

Courbe environnementale de Kuznets : un réexamen des canaux de transmission dans les pays en développement

Rock VODA

Email : rock.voda@yahoo.fr

Jude EGGOH

Email : jude.eggoh@gmail.com

Centre de Recherche d'Economie (CRE)

Faculté des Sciences Economique et de Gestion / Université d'Abomey-Calavi

Résumé : Cet article revisite la relation entre la croissance économique et la qualité de l'environnement, en mettant en évidence les canaux de transmission, à partir d'un panel de 41 pays en développement sur la période 1995–2020. Au-delà des émissions de dioxyde de carbone (CO₂), le présent article prend en compte d'autres gaz à effets de serre tels que le méthane (CH₄) et protoxyde d'azote (N₂O). La démarche méthodologique se base essentiellement sur des modèles de régression statiques et dynamiques. Les résultats obtenus confirment l'effet positif de l'accroissement du revenu sur la dégradation de l'environnement. Par ailleurs, l'examen de la non-linéarité a révélé que l'impact négatif de l'accroissement du revenu sur la qualité de l'environnement peut être atténué si l'accroissement du revenu contribue à l'amélioration du niveau d'éducation, des IDE, du développement financier, de l'ouverture commerciale, ou encore de l'urbanisation. Ces résultats ont permis de formuler des recommandations de politiques économiques.

Mots-clés : Croissance économique, Émissions de CO₂, Courbe de Kuznets environnementale

Kuznets environmental curve: a re-examination of transmission channels in developing countries.

Summary: This paper revisits the relationship between economic growth and environmental quality, highlighting the transmission channels, based on a panel of 41 developing countries over the period 1995-2020. The methodological approach is based on statics and dynamics regression models. Beyond carbon dioxide CO₂ emissions, this article accounts for other greenhouse gases such as methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O). The results confirm the positive effect of income growth on environmental degradation. In addition, the examination of non-linearity revealed that the negative impact of income growth on environmental quality can be mitigated if income growth contributes to improvements in education, FDI, financial development, trade openness and urbanization. These results make it possible to formulate economic policies recommendations.

Keywords: Economic growth, CO₂ emissions, Environmental Kuznets curve

JEL Classification: O40 – Q53 – Q56.

Received for publication: 20221114.

Final revision accepted for publication: 20230601

1. Introduction

L'une des menaces environnementales les plus graves associées aux activités humaines est le réchauffement de la surface de la terre et des couches inférieures de l'atmosphère. Le réchauffement climatique causé par les émissions de gaz à effet de serre (GES) a induit des menaces sans précédent pour la survie et le développement de la race humaine (Dong et *al.*, 2019). La préoccupation croissante des dangers pour l'environnement en relation avec l'activité humaine, a poussé la communauté internationale à entreprendre des efforts pour prévenir le changement climatique. Depuis le sommet de la terre de Rio de Janeiro en 1992 et le Protocole de Kyoto en 1997, il est communément admis que la dégradation de l'environnement et les changements climatiques qui en découlent sont liés aux procédés de production, surtout la recherche effrénée de la croissance économique.

Bien que le verdict du protocole de Kyoto démontre son échec dans la réduction des émissions des GES, il a été tout de même incapable de rallier tous les pays jusqu'à son expiration en 2012. En revanche, la conférence de Copenhague qui fixe un objectif clé et contraignant de « limiter la hausse de la température mondiale à 2°C » a réussi à avoir l'adhésion de tous les pays. Par ailleurs, l'accord de Paris sur le changement climatique découlant de la 21^{ème} Conférence des Parties (COP 21) est entré en vigueur en 2016. En proposant des objectifs à long terme, l'accord de Paris vise à réduire l'augmentation de la température moyenne mondiale en dessous du niveau préindustriel voire la limiter à 1,5 degré Celsius (Ladislaw et *al.*, 2017).

Les différents rounds successifs de la COP ont permis d'avancer sur les problématiques environnementales, avec des propositions concrètes, qui pour l'heure n'ont pas encore été opérationnalisées. Par exemple, à la suite de l'accord obtenu à la COP 15 sur la biodiversité à Montréal le 19 décembre 2022, le One Forest Summit qui s'est tenu à Libreville du 1^{er} au 2 mars 2023, a abordé les enjeux liés à la préservation des trois grands bassins forestiers mondiaux, que sont la forêt amazonienne, le bassin du Congo et les forêts tropicales d'Asie du Sud-Est. La préservation de ces réserves irremplaçables de carbone et de biodiversité, est un enjeu planétaire, car elles jouent un rôle crucial dans la régulation du climat et abritent une faune et une flore exceptionnelle.

En dépit de cette prise de conscience collective des enjeux de la dégradation de l'environnement, les activités économiques vectrices de pollution ne se sont pas significativement réduites. En particulier, le contexte actuel marqué par la guerre entre la Russie et l'Ukraine, qui exerce une forte tension sur le prix du pétrole et une reprise post-Covid plus forte que prévue, fait craindre pour l'environnement. L'expansion rapide de ces activités d'une part, et leur impact sur la dégradation de l'environnement ont fait l'objet d'interprétations divergentes au sein des chercheurs. Plusieurs études soutiennent que les activités humaines provenant de la production agricole, de la combustion de combustibles fossiles et de la production industrielle ont conduit à une augmentation incontrôlable de la consommation d'énergie et une prolifération des GES (Rahman et Velayutham, 2020).

L'analyse conventionnelle de la relation croissance économique-pollution de l'environnement s'articule essentiellement autour de la courbe environnementale de Kuznets (CEK) qui postule une relation en U inversé entre la dégradation environnementale et la croissance économique (Grossman et Krueger, 1991). A la suite de cette contribution séminale, de nombreux travaux ont revisité la CEK, sur des échantillons aussi diversifiés de pays, et mobilisant différents outils méthodologiques. Cependant, les études sur l'hypothèse de la CEK sont loin de faire consensus surtout dans le cas des polluants organiques. De nombreux travaux ont été réalisés au cours de ces dernières années sur différents groupes de pays, et mobilisant diverses méthodes pour évaluer l'ampleur des activités économiques sur la dégradation de l'environnement. Au-delà de la relation en U inversé, certains auteurs aboutissent à une relation cubique, tandis que d'autres obtiennent une relation logistique (Balaguer et Cantavella, 2018 ; Kaika et Zervas, 2013), suggérant des liens non univoques entre la dégradation de l'environnement et l'activité économique.

En dépit de l'évidence de l'effet dévastateur des dégradations environnementales en lien avec les activités humaines, l'hypothèse de la CEK n'est pas clairement établie dans la littérature empirique sur le sujet pour plusieurs raisons. Premièrement, les résultats basés sur des séries de données chronologiques peuvent être biaisés lorsque le nombre d'observations est faible. Cette insuffisance est compensée par la mobilisation de données en panel, qui présentent l'intérêt de fournir des résultats robustes, même si la dimension temporelle est limitée, à condition que la dimension individuelle soit importante. Deuxièmement, l'hypothèse de la CEK suppose un cadre théorique restreint où le développement économique est appréhendé par une seule variable macroéconomique, dont la dynamique peut améliorer ou dégrader la qualité de l'environnement. Par ailleurs, l'accroissement des revenus étant rendu possible grâce au développement des activités économiques, qui ne peut se faire sans une transformation de ressources naturelles ou semi-naturelles, il apparaît une causalité réciproque source d'endogénéité, au-delà de la non-linéarité décrite par la CEK. Cette relation réciproque entre le développement économique et l'environnement est souvent occultée par de nombreux travaux. Troisièmement, le recours à un seul indicateur, c'est-à-dire les émissions de CO₂ pour étudier la relation entre croissance économique et qualité de l'environnement peut conduire à des résultats partiels. De surcroît, même si le modèle canonique de la CEK met en relation la dégradation de l'environnement et l'accroissement du revenu, à travers une relation quadratique, il n'en demeure pas moins vrai que certaines variables macroéconomiques peuvent jouer un rôle déterminant dans cette relation, quitte à l'accentuer ou à la dégrader.

Tout en répondant aux limites des études précédentes, le présent article contribue à la littérature sur le sujet à travers les points suivants. La première contribution provient de l'utilisation de trois différents vecteurs de la dégradation de l'environnement à savoir : les émissions de CO₂, de CH₄ et de N₂O. En effet, la grande majorité d'études se limite à l'utilisation du CO₂. Bien que les émissions de CO₂ représentent 60 % des émissions dans le monde (dernier rapport du GIEC, 2022), il serait intéressant d'examiner la courbe environnementale de Kuznets, au regard des autres GES, tels que le méthane (CH₄) et protoxyde d'azote (N₂O), qui représentent respectivement 15 % et 5 % des émissions.

La deuxième contribution consiste à étendre le cadre théorique de la CEK en incorporant des variables macroéconomiques telles que l'ouverture commerciale, le développement financier, l'urbanisation, l'éducation, et les investissements directs étrangers (IDE). Certains travaux montrent que l'ouverture commerciale, le développement financier pourraient influencer la qualité de l'environnement des pays, en raison de leurs effets modérateurs. Le niveau d'éducation peut également jouer un rôle déterminant dans la CEK, car une population éduquée peut mieux comprendre les enjeux de la dégradation de l'environnement. De même, les effets des IDE sur la qualité environnementale sont expliqués par l'hypothèse de « paradis » de pollution ou celle de « halo » de pollution. En effet, ces hypothèses suggèrent que l'accroissement des IDE peut augmenter (paradis) ou diminuer (halo) les émissions polluantes des économies hôtes, en fonction du type d'activités de production et de technologie utilisées par les entreprises étrangères (Solarin et al., 2017).

La troisième contribution est d'ordre méthodologique, et consiste à mobiliser l'estimateur de la méthode des moments généralisés (GMM) sur panel dynamique afin de capter les effets de persistance dans la CEK et de contrôler les potentiels biais d'endogénéité, en raison de la concomitance entre dégradation de l'environnement et croissance économique.

Les résultats obtenus à partir d'un panel de 41 pays entre 1995 et 2020 confirment la CEK. Par ailleurs le niveau d'éducation, les investissements directs étrangers, l'ouverture commerciale contribuent à la réduction des émissions polluantes, tandis que le revenu par habitant, le développement financier ainsi que l'urbanisation affectent positivement ces émissions. Enfin, l'estimation de la relation quadratique suggère que les différentes variables macroéconomiques mobilisées, atténuent au-delà d'un seuil donné, le lien positif entre la dégradation de l'environnement et le niveau du PIB, fournissant par conséquent, une nouvelle évidence à la CEK.

Le reste de l'article est organisé comme suit. La Section 2 est consacrée à la revue de littérature, tandis que la Section 3 décrit la démarche méthodologique et les données. La Section 4 présente les résultats des estimations, et la Section 5 conclut l'article et propose des recommandations de politiques économiques.

2. Bref aperçu de la littérature

2.1. Revue de la littérature théorique

L'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets (CEK) est apparue à la suite de la préoccupation en matière de développement durable qui met l'accent sur le rôle de la croissance économique dans l'altération des conditions de vie des populations en raison de l'exploitation massive des ressources naturelles. Ainsi, au lieu d'améliorer le bien-être humain, la croissance économique génère de nouveaux problèmes socio-économiques comme l'épuisement des ressources naturelles et la dégradation de l'environnement (Arrow et al., 2012).

L'analyse conventionnelle de la relation croissance économique-pollution de l'environnement s'articule autour de la courbe environnementale de Kuznets (CEK) qui

postule une relation en U inversé entre le degré de pollution et le revenu par habitant (Grossman et Krueger, 1991). La CEK est une adaptation des travaux de Kuznets (1955), qui à l'origine traduit la relation entre les inégalités de revenu et le niveau de développement dans un pays. Au cours des premiers stades de développement, les pays subissent « la malédiction de Kuznets », où les inégalités croissent avec l'augmentation des revenus, puis se réduisent au-delà d'un seuil de revenu. Un lien fonctionnel semblable se retrouve entre la dégradation de l'environnement et le développement des pays, mais avec des hypothèses différentes. La qualité de l'environnement varie considérablement selon les étapes du développement économique. En effet, au cours des premiers stades du développement, la hausse d'émissions polluantes va de pair avec l'industrialisation. Ensuite, à partir d'un seuil de développement économique où les besoins primaires sont pourvus, le souci pour l'environnement s'accroît et la tendance s'inverse. Ainsi, la CEK suggère qu'un accroissement du revenu par habitant s'accompagne d'une dégradation de l'environnement en lien avec l'augmentation des émissions polluantes, et une fois un seuil de développement franchi, la pollution diminue avec l'augmentation de la croissance économique.

2.2. Revue de la littérature empirique

La CEK a fait l'objet d'un grand nombre d'évaluations empiriques, fournissant des résultats aussi bien connexes que contradictoires. En effet, 55,7 % des études soutiennent l'existence d'une CEK en forme de U inversé de Kuznets entre les émissions de CO₂ et le niveau de revenu par habitant, 17,7 % aboutissent à une relation monotone, tandis que les preuves contre la CEK sont rapportées seulement pour 11,5 % d'études (Menuet et *al.*, 2020 ; Pérez-Suárez et López-Menéndez, 2015). Même lorsque la CEK est validée, les points d'inflexion sont au-delà des niveaux de revenu atteignables par les pays développés (Jalil et Feridun, 2011), remettant ainsi en cause, soit les hypothèses du modèle, soit la validité des résultats. La remise en cause des hypothèses de la CEK a conduit au test de différentes formes de non-linéarité, notamment des formes quadratiques, cubiques, logistiques, exponentielles, non-paramétriques et semi-paramétriques (Aslanidis, 2009).

Un bref résumé de la littérature testant la relation CEK est présenté dans le Tableau 1. De nombreux travaux soutenant le postulat de la CEK suggèrent que la dégradation de l'environnement serait plus importante dans les économies en phase de croissance et de développement. Cette validation de la CEK est apportée par des travaux mobilisant différentes approches méthodologiques et portant sur des échantillons plus ou moins hétérogènes. Les études menées par Wang et *al.* (2022), Khan et Eggoh (2021), Kurniawan et *al.* (2021), Copeland et Taylor (2004) et Dasgupta et *al.* (2002), s'inscrivent dans cette perspective. Ces résultats montrent clairement que les pays en phase de croissance et de développement seraient des havres de pollution. Toutefois, la consommation d'énergies fossiles, principales sources de pollution ne s'est pas infléchie dans les pays développés, de même que les émissions de gaz à effets de serre n'ont pas réellement baissé dans ces pays. Afin de concilier les faits stylisés avec les résultats empiriques obtenus, un nouveau courant de pensées a modifié la CEK, en postulant une courbe environnement logistique (CEL). En faisant référence à la possibilité de

l'existence d'une courbe environnementale logistique, la littérature empirique admet que les émissions polluantes seraient approximativement exponentielles au stade initial de développement, puis, une saturation s'amorcerait plus tard, faisant ralentir la pollution, et à maturité elles s'arrêteraient.

La différence entre la CEL et la CEK se situe au niveau des pays à revenu élevé, puisque les émissions de pollution se stabilisent mais ne diminuent pas. Les travaux de Kaika et Zervas (2013) et de Shafik (1994) soutiennent l'hypothèse de la CEL. Une autre piste d'amélioration du cadre théorique de la CEK consiste à intégrer dans l'équation de régression un ensemble de variables macroéconomiques (développement financier, investissements directs étrangers, urbanisation, ouverture commerciale, etc.) susceptibles d'influencer la relation entre les émissions polluantes et le développement économique.

La relation entre les émissions polluantes et le revenu peut être influencée par les investissements directs étrangers (IDE). En effet, suivant le niveau de réglementation environnementale, les IDE peuvent contribuer à augmenter ou à réduire les émissions de gaz à effets de serre. Deux hypothèses importantes résument la relation entre les IDE et la pollution de l'environnement : l'hypothèse des paradis de pollution et celle de halo de pollution. La première soutient qu'en raison des différences de réglementations environnementales entre les pays développés et les pays en voie de développement, les secteurs manufacturiers à forte intensité de pollution se déplacent vers les pays en développement. Cette délocalisation des industries polluantes est liée à des réglementations environnementales relativement plus strictes dans les pays développés et l'adoption de technologies propres et vertes plus coûteuses (Bhujabal et al., 2021 ; Cole, 2004). En conséquence, l'hypothèse de paradis de pollution énonce qu'il existe une relation positive entre les IDE et les émissions de CO₂ (Khan et al., 2017 ; Shi, 2003).

Contrairement à l'hypothèse de paradis de pollution, l'hypothèse de halo de pollution affirme que les IDE peuvent être utiles pour réduire la dégradation de l'environnement dans les pays en développement. Elle postule que les industries des pays développés transfèrent leurs technologies de production propres par le biais des IDE dans les pays en voie de développement. Les pays développés équipant leurs industries en technologies de production modernes, ils réduisent progressivement les niveaux de pollution dans les pays en développement par le biais des délocalisation (Bhujabal et al., 2021). De surcroît, les industries domestiques améliorent également leur technologie de production pour concurrencer les industries étrangères, ce qui conduit à une augmentation de l'efficacité et de l'innovation (Khan et al., 2017). Les travaux de Solarin et Al-Mulali (2018) et Perkins et Neumayer (2009) soutiennent l'hypothèse de halo de pollution en montrant que les IDE réduisent les émissions de carbone par le transfert de technologies de production respectueuses de l'environnement des pays développés vers les pays en développement (Obradović et Lojanica, 2017 ; Shahbaz et al., 2013).

Dans la même veine que les IDE, le degré d'ouverture commerciale d'un pays peut influencer sa CEK. La vision environnementale du commerce international donne lieu à deux courants théoriques. En favorisant l'entrée des IDE, l'ouverture commerciale peut

générer les mêmes effets que ces derniers : effet havre de pollution ou effet halo de pollution ; tout dépendant des biens sur lesquels portent les échanges et du niveau de réglementation environnementale dans le pays hôte.

Le premier courant relatif au havre de pollution est lié aux différences de normes et réglementations environnementales entre les pays développés et les pays en développement. En conséquence, les entreprises polluantes peuvent exporter dans des pays où les normes environnementales sont relativement faibles, les produits à fortes doses de polluants. Par exemple, de nombreux véhicules fortement polluants et mis hors de circulation dans les pays développés sont déversés dans les pays en développement transformant ces derniers en paradis de pollution.

Le second courant de pensées concernant l'impact de l'ouverture commerciale fournit des résultats plus diversifiés à travers les effets d'échelle et les effets technologiques (Wang et *al.*, 2022). Selon les effets d'échelle, l'ouverture commerciale augmente la croissance économique et entraîne une dégradation de l'environnement au début. Cependant, lorsque l'ouverture commerciale dépasse un seuil donné, des revenus plus élevés résultant des flux commerciaux permettent aux pays de passer à des sources d'énergies propres. Par ailleurs, par les effets technologiques, l'ouverture commerciale peut améliorer la qualité de l'environnement à travers les transferts de technologies et de bonnes pratiques environnementales (Atici, 2009 ; Khanna, 2002 ; Antweiler et *al.*, 2001). Les travaux empiriques testant le canal de l'ouverture commerciale dans la CEK fournissent des résultats conformes aux prédictions théoriques. Par exemple, à l'aide d'un modèle PSTR sur un panel de 146 pays, couvrant la période 1990-2016, Khan et Eggoh (2021) montrent que même si l'ouverture commerciale s'accompagne d'un accroissement des émissions de CO₂, elle atténue l'impact positif du revenu dans la CEK, mettant ainsi, en évidence des gains environnementaux associés au commerce.

Le développement financier a été identifié dans la littérature comme pouvant jouer un rôle majeur dans la CEK. A cet effet, le développement financier peut atténuer la relation entre la dégradation de l'environnement et la croissance s'il permet d'investir dans les technologies de production propres. Dans le cas contraire, il peut accentuer l'impact négatif de l'accroissement du revenu sur la dégradation de l'environnement. Les travaux de Jalil et Feridun (2011) suggèrent que le développement financier améliore la qualité de l'environnement en réduisant les émissions des GES. En revanche, Javid et Sharif (2016), Abbasi et Riaz (2016), et Saud et *al.* (2019) fournissent l'évidence contraire, soutenant que le développement financier s'est accompagné d'une dégradation de l'environnement en lien avec l'accroissement du revenu.

La CEK est également sensible au niveau d'éducation des populations. En effet, les travaux empiriques ont confirmé une association entre l'éducation et la sensibilisation aux comportements pro-environnementaux. L'éducation est donc un important facteur qui peut contribuer à réduire les émissions de polluants, à travers la recherche et le développement des technologies de conversion et de stockage d'énergie. Elle permet la sensibilisation sur les enjeux environnementaux, et d'accroître la possibilité d'utiliser des sources d'énergies renouvelables (Ahmed et Wang, 2019).

Tableau 1 : Synthèse des travaux antérieurs

| Auteurs | Pays (période) | Variables | Méthodologie | Résultats | Hypothèse CEK |
|------------------------------|--|--|---|---|---------------|
| Abbasi et Riaz (2016) | Pakistan (1971-2011) | CO ₂ , PIB, IDE, DF | ARDL, VECM | PIB, IDE et DF impactent positivement CO ₂ | Non testé |
| Acheampong (2019) | 46 pays de ASS (2000-2015) | CO ₂ , PIB, DF, CE, URB OC, IDE, POP | GMM-System | PIB et CE impactent positivement CO ₂ | Non |
| Al-Mulali et al. (2015) | Panel de 93 pays (1980-2008) | CO ₂ , PIB, PIB ² , OC, DF, URB | Effets-fixes et GMM | CE, OC et URB impactent positivement CO ₂ et DF atténue CO ₂ pour les pays à revenu supérieur | Oui |
| Apergis (2016) | Panel 15 Economies développées (1960-2013) | CO ₂ , PIB, PIB ² | Régression quantile | PIB impacte positivement CO ₂ | Oui |
| Cho et al. (2014) | OCDE (1971-2000) | CO ₂ , CE, PIB, PIB ² | FMOLS | PIB et CE impactent positivement CO ₂ | Oui |
| Dogan et al. (2017) | OECD (1995-2010) | CO ₂ , CE, PIB, OC, PIB ² , tourisme | Test de cointégration bootstrap du LM et DOLS | CE et tourisme impactent positivement CO ₂ | Non |
| Khan et al. (2017) | 34 Pays à revenu moyen supérieur (2001-2014) | CO ₂ , CE, PIB, OC, DF | FMOLS | PIB impacte positivement CO ₂ , DF réduit CO ₂ | Non |
| Khan et Eggoh (2021) | 146 pays (1990-2016) | CO ₂ , PIB, PIB ² , OC, DF, IDE | Effets-fixes, GMM et PSTR | PIB, PIB ² , OC, DF, IDE impactent positivement CO ₂ | Oui |
| Obradović et Lojanica (2017) | Grèce et Bulgarie (1980-2010) | CO ₂ , CE, PIB | VECM | PIB et CE impactent positivement CO ₂ | Non testée |
| Özokcu et Özdemir (2017) | 26 pays de OCDE, 52 pays émergents (1980-2010) | CO ₂ , CE, PIB, PIB ² , PIB ³ | Modèle EF et RE | PIB et CE impactent positivement CO ₂ | Non |
| Oztürk et Al-Mulali (2015) | Cambodge (1996-2012) | CO ₂ , CE, PIB, OC, INST | GMM et 2-SLS | PIB et CE impactent positivement CO ₂ | Non |
| Mert et Bölük, (2016) | Panel de 21 pays (1960-2010) | CO ₂ , CE, PIB, IDE | ARDL | PIB impacte positivement CO ₂ | Non |
| Lau et al. (2018) | Malaisie (1970-2008) | CO ₂ , PIB, PIB ² , OC, IDE | Modèle ARDL et causalité de Granger | CE et PIB impactent positivement CO ₂ | Oui |
| Saud et al. (2019) | Panel de 59 pays (1980-2016) | CO ₂ , PIB, FD, IDE, CE, OC | Causalité de Dumitrescu-Hurlin, SUR | DF, IDE et OC impactent négativement CO ₂ | Oui |
| Sethi et al. (2020) | Inde (1980-2015) | CO ₂ , CE, PIB, DF, GB, URB | ARDL, VECM et causalité de Granger | PIB, GB et DF impactent positivement CO ₂ | Non testée |
| Xu (2018) | Provinces Chinoises (1985-2015) | CO ₂ , PIB, DF, IDE | Panel, Co-intégré, VECM, ARDL | PIB impacte positivement CO ₂ dans quelques provinces | Non |

Notes : CO₂ : dioxyde de carbone ; PIB : Produit Intérieur Brut ; IDE : Investissement direct étranger ; DF : développement financier ; CE : consommation totale d'électricité ; URB : Population urbaine ; OC : Ouverture commerciale ; POP : Population totale ; HC : Capital humain ; INST : Qualité institutionnelle ; GB : Globalisation ; LM : Multiplicateur de Lagrange.

Le développement du capital humain peut également contribuer à réduire l’empreinte écologique, en fournissant aux individus les outils nécessaires pour une meilleure compréhension des effets néfastes des changements climatiques et de mieux adopter les stratégies d’atténuation. Par exemple, Chankrajang et Muttarak (2017) montrent que l’acquisition de connaissances liées à un comportement respectueux de l’environnement conduit à des actions pro-environnementales qui contribuent à une réduction des émissions de carbone ainsi qu’à la protection de l’environnement. Dans la même veine, Sapkota et Bastola (2017) ont étudié l’impact du capital humain sur les émissions polluantes dans le cadre de la CEK dans les pays d’Amérique latine. Les résultats obtenus mettent en évidence un lien négatif entre le capital humain et les émissions de polluants dans les pays à revenu élevé, contre un lien positif dans les pays à faible revenu. Balaguer et Cantavella (2018) ont étudié le lien entre l’éducation et la qualité de l’environnement dans le cadre de la CEK, en utilisant des données australiennes. Les résultats obtenus mettent en évidence une courbe en forme de U inversé entre l’éducation et les émissions polluantes, suggérant que l’éducation a permis d’atténuer les effets néfastes des émissions en Australie.

3. Approche méthodologique et données

3.1 Approche méthodologique

La relation entre la dégradation de l’environnement et le PIB est décrite dans la littérature économique à travers différentes spécifications. Dans le cadre du présent article, nous démarrons notre spécification empirique, par une version élargie de la courbe environnementale de Kuznets. L’équation de base se présente sous la forme suivante :

$$EP_{it} = f(EP_{i,t-1}, PIB_{it}, PIB_{it}^2, EDUC_{it}, IDE_{it}, DF_{it}, OC_{it}, URB_{it}), \quad (1)$$

où EP représente la dégradation de l’environnement. L’une des contributions de cet article est d’élargir la gamme des polluants au-delà du CO₂, contrairement aux travaux précédents. Ainsi, EP représente les émissions de dioxyde de carbone (CO₂), de méthane (CH₄) ou protoxyde d’azote (N₂O), en fonction de la spécification, PIB représente le PIB par habitant et est l’indicateur de développement. Le cadre de la CEK est élargi et prend en compte des variables telles que le niveau d’éducation (EDUC), les investissements directs étrangers (IDE), le développement financier (DF), l’ouverture commerciale (OC) et le taux d’urbanisation (URB). Ces différentes variables sont en grande partie inspirées de la littérature et ont permis une meilleure spécification de la CEK, afin que les résultats empiriques corroborent les faits stylisés. L’équation de régression de la CEK modifiée que nous estimons dans le cadre de notre modélisation est la suivante :

$$EP_{it} = \alpha_i + \alpha_1 PIB_{it} + \alpha_2 PIB_{it}^2 + \alpha_3 EDUC_{it} + \alpha_4 IDE_{it} + \alpha_5 DF_{it} + \alpha_6 OC_{it} + \alpha_7 URB_{it} + \varepsilon_{it}, \quad (2)$$

où ε_{it} représente le terme d’erreur. L’équation (2) est estimée à l’aide de l’estimateur *within*, qui présente l’intérêt de prendre en compte l’hétérogénéité individuelle. Si cette spécification présente l’intérêt d’évaluer l’effet des nouvelles variables macroéconomiques sur la dégradation de l’environnement, elles n’affectent pas directement la CEK, c’est-à-dire le lien entre la dégradation de l’environnement et le revenu. Comme nous l’avons mentionné dans la revue de littérature, la relation entre la

croissance économique et les émissions polluantes est susceptible de varier d'un pays à un autre, en fonction des variables macroéconomiques telles que l'ouverture commerciale, le développement financier, les IDE, l'éducation et l'urbanisme. Afin de prendre en compte l'effet de ces variables macroéconomiques sur la CEK, nous introduisons des variables d'interaction obtenues à partir du produit entre la variable PIB et les variables concernées. De façon spécifique, la nouvelle spécification se présente sous la forme suivante :

$$EP_{it} = \alpha_i + \alpha_1 PIB_{it} + \alpha_2 PIB_{it}^2 + \alpha_3 EDUC_{it} + \alpha_4 IDE_{it} + \alpha_5 DF_{it} + \alpha_6 OC_{it} + \alpha_7 URB_{it} + \gamma_1 PIB_{it} * EDUC_{it} + \gamma_2 PIB_{it} * IDE_{it} + \gamma_3 PIB_{it} * DF_{it} + \gamma_4 PIB_{it} * CC_{it} + \gamma_5 PIB_{it} * URB_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Les coefficients des variables d'interaction permettent d'évaluer l'impact des variables macroéconomiques respectives sur la CEK. Un coefficient positif et significatif de la variable d'interaction traduit un effet d'amplification de la variable macroéconomique sur le lien entre le revenu par tête et la dégradation de l'environnement, tandis qu'un coefficient négatif et significatif met en évidence une atténuation de la relation.

Les équations (2) et (3) sont estimées à l'aide de l'estimateur du modèle à effet fixe et de la méthode des moments généralisés (GMM) en système. Notre préférence pour l'estimateur des GMM en système tient du fait que les modèles à effets fixes sont en panels statiques et ne permettent pas de contrôler le problème d'endogénéité dans la relation entre croissance et dégradation environnementale. En effet, du fait que la plupart des variables sont de nature macroéconomique, le problème d'endogénéité peut apparaître, en raison de la corrélation entre les termes d'erreur et les variables endogènes. La causalité inverse documentée par la littérature sur la relation entre les deux variables, les facteurs communs affectant à la fois la croissance économique et la dégradation de l'environnement et les erreurs de mesure sont également des sources potentielles d'endogénéité. Afin de traiter ces biais, nous utilisons la méthode des moments généralisés en système sur panel dynamique, proposée par Arellano et Bover (1995) et Blundell et Bond (1998). Les instruments mobilisés pour traiter les sources potentielles d'endogénéité sont les variables endogènes retardées d'une période. Le test de sur-identification de Hansen (1982) et celui d'autocorrélation d'ordre deux permettent de tester la validité des instruments.

3.2 Données et statistiques descriptives

La présente étude mobilise des données annuelles sur 41 pays en développement¹ couvrant la période de 1995 à 2020, obtenues à partir de la base de données World Development Indicators de la Banque mondiale (World Bank, 2021). La base de données a été cylindrée à partir de la technique d'extrapolation par la moyenne ; ce qui a permis de réaliser les estimations sur un panel cylindré. Les différentes variables dépendantes d'intérêt sont les émissions de dioxyde de carbone (CO₂), de méthane (CH₄) et de protoxyde d'azote (N₂O) toutes en tonne métrique par habitant. Les variables de contrôle et d'interaction sont le PIB réel par habitant (en dollars US constants 2010), le niveau d'éducation (EDU) est mesuré par le taux brut de scolarisation au primaire, les investissements directs étrangers (IDE) en pourcentage du PIB, le développement financier (DF) évalué par le crédit domestique privé distribué par les banques de dépôt

¹ La liste des pays est en Annexe.

et les autres institutions financières en pourcentage du PIB, l'ouverture commerciale (OC), mesurée par la somme des exportations et des importations rapportée au PIB et l'urbanisation (URB), mesurée par la densité de la population urbaine. Le tableau 2 présente les statistiques descriptives des variables en considération. Les statistiques descriptives suggèrent que la moyenne des émissions de CO₂ (3,827), représente plus du double de celle de CH₄ (1,656), qui à son tour correspond au triple des émissions de N₂O (0,581). Toutefois ces émissions sont caractérisées par de fortes variabilités suggérant des disparités des dommages environnementaux dans les pays en développement. En ce qui concerne les variables macroéconomiques, on note que le niveau moyen du PIB par tête s'établit à 5653,23, valeur située dans la tranche supérieure des pays à revenu intermédiaire. La tendance moyenne des autres variables macroéconomiques reste conforme à celle couramment observée dans la littérature empirique : taux de scolarisation au primaire de 85,14 %, niveau moyen des IDE de 5,22 %, développement financier de 40,36 % et taux d'urbanisme de 134,30 %.

Tableau 2 : Statistiques descriptives

| Variables | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|------------------|----------|------------|---------|-----------|
| CO ₂ | 3,827 | 2,451 | 1,203 | 11,188 |
| CH ₄ | 1,656 | 2,241 | 0,017 | 10,045 |
| N ₂ O | 0,581 | 0,976 | 0,012 | 4,225 |
| PIB | 5653,232 | 2474,126 | 675,793 | 12048,752 |
| EDUC | 85,141 | 9,605 | 59,342 | 97,685 |
| IDE | 5,222 | 4,507 | -1,480 | 22,834 |
| DF | 40,361 | 26,767 | 5,490 | 124,665 |
| OC | 84,157 | 34,338 | 26,172 | 199,026 |
| URB | 134,300 | 215,666 | 2,490 | 1215,404 |

4. Résultats des estimations empiriques

L'estimation de la CEK est décrite à travers les résultats consignés dans le tableau 3. Ce tableau présente respectivement les coefficients obtenus à partir d'un modèle à effets fixes et sur panel dynamique. Le test de Hausman rejette l'hypothèse nulle en faveur du modèle à effets aléatoires. Les résultats obtenus à travers le modèle à effets fixes, bien que, permettant de fournir une preuve de robustesse, et soutenant différentes hypothèses de la CEK revisitée, peuvent être soumis au biais d'endogénéité en raison d'une relation inverse entre dégradation de l'environnement et croissance économique. Pour contenir ce biais et prendre en compte la persistance dans la dynamique des émissions de particules polluantes, nous proposons une estimation de la relation entre dégradation de l'environnement et croissance économique sur panel dynamique à l'aide des GMM en système en deux étapes. Le test de sur-identification, de Hansen (1982) et celui d'autocorrélation d'ordre 2 confirment la validité des instruments.

Tableau 3 : Développement économique et dégradation environnementale

| Variables | Dioxyde de carbone : CO ₂ | | | | Méthane : CH ₄ | | | | Protoxyde d'azote : N ₂ O | | | |
|--------------------|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Effets fixes | | Sys. GMM | | Effets fixes | | Sys. GMM | | Effets fixes | | Sys. GMM | |
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) | (12) |
| Y _{t-1} | - | - | 0,762*** | 0,439*** | - | - | 1,301*** | 0,959*** | - | - | 1,046*** | 0,939*** |
| | - | - | (0,024) | (0,048) | - | - | (0,112) | (0,143) | - | - | (0,340) | (0,175) |
| PIB | 0,193*** | 0,125*** | 0,546*** | 0,156*** | 0,321** | 0,934*** | 0,021*** | 0,020*** | 0,495*** | 0,064*** | 1,469*** | 0,200*** |
| | (0,039) | (0,020) | (0,140) | (0,004) | (0,109) | (0,107) | (0,005) | (0,000) | (0,143) | (0,005) | (0,253) | (0,042) |
| EDU | -0,046*** | -0,432*** | -0,040*** | -0,106*** | -0,171*** | -0,202* | -0,021*** | -0,089*** | -0,081*** | -0,801*** | -0,118*** | -0,190* |
| | (0,010) | (0,184) | (0,003) | (0,039) | (0,061) | (0,103) | (0,004) | (0,003) | (0,030) | (0,082) | (0,040) | (0,100) |
| IDE | -0,019*** | -0,034*** | -0,063*** | -0,009*** | -0,120*** | -0,042 | -0,651*** | 0,210*** | -0,051 | -0,064*** | -0,050 | -0,165*** |
| | (0,001) | (0,001) | (0,002) | (0,001) | (0,039) | (0,102) | (0,213) | (0,041) | (0,090) | (0,006) | (0,080) | (0,023) |
| DF | -0,064*** | 0,000 | -0,000*** | -0,017*** | -0,234*** | 0,000 | -0,163*** | 0,007*** | -0,008*** | 0,000 | -0,070** | 0,082 |
| | (0,087) | (0,010) | (0,001) | (0,004) | (0,034) | (0,002) | (0,083) | (0,000) | (0,001) | (0,001) | (0,030) | (0,100) |
| OC | -0,036 | -0,091*** | -0,121*** | -0,290*** | -0,124*** | 0,000*** | -0,234*** | -0,960*** | -0,043** | -0,031*** | -0,047*** | -0,054*** |
| | (0,105) | (0,016) | (0,015) | (0,012) | (0,052) | (0,000) | (0,039) | (0,105) | (0,020) | (0,009) | (0,009) | (0,018) |
| URB | 0,002*** | 0,310*** | 0,000*** | 0,164** | 0,714*** | 0,001*** | 0,144** | 0,390** | 0,496*** | 0,001*** | 0,342*** | 0,503*** |
| | (0,043) | (0,050) | (0,000) | (0,097) | (0,060) | (0,000) | (0,076) | (0,177) | (0,033) | (0,000) | (0,105) | (0,115) |
| PIB ² | -0,029*** | - | -0,214*** | - | -0,251*** | - | -0,370*** | - | -0,321*** | - | -0,254*** | - |
| | (0,010) | - | (0,024) | - | (0,040) | - | (0,080) | - | (0,086) | - | (0,045) | - |
| PIB*EDU | - | -0,040*** | - | -0,062*** | - | -0,321*** | - | -0,814*** | - | -0,530*** | - | -0,732*** |
| | - | (0,001) | - | (0,003) | - | (0,032) | - | (0,231) | - | (0,122) | - | (0,055) |
| PIB*IDE | - | -0,115*** | - | -0,010*** | - | -0,649*** | - | -0,069* | - | -0,112*** | - | 0,001 |
| | - | (0,010) | - | (0,001) | - | (0,098) | - | (0,064) | - | (0,025) | - | (0,010) |
| PIB*DF | - | -0,047*** | - | -0,054*** | - | -0,194* | - | -0,038*** | - | -0,183*** | - | -0,128*** |
| | - | (0,010) | - | (0,021) | - | (0,180) | - | (0,001) | - | (0,027) | - | (0,030) |
| PIB*OC | - | -1,030*** | - | -0,159*** | - | -0,170*** | - | -0,720** | - | 0,005*** | - | 0,204*** |
| | - | (0,100) | - | (0,026) | - | (0,043) | - | (0,280) | - | (0,001) | - | (0,045) |
| PIB*URB | - | -0,106*** | - | -0,136** | - | 0,499** | - | 0,439* | - | -0,169 | - | -0,560*** |
| | - | (0,038) | - | (0,065) | - | (0,203) | - | (0,310) | - | (0,250) | - | (0,010) |
| Constante | 1,131*** | 2,174*** | 1,229*** | 1,937*** | 3,324*** | 5,043*** | -2,201* | -0,086** | 6,041*** | 2,152*** | -1,640*** | -1,605*** |
| | (0,113) | (0,231) | (0,194) | (0,096) | (0,382) | (2,390) | (1,220) | (0,043) | (0,945) | (0,970) | (0,748) | (0,486) |
| Hausman (p-value) | 23,750 | 48,530 | - | - | 41,430 | 31,740 | - | - | 13,950 | 18,910 | - | - |
| | [0,009] | [0,003] | - | - | [0,000] | [0,001] | - | - | [0,009] | [0,328] | - | - |
| AR2 (p-value) | - | - | 0,154 | 0,530 | - | - | 0,042 | 0,606 | - | - | 0,432 | 0,083 |
| Hansen (p-value) | - | - | 0,204 | 0,303 | - | - | 0,174 | 0,361 | - | - | 0,730 | 0,961 |
| Nbre d'instruments | - | - | 62 | 62 | - | - | 14 | 85 | - | - | 62 | 62 |
| Nombre d'obs. | 1025 | 1025 | 1025 | 1025 | 1025 | 1025 | 1025 | 1025 | 1025 | 1025 | 1025 | 1025 |

Notes : * ; ** et *** indiquent un niveau de signification de 10% ; 5% et 1%, respectivement.

La suite de l'analyse des résultats sera structurée en deux étapes. D'abord, nous interprétons l'impact des différentes variables macroéconomiques sur la dégradation de l'environnement. Ensuite, nous examinons l'effet de ces variables sur la CEK.

Il ressort des résultats que les coefficients associés aux variables retardées sont positifs et significatifs au seuil de 1 % quel que soit l'indicateur de dégradation de l'environnement. Cette dynamique est relativement plus forte au niveau du méthane (CH_4) et du protoxyde d'azote (N_2O) qu'en ce qui concerne le dioxyde de carbone (CO_2). Les résultats mettent en évidence une forme de persistance dans les émissions suggérant ainsi la nécessité d'adopter des comportements ou de mettre en place des stratégies pour atténuer la dégradation de l'environnement. Ainsi, la mise en œuvre de politiques pro-environnementales pourra contribuer à infléchir la dégradation de l'environnement les périodes suivantes.

L'examen de la CEK classique fournit par les spécifications (3), (7) et (11) mobilisant respectivement comme variable endogène les émissions de CO_2 , CH_4 et N_2O , suggère que l'amélioration du revenu par tête, en lien avec les activités économiques de production, entraîne l'accroissement des émissions polluantes. Ces résultats corroborent les travaux de Khanna (2002) et Aldy (2005). En ce qui concerne l'identification des canaux indirects par lesquels les variables macroéconomiques influencent les émissions polluantes, les résultats au niveau de la spécification (3) suggèrent que le coefficient associé au revenu par habitant est positif et significatif, signifiant qu'un accroissement du revenu par tête accélère la dégradation environnementale. Le coefficient de la variable PIB par tête dans la spécification (3) de 0,546 suggère qu'un accroissement de 1 % du PIB par tête est associé à une augmentation de 0,546% des émissions polluantes (CO_2). Cependant, ces effets positifs du revenu par tête sur le dioxyde de carbone ne sont pas linéaires, puisque le coefficient de la variable PIB par tête au carré est négatif et significatif, soutenant ainsi l'hypothèse de la CEK pour les économies de l'échantillon. Ces résultats sont cohérents avec plusieurs études qui obtiennent une relation en U inversé entre le revenu et les émissions polluantes (Acheampong, 2019 ; Khan et Eggoh, 2021 ; Khan et al., 2017 ; Apergis, 2016). En outre, les résultats révèlent que la CEK est valide pour les émissions de CH_4 et N_2O . En effet, le développement économique s'accompagne de l'implantation des industries, qui dans leur phase d'expansion émettent non seulement du CO_2 , mais également CH_4 et N_2O . Au-delà d'un seuil donné de revenu, en raison des pressions exercées par les institutions internationales et les Organisations Non Gouvernementales (ONG), la dépollution industrielle est engagée, entraînant une baisse des émissions de CH_4 et N_2O .

Par ailleurs, les résultats de la spécification (3) suggèrent que la variable d'éducation affiche un signe négatif et significatif au seuil de 1 %, mettant en évidence un effet d'atténuation sur l'ensemble des vecteurs polluants. En particulier, les résultats montrent qu'une baisse des émissions polluantes de 0,040% est associée à un accroissement de 1 % du taux d'alphabétisation. Une tendance semblable est obtenue au niveau des autres spécifications. Ce résultat est conforme à la thèse de Barros et al. (2002), selon laquelle les facteurs sociaux des pays tels que l'éducation et l'information pourraient influencer la CEK. L'ouverture commerciale affiche des coefficients positifs stipulant une relation croissante avec les émissions polluantes dans toutes les spécifications. Ces résultats sont

conformes à ceux de Kurniawan *et al.* (2021) et de Saud *et al.* (2019) qui trouvent qu'une plus grande ouverture commerciale stimule l'activité économique et accroît par la suite les émissions polluantes.

Les coefficients associés à la variable IDE sont négatifs pour l'ensemble des spécifications confirmant ainsi l'hypothèse de halo de pollution selon laquelle l'afflux des IDE a un impact positif non seulement sur l'économie du pays receveur, mais aussi sur la qualité de l'environnement de ce dernier (Hassaballa, 2013). Ces résultats montrent que les IDE en direction des pays en développement procurent des gains environnementaux en raison des transferts de technologies respectueuses de l'environnement (Lau *et al.*, 2018 ; Birdsall et Wheeler, 1993). En conséquence, les entrées d'IDE dans les pays de notre échantillon, sont essentiellement orientées vers des industries non polluantes, réduisant ainsi les émissions de particules. De même, le coefficient associé à la variable de développement financier apparaît négatif et significatif au seuil de 1 % dans toutes les spécifications, révélant ainsi le rôle primordial que joue la dynamique du secteur financier dans la réduction des émissions polluantes. En effet, le développement financier améliore la qualité de l'environnement en réduisant les émissions grâce aux investissements effectués dans des technologies peu polluantes et respectueuses de l'environnement. Ces résultats corroborent ceux de Frankel et Romer (1999) et de Lau *et al.* (2018). En revanche, l'urbanisation affiche un coefficient positif et significatif au seuil de 1 %, stipulant qu'une augmentation de la dynamique d'urbanisation accentue la dégradation de l'environnement. Le résultat selon lequel, l'urbanisation augmente la consommation d'énergie fossile conduisant à l'accroissement des émissions polluantes a été largement documenté dans la littérature (Poumanyong et Kaneko, 2010 ; Wang *et al.*, 2022 ; Tiba et Omri, 2017). En effet, l'accroissement des mouvements de population à court terme dans les centres urbains exercent une pression sur les ressources environnementales. A long terme, avec l'amélioration de la technologie et de l'éducation environnementale, l'impact négatif de l'urbanisation sur l'environnement s'atténue (Wang *et al.*, 2022 ; Tiba et Omri, 2017).

La tendance globale de l'impact des variables macroéconomiques sur les émissions de CO₂ reste dans l'ensemble conforme à celle obtenue au niveau des autres types d'émissions à savoir CH₄ et N₂O. En particulier, l'éducation, le développement financier, l'ouverture commerciale et les IDE réduisent les émissions de CH₄ et N₂O, tandis que l'urbanisme les accroît.

L'impact des variables macroéconomiques sur la CEK est évalué par le coefficient de la variable d'interaction entre le PIB par tête et la variable macroéconomique concernée à travers les spécifications (4), (8) et (12). Rappelons qu'un coefficient positif et significatif de la variable d'interaction signifie une amplification de la CEK, tandis qu'un coefficient négatif et significatif traduit une atténuation de la CEK. En d'autres termes, au-delà d'un seuil donné de la variable macroéconomique, l'accroissement du revenu est associé à une baisse des émissions polluantes. Les résultats obtenus suggèrent que les coefficients des variables d'interaction entre le PIB par tête et la variable d'éducation sont négatifs pour toutes les émissions polluantes. Le même constat est fait, en ce qui concerne le développement financier, l'ouverture commerciale, les IDE et l'urbanisme. Ces résultats suggèrent de façon spécifique, qu'au-delà d'un seuil d'éducation,

l'augmentation du revenu par habitant entraîne toutes choses égales par ailleurs, une baisse des émissions de particules polluantes (CO_2 , CH_4 et N_2O), en raison de la conscientisation et d'une meilleure connaissance des enjeux environnementaux par les populations. Une population éduquée et sensibilisée perçoit mieux les risques environnementaux et est à même de mieux adhérer aux mesures comportementales et d'adaptation, face aux changements climatiques. Le développement financier atténue également le lien entre dégradation de l'environnement et revenu. En effet, au-delà d'un seuil de développement financier, les investissements réalisés sont relativement plus respectueux de l'environnement. Dans la même veine, passé un niveau donné d'IDE et d'ouverture commerciale, l'accroissement du revenu s'accompagne d'une réduction de la dégradation environnementale, car les IDE et les échanges portent sur des technologiques et des biens moins polluants en raison de l'accroissement des normes réglementaires et des exigences environnementales dans les pays d'accueil. En conséquence l'hypothèse de « halo de pollution » est confirmée au niveau de notre échantillon, suggérant la mise en œuvre de politiques économiques favorables à l'ouverture commerciale et aux IDE, dans la perspective d'atténuer la dégradation environnementale en lien avec les activités humaines. Les effets de l'interaction entre le revenu et le degré d'urbanisation sur la dégradation de l'environnement varient en fonction du type d'émission. Tandis que la variable d'interaction est négative et significative pour les émissions de CO_2 et de N_2O , elle est positive pour le CH_4 . La réduction des émissions de CO_2 et de N_2O , au-delà d'un niveau d'urbanisation peut s'expliquer par l'adoption de normes environnementales de production dans les secteurs de l'industrie et de l'agriculture. En revanche, l'augmentation du revenu au-delà d'un seuil donné d'urbanisme peut entraîner une hausse des émissions de méthane (CH_4), car ce dernier est essentiellement lié aux activités de consommation des ménages. En effet, les activités humaines telles que l'élevage, le transport et l'utilisation des énergies fossiles, ainsi que les externalités associées à travers les décharges, représentent 64 % des émissions de méthane (CH_4). Un changement radical de comportement, en adoptant une démarche pro-environnementale et en modifiant fondamentalement les modes de production et consommation peut inverser la donne en ce qui concerne les émissions de méthane.

De façon globale, la CEK est vérifiée aussi bien en ce qui concerne le CO_2 , que le N_2O et CH_4 . Par ailleurs, des variables modératrices ont été identifiées dans le cadre de cette étude, à travers lesquelles, des actions de politiques publiques peuvent infléchir la dynamique de dégradation de l'environnement.

5. Conclusion

Cette étude a revisité la courbe environnementale de Kuznets (CEK) à travers une investigation de la relation entre la croissance économique et la dégradation environnementale sur un panel de 41 économies en développement sur la période de 1995 à 2020. Au-delà de la mesure classique de la dégradation de l'environnement qu'est le dioxyde de carbone (CO_2), nous avons mobilisé des variables mesurant les émissions de méthane (CH_4) et d'oxyde nitreux (N_2O), qui sont également d'importantes sources de pollution, afin d'appréhender de façon relativement plus complète la dégradation de

l'environnement. L'approche méthodologique s'est essentiellement basée sur les GMM en système afin de traiter les biais d'endogénéité et de causalité réciproque entre la dégradation de l'environnement et le PIB par tête.

De nos estimations, il en ressort que l'hypothèse de la courbe environnementale Kuznets est confirmée, suggérant que même si la croissance économique est concomitante avec la dégradation de l'environnement, au-delà d'un seuil donné de revenu, le lien entre les deux variables devient négatif. Le retournement de la relation entre dégradation de l'environnement et croissance économique, est lié à l'adoption de techniques de production propres et respectueuses de l'environnement à mesure que le revenu augmente. Cette étude a également montré que l'éducation, le développement financier, l'ouverture commerciale, les IDE et l'urbanisme peuvent jouer des rôles modérateurs en infléchissant l'impact de l'accroissement du revenu sur la dégradation de l'environnement. Se référant particulièrement aux interactions assurées par le développement financier, l'ouverture commerciale et les IDE, nos résultats soutiennent l'hypothèse de « halo de pollution ». Ces résultats suggèrent qu'à mesure que les pays se développent, le secteur financier soutient des investissements dans des technologies propres, l'ouverture commerciale favorise l'importation de biens non polluants et les IDE sont orientés vers des secteurs innovants et respectueux de l'environnement.

Cette étude a donc permis d'identifier des variables macroéconomiques, telles l'éducation, le développement financier, l'ouverture commerciale et les IDE, qui peuvent être considérées comme des leviers pour une croissance économique durable et soutenable. En conséquent, il est important que les pays en développement se basent sur ces leviers pour continuer les efforts de reconversion et de transition énergétique vers des sources plus respectueuses de l'environnement.

6. Références bibliographiques

- Abbasi, F., Riaz, K. (2016). CO₂ emissions and financial development in an emerging economy: an augmented VAR approach. *Energy Policy*, 90, 102-114.
- Acheampong, A. O. (2019). Modelling for insight: does financial development improve environmental quality? *Energy Economics*, 83, 156-179.
- Ahmed, Z., Wang, Z. (2019). Investigating the impact of human capital on the ecological footprint in India: an empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 26782-26796.
- Aldy J. E. (2005). An environmental Kuznets curve analysis of US state-level carbon dioxide emissions. *The Journal of Environment and Development*, 14(1), 48-72.
- Al-Mulali U., Sheau-Ting L., Ozturk I. (2015) The global move toward internet shopping and its influence on pollution: an empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 9717-9727.
- Ansari M. A., Ahmad M. R., Siddique S., Mansoor K. (2020). An environment Kuznets curve for ecological footprint: Evidence from GCC countries. *Carbon Management*, 11(4), 355-368.

- Antweiler W., Copeland B. R., Taylor M. S. (2001). Is free trade good for the environment? *American Economic Review*, 91(4), 877–908.
- Apergis N. (2016). Environmental Kuznets curves: new evidence on both panel and country-level CO₂ emissions. *Energy Economics*, 54, 263–271.
- Arellano M., Bond S. (1991). Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *The Review of Economic Studies*, 58(2), 277–297.
- Arellano M., Bover O. (1995). Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. *Journal of Econometrics*, 68(1), 29–51.
- Arrow K. J., Dasgupta P., Goulder L.H., Mumford K. J., Oleson K. (2012). Sustainability and the measurement of wealth. *The Journal of Environment and Development*, 17(3), 317–353
- Aslanidis N. (2009). Environmental Kuznets curves for carbon emissions: A critical survey. Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM) Working Paper No. 75.2009.
- Asongu S. A., Odhiambo N. M. (2019). Environmental degradation and inclusive human development in sub-Saharan Africa. *Sustainable Development*, 27(1), 25-34.
- Atici C. (2009). Carbon emissions in Central and Eastern Europe: environmental Kuznets curve and implications for sustainable development. *Sustainable Development*, 17(3), 155–160.
- Balaguer J., Cantavella M. (2018). The role of education in the Environmental Kuznets Curve. Evidence from Australian data. *Energy Economics*, 70, 289–296.
- Barros L., Lahlou M., Escoffier C., Pumares P., Ruspini P. (2002). *L'immigration irrégulière subsaharienne à travers et vers le Maroc*. Programme des migrations internationales, Bureau international du travail.
- Bhujabal P., Sethi N., Padhan P. C. (2021). ICT, foreign direct investment and environmental pollution in major Asia Pacific countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(31), 42649–42669.
- Birdsall N., Wheeler D. (1993). Trade policy and industrial pollution in Latin America: where are the pollution havens? *The Journal of Environment & Development*, 2(1), 137–149.
- Blundell R., Bond S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics*, 87(1), 115–143.
- Chankrajang T., Muttarak R. (2017). Green Returns to Education: Does Schooling Contribute to Pro-Environmental Behaviours? Evidence from Thailand. *Ecological Economics*, 131, 434–448.
- Cho C. H., Chu Y. P., Yang H. Y. (2014). An environment Kuznets curve for GHG emissions: a panel cointegration analysis. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 9(2), 120-129.

- Cole M. A. (2004). Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages. *Ecological Economics*, 48(1), 71–81.
- Copeland B. R., Taylor M. S. (2004). Trade, growth, and the environment. *Journal of Economic Literature*, 42(1), 7–71.
- Dasgupta S., Laplante B., Wang H., Wheeler D. (2002). Confronting the environmental Kuznets curve. *Journal of Economic Perspectives*, 16(1), 147–168.
- Dogan E., Seker F., Bulbul S. (2017). Investigating the impacts of energy consumption, real GDP, tourism and trade on CO₂ emissions by accounting for cross-sectional dependence: a panel study of OECD countries. *Current Issues in Tourism*, 20(16), 1701–1719.
- Dong K., Dong X., Dong C. (2019). Determinants of the global and regional CO₂ emissions: what causes what and where? *Applied Economics*, 51(46), 5031–5044.
- Frankel J. A., Romer D. (1999). Does trade cause growth? *American Economic Review*, 89(3), 379–399.
- Grossman G. M., Krueger A. B. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. *NBER Working Paper N°W3914*.
- Hansen L.P. (1982). Large sample properties of generalized method of moments estimators. *Econometrica* 50 (4), 1029-1054.
- Jalil A., Feridun M. (2011). The impact of growth, energy and financial development on the environment in China: a cointegration analysis. *Energy Economics*, 33(2), 284–291.
- Javid M., Sharif F. (2016). Environmental Kuznets curve and financial development in Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 406–414.
- Kaika D., Zervas E. (2013). The Environmental Kuznets Curve (EKC) theory-Part A: Concept, causes and the CO₂ emissions case. *Energy Policy*, 62, 1392–1402.
- Khan M., Eggoh J. (2021). Investigating the direct and indirect linkages between economic development and CO₂ emissions: a PSTR analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 10039–10052.
- Khan S. A. R., Qianli D., SongBo W., Zaman K., Zhang Y. (2017). Travel and tourism competitiveness index: The impact of air transportation, railways transportation, travel and transport services on international inbound and outbound tourism. *Journal of Air Transport Management*, 58, 125-134.
- Khanna A. S. (2002). *Introduction to high temperature oxidation and corrosion*. ASM international.
- Kurniawan R., Sugiawan Y., Managi S. (2021). Economic growth–environment nexus: An analysis based on natural capital component of inclusive wealth. *Ecological Indicators*, 120, 106982.

- Kuznets S., (1955). Economic growth and income inequality. *American Economic Review* 49, 1-28.
- Ladislaw S., Nakano J., Sieminski A., Stanley A. (2017). *US Natural gas in the Global Economy*. Center for Strategic & International Studies.
- Lau L. S., Yii K. J., Lee C. Y., Chong Y. L., Lee E. H. (2018). Investigating the determinants of renewable energy consumption in Malaysia: An ARDL approach. *International Journal of Business and Society*, 19(3), 886–903.
- Menuet M., Minea A., Villieu P., Xepapadeas A. (2020). Economic Growth and the Environment: A Theoretical Reappraisal. *Athens University of Economics and Business Working Paper* N°2031.
- Mert, M., Bölük, G. (2016). Do foreign direct investment and renewable energy consumption affect the CO₂ emissions? New evidence from a panel ARDL approach to Kyoto Annex countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 21669-21681.
- Neequaye N. A., Oladi R. (2015). Environment, growth, and FDI revisited. *International Review of Economics and Finance*, 39, 47–56.
- Obradović S., Lojanica N. (2017). Energy use, CO₂ emissions and economic growth—causality on a sample of SEE countries. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 30(1), 511–526.
- Özokcu S., Özdemir Ö. (2017). Economic growth, energy, and environmental Kuznets curve. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 639–647.
- Ozturk I., Al-Mulali U. (2015). Investigating the validity of the environmental Kuznets curve hypothesis in Cambodia. *Ecological Indicators*, 57, 324–330.
- Pérez-Suárez R., López-Menéndez A. J. (2015). Growing green? Forecasting CO₂ emissions with environmental Kuznets curves and logistic growth models. *Environmental Science and Policy*, 54, 428–437.
- Perkins R., Neumayer E. (2009). Transnational linkages and the spillover of environment-efficiency into developing countries. *Global Environmental Change*, 19(3), 375–383.
- Poumanyong P., Kaneko S. (2010). Does urbanization lead to less energy use and lower CO₂ emissions? A cross-country analysis. *Ecological Economics*, 70(2), 434–444.
- Rahman M. M., Velayutham E. (2020). Renewable and non-renewable energy consumption-economic growth nexus: new evidence from South Asia. *Renewable Energy*, 147, 399–408.
- Sapkota P., Bastola U. (2017). Foreign direct investment, income, and environmental pollution in developing countries: Panel data analysis of Latin America. *Energy Economics*, 64, 206-212.

- Saud S., Chen S., Haseeb A. (2019). Impact of financial development and economic growth on environmental quality: an empirical analysis from Belt and Road Initiative (BRI) countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(3), 2253–2269.
- Sethi P., Chakrabarti D., Bhattacharjee S. (2020). Globalization, financial development and economic growth: Perils on the environmental sustainability of an emerging economy. *Journal of Policy Modeling*, 42(3), 520–535.
- Shafik N. (1994). Economic development and environmental quality: an econometric analysis. *Oxford Economic Papers*, 46, 757–773.
- Shahbaz M., Khan S., Tahir M. I. (2013). The dynamic links between energy consumption, economic growth, financial development, and trade in China: fresh evidence from multivariate framework analysis. *Energy Economics*, 40, 8–21.
- Shi A. (2003). The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975–1996: evidence from pooled cross-country data. *Ecological Economics*, 44(1), 29–42.
- Solarin S. A., Al-Mulali U. (2018). Influence of foreign direct investment on indicators of environmental degradation. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 24845–24859.
- Solarin S. A., Al-Mulali U., Ozturk I. (2017). Validating the environmental Kuznets curve hypothesis in India and China: The role of hydroelectricity consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1578–1587.
- Tiba S., Omri A. (2017). Literature survey on the relationships between energy, environment and economic growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 1129–1146.
- Wang Q., Wang X., Li R. (2022). Does urbanization redefine the environmental Kuznets curve? An empirical analysis of 134 Countries. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103382.
- World Bank (2021). World Development Indicators (WDI). Washington, D.C.
- Xu T. (2018). Investigating environmental Kuznets curve in China—aggregation bias and policy implications. *Energy Policy*, 114, 315–322.

Annexe : Liste des 41 pays en développement de l'échantillon

Albanie, Argentine, Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnie-Herzégovine, Botswana, Brésil, Bulgarie, Chine, Colombie, Costa-Rica, Dominique, République Dominicaine, Equateur, Fiji, Gabon, Géorgie, Grenada, Guinée Équatoriale, Guyane, Iraq, Jamaïque, Jordanie, Kazakhstan, Lebanon, Libye, Malaisie, Maldives, Mauritius, Mexique, Namibie, Roumanie, Russie, Serbie, Afrique du Sud, St. Lucie, St. Vincent-et-les-Grenadines, Suriname, Tonga, Turquie.