

Analyse Economique Des Effets De La Deforestation Sur Le Rechauffement Climatique Dans Les Pays Du Bassin Du Congo

Donald Dimitri ONOUNGA,

Enseignant-chercheur, Laboratoire de Recherche et d'Etudes Economiques et Sociales (LARES), Faculté des Sciences Economiques, Université Marien Ngouabi, Brazzaville (Congo), B.P. 69, Tél. : +242 06 683 47 01; Email: dimitri.onounga@umng.cg

RÉSUMÉ : Le présent article étudie l'analyse économique des effets de la déforestation sur le réchauffement climatique dans les pays du Bassin du Congo. Il a recouru successivement aux techniques SVAR et ARDL, à partir d'un échantillon comprenant six (6) pays, pendant la période allant de 2001Q1-2017Q4, sur une série en données trimestrielles. Les résultats révèlent que la déforestation a un effet négatif sur l'accélération du changement climatique. Par ailleurs, cet article indique une apparition de deux groupes de pays dans la capacité à absorber les émissions de GES. A cet effet, il serait nécessaire de mettre en place les mesures dont l'objectif est de compenser les trois pays méritant le Congo, le Gabon et le Cameroun de recevoir les fonds venant des pays riches, compte tenu des enjeux économiques du changement climatique à travers les crédits carbone afin de pousser les trois autres pays à fournir plus d'efforts.

Mots clés: socio-économique, changement climatique, bassin du Congo.
Classification JEL: O1, Q54, N57

Abstract: This article studies the economic analysis of the effects of deforestation on global warming in the countries of the Congo Basin. It successively used SVAR and ARDL techniques, based on a sample of six (6) countries, during the period 2001Q1-2017Q4, on a series of quarterly data. The results reveal that deforestation has a negative effect on the acceleration of climate change. Moreover, this paper indicates an emergence of two groups of countries in the capacity to absorb GHG emissions. To this end, it would be necessary to put in place measures whose objective is to compensate the three countries deserving Congo, Gabon and Cameroon to receive funds from rich countries, given the economic stakes of climate change through carbon credits in order to push the other three countries to make more efforts.

Keywords: Socio-economic, Climate change, Congo Basin
JEL Classification: O1, Q54, N57

I- Introduction

En 2017, dans les pays du Bassin du Congo, la plus grande tourbière au monde a été découverte entre les deux Congo, sur une superficie de plus de 145 000 Km², capable de pouvoir stocker une pollution mondiale d'environ trois ans. Cette tourbière aide à réduire les effets néfastes de la déforestation sur le changement climatique, lorsqu'elle est bien protégée. Mais, lorsqu'elle est détruite, la tourbière accentuera le changement climatique (Dargie et al, 2018).

Depuis la fin du 20^e, le réchauffement climatique et les autres problèmes environnementaux ont pris de l'ampleur. Or, ces questions portées sur les effets de la déforestation dont le corolaire est le réchauffement climatique sont l'une des causes des problèmes environnementaux engendrés par l'exploitation des ressources naturelles renouvelables ou non renouvelables. Ces problèmes ont connu, à cet effet, une attention particulière. C'est pour cela qu'il est important de mettre en place des modèles qui permettent d'identifier la relation entre les effets environnementaux et l'activité économique (Kijima et al, 2010).

Toutefois, cette thématique est inscrite dans la controverse qui existe entre l'approche du modèle d'équilibre général (Faustmann, 1849 ; Walras, 1978 ; Nordhaus, 1993, Beaumais et Chiroleu-Assouline, 2001 et Hanley, 2013) et les économistes écologistes (Georgescu-Roegen, 1971 et 1975 ; Passet, 1985 et 1996 ; Stambouli, 2008 et Constanza et al, 2012), controverses relatives aux enjeux de croissance exponentielle pour parvenir au développement. De plus, la problématique du changement climatique est liée à la détermination du niveau optimal de pollution, à la comparaison des dégâts environnementaux et aux bénéfices attendus de l'activité économique.

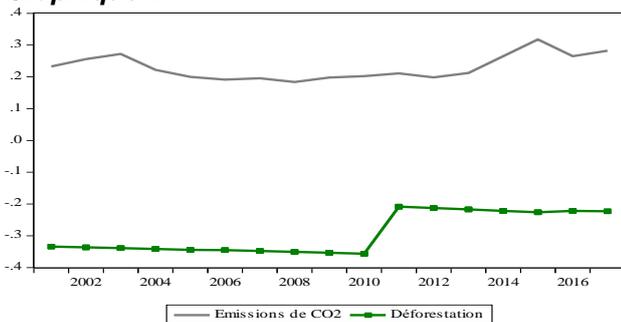
Outre l'introduction, la suite de cet article est constituée de la situation de la déforestation et le réchauffement climatique, de la revue de la littérature, de la méthodologie, de la présentation et de l'interprétation de résultats ainsi que de la conclusion.

II- Situation de la déforestation et du réchauffement climatique

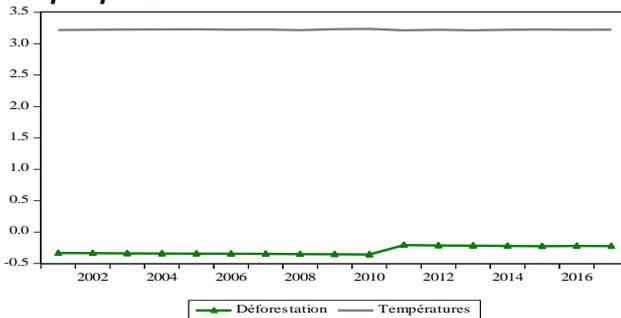
L'évolution de la déforestation sur les forêts du Bassin du Congo a suscité une attention particulière de la communauté internationale, depuis quelques décennies. En effet, elle est perçue comme une menace aussi bien au niveau international que sous-régional. Cette situation constitue un danger socio-économique, voire écologique et climatique (Demaze, 2008). De plus, la relation entre la pression humaine dans l'utilisation des ressources forestières, les émissions de gaz à effet de serre, les températures et la conservation des forêts apparaît, en effet, une question importante qui mérite d'être examinée dans les pays du Bassin du Congo (de Wasseige et al., 2016). Pour ce faire, la figure 1 de la relation entre la déforestation et les différentes variables retenue du changement climatique est, ci-dessous, présentée.

Figure 1. : Evolution couplée du taux de déforestation avec les émissions de CO₂ et la variation des températures dans l'ensemble des pays du Bassin du Congo

Graphique 1



Graphique 2



Source : l'auteur, à partir des données de WDI, 2018

De ce graphique, il apparaît que la courbe des émissions de CO₂ et celle de l'évolution de la déforestation sont corrélées dans la période allant de 2001 à 2009. Cela signifie que lorsque la déforestation est à la hausse, toutes choses égales par ailleurs, les émissions du CO₂, par tête, augmentent également. On remarque, par contre, une évolution atypique de la part des émissions du CO₂, par tête, tout simplement parce que, en dehors des émissions dues à la déforestation, il y en a d'autres provenant d'autres secteurs d'activités

tels l'approvisionnement énergétique et l'industrie, qui sont d'ailleurs les deux premiers secteurs émetteurs de CO₂.

De plus, cette situation peut être expliquée par le fait que les forêts sont, à la fois, des puits et des sources de carbone. Si l'on essaye d'observer cette relation, on remarque qu'il y a, entre 2009 et 2011, une baisse de la déforestation, donc, par conséquent, celle des émissions de CO₂, avant que celles-ci n'augmentent encore, suite à l'augmentation de la perte des forêts entre 2011 et 2017.

Le graphique 2, ci-dessus, révèle qu'il y a déforestation, toutes choses égales par ailleurs, il y a, plus ou moins, une stabilisation des températures, jusqu'en 2009. Ensuite, entre 2009 et 2017, on note une évolution toujours plus ou moins stable des températures, alors que dans cette même période, on constate une reconstitution de forêts entre 2009 et 2017.

III- Revue de la littérature

La présente revue de la littérature est structurée en trois principales sections dont la première présente les approches théoriques de la relation entre la déforestation et le réchauffement climatique, la seconde, quant à elle, aborde différents travaux empiriques, alors que la troisième tire un enseignement de la revue de littérature.

A- Approches théoriques

Deux approches théoriques sont présentées dans cette section, à savoir: l'intégration de l'environnement dans le modèle d'équilibre général et l'intégration de l'économie dans la biosphère. La première approche soutient l'hypothèse selon laquelle, quelle que soit la déforestation, les effets négatifs de celle-ci sur le climat seront corrigés. Cela, commence, donc, par la théorie des ressources naturelles, qui part des modèles du secteur forestier de Faustmann (1849). Ces modèles qui établissent des liens entre la forêt et le reste de l'économie. C'est ainsi que Walras (1874), dans son approche d'équilibre général mise en exergue au XIX^e siècle, a produit une figure de l'interdépendance reliant les différents marchés. Par exemple, un essai de cette approche de l'équilibre général a été réalisé par Hotelling (1931) qui a analysé le problème de la gestion inter temporelle des ressources naturelles épuisables dans les termes suivants: comment allouer une quantité donnée d'une ressource entre les différentes périodes futures, de manière à maximiser l'utilité tirée de l'extraction et de la consommation de cette ressource.

Cette analyse a permis à Solow (1974) de distinguer le capital fixe du capital circulant, hérité de la tradition classique qui, tous, ne sont autres que les ressources naturelles marchandes (renouvelables telles que les forêts et épuisables, à l'instar du pétrole). Cet auteur a mis en évidence la règle d'Hotelling, en s'appuyant sur le marché des actifs financiers. Ainsi, un propriétaire de

mine n'a d'intérêt à laisser un dépôt de ressources dans le sol que si ce dernier s'apprécie en valeur. D'un autre côté, les marchés d'actifs ne peuvent être en équilibre que lorsque tous les actifs d'une certaine classe de risque ont le même taux de rendement. Ensuite, Hartwick (1977) a établi un principe d'équité entre les générations actuelles et futures, dans un moyen d'un principe de compensation intergénérationnelle selon laquelle les rentes prélevées au fur et à mesure de l'épuisement des ressources naturelles doivent être réinvesties pour produire du capital qui peut remplacer les ressources naturelles épuisées. Tous ces auteurs soutiennent l'idée selon laquelle les rentes augmentent au cours du temps à un taux égal au taux d'actualisation ou taux d'intérêt.

Dans cette même démarche théorique, Samuelson (1954) et Hardin (1968) ont évoqué la théorie des biens publics afin d'expliquer la combinaison entre les propriétés de non rivalités des usages et de non-exclusivité débouchant sur une typologie des biens communs. Ces biens permettent de distinguer les problèmes posés en relation avec le point de vue de l'organisation et de la régulation économique. Par contre, les biens rivaux en accès libre posent un autre problème, généralement désigné comme « la tragédie des biens communs ». Notamment, il s'agit de la déforestation, donc, de l'épuisement des forêts et, parallèlement la dissipation de la rente pour tous les agents qui peuvent être attendus de ce type de situation. Or, l'omission des conséquences causées par l'exploitation des ressources naturelles (la déforestation) a favorisé l'évocation des outils régulateurs des effets externes au moyen des théories des externalités et de l'analyse coût avantage qui apportent des réponses à certaines questions, précédemment posées. Cela a permis respectivement à Pigou (1920) et Nordhaus (1977) de concevoir la théorie des externalités négatives et celle de l'analyse coût-avantage.

En matière d'externalités négatives, Pigou (1958), s'interroge, au préalable, sur la maximisation du bien-être social qui est, selon lui, la situation optimale de la collectivité, suite à la déforestation, car c'est l'optimum qui détermine les choix politiques maximisant le bien-être de la société. Ensuite, il a posé les bases d'une théorie des externalités négatives, tout en mettant en place les fondements de l'intervention de l'Etat afin de réglementer, par taxation, la protection ou la restauration de la qualité de l'environnement (taxe Pigouvienne), suite à la déforestation. De même, cet auteur évoque la prise en compte des externalités négatives en intégrant l'environnement au calcul économique, également, de façon concrète, c'est-à-dire sur leur internalisation dont les modalités principales sont la tarification et l'émission de droit à polluer en montrant que l'effet externe se présente comme une divergence entre le produit marginal social et privé.

Il y a, ensuite, l'établissement de droits de propriété et la négociation marchande entre les pollués et les pollueurs, quelle que soit la répartition initiale des droits entre eux émis par Coase (1960). Cela permettra de résoudre l'externalité sans intervention de l'Etat, en cas de nuisance ou d'externalité négative liée à la déforestation, par exemple, qui est l'une des principales causes de l'épuisement de la forêt. Il a commencé à promouvoir l'idée d'un marché de la pollution ; ce qui a permis, tout de même, à Dales (1968) de préciser que c'est le manque de définition des droits de propriétés sur les biens de la nature qui est une cause d'existence des externalités nécessitant, à cet effet, un marché des droits à polluer. Beaumais et Chiroleu-Assouline (2001) puis Chiroleu-Assouline (2015) ont prôné l'intervention de l'Etat par incitation et soutiennent la promotion d'instruments conformes au marché, comme les taxes carbone pour l'environnement et les droits de propriété sur la faune et la flore. En plus, ce concept des effets externes a été élargi par celui des externalités transfrontalières, car parmi les multitudes cas de pollution, plusieurs postes émetteurs dont les industries et l'approvisionnement en énergie causant déjà le changement climatique actuel constituent l'un des problèmes d'interconnexions de plusieurs pays du monde (Hanley et al, 2013).

Pour l'analyse coût-avantage, les développements néoclassiques et le problème du réchauffement climatique ont été qualifiés de conception de la soutenabilité dite faible. Nordhaus (1977, 2010) a, ainsi, proposé la notion de Back-stop technique selon laquelle la concentration des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère était la question environnementale qui devrait être prise très au sérieux. De plus, les activités économiques visées pour impact climatique causé sont l'énergie, la déforestation et l'agriculture bien que la première prédomine dans le rejet de dioxyde de carbone en raison de son implication dans le développement économique. Vite fait, Nordhaus (1977) s'est lancé dans l'analyse économique du climat, en proposant ainsi une analyse coût-avantage (ACA) dans le calcul économique. A la suite de cette première approche, plusieurs critiques ont été formulées à l'endroit des économistes néoclassiques par les économistes écologistes sur l'opportunité d'intégrer ou non l'environnement dans l'économie, en argumentant leur idée sur les lois de la thermodynamique.

Cette deuxième approche est fondée sur les développements de Sadi en 1824 sur les lois de la thermodynamique évoquée dans son mémoire portant sur la puissance motrice. Toutes les critiques de cette approche relèvent l'inefficacité des instruments des économistes néoclassiques dans la correction des effets négatifs de la déforestation sur le réchauffement climatique. Cela a occasionné l'émergence d'un certain nombre de critiques dont celle de la théorie de la bioéconomie.

Pour la théorie de la bioéconomie, Georgescu-Roegen (1971, 1975) suggèrent aux économistes néoclassiques de mettre en évidence la nécessité de distinguer les fonds écologiques (champs,), dont le fonctionnement fournit, naturellement, des services à la fois écologiques (climat, milieu) et économiques (récoltes), tout en montrant que seules les ressources non renouvelables, disponibles sous formes de stock, sont capables de fournir, sous forme de flux dont l'intensité dépend de l'homme et de sa technologie, la puissance nécessaire à initier un mouvement de croissance économique. Georgescu-Roegen propose, également, comme Veblen, de recourir à une épistémologie évolutive, en s'inspirant, pour cela, du deuxième principe de la thermodynamique qui consiste à la dégradation de l'énergie en chaleur irrécupérable, dit loi de l'entropie et de la biologie évolutive. Ce dernier insiste, sur le caractère irréductible et spécifique des processus socioculturels à l'œuvre dans le développement économique.

La critique s'est poursuivie avec la procédure d'actualisation évoquée par les économistes néoclassiques qui introduisent le temps dans le calcul économique, alors que le temps économique n'a pas de mesure commune avec le temps biologique et écologique, car les processus par lesquels les écosystèmes se forment et leur évolution échappent à l'homme (Passet, 1985). Aussi le même auteur a-t-il analysé, en 1996, l'héritage mécanique de Newton pour montrer les limites, tout en disant qu'à l'intérieur du cadre de pensée développementaliste, il n'y a pas de bonne solution pour remplacer la méthode d'internalisation: la voie réglementaire est peu efficace.

Harribey (1997) démontre sa critique sur trois contradictions théoriques de l'intégration des ressources naturelles dans le modèle néoclassique d'équilibre général, en évoquant, premièrement, l'impossibilité de réaliser un optimum de Pareto à cause des effets externes existants. De plus, selon lui, il y a une difficulté à créer un marché et la non-possibilité d'estimer, en terme, monétaire les biens de la nature, en l'occurrence des forêts. Deuxièmement, il démontre que si le problème de redistribution de revenus et des patrimoines naturels exerce une influence dans l'évaluation des tendances marginales, alors l'unicité d'équilibre et l'optimum visé seront remis en cause. Enfin, troisièmement, les effets négatifs de l'environnement sont dus aux coûts et avantages internalisés. Pour Harribey (1997), cette impossibilité d'estimer, en terme monétaire, les forêts est due à l'inexistence de base de calcul pour la fixation de prix, l'incertitude qui entoure les conséquences des décisions, en matière d'environnement et la non pertinence du taux d'actualisation pour prendre en compte l'avenir à long terme. C'est, en effet, ce qui les emmène à considérer l'économie comme science du vivant dénommée la bioéconomie plutôt que d'être fondée sur l'utilisation inconsiderée du stock terrestre accumulé au cours du temps (Harribey, 1998 ; Passet, 2000 ; Stamboulli, 2008).

Etant partisans de la vision pluridisciplinaire, Costanza et al, (2012), pensent que l'analyse du marché n'est pas indubitablement inconciliable avec l'économie écologique. C'est ainsi que l'on peut parvenir à avoir une image incluant tous les éléments possibles aux questions scientifiques environnementales à résoudre, à travers une combinaison d'analyses et des méthodes empruntées aux aspects différents. Par ailleurs, pour ces derniers, les analyses des économistes néoclassiques donnent une perspective écologique plus étendue, tout en offrant plusieurs illuminations complémentaires. Par contre, une modification ou remplacement de certaines de leurs hypothèses et des concepts utilisés dans l'analyse du marché sont nécessaires afin d'avoir une bonne appréhension de l'interaction entre déforestation et réchauffement climatique.

A côté de cette théorie de la bioéconomie, la théorie de l'éco-énergétique va retentir afin de pouvoir évaluer la nature de façon non monétaire. Cette théorie est soutenue par plusieurs auteurs dont (Pimentel 1973 ; Odum 1983 ; Faucheux et O'Connor 1997). D'après Faucheux et O'Connor (1997), par exemple, les méthodes d'évaluation monétaire qui consistent à évaluer une dimension physique, à partir des techniques des préférences individuelles, ne sont pas très efficaces, alors que celles non monétaires sont à même de donner les informations en matière d'impact physique de la déforestation sur l'environnement. Dès lors, pour rendre fonctionnelle la prise en compte des critères non utilitaristes dans le cadre de la gestion intégrée des forêts et de l'environnement, les institutionnalistes recommandent de recourir à ce type d'évaluations. Les conservatrices de la nature se sont intéressés à ce débat en proposant la théorie de l'état stationnaire et la théorie des coûts sociaux.

C'est avec Daly (1973) que la théorie de l'état stationnaire a été rétablie à base d'un modèle normatif, après Meadows et al. (1972). Ce modèle a permis de minimiser l'augmentation de la durée de vie des produits, la diminution de leur quantité ainsi que, celle du temps de travail nécessaire à les produire des matières, mais également l'augmentation de la durée de vie et la diminution des naissances en termes de flux humains. C'est donc une démarche qui vise non seulement à infléchir le travail humain et à limiter l'impact des activités humaines sur la déforestation ou l'environnement, mais aussi à réorienter les activités socio-économiques vers une croissance immatérielle. C'est ainsi que, le partage de cette théorie de l'état stable entre Daly (2008) et le Club de Rome, en 1972, a été synthétisée de la manière suivante : pour garder l'écosystème planétaire dans un état stable continuellement, il faut équilibrer notre pression sur la nature et que la population reste constante.

Kapp (1950), quant à lui, a développé la théorie des coûts-sociaux dont la teneur ne correspond pas seulement aux impacts environnementaux des

activités économiques privées (épuiement des ressources, pollution, etc.) mais également aux répercussions sociales des activités de production (comme les conditions de travail insalubres, les accidents de travail, l'instabilité économique et le chômage, etc.). En 1970, Kapp étant l'un des pères fondateurs de l'économie écologique, a contesté l'idée soutenant que l'économie est un système isolé dont la nature est une variable indépendante supplémentaire dans une économie fermée. En s'appuyant sur une vision interdisciplinaire, il pense que la déforestation et le réchauffement climatique sont deux phénomènes qui s'influencent réciproquement. Sa critique a été reprise par de nombreux économistes comme Bennett (1976) ou bien avant par Mishan (1967) qui avait montré au monde, tous les soucis des coûts sociaux liés à la croissance économique.

Le problème de coûts sociaux étant d'inspiration des économistes néoclassiques, par conséquent résoudre les défaillances du marché dues à l'incapacité des mécanismes de marché à prendre en compte les externalités des activités économiques à l'instar de la déforestation, constitue la problématique de l'économie de l'environnement (Mishan, 1967). Selon ce même auteur (1977), la croissance économique a plus d'impacts négatifs que des bénéfices tirés de celle-ci. Tout simplement, parce que toute la beauté des zones naturelles exceptionnelles sont souvent sacrifiées au commerce touristique et aux communautés traditionnelles par les exigences du développement, alors que la pollution de l'air, du sol et des océans se répandent dans le monde.

Pendant ce temps, Opschoor et Van Der Straat (1993) ont, dans leur recherche, souligné que la distance reste un élément indispensable, tant du point de vue spatial que temporel dans la facilitation des coûts sociaux ou la pratique des transferts de coûts. Nonobstant l'adoption de différentes normes ISO, en matière de production et de consommation, l'exploitation des forêts a toujours des impacts négatifs sur l'environnement. En effet, les effets de la déforestation en matière d'exploitation forestière et de la montée des températures via l'augmentation des gaz à effet de serre se manifestent dans le long terme et ce, sur les échelles géographiques très importantes. A part cela, il y a un décalage qui existe entre le niveau où la production se réalisera et celui où les conséquences environnementales doivent être résolues.

B- Travaux empiriques

La controverse sur le plan empirique est caractérisée par plusieurs travaux analysant la relation entre le changement climatique et la déforestation comme facteur du secteur forestier. Il est l'un des secteurs dans lequel les contributions des travaux de Nordhaus (1977), entre la croissance économique et le changement climatique concernant le problème de dioxyde de carbone, ont montré, à travers ses modèles précités, que la croissance, l'agriculture, la population,

la déforestation etc. ont des effets sur les émissions de carbone aux Etats-Unis.

Pearce et Pearce (2001) ont, quant à eux, réalisé une analyse coût-avantage pour les forêts tropicales, à partir de valeurs obtenues. Ces derniers avaient considéré que les services non-marchands qui génèrent des bénéfices peuvent être capturés par des mécanismes de marchés. L'utilisation d'une forêt primaire est plus rentable économiquement que lorsqu'elle est orientée vers une autre utilisation. Cependant, l'utilisation d'une forêt secondaire peut l'être également en matière de production agricole ou forestière, à condition que le potentiel nutritif des sols ne soit pas trop dégradé.

Pour sa part, Kindermann et al. (2008) ont utilisé les modèles (DIMA ; GCOMAP ; GTM) d'usage des terres et de foreries afin d'estimer les fonctions d'offre ou de coût marginal de la déforestation au Cameroun et au Brésil. Selon ces estimations, en 2020, 1,8 milliards d'émissions de tCO₂ venant de la déforestation pourrait être évitées pour un prix inférieur à 10 USD/tCO₂. En outre, environ 2,5 milliards d'émissions de tCO₂ pourraient être abattues, pour un prix inférieur à 20 USD/tCO₂ et environ 3,9 milliards d'émissions de tCO₂ pourraient être abattues, pour un prix inférieur à 30 USD/tCO₂.

Dans la même optique, Strassburg et al. (2008) utilisent un modèle basé sur la relation entre les coûts d'opportunité et la déforestation dans 8 pays, puis extrapolé à 20 pays pour estimer la courbe de coût marginal de la déforestation évitée. Ils estiment un potentiel d'abattement d'émissions à bas coûts encore plus important que Kindermann. En effet, pour eux, environ 3,9 milliards d'émissions de tCO₂ pourraient être évitées pour un prix inférieur à 10 USD/ tCO₂, comparativement aux analyses antérieures de Chomitz et Gray (1996) sur la déforestation, au Belize, en Amérique Centrale ; Malhi et Grace (2000) sur les flux et stocks de carbone dans une forêt humide et dense proche de Manaus, en Amazonie, au Brésil et Le Terrestrial Carbon Group Project (2009) estimé sur les forêts des PED. S'il est reconnu l'importance des modèles d'équilibre général, il n'en demeure pas moins de voir quelques études inspirées par d'autres modèles macroéconomiques tel que le SVAR (Vecteur AutoRegressif Structural) et microéconomiques, à partir des données primaires.

C'est d'ailleurs le cas d'une étude de Wolff et al. (2018) portant sur la combinaison des effets de la déforestation et les changements climatiques utilisant une analyse d'arbre de régression optimisée. Ils intègrent des mesures spatiales de la déforestation et de la température après des enquêtes sociales approfondies dans près de 500 villages de Kalimantan (Bornéo indonésien). Leurs résultats mettent en évidence le rôle des forêts dans la régulation du climat local. Ce service écosystémique est gravement menacé et pourtant de plus en plus vital pour éviter les

maladies dues à la chaleur et permettre l'adaptation au changement climatique mondial (Wolff et al. 2018).

Concernant les modèles macroéconomiques, à l'instar de SVAR, on peut citer l'étude de Coulibaly (2014) sur le lien croissance, consommation d'énergie et environnement dans les pays de l'UEMOA où il utilise la méthode SVAR. Il trouve, tout d'abord, dans ses recherches que dans le long terme, l'énergie et la croissance sont des sources d'émissions de CO₂ dans la sous-région. Ensuite, que les chocs énergétiques et les chocs de pollution ne sont pas symétriques dans la zone UEMOA, puisque, dans ses calculs, les cycles de l'énergie et des émissions de CO₂ sont corrélées, mais à un degré moindre. Cela lui a permis de déduire, de ces résultats, que la zone UEMOA n'est pas encore une zone énergétique et environnementale optimale ou du moins aboutie. Cependant, Sotamenou et Nguepdjio (2019), dans le même état d'esprit, ont utilisé la technique ARDL où, les résultats obtenus montrent qu'à long terme, la consommation d'énergie n'a pas des conséquences sur l'augmentation des émissions de CO₂, mais à court terme, par contre, la consommation d'énergie et la croissance économique avaient des effets négatifs sur la dégradation de l'environnement, au Cameroun. De même, récemment, les travaux Nkengfack et al. (2020) qui, en s'intéressant aux questions de gouvernance et des institutions pour la protection de l'environnement au sein des pays de la CEEAC, ont utilisé la méthode des double moindres carrés et celle des variables instrumentales. Ils aboutissent, après estimation, à deux types de résultats dont une Pseudo CEK en forme de N, entre la croissance économique et les différents types de polluants retenus. Les émissions de gaz à effet de serre (GES) suivraient, alors une tendance sinusoïdale ou cyclique dans la CEEAC, d'une part, l'amélioration de la gouvernance et de la qualité des institutions permettent d'atténuer ou de réduire les niveaux d'émission des gaz à effet de serre (GES) dans les pays de la CEEAC, d'autre part.

C- Enseignements de la revue de la littérature

En somme, il est à noter de cette revue quelques leçons portant sur les fondements théoriques et empiriques. En théorie, il existe une abondante littérature avec des outils nécessaires portée sur les ressources naturelles et l'environnement. Pour les travaux empiriques, il est à noter de façon générale que plusieurs travaux sont consacrés au modèle d'équilibre général et très peu de travaux abordent d'autres modèles macroéconomiques tels les modèles SVAR, DGSE (modèles d'Equilibre Général inter temporels Stochastiques) et VECM (Modèle Vectoriel à Correction d'Erreur) etc. D'où, cet article va s'appuyer sur l'approche de l'intégration de l'environnement dans le modèle d'équilibre général en apportant sa contribution dans l'utilisation de la méthode SVAR sur

les études entre la déforestation et le réchauffement climatique.

IV- Méthodologie

De nombreux travaux ont été consacrés au modèle de Solow (1956) pour analyser la relation entre l'économie et l'environnement, de façon générale. Cependant, ce même modèle a été revu par Brock et Taylor (2004) puis nommé «modèle augmenté de Solow». En débutant par une fonction de production concave à rendement d'échelle constant de type Cobb Douglas, mais en admettant également que dans l'économie, le processus de production engendre de la pollution H (Coulibaly, 2014) selon l'équation :

$$H = \Omega F(K, BL) \quad (1)$$

Où F est la taille de l'économie et Ω les techniques de production. Le taux de croissance des émissions de polluants est :

$$\frac{\dot{H}}{H} = \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} = \frac{\dot{F}}{F} \quad (2)$$

L'économie F croît au taux $\frac{\dot{F}}{F} = (\delta + n + Z)$, où l'économie crée un secteur de dépollution influencé par les techniques de production dont le taux de croissance est $\frac{\dot{\Omega}}{\Omega} = -Z_A$. Or, en s'inspirant du modèle d'impact de la pollution de Copeland et Taylor (1994), Brock et Taylor (2004) sont parvenus, après de multiples développements ^b, à l'équation (3) ci-après :

$$\left(\frac{1}{N}\right) \left(\log \frac{e_{it}^c}{e_{it-N}^c}\right) = \beta_0 + \beta_1 \log(e_{it-N}^c) + \beta_2 \log(Z_{Ai}) + \beta_3 \log(s_i) + \beta_4 \log(1 - \theta)_i + \beta_5 \log(\delta + n + Z)_i + \mu_{it} \quad (3)$$

Donnant ainsi la possibilité à Brock et Taylor de modifier la forme de cette équation (3), en intégrant certaines variables importantes qui affectent positivement les émissions de GES dans l'atmosphère, on obtient :

$$\log(E/Y)_{it} = \gamma_{i0} + \gamma_{i1} \log(w_{it}^p) + \gamma_{i2} \text{Time} + \epsilon_{it} \quad (4)$$

$(E/Y)_{it}$ représente les émissions par tête, w_{it}^p , est un indicateur pouvant prendre en compte d'autres variables et Z_{Ai} , une estimation du progrès technique spécifique à chaque pays en baisse qui est donnée par $-\gamma_{i2}$.

Nous allons utiliser les variables suivantes : La perte du couvert forestier (déforestation), les émissions de CO₂ par tête et les températures dans la première étape. Ensuite, dans la seconde étape, la variable reforestation est introduite pour traiter le problème de seuil optimal. Toutes ces variables sont consignées dans le tableau 1 ci-après.

^a Voir aussi Copeland et Taylor (1994)

^b Voir Brock et Taylor (2004) pour implémentation complète du modèle.

Tableau 1 : Présentations des variables, symboles et signes attendus

Variabes	Symboles	Signes attendus
Emissions du CO ₂	Co ₂	Positif (+)
Températures	T°C	Positif (+)
Déforestation	Tx_def	Positif (+)
Investissements	Fbcf	Positif (+)
Reforestation	Refor	Positif (+)
PIB mondial	PIBmonde	Positif (+)

Source : Auteur à partir de la littérature

D'où, notre équation à des fins d'estimation, pour la première étape, est spécifiquement définie de la manière suivante :

$$(CO_2/tête)_{it} = \gamma_{it} + \gamma_{it} \log(T^0_{it}) + \gamma_{it} \log(\text{Sur-forest}_{it}) + \epsilon_{it} \quad (5)$$

Dans cette même équation, on aura, à la suite du CO₂, comme variable endogène à estimer également une équation avec les températures T°C. Mais, le manque de réalisation fréquente de la matrice de comptabilité nationale dans certains pays de la sous-région n'ayant pas permis d'utiliser le modèle EGC et le caractère inversible du phénomènes étudié, nous nous permettons, dans la présente réflexion, de faire appel à la méthodologie VAR, qui à la suite des critiques de Sims (1980) et de Lucas (1976), a progressivement été imposée au niveau académique. Ainsi, cette méthode VAR ayant un caractère a-théorique a été substituer par une interprétation économique à travers le SVAR.

Pour la seconde étape, l'équation est spécifiée en tenant compte de la forme quadratique de la variable reforestation, afin de calculer les points seuils de chaque pays. Cette équation est de la forme suivante :

$$(CO_2/tête)_{it} = \gamma_{it} + \gamma_{it} \log(\text{fbcf}_{it}) + \gamma_{it} \log(\text{refor}_{it}) + \gamma_{it} \log(\text{refor}_{it})^2 + \gamma_{it} \log(T^0_{it}) + \gamma_{it} \log(\text{PIB_mondial}_{it}) + \epsilon_{it} \quad (6)$$

A- Démarche méthodologique adoptée : la méthode SVAR et ARDL

Dans ce point, une double méthodologie est adoptée, à savoir : la méthode VAR structurelle (SVAR) et la méthode AutoRegressive à retard échelonné (ARDL).

➤ Méthode VAR structurelle (SVAR)

Pour la première, la méthode VAR structurelle est retenue par le fait qu'elle consiste à passer des résidus issus du VAR canonique aux chocs ou paramètres structurels qui, économiquement, peuvent être interprétés. La méthode SVAR est choisie, dans ce travail, parce qu'elle a pris une ascension importante à l'égard des modèles DSGE, car la première génération des modèles DSGE ajustait mal les observations en imposant trop de contraintes aux données.

C'est ainsi que nous adoptons cette procédure suivant les auteurs comme De Serres et Lalondes (1994),

Clarida et Gali (1994), N'Goma (2000), Garatti (2003a et 2003b) et Coulibaly (2014). Supposons que les taux de déforestation, des émissions de CO₂ et des températures suivent un processus stochastique stationnaire auquel répondent trois chocs orthogonaux. Ici, on a des chocs d'offre liés aux forêts et des chocs environnementaux composés des chocs des émissions de CO₂ et des chocs des températures. A cet effet, pour commencer, il est donc nécessaire de passer à une orthogonalité des résidus canoniques qui nous permettront d'obtenir des impulsions non corrélées, à chaque période, à partir d'une décomposition de Choleski qui n'est qu'un processus de trigonalisation de la variance des innovations canoniques. Cependant, comme la décomposition de Choleski ne donne pas lieu aux interprétations économiques de ces impulsions indépendantes, il apparait indispensable de passer à l'identification des chocs structurels qui sont interprétés économiquement. Shapiro et Watson (1988) ainsi que Blanchard et Quah (1989) sont les premiers à s'intéresser à ce sujet. A côté des restrictions d'orthogonalisation, on aura la résolution d'un système de restrictions qui donnent des comportements économiques de la méthode. Ainsi, il est retenu dans ce point, la méthode qui entraîne une interprétation économique comme cela été le cas pour Blanchard et Perotti (2002).

▪ Identification des chocs

La sous identification du modèle SVAR ne donne pas, souvent, la possibilité à une estimation directe en raison de la nécessité d'avoir la spécification pour plus de restrictions supplémentaires d'identification. Cela permet d'entrevoir un moyen pour pouvoir comprendre le fonctionnement du modèle SVAR.

Dans le cadre des modèles macroéconomiques, plusieurs schémas d'identifications—sont, souvent, proposés par la littérature économétrique et statistique, à l'instar des restrictions de court terme (Sims, 1980), des restrictions de long terme (Blanchard et Quah, 1989) et les restrictions sur les signes des chocs (Uhlig, 2005). Sur notre application des effets de l'ampleur de la déforestation, nous allons expliciter le schéma d'identification qui repose sur les restrictions de long terme qui sont les mieux adaptées aux phénomènes environnementaux.

Nous partirons, donc, d'un VAR canonique en présentant, au préalable, la forme primitive, ensuite, la forme réduite qui sera estimée, afin de trouver les paramètres structurels.

Or, cette forme primitive est la suivante : $P y_t = \lambda + \sum_{i=1}^N W_i y_{t-i} + \mu_t$, (7)

D'où, pour obtenir la forme réduite, il suffit de multiplier les deux membres de l'équation (7) de la forme primitive par la matrice P^{-1} qui débouche sur l'équation : (8)

$$y_t = P^{-1}\lambda + \sum_{i=1}^N P^{-1}W_i y_{t-i} + P^{-1}\mu_t. \quad (8)$$

Pour la généralisation de cette forme réduite, nous pouvons l'écrire sous cette forme :

$$y_t = \pi + \sum_{i=1}^N \psi_i y_{t-i} + e_t \quad (9)$$

Avec $\pi = P^{-1}\lambda$; $\pi = P^{-1}W_i$ et $e_t = P^{-1}\mu_t$.

En effet, il convient de dire que la relation $e_t = P^{-1}\mu_t$ en SVAR permet de lier la forme réduite à la forme structurelle. Il faut reconnaître que l'on trouve, dans la matrice carrée et symétrique P, la diagonale composée du chiffre 1. Mais, l'absence des effets simultanés ou structurels entre les différentes variables prendra le chiffre 0 dans le VAR contemporain.

La résolution du problème d'identification du SVAR est d'imposer un certain nombre de restrictions. Pour cela, sous forme structurelle, notre SVAR(p) s'écrit :

$$\begin{pmatrix} 1 & P_{13} & P_{13} \\ P_{21} & 1 & P_{13} \\ P_{13} & P_{13} & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \frac{CO_2}{tête_t} \\ T^0_t \\ Sur - forest_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{10} \\ P_{20} \\ P_{30} \end{bmatrix} +$$

$$\begin{pmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} CO_2/tête_{t-1} \\ T^0_{t-1} \\ Sur - forest_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mu^{CO_2/tête} \\ \mu^{T^0} \\ \mu^{Sur-forest} \end{bmatrix}$$

L'équation (7) peut être réécrite comme ceci $Py_t = W_0 + W_1y_{t-1} + e_t$ (10)

y_t est un vecteur des variables endogènes ($CO_2/tête$, T^0 et $Sur-forest$) ; e_t : les chocs structurels $\mu^{CO_2/tête}$, μ^{T^0} , $\mu^{Sur-forest}$ pour chaque variable du modèle, W_0 : le vecteur des termes constants, W_1 : la matrice des paramètres associés aux variables exogènes (prédéterminées), et P, la matrice des coefficients structurels (effets instantanés).

▪ *Restrictions du modèle SVAR*

Le but, ici, étant d'identifier n^2 de la matrice P. Econométriquement parlant, on doit imposer 6 restrictions identifiants, afin que le modèle soit juste identifié. A cet effet, comme la matrice W est symétrique, alors $n(n+1)/2$ restrictions d'orthogonalisation sont d'ores et déjà admises. Dès à présent, en utilisant la littérature économique, il nous revient d'imposer $n(n-1)/2$ restrictions restantes, soit $3(3-1)/2 = 3$ restrictions dans notre cas, à long terme.

A **long terme**, la détermination des effets d'un choc permanent sur l'une des variables expliquée de notre modèle fera en utilisant les équations (7) et (8) réécrites de la manière suivante :

$$Py_t = C(L) + W\mu_t \quad (11)$$

$$y_t = P^{-1}C(L) + P^{-1}W\mu_t \quad (12)$$

Avec P : la matrice des coefficients structurels des effets instantanés, W : une matrice diagonale des chocs, C(.) : la matrice des paramètres du modèle, et L : le retard.

La transformation de l'équation (12) reprise peut s'écrire :

l'équation (15) peut être réécrite sous la forme d'un modèle à correction d'erreur sans restriction, à partir duquel la dynamique à court terme des variables est

$[I - P^{-1}C(L)]y_t = P^{-1}W\mu_t$ (13), et cela donne, ainsi, ce qui suit, soit

$$y_t = [I - P^{-1}C(L)]^{-1}.P^{-1}W\mu_t \quad (14).$$

Il suffit, alors, de poser $V = [I - P^{-1}C(L)]^{-1}.P^{-1}W$, cette dernière matrice V comprend les effets des chocs cumulés, à long terme, entre les différentes variables. Les valeurs nulles traduisent l'absence d'effet entre ces variables étudiées.

Nous gardons la plupart des restrictions de court terme parce que, dans un premier temps, que les variables climatiques sont toujours impactées par la déforestation dans les pays du Bassin du Congo, à long terme, soit une (1) restriction avec $V_{12}=0$. Dans un second temps, les températures sont influencées par les émissions de CO_2 et que la déforestation n'est plus affectée par ses propres innovations, à long terme, soit deux (2) restrictions (c'est-à-dire $V_{32}=V_{33}=0$).

La matrice est : $V = \begin{pmatrix} 1 & 0 & . \\ . & 1 & . \\ . & 0 & 0 \end{pmatrix}$

➤ *Méthode ARDL : un bref aperçu*

La seconde méthode qui porte sur la technique ARDL est utile. Elle complète les analyses du SVAR permettant ainsi de regarder les questions du seuil optimal de la reforestation qui est susceptible de faire baisser les émissions CO_2 dans chaque pays du Bassin du Congo. Ce seuil optimal permet de se faire une idée sur les efforts fournis par chaque nation aussi bien au sujet de la préservation des forêts que des enjeux des changements climatiques sur les compensations liées aux crédits carbone. Cela se justifie par le fait que, depuis 2005, avec la REDD +, il est question pour les pays forestiers de recevoir une aide financière en communiquant leurs tendances de déforestation à la baisse. Ce qui revient à dire que, plus le niveau de reforestation est élevé pour anticiper la réduction de la déforestation, plus, il est facile de prouver que ces pays ont fait des efforts. C'est pourquoi, l'estimation se fera, en suivant une spécification de la forme quadratique de l'équation (6) de notre modèle.

Cette méthode ARDL utilisée est mise en place par Pesaran et Shin (1997). Dans cette démarche, l'équation (6) devient sous la forme réduite au modèle dynamique AutoRegressif à retard échelonné (ARDL) défini de la manière suivante :

$$y(t) = \alpha + \beta x(t) + \varepsilon(t) \quad (15)$$

Où, $y_i = (CO_2/tête)_i$, $x_i = (refor_i, refor_i^2, Sur - forest_i \text{ ou } T^0_i)$ est un vecteur des variables explicatives ; β_{ij} représente l'ensemble de coefficients du vecteur.

Alors, si les variables sont cointégrées, le terme d'erreur μ_i est un processus I(0) pour tout i et

influencée par l'écart, par rapport à la relation de long terme de la manière suivante :

$$DY(t) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^k \delta_i DY_{t-i} + \sum_{i=1}^k \lambda_i DX_{t-i} + \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (16)$$

où δ et λ ; ε ainsi que β_1 et β_2 représentent, respectivement, la dynamique à court terme, le terme erreur du bruit blanc et la relation de long terme. En suivant, par contre, l'équation (16) ci-dessus développée par Pesaran et Shin (1998), il est exclu les valeurs actuelles de Dx . Dans ces conditions, l'hypothèse nulle du test de Fisher (F) est la non existence de la relation de cointégration suivante :

$$\begin{cases} H_0: \beta_1 = \beta_2 = 0 \\ H_1: \beta_1 \neq \beta_2 \neq 0. \end{cases}$$

La vitesse d'ajustement de la cible vers le long terme a un intérêt primordial. On s'attend à ce que son coefficient soit, à la fois, négatif et significatif, tout en supposant, au préalable, que les variables présentent un retour vers l'équilibre de long terme. Ce qui confirme, d'ailleurs, l'existence d'un mécanisme à correction d'erreur. L'intérêt principal des modèles ARDL est que les relations de court et de long terme sont estimées conjointement. En plus, ces modèles permettent d'estimer les variables quel que soit l'ordre d'intégration, à savoir $I(0)$ et $I(1)$. Ce qui fait que, la faible puissance des tests de stationnarité dans un échantillon de petite taille apparait comme une propriété importante. D'où, il y a une condition fixée, au préalable, qui permet d'avoir la solution de long terme du modèle, à travers l'équation précédente, lorsque par exemple $D(y) = D(x) = 0$:

$$Y(t) = \mu_0 + \theta X(t) + \mu(t), \quad (17)$$

où, $\mu(t)$ sont des séries non corrélées, avec des moyennes égales à zéro et des variances-covariances constantes. Les rapports ci-après : $\left\{ \mu_0 = \frac{-\alpha_0}{\beta_1}; \theta = -\frac{\beta_1}{\beta_2} \right.$, permettent de déterminer, à travers la technique ARDL, les coefficients d'estimations de long terme.

B- Sources de données

Nous utilisons les données portant sur six pays du Bassin du Congo, à savoir le Cameroun, la Centrafrique, le Congo, le Congo démocratique, la Guinée Equatoriale et le Gabon. La période d'estimation est 2001Q1-2017Q4 en une série de données trimestrielles. Ce qui est certain, plusieurs institutions et chercheurs sont favorables à cette démarche de trimestrialiser les données. A ce sujet, il existe plusieurs méthodes de trimestrialisation que sont: les méthodes de lissage purement mathématique, avec Denton (1971) et les méthodes de corrélation qui font appel à des variables indicatrices exogènes dans le but de capter l'information conjoncturelle dans la variable à trimestrialiser. On trouve, ici, les méthodes Chow et Lin (1971), Ginsburgh (1973), Fernández (1981) et Litterman (1983). Dans notre cas, la trimestrialisation s'est faite suivant les méthodes de lissage purement mathématique, avec Denton (1971), tout en faisant

usage du fichier Excel fourni sur la période 2001-2017. Toutes ces données sont extraites des bases de données de la Banque Mondiale 2018, disponible, sur www.databank.worldbank.org et de la FAO 2018.

C- Processus d'estimation du modèle

Pendant ce processus d'estimation du modèle, quatre tests préliminaires y sont effectués, à savoir le test d'hétérogénéité par Hsiao (1986), la détermination du nombre de retard optimal, la stationnarité des variables et le test de causalité au sens de Granger.

En commençant par le test d'hétérogénéité, il en ressort des résultats obtenus que la statistique de Fisher 3 est égale à 92,948, avec une p-value de 0,000, dans le cas d'une hétérogénéité totale, qui part de l'hypothèse, test $H_0^1: \alpha_i = \alpha; \forall_i$. En effet, cette hétérogénéité, en matière de déforestation et de reforestation des pays du Bassin du Congo, est justifiée par les programmes nationaux de chaque pays, en tenant compte des programmes communs à tous les pays à l'instar de REDD+. D'où, le modèle sera spécifié en plusieurs équations de la forme $y_{it} = \alpha_{0i} + \alpha_i'x_{it} + \varepsilon_{it}$ à estimer sur 68 observations par pays avec un SVAR/ARDL selon la structure de la matrice des variances et covariances des erreurs (Bourbonnais, 2015).

En outre, les résultats des tests de racines unitaires (stationnarité des variables) montrent, de façon générale, que les variables émissions de CO₂ par tête, le logarithme des variables T°C, les surfaces forestières, la reforestation et le PIB mondial sont intégrées du même ordre 1, car même celles qui sont intégrées en niveau le seront en différence première. L'acceptation de l'hypothèse nulle de la présence d'une racine unitaire permet de conclure que toutes nos variables sont stationnaires en différence première^c. Le test de causalité de Granger a été utilisé pour donner l'ordre d'exogénéité des variables utilisées dans le VAR contemporain en déterminant, au préalable, leurs degrés d'exogénéité et d'endogénéité. Il est tout de même constaté, une double causalité entre les émissions de CO₂ et la déforestation dans, quasiment, tous les pays, sauf au Congo où, il n'existe pas de lien de causalité entre le CO₂ et la déforestation.

Nous avons, également, déterminé le nombre de retard optimal pour chaque pays, car il est nécessaire avant la spécification du modèle VAR contemporain tout comme l'estimation du SVAR. Ici, il est à retenir que les critères Akaike et Schwarz convergent tous pour un nombre optimal de retard égal à quatre ($p^*=4$) pour cinq (5) pays du Bassin du Congo, sauf en Guinée Equatoriale où le retard égal trois ($p^*=3$),

^c Les résultats sont consignés en annexe 2

en prenant appui sur la littérature existante, l'étude de la cointégration, pour sa part, se fait à partir de la méthode de Johansen (1988). Dans le cas des SVAR, d'après les auteurs comme Colletaz et Marois (1991), les résultats de ces tests sont sensibles au nombre de retards sélectionnés. Pour Enders (1995), la cointégration est gérée, selon sa méthode qu'il a développée et le détail de ces tests se fait sur une simple demande. En outre, il existe les tests complémentaires permettant la validation de la technique ARDL et du VAR utilisés. D'où, après estimation, il est avéré que nos deux méthodes ont bien passé les tests d'absence d'autocorrélation des résidus et les tests de la stabilité. Pour la technique ARDL, les tests habituels appliqués semblent présenter les propriétés attendues. Parmi ces tests^d, on a : le test d'autocorrélation des résidus de Godfrey.

Les statistiques et les P-values de premier ordre de ce test, pour chaque pays, se présentent respectivement de la manière suivante : $\chi^2=0,42/\text{prob.}\chi^2=0,51$ pour le Cameroun ; $\chi^2=1,09/\text{prob.}\chi^2=0,29$ pour la RCA ; $\chi^2=0,003/\text{prob.}\chi^2=0,98$ pour le Congo ; $\chi^2=0,69/\text{prob.}\chi^2=0,40$ pour la RDC ; $\chi^2=2,16/\text{prob.}\chi^2=0,14$ pour la Guinée Equatoriale ; $\chi^2=0,42/\text{prob.}\chi^2=0,51$ pour le Gabon. En ce qui concerne le SVAR, les résultats sont les suivants : F-Stat=10,89/prob=0,000 pour le Cameroun ; F-Stat=2,58/prob=0,008 pour la RCA ; F-Stat=3,64/prob=0,033 pour le Congo ; F-Stat=5,37/prob=0,008 pour la RDC ; F-Stat=3,27/prob=0,047 ; pour la Guinée Equatoriale et F-Stat=3,83/prob=0,028 pour le Gabon. Les résultats obtenus prouvent également que le modèle VAR estimé est aussi stable.

V- Présentation et interprétation des résultats

Les tableaux 2 et 3 ci-dessous présentent deux résultats essentiels sur le court et le long terme.

Tableau 2 : Résultats de long terme

CAMEROUN			
	<i>CO₂/tête</i>	<i>LTC</i>	<i>LSurf_forest</i>
<i>CO₂/tête</i>	1,000	0,000	0,346***
<i>LTC</i>	1,022***	1,000	0,330***
<i>LSurf_forest</i>	0,559***	0,000	0,000
CENTRAFRIQUE			
	<i>CO₂/tête</i>	<i>LTC</i>	<i>LSurf_forest</i>
<i>CO₂/tête</i>	1,000	0,000	0,292***
<i>LTC</i>	0,006	1,000	-0,027
<i>LSurf_forest</i>	0,042***	0,000	0,000
CONGO			
	<i>CO₂/tête</i>	<i>LTC</i>	<i>LSurf_forest</i>
<i>CO₂/tête</i>	1,000	0,000	0,436***
<i>LTC</i>	0,431***	1,000	0,156
<i>LSurf_forest</i>	0,036***	0,000	0,000
RD CONGO			
	<i>CO₂/tête</i>	<i>LTC</i>	<i>LSurf_forest</i>
<i>CO₂/tête</i>	1,000	0,000	0,219***
<i>LTC</i>	0,867***	1,000	0,161
<i>LSurf_forest</i>	0,223***	0,000	0,000
GUINEE EQUATORIALE			
	<i>CO₂/tête</i>	<i>LTC</i>	<i>LSurf_forest</i>
<i>CO₂/tête</i>	1,000	0,000	0,129***
<i>LTC</i>	0,059	1,000	0,014
<i>LSurf_forest</i>	0,611***	0,000	0,000
GABON			
	<i>CO₂/tête</i>	<i>LTC</i>	<i>LSurf_forest</i>
<i>CO₂/tête</i>	1,000	0,000	0,011***
<i>LTC</i>	0,052	1,000	0,000
<i>LSurf_forest</i>	2,416***	0,000	0,000

Source: Calcul de l'auteur

Notes: Les seuils de significativité retenus sont respectivement de 1 % (***), 5 % (**) et 10 % (*)

^d Pour le Bounds test et les tests CUSUM (cf. annexe 2 et 3)

Tableau 3 : Résultats de court terme pays par pays [Auto Regressive Distributive Lags (ARDL)]

Variables	Equation du CO ₂ par tête						Equation des températures					
	Centrafrique (3, 4, 4, 3, 4)	Congo (2, 4, 2, 1, 4, 2)	RD Congo (3, 1, 3, 3, 2, 4)	Guinée Eq (3, 2, 4, 4, 0, 2)	Gabon (3, 4, 0, 0, 0, 2)	Centrafrique (3, 4, 4, 4, 3, 4)	Cameroun ARDL (4, 2, 2, 0, 0, 0)	Centrafrique A ARDL (4, 4, 4, 4, 3, 4)	CongoARDL (4, 0, 0, 0, 1, 0)	RD Congo (4, 2, 4, 4, 4, 4)	Guinée Eq (4, 0, 2, 4, 0, 2)	Gabon ARDL (4, 0, 0, 0, 0, 0)
CointEq(-1)	-0,036*** (-137,05)	-0,03*** (-8,514)	-0,013*** (-86,28)	-0,19*** (229,70)	-0,034*** (-537,08)	-0,012*** (-82,70)	-0,881*** (-5,314)	-1,076*** (-8,54)	-1,053*** (-8,61)	-0,925*** (-7,44)	-1,057*** (-8,66)	-1,070*** (-8,85)
LFbcf	-0,036*** (165,23)	0,01*** (-4,41)	0,0004*** (35,41)	0,0007*** (19949)	0,005*** (165,23)	0,044*** (708,74)	0,368*** (2,784)	0,060 (0,86)	-0,009 (-0,22)	0,011 (0,92)	-1,010 (0,49)	-0,021 (-0,24)
LSur_refor	2,472*** (-25078)	-21,36*** (-6,95)	-2,16 (-1,27)	0,409*** (55,44)	4,118** (4,57)	-12,057 (-0,44)	-4,509 (-0,545)	298,389** (2,08)	9,047 (0,43)	2,620 (0,14)	-2,626 (-0,72)	-39,064 (-0,70)
LSur_refor ²	-0,107*** (146,55)	1,35*** (7,07)	0,13*** (21,99)	-0,021*** (-1179,3)	-0,23*** (46,91)	0,757*** (7,106)	-0,007 (-0,267)	-18,885** (-2,09)	0,536 (-0,43)	-0,136 (-0,15)	0,204 (0,73)	2,443 (0,70)
Ltempératures	-0,0008*** (146,55)	0,0006*** (528,17)	-0,0008*** (29,36)	-0,001 (2326,5)	0,014*** (20,93)	0,009*** (60,06)						
Co ₂ par tête							1,058 [†] (1,695)	12,404** (2,03)	-1,021 (-0,41)	6,285 (0,45)	-0,145 (2,58)	-0,782 (-0,51)
LPib Mondial	0,380*** (25,28)	0,03*** (12,11)	0,26*** (60,31)	0,01*** (2526,4)	0,438*** (6,23)	0,281*** (-33,68)	-0,230 (-0,665)	0,025 (-0,39)	-0,015 (-0,34)	0,007 (0,23)	0,018 (0,31)	0,059 (0,59)
Constante	-25,901*** (-180,59)	0,002*** (729,28)	-0,003*** (-209,92)	-0,07*** (-93,09)	0,007*** (-386,33)	-0,003*** (-261,1)	5,468 (0,715)	3,073*** (5,80)	2,972*** (5,67)	2,657*** (5,65)	2,960 (5,60)	3,022*** (5,73)
Points Seuils	11,551	Indéter- miné	Indéter- miné	33 090,5	7 331,9	Indéter- miné	Indéter- miné	2 697,28	Indéter- miné	Indéter- miné	Indéter- miné	Indéter- miné

Source : Calcul de l'auteur

Notes: Les valeurs absolues des t-student sont entre les parenthèses sous les coefficients. Les seuils de significativité retenus sont respectivement de 1 % (***), 5 % (**) et 10 % (*). Les estimations par pays se fondent sur un modèle ARDL: un retard du Pib mondial a été choisi pour quatre pays, et aucun pour les autres RD Congo et le Gabon.

A long terme, la déforestation a des effets néfastes sur le changement climatique dans l'ensemble des pays du Bassin du Congo

Les résultats de long terme sont issus du modèle SVAR. La perte des surfaces forestières affecte négativement les émissions de CO₂ dans tous les pays du Bassin du Congo, alors que dans trois pays (le Cameroun, la RD Congo et le Gabon), elle a des effets négatifs indirects sur les températures.

Il ressort du tableau 2 ci-dessus qu'il est retenu de ces résultats, uniquement la dynamique de long terme des émissions de CO₂ et des températures. Concernant la dynamique des émissions de CO₂, la déforestation a des effets positifs et significatifs sur les émissions de CO₂, au seuil de 1%, dans l'ensemble des pays de la sous-région. Lorsque la déforestation accroît de 1%, les émissions de CO₂ augmentent approximativement de plus de 0,4 ; 0,4 ; 0,3 ; 0,2 et 0,1 tonne métrique par habitant, respectivement au Congo, au Cameroun, en Centrafrique, en RD Congo et en Guinée Equatoriale. Cependant, le Gabon est le seul pays de la zone où cet accroissement de 1% de la déforestation est à moins de 0,01 tonne métrique par habitant. Cette hypothèse est similaire aux résultats obtenus par Nordhaus (2010) pour qui les activités économiques visées pour impact climatique causé sont l'énergie, la déforestation et l'agriculture, bien que la première prédomine dans le rejet de dioxyde de carbone en raison de son implication dans le développement économique. Ce point de vue est soutenu par de Wasseige, (2016) dont les travaux sont essentiellement consacrés à l'explication des effets réciproques entre les indicateurs climatiques et la déforestation dans le long terme.

De même, il apparaît, au sujet de la dynamique des températures le constat général selon lequel, il existe deux groupes de pays dans le Bassin du Congo où, dans le premier, constitué des pays comme le Cameroun, le Congo et la RD Congo, la déforestation impacte indirectement et significativement au seuil de 1%, de façon positive, par l'intermédiaire des émissions du CO₂ les températures. En effet, un accroissement de la déforestation de 1%, entraîne une hausse des températures à ces trois pays, respectivement d'environ à peu près 1° C, au Cameroun et en RD Congo et à moins d'environ 0,4° C, au Congo. Ces résultats réconfortent, pour ces trois pays, ceux obtenus par (Janicot, 1995 ; Sultan et al, 2001, Mahé et al, 2005, Jupp et al, 2010) qui montrent qu'en raison du faible impact de la perte des forêts dans la sous-région sur les températures, il semble difficile, actuellement, de tirer des conclusions définitives de l'impact de la déforestation sur des températures. Ce qui confirme, en revanche, dans le second groupe, que l'on ne trouve aucun impact actuellement de la déforestation sur les températures.

Tous ceux-ci peuvent être également soutenus par les arguments des auteurs comme Lawrence et Vandecar, (2015) qui prouvent, aujourd'hui, que le constat fait de ces impacts de la déforestation sur les facteurs

climatiques en Afrique est moins visible tandis que dans la sous-région, il y a des faits qui démontrent ses effets sur le climat local, et qu'au niveau mondial les connexions sont inconnues. Au regard de ces résultats, il nous paraît important de présenter une analyse des fonctions des réponses impulsionnelles issues, notamment, de la méthodologie SVAR utilisée.

- Analyse des réponses impulsionnelles dans le Bassin du Congo

Pour l'analyse des réponses impulsionnelles des pays du Bassin du Congo, on trouve sur une période de quarante observations, les réponses des émissions de CO₂ par tête et des températures aux effets ou chocs de la déforestation. De facto, ici, la relation réelle entre les variables n'est pas déterminée par le lien de causalité. Puisque, dans notre relation émissions de CO₂ par tête, températures et déforestation ; les effets de la déforestation qui induisent de la pollution sont d'un grand intérêt dans un contexte de réchauffement climatique inquiétant et de la diminution des forêts dans le Bassin du Congo. Notons que, les réponses des variables à un choc quelconque, données par une représentation graphique, renvoient, généralement, à une optique de la dynamique de l'interaction dans un système d'équations.

Pour commencer, il convient de signaler que les réponses de ces variables aux différents chocs sont présentées en indiquant les bornes à 95 %, tout en reconnaissant la prise en compte des restrictions de neutralités posées à long terme. A partir des graphiques 1 et 2 en annexe 1, nous avons rapporté les réponses des émissions du CO₂ et de la déforestation pour un écart type de 1 % dans tous les pays du Bassin du Congo. Il est constaté, sur ces graphiques, qu'un choc de la déforestation ou des émissions de CO₂ entre eux entraîne réciproquement une contraction dans une durée de périodes données (correspondant à deux ans) maximum dans les six (6) pays. Cela correspond un peu aux résultats obtenus dans le long terme et attendus, même s'ils présentent l'ampleur des effets distincts. En effet, on comprend bien que ces pays ont quasiment les mêmes structures ou outils, en matière de lutte contre la déforestation avec les programmes REDD +, lancés depuis 2005, ainsi que les négociations de la CCNUCC la même année. En réalité, les effets de la déforestation et des émissions du CO₂ dans tous les pays se dissipent, dès la première et la deuxième période, tout en tendant plus vite et beaucoup plus vers des amplitudes faibles et stables.

Par contre, en ce qui concerne les effets d'un choc de la déforestation sur les températures représentées dans les pays du Bassin du Congo, nous constatons plutôt une petite divergence et que ces effets sont presque identiques pour les cinq pays, sauf en RD Congo. De plus, il est à retenir que la dissipation des effets d'un choc de la déforestation dans ces cinq pays apparaît à partir de la première période avant de devenir stable par la suite. Pendant ce temps, en RD

Congo, ces chocs de la déforestation continuent de se manifester, même jusqu'à la troisième période.

C'est à partir de cette durée de deux (2) ans maximum de réaction à un choc de la déforestation ou des émissions de CO₂ pour les six (6) pays, qu'il apparaît nécessaire de voir les efforts fournis par les pays du Bassin du Congo, en matière de reforestation pour pouvoir absorber les émissions de CO₂.

La reforestation est un important levier de court terme dans l'absorption des émissions de CO₂: apparition de deux groupes sur les efforts fournis pour la conservation des forêts à partir de la détermination des niveaux de seuils.

Sur le court terme, la technique ARDL a été mobilisée, du fait de la courte durée dans l'obtention des espaces forestiers plantés capables d'absorber les émissions du CO₂. Parmi ces deux groupes, le premier montre l'existence d'une relation entre la préservation des forêts et les indicateurs du changement climatique, alors que dans le second groupe, il y a l'inexistence de la relation entre ces deux phénomènes.

Pour des points seuils, ils sont présentés à travers le tableau 3 (cf. infra) en tenant compte seulement de la dynamique de court terme. Tout d'abord, il a été expliqué que dans cette partie, il est examiné les points de seuils à travers la technique ARDL. La formule générale de calcul des points de seuils est la suivante : $x^* = \exp\left(-\frac{\beta_1}{2\beta_2}\right)$, étant donné que notre équation finale à fin d'estimation est semi logarithme, alors posant x^* =Surfaces de forêts plantées (en hectare).

Cela part de l'idée selon laquelle, le taux de reforestation et le PIB mondial ont des coefficients positifs et significatifs, au seuil de 1%, alors que le taux de reforestation au carré et la force de rappel pour chaque pays a des coefficients négatifs et significatifs au seuil de 1%. Les coefficients de ces forces de rappel sont respectivement de -0,050 ; -0,03 ; -0,013 ; -0,19 ; -0,034 et -0,012 pour le Cameroun, la Centrafrique, le Congo, la RD Congo, la Guinée Equatoriale et le Gabon. Il est à retenir, également, que pour tous les pays prouvant l'existence d'un point de seuil maximal, le coefficient du taux de reforestation doit être positif et significatif. Par contre, son carré est négatif et significatif.

Donc, à l'issue des estimations, on constate qu'il existe deux groupes, en matière de points seuils dans ces résultats. Dans le premier groupe, on trouve le Gabon et le Congo, alors que dans le second groupe, on a le Cameroun, la RD Congo, la Guinée Equatoriale et la Centrafrique. Ces seuils montrent qu'en réalité, il existe une relation entre les émissions du CO₂/températures et la reforestation dans le second groupe, avec les points seuils respectivement de 11,551 ; 33 090,5 ; 7 331,9 et 2 697,28 hectares des surfaces forestières maximales. Cependant, dans le premier groupe,

l'indétermination de ces seuils ou l'inexistence de la relation entre les émissions du CO₂ et la reforestation explique combien de fois ces trois autres pays investissent vraiment dans la gestion durable des forêts. Dans ce premier groupe, lorsque la reforestation augmente, toute chose égale par ailleurs, entraîne une réduction des émissions du CO₂. La particularité dans la détermination de ces seuils se trouve en Centrafrique parce que ce pays montre non seulement la non existence de la relation entre le CO₂ et la reforestation, mais prouve, quand même, l'existence de la relation entre la reforestation et les températures.

En réalité, cette partie du travail met en relation le CO₂ (tonne métrique par tête) et la reforestation (reboisement) des surfaces gagnées en termes de forêts. Ce qui nous permet de regarder la capacité que possèdent les pays du Bassin du Congo dans l'absorption des émissions du CO₂, par rapport à leurs efforts consacrés pour la préservation des forêts. Dès à présent, après avoir montré en amont que la déforestation dans la sous-région avait un effet négatif dans l'augmentation des émissions du CO₂, il convient de signaler que nos résultats révèlent également que la croissance économique mondiale est le principal moteur de l'augmentation de ces émissions du CO₂ dans l'atmosphère.

Ce qui est vrai, c'est que tous les pays de l'annexe 2, tels que les Etats-Unis, le Japon pour ne citer que ceux-là et les nouveaux pays émergents comme la Chine, l'Inde, l'Afrique du Sud, la Russie et le Brésil sont responsables de la déréglementation du climat mondial. Pendant ce temps, dans le premier groupe, il existe une possibilité de compensation à leur égard au vu de leurs efforts/ou investissements consacrés à la gestion des forêts. Ce qui prouve bien que ces pays du premier groupe aient le droit de bénéficier des crédits carbonés / ou d'une compensation financière alimentée par des fonds fédéraux et des fonds internationaux venant des pays de l'annexe 1 tel que cela a été proposé lors des discussions en Novembre 2007, à Paris (Tsayem, 2010)., Par ailleurs, deux faits sont remarquables dans le premier groupe, à savoir : le Gabon a connu dix ans de déforestation nulle et le Congo est l'un des meilleurs élèves en matière de reboisement dans la sous-région. En plus, ces résultats réconfortent empiriquement les arguments des auteurs comme (Weitzman, 2007 ; Godard, 2007) qui se penchent en faveur d'une prévention limitée, en estimant qu'une politique ambitieuse de réduction des émissions revient à faire supporter des coûts importants aux générations les moins riches, les générations actuelles. Tout cela au profit de générations futures qui, dans un siècle, seront beaucoup plus riches que les premières.

VI- Conclusion

Au terme de cet article qui examine l'analyse économique des effets de la déforestation sur le changement climatique, il a été mobilisé la méthodologie SVAR et la technique ARDL pour

appréhender empiriquement la relation dans les six (6) pays de la sous-région. A cet effet, il en résulte que dans l'ensemble des pays du Bassin du Congo, les sources des variations des émissions du CO₂ par tête ont pour origine la déforestation. De plus, les chocs d'innovations dans le secteur forestier ne contribuent presque pas à l'évolution de la montée des températures.

En sus des politiques de la gestion forestière initiées par le programme REDD + dans ces pays, il convient également de souligner que, sur les réponses impulsionnelles un choc de la déforestation ou des émissions de CO₂ entre eux entraîne réciproquement une contraction dans une durée de périodes données (correspondant à deux ans) maximum dans les six (6) pays. Ainsi, les effets de la déforestation et des émissions du CO₂ dans tous les pays se dissipent dès la première et la seconde période, tout en tendant plus vite et beaucoup plus vers des ampleurs faibles et stables. De plus, de ces effets de la déforestation sur les émissions du CO₂, il ressort que dans les pays du Bassin du Congo, deux groupes y apparaissent concernant la détermination des points seuils. Il y a le premier groupe qui gère au mieux ces forêts et prouve l'inexistence de la relation entre la reforestation et l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère. Cependant, dans le second groupe composé, notamment de la RD Congo, la Centrafrique et la Guinée Equatoriale, on trouve qu'il existe bel et bien la relation entre la reforestation et l'augmentation du CO₂.

A cet effet, il serait nécessaire de mettre en place les mesures allant dans le sens de compenser les trois pays méritant de recevoir ces fonds venant des pays riches, à savoir le Congo, le Gabon et le Cameroun, compte tenu des enjeux économiques du changement climatique à travers les crédits carbone afin de pousser les trois autres pays à fournir plus d'efforts. Toutefois, si les résultats sont un peu satisfaisants, nous restons, tout de même, confiants pour dire que ces pays du second groupe ne font partie des pays pollueurs, car ils sont tous dans la dynamique de réduction des émissions du CO₂. Enfin, Les recherches futures sur l'utilisation des données microéconomiques dans l'appréhension du phénomène dans la sous-région seraient nécessaires.

Références bibliographiques

[1] Beaumais, O et Chiroleu-Assouline, M., (2001), "Économie de l'environnement", Éd.Bréal, 240 pages
[2] Bennett, J. W., (1976), "The Ecological Transition: Cultural anthropology and Human Adaptation", New-York, Pergamon Press.
[3] Blanchard, O. and Perotti, R., (2002), "An empirical characterization of the dynamic effects of change in government spending and taxes on output", *Quarterly Journal of Economics*, pp 1329-1368.

[4] Blanchard, O. and Quah, D., (1989), "The dynamic effects of aggregate demand and supply disturbances », *American Economic Review*, Vol. 79, pp 655 – 673.
[5] Bourbonnais, R., (2015), "Econométrie : cours et exercices corrigés", Dunod, Paris, 9^e éditions, 380 pages.
[6] Brock, W. A. and Taylor, M. S., (2004), "The Green Solow Model", *Journal of Economic Growth*, Vol. 15, pp 127-153.
[7] Chiroleu-Assouline, M., (2015), "La fiscalité environnementale en France peut-elle devenir réellement écologique? Etat des lieux et conditions d'acceptabilité", *Revue de l'OFCE*, n°139, pp 131-165.
[8] Chomitz, K. M., Gray, D. A., (1996), "Roads, land use, and deforestation: a spatial model applied to Belize", *The World Bank Economic Review* 10 (3): pp 487-512.
[9] Chow, G. C. and Lin, A. L., (1971), "Best linear unbiased interpolation, distribution, and extrapolation of time series by related series", *The Review of Economics and Statistics*, 53 (4) pp. 372–375.
[10] Clarida, R. and Gali, J. (1994), "Sources of real exchange rate fluctuations: How important are nominal shocks?", NBER Working Paper N° 4658, presented at the 1994 Texas Conference on Monetary economics, Federal Reserve Bank of Dallas.
[11] Coase, R. H., (1960), "The problem of social cost", *The Journal of Law and Economics*, 3^e Année.
[12] Colletaz, G et Marois, W., (1991), "Fonctions de réaction et objectifs externes : une approche VAR", Rapport au ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche.
[13] Costanza, R, Cumberland, J, Daly, H, Goodland, R, and Norgaard, R., (2012), "An Introduction to Ecological Economics", 2nd Ed. Boca Raton, Florida: CRC Press.
[14] Coulibaly, S. N., (2014), "Énergie, croissance et environnement dans les pays de l'UEMOA", Economies et finances, Université Rennes 1, thèse du 16 Décembre 2014.
[15] Dales, J. H., (1968), "Pollution Property and Prices, an Essay in Policy Making and Economics", University of Toronto Press, Toronto.
[16] Daly, H. E., (1973), "The Steady State Economy: Toward a Potential Economy of Biophysical Equilibrium and Moral Growth", In: *Toward a Steady State Economy* éd W.H Freeman, San Francisco, pp 149-174.
[17] Daly, H. E., (2008), "A Steady-State Economy", UK, Sustainable Development Commission.
[18] Dargie, G. C., Lawson, I. T., Rayden, T. J., Miles, L., Mitchard, E. T., Page, S. E., Bocko, Y. E., Ifo, S. A & Lewis, S. L. (2018), "Congo Basin peatlands: threats and conservation priorities", *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, pp 1-18.
[19] De Serres, A. et Lalonde, R. (1994), "Symétrie des chocs touchant les régions Canadiennes et

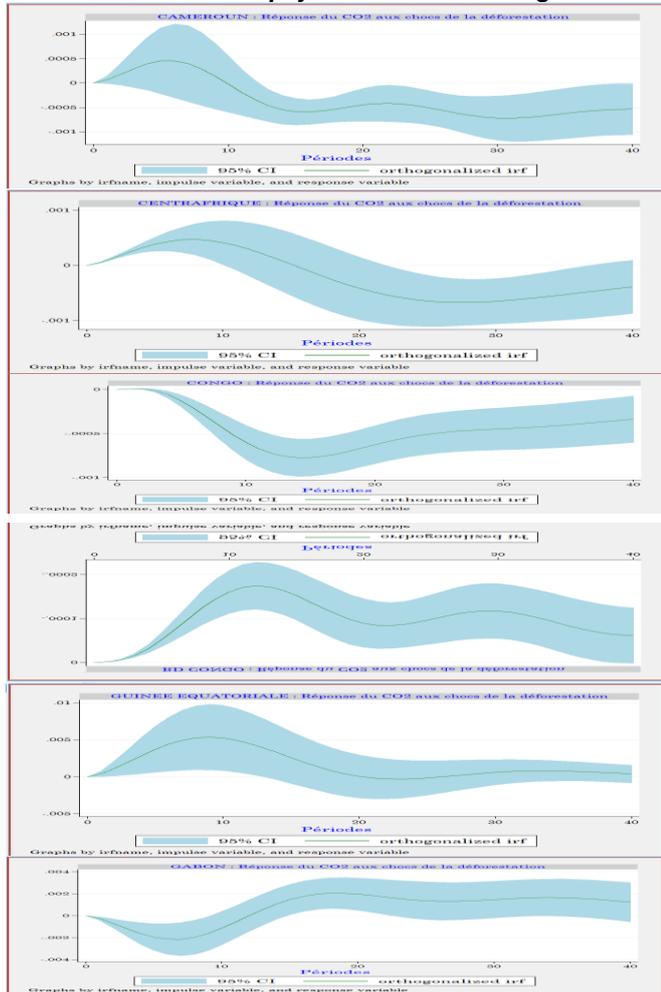
- choix d'un régime de change", Banque du Canada, doc. De travail 94 – 9.
- [20] De Wasseige, C., Tadoum, M., Eba'a, R., et Doumenge, C., (2016), "*Ph, Les forêts du Bassin du Congo-Etat des Forêts 2015*", Weyrich. Belgique.
- [21] Demaze, M.T., Fosting, J.-M., (2008), "La déforestation tropicale dans le contexte de mondialisation des risques climatiques et écologiques: outils d'évaluation et de suivi", in G. David (éd.), "*Espaces tropicaux et risques. Du local au global*", Orléans, et Paris, Presses universitaires d'Orléans et IRD éditions, pp 431-442.
- [22] Denton, F. T., (1971), "Adjustment of monthly or quarterly series to annual totals: An approach based on quadratic minimization", *Journal of the American Statistical Association*, 66: pp. 99–102.
- [23] Enders, W., (1995), "*Applied Econometric Time series*", USA, John Wiley and Sons.
- [24] Faucheux, S., O'connor, M., (1997), "*Valuation for Sustainable Development Methods and Policy Indicators*", Edward Elgar Publisher.
- [25] Faustmann, M., (1849), "Calculation of the Value Which Forestland and Immature Stands Possess for Forestry", réimp in *Journal of Forest Economics* 1995, 1 (1), pp 7-44.
- [26] Fernández, R. B., (1981), A methodological note on the estimation of time series, *The Review of Economics and Statistics*, 63(3): pp. 471–476.
- [27] Georgescu-Roegen, N., (1971), "*The Entropy Law and the Economic Process*", Cambridge, MA: Harvard UP, 457 pages.
- [28] Georgescu-Roegen, N., (1975). "Energy and Economic Myths." *Southern Economic Journal*, 41(3): pp 347-381.
- [29] Godard, O., (2007), "*Le Rapport Stern sur l'économie du changement climatique était-il une manipulation grossière de la méthodologie économique ?*", Revue d'économie politique.
- [30] Hanley, N., Shogren, J., et White, B., (2013), "*Introduction to environmental economics*", Oxford University Press Retrieved from.
- [31] Hardin G., (1968), "The Tragedy of the Commons", *Science*, 162, p. 1243-1248.
- [32] Harribey, J. M., (1998)., "*Le développement soutenable*", Economica, Paris, 110 pages.
- [33] Harribey, J. M., (1997), "La prise en compte des ressources naturelles dans le modèle néo-classique d'équilibre general: elements de critique", In "*Economies et Sociétés Série Développement, croissance et progres*", 4, F, n° 35. pp 57-70.
- [34] Hartwick, J. M., (1977), "Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible", *The American Economic Review*, Vol. 67, No. 5, p. 972-974.
- [35] Hotelling, H., (1931), "The economics of exhaustible resources", *Journal of Political*, 39, pp 137-175.
- [36] Hsiao, C., (1986), "Analysis of Panel Data. Econometric society Monographs", Cambridge University Press, No 11.
- [37] Janicot, S., (1995), "Le point sur la désertification et les changements climatiques", *la Météorologie*, 4, pp 1-15.
- [38] Johansen, S., (1988), "Statistical Analysis of Cointegration Vectors", *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 12, n°2-3, pp 231-254.
- [39] Jupp, T. E., Cox, P. M., Rammig, A., Thonicke, K., Lucht, W., Cramer, W., (2010), "Development of probability density functions for future South American rainfall", *New Phytologist*, 187, pp 682–693.
- [40] Kapp, W. K., (1950), "*Les Coûts sociaux dans l'économie de marché*", Flammarion, Paris.
- [41] Kapp, W. K., (1970), "Environmental disruption and social costs : a challenge to economics", *Kylos*, vol 23, n°4, pp 833-848.
- [42] Kijima, Y., (2011), "An inquiry into constraints on a green revolution in sub-Saharan Africa: The case of NERICA rice in Uganda", *World Development*, Vol. 39, pp 77-86.
- [43] Kindermann, G., Oberstainer, M., Sohngen, B., Sathaye, J., Andrasko, K., Rametsteriner, E., Schlamadinger, B., Wunder, S., Beach, R., (2008), "Global cost estimates of reducing carbon emissions though avoided deforestation", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (30) pp 10302-10307.
- [44] Lawrence, D., Vandecar, K., (2015), "Effects of tropical deforestation on climate and agriculture", *Nat. Clim. Change* 5, pp 27–36.
- [45] Litterman, R. B., (1983), A random walk, Markov model for the distribution of time series, *Journal of Business & Economic Statistics*, 1(2): pp. 169–173.
- [46] Lucas, R., (1976), "Econometric policy evaluation: A critique", *Carnegie Rochester Conference series on public policy*, 1, pp 19-46.
- [47] Mahé, G., Paturel, J.E., Servat, E., Conway, D and Dezetter, A., (2005), "Impact of land use change on soil water holding capacity and river modelling of the Nakambe River in Burkina-Faso", *Journal of Hydrology*, 300, pp 33-43.
- [48] Malhi, Y et Grace, J., (2000), "Tropical forests and atmospheric carbon dioxide", *Tree* 15 (8), pp 332 – 336.
- [49] Mishan, E. J., (1967), "*The Costs of Economic Growth*", London, Staples Press.
- [50] Mishan, E. J., (1977), "*The Economic Growth Debate: an Assessment*", London, George Allen & Unwin.
- [51] N'Goma, J. B. M., (2000), "*Analyse des chocs d'offre et de demande dans la zone CFA: une méthode structurelle d'autoregression vectorielle*", Communication au 40e Congrès Annuel de la Société Canadienne de Sciences Economiques, Montréal, du 17 au 18 mai.

- [52] Nkengfack, H., Temkeng Djoudji, S et Kaffo Fotio, H., (2020), "Gouvernance, institutions et protection de l'environnement dans les pays de la CEEAC ", *Economie rurale*, n°371, pp 5-22.
- [53] Nordhaus, W. D. (2010), "Economic aspects of global warming in a post-Copenhagen environment", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, n° 26, pp 11721-11726.
- [54] Nordhaus, W. D., (1993), "Rolling the DICE: An optimal transition path for controlling greenhouse gases", *Resource and Energy Economics*, 15, pp 27-50.
- [55] Nordhaus, W. D., (1977), "Economic growth and climate: The case of carbon dioxide", *American Economic Review*, 67, 1, pp 341-346.
- [56] Odum, H. T., (1983), "Systems Ecology, an Introduction", Wiley, New York, 644 pages.
- [57] Opschoor, J. B., et Van Der Straaten, J., (1993), "Sustainable Development : an Institutional Approach", *Ecological Economics*, 7 (5), pp 303-322.
- [58] Passet, R., (1985), "L'économie: des choses mortes au vivant", in *Encyclopaedies Universalis, Symposium*, Paris S, pp 831-841.
- [59] Passet, R., (1996), "L'économie et le vivant", Economica, Paris, 291 pages.
- [60] Passet, R., (2000), "L'illusion néo-libérale", Flammarion, collection, « Champs » 303 pages.
- [61] Pearce, D. W and Pierce, C. G. T., (2001), "The value of forest ecosystemms", CBD Technical Series No. 4, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montréal, 59 pages.
- [62] Pigou, A. C., (1920), "Co-operative Societies and Income Tax", *The Economic Journal*, 30(118), pp 156–162.
- [63] Pigou, A. C., (1958), "The economics of welfare", London, Macmillan, 976 pages.
- [64] Pimentel, D., (1973), "Food production and the energy crisis", *Science*, 182 : pp 443-449.
- [65] Pesaran, M. H. et Shin, Y., (1997), "Testing for Unit Roots in Heterogeneous Panels", *Journal of Econometrics* 115 (revise version of 1997's work), 53-74.
- [66] Rapport Meadows., (1972), "The Limits to Growth, A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind", New York, Universe Books.
- [67] Samuelson P. A., (1954), "The Pure Theory of Public Expenditure", *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 36, No. 4, p. 387-389.
- [68] Shapiro M. D and Watson M. W., (1988), "Sources of Business Cycle Fluctuations", Working Paper No. 2589, National Bureau of Economic Research, Cambridge (MA).
- [69] Sims, C.A., (1980), "Macroeconomics and Reality". *Econometrica*, 48 (1), pp. 1-48.
- [70] Solow, R. M., (1956), "A contribution to the theory of economic growth", *Quarterly Journal of Economics*, LXX, pp 65-94.
- [71] Solow, R. M., (1974), "The economics of resources or the resources of economics", *American Economic Review*, vol. 64, n° 2, pp 1-14.
- [72] Sotamenou, J et Nguemdjo, C., (2019), "Consommation d'énergie, croissance économique et émissions de Co2 au Cameroun : une analyse de causalité", *African Integration and Development Review*, vol. 11, pp 82-100.
- [73] Stambouli J. (2008)., "Quelle réponse à la crise ? Une économie écologique", supplément à la *Lettre de l'écologie solidaire*, n°7, octobre.
- [74] Strassburg, B., Turner, R. K., Fisher, B., Schaeffer, R and Lovett, A., (2008), "An empirically-derived mechanism of combined incentives to reduce emissions from deforestation", *CSEGE Working Paper ECM 08-01*.
- [75] Sultan, B., Servat, E., Maley, J., and Mahé, G., (2001), "Inter-relations entre les forêts tropicales et la variabilité climatique : une synthèse des études récentes", *Sécheresse*, 12, 4, pp 221-229.
- [76] The Terrestrial Carbon Group Project., (2009), "The role of Terrestrial Carbon in the climate change solution", Where, why and how a short guide 8 pages.
- [77] Tsayem Demaze, M., (2010), "L'Afrique dans la géopolitique du développement durable : entre pauvreté et mondialisation des préoccupations environnementales", dans *Les géographes et le développement, sous la direction de C. Bouquet, Bordeaux, MSHA*, pp 185-210.
- [78] Uhlig, H., (2005), "What are the Effects of Monetary Policy: Results from an Agnostic Identification Approach", *Journal of Monetary Economics*, 52, pp 381-419.
- [79] Walras, L., (1874), "Eléments d'économie politique pure; ou, Théorie de la richesse sociale", Volumes 1 à 2, Université de Harvard, Corbaz 208 pages.
- [80] Weitzman, M. L., (2007), "A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change," *Journal of Economic Literature*, *American Economic Association*, vol. 45(3), pp 703-724, September.
- [81] Wolff, N. H., Masudab, Y. J., Meijaard, E., Wells, J. A and Game E. T., (2018), "Impacts of tropical deforestation on local temperature and human well being perceptions", *Global Environmental Change* 52, pp 181-189.

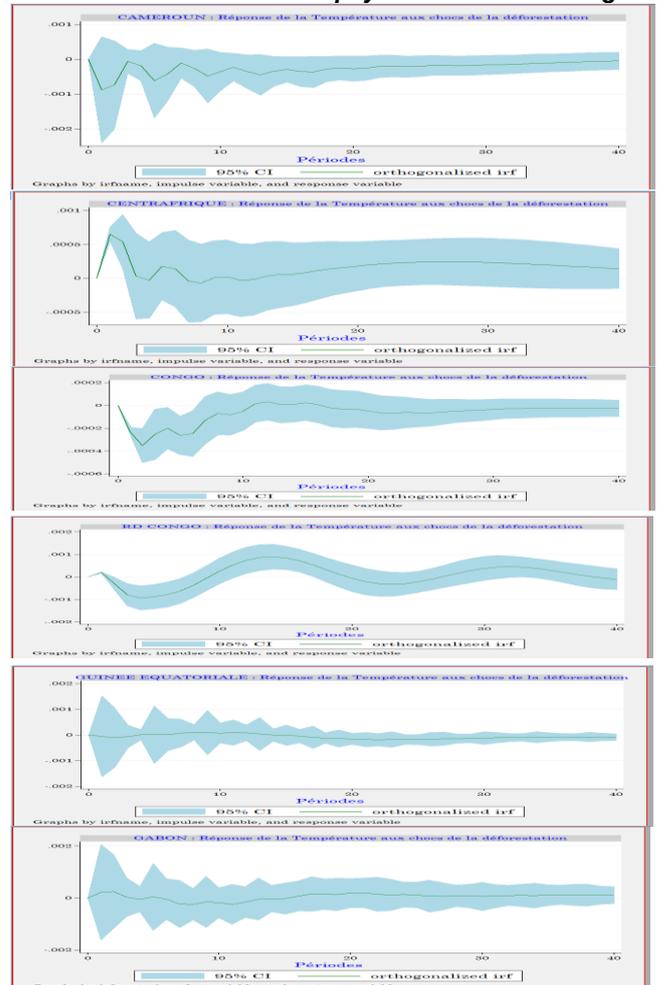
Annexes

Annexe 1: Résultats des réponses impulsionnelles dans le pays du Bassin du Congo

Graphique 1 : Réponses du CO2 aux chocs de la déforestation dans les pays du Bassin du Congo



Graphique 2 : Réponses de la température aux chocs de la déforestation dans les pays du Bassin du Congo



Source : Calcul de l'auteur

Annexe 2 ; Tableau 3 : Résultats de racine unitaire

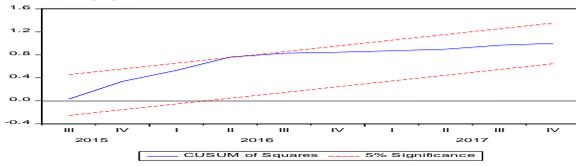
Variables	Cameroun		Centrafrique		Congo		RD Congo		Guinée Equatoriale		Gabon		
	Première différence		Première différence		Première différence		Première différence		Première différence		Première différence		
	Avec costante et sans trend	Avec constante et Trend	Avec costante et sans trend	Avec constante et Trend	Avec costante et sans trend	Avec constante et Trend	Avec costante et sans trend	Avec constante et Trend	Avec costante et sans trend	Avec constante et Trend	Avec costante et sans trend	Avec constante et Trend	
LSurf_Forest	ADF	-6,971***	-6,959***	-8,918***	-9,093***	-12,54***	-12,56***	-9,53***	-9,524***	-9,17***	-9,382***	-2,720*	-2,189**
	PP	-7,027***	-7,226***	-7,937***	-7,879***	36,562***	-36,47***	-4,47***	-4,507***	-4,146***	-4,115***	-4,096***	-4,066**
	KPSS	0,135***	0,090***	0,021***	0,018***	0,202***	0,178*	0,029***	0,029***	0,048***	0,043***	0,060***	0,055***
LT°C	ADF	-30,93***	-30,38***	-6,995***	-6,946***	-5,592***	-5,540***	-10,9***	-10,83***	-30,79***	-30,52***	-47,05***	-46,64***
	PP	20,20***	-19,92***	-17,51***	-17,29***	-19,45***	-19,15***	-23,5***	-23,52***	-18,44***	-18,15***	-35,49***	-34,73***
	KPSS	0,09***	0,09***	0,078***	0,069***	0,086***	0,096***	0,224***	0,213*	0,111***	0,095***	0,120***	0,093***
CO2/tête	ADF	-3,282**	-3,257*	-2,984**	-3,509**	-2,723*	-3,616**	-2,675*	-1,737*	-4,202***	-4,730***	-3,182**	-3,622**
	PP	-3,109**	-3,094**	-4,418***	4,391***	-2,668*	-1,986**	-3,059**	-2,661***	-3,705***	-3,680**	-3,112**	-3,182*
	KPSS	0,047***	0,039***	0,071***	0,267***	0,433**	0,076***	0,097***	0,050***	0,091***	0,089***	0,146***	0,037***
LSurf_Ref	ADF	-3,013**	-2,980*	-3,156**	-3,217*	-3,253**	-3,206*	-2,877**	-3,259*	-4,769***	-5,129***	-2,172**	-3,455*
	PP	-3,596***	-3,634**	-3,786***	-3,771**	-3,303**	-3,218*	-4,11***	-1,885*	-3,471**	-3,560**	-3,792***	-3,836**
	KPSS	0,513***	0,092***	0,110***	0,077***	0,106***	0,062***	0,413***	0,095***	0,234***	0,050***	0,223***	0,209**
LFbct	ADF	-2,305*	-3,388***	-5,715***	-5,740***	-0,306**	-1,464*	-3,136**	-2,919**	-7,933***	-7,999***	-6,035***	-6,132***
	PP	-3,528**	-3,607**	-2,987**	-3,000*	-2,730*	-3,359*	-6,213***	-8,158***	-2,209*	-4,037**	-2,672*	-4,430***
	KPSS	0,277***	0,031***	0,101***	0,060***	0,088***	0,045***	0,101***	0,103***	0,105***	0,052***	0,203***	0,040***
LPIb Mondial	ADF	-3,643***	-3,856***	-3,643***	-3,856***	-3,643***	-3,856***	-3,643***	-3,856***	-3,643***	-3,856***	-3,643***	-3,856***
	PP	-2,970**	-2,990	-2,970**	-2,990	-2,970**	-2,990	-2,970**	-2,990	-2,970**	-2,990	-2,970**	-2,990
	KPSS	0,083***	0,054***	0,083***	0,054***	0,083***	0,054***	0,083***	0,054***	0,083***	0,054***	0,083***	0,054***

Source: Calcul de l'auteur

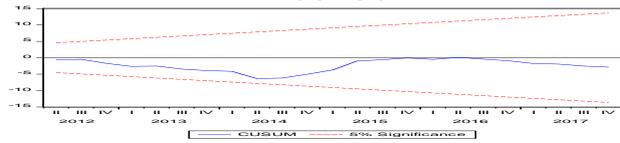
Notes: Les seuils de significativité retenus sont respectivement de 1 % (***), 5 % (**) et 10 % (*).

Annexe 3 : Tests de stabilité du modèle (ADRL)

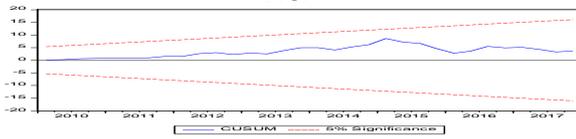
CAMEROUN



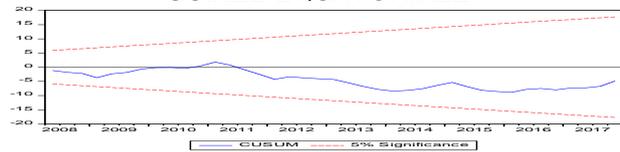
RD CONGO



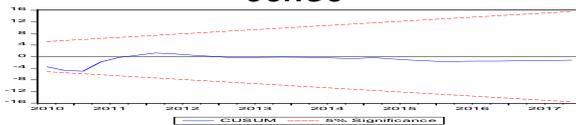
RCA



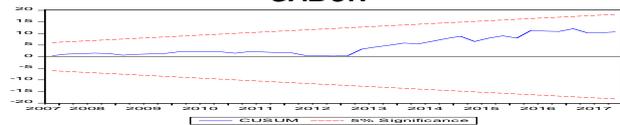
GUINEE EQUATORIALE



CONGO



GABON



Source: Calcul de l'auteur

Annexe 4 : Bounds test

CAMEROUN

ARDL Bounds test		
Test statistique	Valeur	K
F-statistique	7,37	6
Les valeurs critiques bounds		
Signification	Borne I0	Borne I1
10%	1,99	2,94
5%	2,27	3,28
2.5%	2,55	3,61
1%	2,88	3,99

RD CONGO

ARDL Bounds test		
Test statistique	Valeur	K
F-statistique	6,85	5
Les valeurs critiques bounds		
Signification	Borne I0	Borne I1
10%	2,08	3
5%	2,39	3,38
2.5%	2,7	5,52
1%	3,06	4,15

RCA

ARDL Bounds test		
Test statistique	Valeur	K
F-statistique	8,87	5
Les valeurs critiques bounds		
Signification	Borne I0	Borne I1
10%	2,08	3
5%	2,39	3,38
2.5%	2,7	3,73
1%	3,06	4,15

GUINEE EQUATORIALE

ARDL Bounds test		
Test statistique	valeur	K
F-statistique	5,06	5
Les valeurs critiques bounds		
Signification	Borne I0	Borne I1
10%	2,08	3
5%	2,39	3,38
2.5%	2,7	3,73
1%	3,06	4,15

CONGO

ARDL Bounds test		
Test statistique	Valeur	K
F-statistique	20,01	5
Les valeurs critiques bounds		
Signification	Borne I0	Borne I1
10%	2,08	3
5%	2,39	3,28
2.5%	2,7	3,73
1%	3,06	4,15

GABON

ARDL Bounds test		
Test statistique	valeur	K
F-statistique	10,76	6
Les valeurs critiques bounds		
Signification	Borne I0	Borne I1
10%	1,99	2,94
5%	2,27	3,28
2.5%	2,55	3,61
1%	2,88	3,99

Source: Calcul de l'auteur

