciements

Je remercie Monsieur Souleymanou pour son aide précieuse tout au long de ce travail. Je reste responsable des erreurs et insuffisances qui pourraient subsister.

## **BIBLIOGRAPHIE**

ENGLE Robert F. and GRANGER C. W. J. (1987), « Co-Integrated and Error Correction : Representation, Estimation and Testing », *Econometrica*, Mars, pp. 251 – 276.

ENGLE Robert F. and YOO Byung S. (1987), « Forecasting and Testing in Co-Integrated Systems », *Journal of Econometrics*, Vol. 35, pp. 143 –159.

ERTUR Cem (1992), « Test de stationnarité : une application au PIB réel », Thèse pour le Doctorat (nouveau régime), Université de Bourgogne.

FULLER W. A. (1976), « Introduction to Statistical Time Series » (New-York, Willey).

GONZALO Jesus (1994), « Five Alternatives Methods of Estimating Long-Run Equilibrium Relationships », *Journal of Econometrics*, Vol. 60, pp. 203-233.

GRANGER C. W. J. (1986), «Development in the study of co-integrated Economics variables », *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*.

MAUREL Françoise (1989), « Modèle à correction d'erreur : l'apport de la théorie de la cointégration », *Economie et Prévision*, n° 88-89.

MACKINNON J., "Critical Values for Co-integration Tests", in R. F. ENGLE and C. W. J. GRANGER, Eds, « Long-run economic relationships », Oxford University Press, 1991. Pp 267-276.

SACKO Issa (1997), « Impacts des fluctuations des prix du pétrole sur les économies subsahariennes, importatrices de produits pétroliers », Thèse pour le Doctorat en Sciences Economiques, Université Paris 10 – Nanterre.

PHILLIPS P. C. B. (1987), « Time Series Regression with a Unit Root », *Econometrica*, Vol 55, pp 277 – 301.

Banque Mondiale (1980), « L'énergie dans les pays en développement », Washington D. C., Août.

Banque Mondiale (1977), « Electrification rurale », Washington, D. C.

BERRAH N. E. (1983), « Energie et développement : l'effet tunnel », *Revue de l'Energie*, n°356, Août-Septembre.

De MONTALEMBERT M. R. (1983), « Le bois de feu, une problématique exemplaire », *Revue de l'Energie*, n°356, Août-Septembre.

ENDA, IEPE (1994), « L'énergie en Afrique, la situation énergétique de 34 pays de l'Afrique Subsaharienne et du Nord », sous la direction de Jacques GIROD. Ademe, IEP, Karthala.

HOURCADE J. C et Ben CHAABANE N. "Les liens énergie – croissance dans les pays en développement (1960-1985) : proposition méthodologique pour une formalisation des liens énergie – modes de développement", in O. GUVENEN, W. C. LABYS, J. B. LESOURD, « Politiques économiques et marchés internationaux de matières premières – Analyses économétriques », Paris, Economica, 1991.

MITTLESTADT A. (1983), « Utilisation des élasticités de la demande dans l'estimation de la demande d'énergie », OCDE, Document de travail n° 1, OCDE, Paris.

PERCEBOIS J. (1989), « Economie de l'énergie », Editions Economica.

PERCEBOIS J. (1979), « Le concept d'intensité est-il significatif ? », *Revue d'Economie politique*, n° 89.

PERCEBOIS J. (1978), « Energie, croissance et calcul économique », *Revue Economique* n° 29, pp 464 – 493.

BOURDAIRE J.-M. (2000), « Le lien entre consommation d'énergie et développement économique », *Revue de l'Energie*, n° 515, Mars-Avril. Pp. 158-170.

MAINGUY Y. (1967), « L'économie de l'énergie », Dunod (collection Finances et Economie).

MARTIN J. – M. (1992), « Economie et politique de l'énergie », Editions Armand Colin, Paris.

IWAYEMI A.. « Energy in West Africa, Issues and Policies Approaches », *Energy Policy*, Vol II, n° 3, Sept 1983, pp. 235-249.

MINVIELLE J.-P. (1999), « La question énergétique au Sahel », Karthala.