



L'impact de la pollution de l'air sur la croissance économique dans la région de MENA: Approche par Panel ARDL

Zakariae Majid¹, Hajar Benjana²

1: Docteur, Ecole Nationale de Commerce et de Gestion Oujda, Maroc

2: Enseignante Chercheure, Ecole Nationale de Commerce et de Gestion Oujda, Maroc.

Résumé: Cet article explore l'impact de la pollution de l'air sur la croissance économique dans six pays de la région MENA, sur la période de 2002 à 2020, en utilisant une approche de panel. L'analyse, réalisée à l'aide de la méthode Pooled Mean Group (PMG) ARDL Panel, a permis de parvenir aux résultats suivants. Tout d'abord, l'examen de la cointégration du panel révèle une relation significative à long terme entre la pollution atmosphérique par l'oxyde nitreux (N_2O) et la croissance économique. Ensuite, le mécanisme de correction d'erreur démontre une valeur stable et cohérente. De plus, il ressort que l'exposition prolongée à la pollution de l'air a un effet négatif important sur la croissance économique à long terme dans les six pays étudiés. Enfin, les résultats suggèrent que, sur le court terme, la pollution de l'air exerce également un impact stable et significatif. En se basant sur ces conclusions empiriques, des recommandations politiques sont formulées. Il est suggéré que les six pays de la région MENA renforcent davantage leurs politiques environnementales pour favoriser une croissance économique durable.

Mots clés : Pollution atmosphérique, Croissance économique, Région MENA, Pooled Mean Group (PMG) Panel ARDL

Abstract: This paper examines the impact of air pollution on economic growth in six countries of the MENA region from 2002 to 2020, using a panel approach. The analysis, conducted with the Pooled Mean Group (PMG) ARDL Panel method, leads to the following findings. First, the panel cointegration analysis reveals a significant long-term relationship between air pollution by nitrous oxide (N_2O) and economic growth. Second, the error correction mechanism shows a stable and consistent value. Additionally, it is found that prolonged exposure to air pollution has a significant negative effect on economic growth in the six countries studied, in the long term. Finally, the results also suggest that, in the short term, air pollution has a stable and significant impact. Based on these empirical findings, policy implications and recommendations are provided. It is suggested that the six MENA countries strengthen their environmental policies further to support sustainable economic growth.

Keywords: Air pollution, Economic growth, MENA region, Pooled Mean Group (PMG) ARDL Panel

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.18873688>

1 Introduction

Parmi les problèmes croissants dans la région MENA d'où plusieurs défis économiques et environnementaux ont été imposés est la pollution atmosphérique. Le monde a connu plusieurs changements climatiques ces vingt dernières années dû à l'accumulation excessive de Gaz à Effet de Serre, dont nous citerons le gaz de dioxyde de carbone (CO_2) très connu par sa grande menace pour l'humanité¹. Cependant, ce gaz pourrait coûter environ 550 milliards de dollar à l'économie mondiale (Stern, 2006). Nous trouverons aussi le gaz de l'oxyde nitreux (N_2O) d'origine humaine, qui est un gaz à effet de serre et caractérisé par un réchauffement global 300 fois environ supérieure de celui de dioxyde de carbone. Il est le responsable principal de la destruction de l'ozone stratosphérique.²

Les émissions de l'oxyde nitreux (N_2O) dans la région de MENA a provoqué des soupçons sur ses effets d'hygiène de vie et de bien être des individus. Tandis que la croissance économique demeure l'un des objectifs principaux pour les pays de la région, d'où notre intérêt de savoir **comment cette croissance pourrait être influencé par la répercussion de la pollution atmosphérique ?**

La banque mondiale a mentionné dans ces rapports que l'émission nitreux (N_2O) découlant de l'agriculture au niveau de la région MENA a progressé de 8.92% entre 2001 et 2020. En même temps, les niveaux de l'extraction de la pollution atmosphérique ont remonté avec la production industrielle accélérée, l'urbanisation croissante, et l'usage accrue des engrais azotés. Cette situation impose plusieurs questions sur les répercussions de la pollution à l'activité économique dans le long terme. La relation entre la pollution de l'air et la croissance économique dans la région MENA connaît des spécificités particulières. Dans certains pays, leur richesse est principalement basée sur l'agriculture tandis que d'autres dépendent essentiellement des lourdes industries notamment pétroliers et plastiques extractive de la pollution (Letombe & Zuideau, 2006).

Etudier cette relation nous permettrait de comprendre en mieux les politiques publiques qui favorisent le développement durable.

Les études réalisées sur la question de l'impact de la pollution atmosphérique sur la croissance économique, demeurent très limitées malgré leur importance pour la stabilité économique des Etats, en particulier dans la région MENA. La plupart des travaux se concentrent souvent sur les pays développés ou adoptent une perspective standard, gardant un espace large de discussion sur la compréhension des dynamiques existantes à la région MENA. Ce manque de données et d'analyses précises met en action une question centrale: **comment la pollution atmosphérique, en particulier l'émission de N_2O , affecte-t-elle la croissance économique dans la région MENA ? Quels mécanismes sous-jacents peuvent expliquer cette relation, tant à court qu'à long terme ?**

Nous visons dans notre étude à analyser l'impact de la pollution atmosphérique sur la croissance économique, nous avons choisi la région MENA, et la période 2002 jusqu'au 2020, en utilisant une approche par la dynamique de Panel. En particulier nous intéressons à évaluer l'impact à long terme entre les émissions de dioxyde nitreux (N_2O) et la croissance économique mais aussi l'impact à court terme de cette pollution sur les performances économique des pays étudiés. Pour bien saisir la complexité de ces dynamiques, nous avons opté pour la méthode Pooled Mean Group (PMG) ARDL Panel, offrant désormais des affirmations pour l'élaboration des politiques publiques. Les résultats que nous avons obtenus dans cette étude, nous ont permis de proposer des recommandations nécessaires pour renforcer les politiques qui sécurisent l'environnement dans les pays de MENA afin d'assurer une croissance économique durable.

2 Revue de littérature

¹ Selon les statistiques de l'OMS (2014) environ 7 million de population en 2012 sont prématurément décédés à cause de l'exposition de la pollution atmosphérique

² Aac, B. Z., Burton, D., & Goyer, C. (n.d.). *Réduire les émissions d'oxyde nitreux dans la production de pommes de terre au*. 1–4.

2.1 Le cadre théorique: la courbe environnementale de Kuznets

Les causes de dégradation de l'environnement est devenu un sujet très intéressant dans la littérature économique. Plusieurs études empiriques ont cherché à vérifier l'hypothèse de la Courbe Environnementale de Kuznets (CEK)³ qui suppose que la croissance économique et les indicateurs de dégradation de l'environnement sont reliées (Grossman et Krueger, 1995, Panayotou, 1993,1995; Shafik et Bandyopadhyay, 1992).

Il s'agit d'une application de la courbe en U inversé entre le revenu par tête des pays et les inégalités sociales (Kuznets, 1955) au domaine environnemental, qui a révélé une relation similaire en U inversé entre la pollution et la croissance économique.

L'hypothèse de la Courbe Environnementale de Kuznets (CEK), introduite par Grossman et Krueger en 1991, suggère qu'il est possible de concilier la protection de l'environnement avec la croissance économique à long terme. Pour mieux saisir ce mécanisme, nous nous appuyons sur la décomposition des émissions totales proposée par Grossman et al. (1995) ainsi que par Antweiler et al. (2001).

$$\hat{E}_i = \hat{Y}_i + \sum_j^n \hat{Y}_{ij} + \sum_j^n \hat{e}_{ij} \dots \dots \dots 1$$

Dans cette formule nous trouverons:

E_i : les émissions totales ;

i : les pays ;

$j = 1, 2 \dots n$: les divers secteurs économiques ;

Y_j : le PIB ;

i ; la part de la valeur ajoutée du secteur j dans l'économie du pays i ce qui reflète la structure économique de ce pays ;

e_{ij} : indique l'intensité de pollution du secteur j dans l'économie du pays i .

Les facteurs explicatifs de la CKE et leurs approfondissements

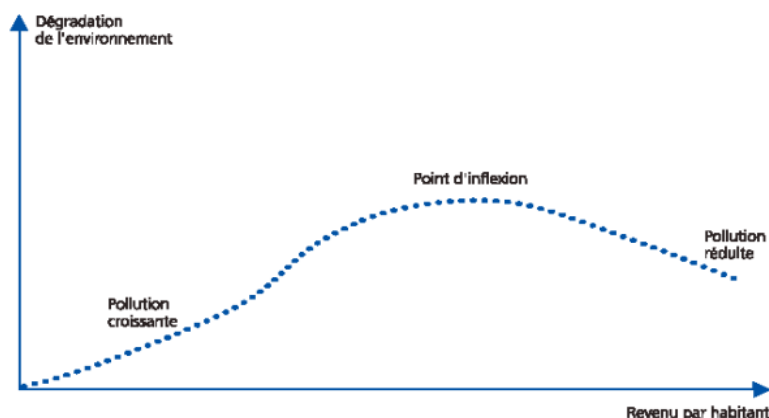
Les deux phases de l'hypothèse CEK mentionné dans la figure 1 ci-dessous explique les trois effets du développement sur l'environnement (Grossman et Krueger, 1991), nous les présenterons comme suit :

- Effet d'échelle : Cela fait référence à l'aggravation des impacts environnementaux résultant d'une augmentation de la production. Si la technologie et la structure économique ne changent pas, chaque nouvelle augmentation de la production entraîne inévitablement une élévation parallèle des nuisances écologiques.
- Effet de composition : Il s'agit de l'impact des évolutions de la structure de production sur l'environnement. Les pays industrialisés ont subi des transformations profondes, passant d'une économie agricole à une économie industrielle, ce qui a conduit à une intensification de l'extraction d'air pollué, tout en maintenant un niveau technologique inchangé.
- Effet technique : Cela fait référence à l'influence des technologies de pointe sur l'état de l'environnement. En effet, chaque avancée technologique contribue à diminuer l'ampleur des dégradations écologiques. Par ailleurs, l'instauration de réglementations environnementales rigoureuses, combinée à une sensibilisation croissante de la société, joue un rôle crucial dans l'atténuation des impacts négatifs sur l'environnement.⁴

³ Cette courbe fait appel à la courbe des inégalités et des revenus proposée par Kuznets en 1955. Elle montre que les inégalités évoluent au cours du processus de croissance économique et ont tendance à se réduire, formant ainsi une relation en U inversé.

⁴ Hilaire, N., & Hervé, K. F. (2012). Effets de la croissance économique sur les émissions de CO₂ dans les Pays du Bassin du Congo. *Papier Proposé Au Premier Colloque De L'Association D'Économie Théorique Et Appliquée*, 1–17.

Figure 1: la courbe environnementale de Kuznets



Source : OMC (1999)

Les effets varient en fonction du degré de développement des pays. Dans les pays à faibles revenus, l'effet d'échelle, couplé à l'effet de composition (lié à la spécialisation dans des secteurs polluants), accélère la dégradation environnementale. En revanche, à mesure que les pays deviennent plus prospères, l'augmentation de leurs revenus leur permet d'investir dans des technologies plus écologiques. Cela conduit à une amélioration des capacités techniques ainsi qu'à un meilleur niveau de vie (Hilali et Bne Zina, 2007).

2.2 Les études empiriques

Plusieurs études empiriques ont essayé de vérifier l'hypothèse de CEK qui traite les relations entre indicateurs environnementaux (Emission de CO₂, oxyde nitreux NO₂... etc.) avec différents résultats obtenus (Grossman et Krueger, 1994, 1995 ; Panayotou, 1993, 1995 ; Shafik et Bandyopadhyay, 1992 ; Selden et Song, 1994)⁵.

D'autres études empiriques présentent des revues détaillées sur les effets engendrés de la qualité de l'environnement sur la croissance économique (Dinda⁶, 2004 ; Nourry⁷, 2007). La variété des travaux faites explique bien que chaque région a ces problèmes environnementaux, ce qui rend à proposer des solutions particulières afin de réduire le désastre environnemental.

La présence d'une réelle relation entre la pollution de l'air et la croissance économique est rejetée dans les travaux de Richmond et Kaufmann (2006). En revanche, Shafik (1994) et Azomahou et al. (2006) montrent qu'une linéarité entre ces deux variables peut exister, ce qui remet en question l'hypothèse classique d'une relation sous forme de U inversé, mieux connue sous le nom de Courbe Environnementale de Kuznets (CEK). Cependant, d'autres recherches, comme celles de Lean et Smyth (2010b) et Saboori et al. (2012), confirment l'existence de cette courbe en U inversé, validant ainsi la CEK. En outre, Shafik (1994), Friedl et Getzner (2003), ainsi que Ren (2014), soulignent que la relation entre pollution et croissance économique pourrait être encore plus complexe, révélant une relation en forme de N. Ang⁸ (2008, 2009), Apergis and Payne⁹ (2009), Halicioglu¹⁰ (2009), Jalil et

⁵ Sont reconnus comme les premiers à tester empiriquement les effets de la croissance économique sur divers indicateurs environnementaux notamment le SO₂, NO_x, CO₂ et autres

⁶ Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431-455

⁷ Nourry, M. (2007). L'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets et la soutenabilité de la croissance économique. *Revue économique*, 58(3), 565-574.

⁸ Ang, J. B. (2008). Economic development, pollutant emissions and energy consumption in Malaysia. *Journal of Policy Modeling*, 30(2), 271-278.

⁹ Apergis, N., & Payne, J. E. (2009). CO₂ emissions, energy usage, and output in Central America. *Energy Policy*, 37(8), 3282-3286

¹⁰ Halicioglu, F. (2009). An econometric study of CO₂ emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37(3), 1156-1164.

Mahmoud¹¹ (2009), Lean and Smyth¹² (2010), ainsi qu'Arouri et al.¹³ (2012) introduisent la consommation d'énergie comme une variable additionnelle influençant la relation entre pollution et croissance. Zhang et Cheng (2009), Hossain¹⁴ (2011), et Sharma (2011) se concentrent quant à eux sur l'impact de l'urbanisation dans cette même relation. D'autres recherches, menées par Lopez et Mitra (2000), Dasgupta et al. (2002), Cole (2003, 2004), Friedl et Getzner (2003), Copeland et Taylor (2004), Bernauer et Koubi (2009), et Biswas et al. (2012), considèrent la stabilité gouvernementale et la qualité des institutions comme des facteurs déterminants dans la relation pollution-croissance. Par ailleurs, Ozturk et Acaravci (2013) et Omri et al. (2015) explorent l'effet du développement financier sur cette relation. Les travaux de Copeland et Taylor (1994, 1997), Cole et Elliot (2003), Frankel et Rose (2005), Managi, Hibiki, et Tsurumi (2009), Halicioglu (2009), Jalil et Mahmoud (2009), Nasir et Rehman (2011), Jayanthakumaran et al. (2012), Tiwari et al. (2013), Ren et al. (2014), ainsi que de Vries et Ferrarini (2017) examinent les relations entre commerce international et pollution, en montrant des résultats ambigus selon les pays et les périodes étudiées.

En incluant le commerce international comme variable explicative, Ang (2007), Jalil et Mahmoud (2009), Nasir et Rehman (2011), et Omri (2013, 2015) observent une courbe de type CEK. Cependant, Halicioglu (2009), Ozturk et Acaravci¹⁵ (2010), Jaunky (2010), ainsi que Menyah and Wolde-Rufael (2010) réfutent la significativité du commerce dans l'impact entre pollution et croissance.

Azomahou et al. (2006) mettent en évidence la monotonie d'une relation possible entre la pollution et le revenu par habitant, une relation qui est influencée par des facteurs tels que le PIB, l'usage d'énergie et les échanges extérieurs. Stern¹⁶ (2002) ainsi qu'Auci et Becchetti¹⁷ (2006) dans un autre sens, ils prennent en compte l'effet de composition notamment la structure économique et la technologie avancée, n'arrivent pas à vérifier l'hypothèse de CEK. Ils ont conclu que l'effet de PIB par habitant sur l'exposition de CO₂ dépend de l'intensité industrielle ainsi que l'infrastructure énergétique.

De ce fait, selon les résultats précédents de ces études empiriques, notre hypothèse à vouloir tester est:

H1 : la présence d'un effet négatif des émissions de N₂O sur la croissance économique des pays étudiés de la région MENA à long terme (Présence de forme « U » inversé de la CEK)

¹¹ Jalil, A., & Mahmud, S. F. (2009). Environment Kuznets curve for CO₂ emissions: A cointegration analysis for China. *Energy Policy*, 37(12), 5167-5172

¹² Lean, H. H., & Smyth, R. (2010). CO₂ emissions, electricity consumption and output in ASEAN. *Applied Energy*, 87(6), 1858-1864.

¹³ Arouri, M. E. H., Youssef, A. B., M'henni, H., & Rault, C. (2012). Energy consumption, economic growth and CO₂ emissions in Middle East and North African countries. *Energy Policy*, 45, 342-349

¹⁴ Hossain, M. S. (2011). Panel estimation for CO₂ emissions, energy consumption, economic growth, trade openness and urbanization of newly industrialized countries. *Energy Policy*, 39(11), 6991-6999.

¹⁵ Ozturk, I., & Acaravci, A. (2013). The long-run and causal analysis of energy, growth, openness and financial development on carbon emissions in Turkey. *Energy Economics*, 36, 262-267.

¹⁶ Stern, D. I. (2002). Explaining changes in global sulfur emissions: An econometric decomposition approach. *Ecological Economics*, 42(1-2), 201-220.

¹⁷ Auci, S., & Becchetti, L. (2006). The instability of the environmental Kuznets curve in the presence of endogenous technical change. *Economic Modelling*, 23(5), 837-861.

Tableau 1: Un aperçu des différentes travaux empiriques objet de notre étude

Auteurs (Année)	Echantillon	Période d'étude	Modèle économétrique	Résultats obtenus
Lean et Smyth (2010)	Pays asiatiques (ASEAN)	1971-2006	Tests de cointégration et modèles VAR (Vector Auto-Regressive)	Identifient une courbe en U inversé, confirmant la CEK dans les pays asiatiques.
Saboori et al. (2012)	Malaisie	1980-2009	Tests de causalité de Granger et de cointégration de Johansen	Identifiant une courbe en U inversé entre pollution et croissance, confirmant la CEK dans le contexte malaisien.
Friedl et Getzner (2003)	Pays de l'OCDE	1960-1999	Régressions quadratiques (relation N), tests d'hypothèses non linéaires	Identifient une courbe en N entre pollution et croissance économique dans les pays développés.
Ren (2014)	Chine	1995-2011	Modèles de panel dynamiques (GMM : Generalized Method of Moments)	Révèle une relation en N entre pollution et croissance en Chine, avec des disparités régionales significatives.
Zhang et Cheng (2009)	Chine	1960-2007	Modèles VAR et tests de causalité	Étudient l'impact de l'urbanisation sur la relation pollution-croissance, mettant en évidence une influence significative.
Hossain (2011)	Pays émergents	1970-2008	Tests de cointégration de Pedroni et tests de causalité	Confirmant que l'urbanisation est un facteur déterminant de la relation pollution-croissance.
Sharma (2011)	Pays asiatiques et africains	1970-2009	Méthodes de panel statiques (Fixed Effects) et dynamiques	Étude similaire montrant que l'urbanisation est un facteur déterminant de la relation pollution-croissance

Dasgupta et al. (2002)	Pays en développement	1990-2000	Modèles probit et logit	Soulignent que les institutions influencent fortement la dynamique pollution-croissance dans les pays en développement.
Cole (2003, 2004)	Pays de l'OCDE et émergents	1970-1995	Régressions non linéaires et décomposition de la variance	Montre que la qualité institutionnelle est un facteur crucial dans la relation pollution-croissance.
Halicioglu (2009)	Turquie	1960-2005	Modèles ARDL et tests de causalité	Refute l'effet significatif du commerce sur la relation pollution-croissance, mais souligne l'effet de l'usage d'énergie.

Source: Elaboration personnelle

3 Méthodologie

3.1 La procédure économétrique

Notre approche se compose des étapes suivantes:

- 1- **Le test d'unit root avec des données de panel:** La première étape consiste à s'assurer qu'aucune variable ne présente un ordre d'intégration $\geq I(2)$. Pour ce faire, nous utiliserons les tests disponibles dans le logiciel Eviews 12. Il existe deux types de tests d'unit root que nous pouvons appliquer:

Les tests d'unit root de la 1^{ère} génération où **le lien entre les coupes transversales est indépendant**, nous citerons :

L'indépendance entre les coupes transversales de panel

Types de tests de non stationnarité	Test de racine commune: Levin, Lin, Chu (1992,1993) ¹⁸ Test de racine commune: Breitung (2000) ¹⁹ Test de racine individuelle: Im, Pesaran, Shin (1997,2002,2003) ²⁰ Test de racine individuelle: Fisher-ADF (1999, 2000) ²¹ Test de racine individuelle: Fisher-PP (1999,2000) ²²
Type de test de stationnarité	Test de racine unitaire: Hadri (2000) ²³

Les tests d'unit root de la 2^{ème} génération où **le lien entre les coupes transversales est dépendant**, nous citerons :

La dépendance entre les coupes transversales de panel

Type de test	Test de Bai et Ng (2001,2004) Test de Pesaran (2007)
--------------	---

Dans notre étude, nous vérifions à travers ce test si la stationnarité des variables de l'hypothèse 0 est violée, le modèle de panel ARDL exige certaines conditions notamment : les coupes transversales doivent être indépendantes, la dépendance de l'ordre d'intégration de la variable et des variables indépendantes ne doivent pas dépasser l'ordre 1 c'est-à-dire ils peuvent être $I(0)$ et $I(1)$ ou mixte.

Nous avons choisi le résumé de tous les tests de non stationnarité (summary) en provisionnant un ordre d'intégration ne dépassant pas 1 par différents modèles du test (Intercept/Trend and intercept/None).

¹⁸ Levin, A., Lin, C.-F., and Chu, C.-S. J. (2002). "Unit Root Tests in Panel Data : Asymptotic and Finite-Sample Properties," *Journal of Econometrics*, 108(1), 1-24.

¹⁹ Breitung, J. (2000). "The Local Power of Some Unit Root Tests for Panel Data," in *Advances in Econometrics: Nonstationary Panels, Panel Cointegration, and Dynamic Panels*, edited by B. Baltagi, JAI Press, 161-178.

²⁰ Im, K. S., Pesaran, M. H., and Shin, Y. (2003). "Testing for Unit Roots in Heterogeneous Panels," *Journal of Econometrics*, 115(1), 53-74.

²¹ Fisher, R. A. (1932). *Statistical Methods for Research Workers*. Test appliqué aux panels par Maddala et Wu (1999) : Maddala, G. S., and Wu, S. (1999). "A Comparative Study of Unit Root Tests with Panel Data and a New Simple Test," *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 631-652.

²² Phillips, P. C. B., and Perron, P. (1988). "Testing for a Unit Root in Time Series Regression," *Biometrika*, 75(2), 335-346. Adapté pour les panels également par Maddala et Wu (1999).

²³ Hadri, K. (2000). "Testing for stationarity in heterogeneous panel data," *The Econometrics Journal*, 3(2), 148-161.

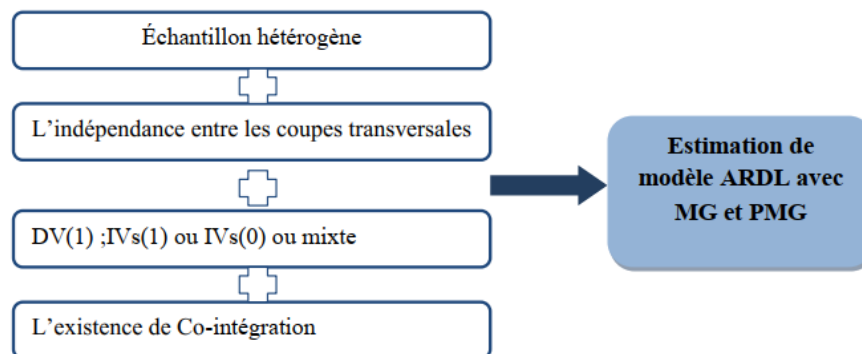
- 2- **Le test de Co-intégration du panel:** après avoir défini l'ordre d'intégration des variables et confirmer que le modèle le plus adéquate est le **Panel ARDL**.

Nous appliquons le test de Co-intégration du panel pour estimer les relations Co-intégrées hétérogènes à long terme entre les variables (Pedroni, 1999).

L'hypothèse de test:

$$\begin{aligned} H_0 &: \text{pas de Co-intégration} \\ H_1 &: \text{tous les panels sont Co-intégrés} \end{aligned}$$

3- Estimation du modèle par MG et PMG



- **La méthode MG (Mean Group)** permet d'estimer les coefficients du modèle individuellement pour chaque unité (chaque pays, entreprise, etc.) dans le panel. Autrement dit, elle suppose que les coefficients peuvent être hétérogènes pour chaque individu à court et à long terme.
- **La méthode PMG (Pooled Mean Group)** permet de **contraindre** les coefficients de long terme à être **identiques pour tous les individus**, tout en permettant une hétérogénéité des coefficients de court terme.²⁴

- 3- **Test de Hausman:** sur la base des deux méthodes précédentes, ce test nous permet de choisir l'estimateur le plus convenable à notre modèle dynamique.

L'hypothèse de test:

$$\begin{aligned} H_0 &: \text{PMG est approprié} \\ H_1 &: \text{MG est approprié} \end{aligned}$$

3.2 Le modèle économétrique et la description des variables

L'analyse de relation entre l'exposition de N₂O et la croissance économique, nous a conduit de travailler par un modèle de panel dynamique. (Panel ARDL) des données des pays de la région MENA (Algérie, Libye, Maroc, Arabie Saoudite, Koweït, Iran). Ces pays par enquête ont montré des statistiques en terme du taux de croissance importants sur la période 2002-2020. Nous avons sélectionné cette région en raison de sa diversité économique, où la richesse de certains pays vient principalement de l'agriculture, tandis que d'autres dépendent des matières premières telles que le gaz et le pétrole. Avant de mettre en place les résultats de notre analyse économétrique,

²⁴ Un autre estimateur, connu sous le nom de Dynamic Fixed Effect, présente des similitudes notables avec l'estimateur **PMG**. Toutefois, il impose une contrainte en fixant le coefficient du vecteur de co-intégration identique sur l'ensemble des panels à long terme.

notre étude prend appui à l'équation suivante, dont les variables indépendantes sont choisies à partir d'une revue de littérature varié :

$$PIB_t = C + \beta_1 N_2O_t + \beta_2 IDE_t + \beta_3 GOV_t + \beta_4 POP_t + \beta_5 EDU_t + \varepsilon_t$$

Où:

- **C: Constante du modèle**
- **B: Coefficient de régression**
- **ε_t : Erreurs**

Avec:

Tableau 2: description des variables

Variable	Mesure	Source de donnée
PIB	Taux de variation annuel du PIB en pourcentage.(en %)	World developement indicators (WDI)
N₂O	Données de quantification des émissions calculées à partir des activités humaines et industrielles.(en giga grammes (Gg))	EDGAR - Emissions Database for Global Atmospheric Research
IDE	Flux net des investissements entrants et sortants, incluant les prises de participation ou les réinvestissements des bénéfécies. (en % de PIB)	World developement indicators (WDI)
GOV	Moyenne des données des 6 indicateurs agrégés de la gouvernance	Worldwide governance indicators (WGI)
POP	Recensements nationaux et des projections démographiques. (en nombre absolu)	World developement indicators (WDI)
EDU	Dépense en éducation (en pourcentage)	World developement indicators (WDI)

Source: Elaboration personnelle

4 Résultat et discussion

4.1 Le test de stationnarité des variables

Nous allons commencer par une analyse de stationnarité des variables comme étape cruciale afin de déterminer leur ordre d'intégration. Cette étape est cruciale, car elle nous guidera pour choisir la méthode d'estimation la plus adaptée à notre étude. Le test repose sur l'hypothèse 0, c'est-à-dire la série contient une unit root qui est donc non stationnaire en niveau (intégrée d'ordre 0). Pour rendre la série stationnaire, on procède à des différences successives, de la première à la deuxième différence, jusqu'à ce qu'elle devienne stationnaire. Pour les modèles de panel, le test des racines unitaires repose sur quatre tests principaux :

- Levin, Lin, Chu (LLC)
- Im, Peseran and Shin (IPS)
- ADF-Fisher
- PP-Fisher

Nous avons obtenu les résultats ci-dessous²⁵ :

²⁵ Nous avons travaillé uniquement par le modèle intercept qui présente les résultats des 4 tests mentionnés

Tableau 3: Etude de stationnarité des variables

Variables	Tests	En niveau		En 1 ^{ère} différence	
		P..V	OI	P.V	O.I
PIB	LLC	0.4	NS	0.009	I(1)
	IPS	0.119	NS	0.000	I(1)
	ADF-Fisher	0.023	NS	0.000	I(1)
	PP-Fisher	0.000	I(0)	0.000	I(1)
N ₂ O	LLC	0.019	I(0)	0.001	I(1)
	IPS	0.322	NS	0.000	I(1)
	ADF-Fisher	0.308	NS	0.000	I(1)
	PP-Fisher	0.009	NS	0.000	I(1)
IDE	LLC	0.361	NS	0.015	I(1)
	IPS	0.053	NS	0.000	I(1)
	ADF-Fisher	0.092	NS	0.000	I(1)
	PP-Fisher	0.000	I(0)	0.000	I(1)
GOV	LLC	0.000	I(0)		
	IPS	0.002	I(0)		
	ADF-Fisher	0.003	I(0)		
	PP-Fisher	0.008	I(0)		
POP	LLC	0.248	NS	0.000	I(1)
	IPS	0.6	NS	0.000	I(1)
	ADF-Fisher	0.186	NS	0.000	I(1)
	PP-Fisher	0.000	I(0)	0.000	I(1)
EDU	LLC	0.000	I(0)		
	IPS	0.000	I(0)		
	ADF-Fisher	0.000	I(0)		
	ADF-Fisher	0.000	I(0)		

NS : Non significatif (p-value > 0.05)

Source : Elaboration personnelle via Eviews 12

L'analyse du tableau de stationnarité (Tableau 2) révèle un constat intéressant sur le comportement des variables étudiées :

- Le test de stationnarité du PIB montre qu'il n'est **pas stationnaire en niveau** selon les tests LLC, IPS, et ADF-Fisher, avec des p-values supérieures à 0,05, ce qui signifie que cette variable présente une tendance ou une structure non constante dans le temps. Cependant, le test PP-Fisher indique que la variable est stationnaire à ce niveau. En première différence, tous les tests (LLC, IPS, ADF-Fisher, et PP-Fisher) montrent que le PIB devient **stationnaire**, avec des p-values inférieures à 0,05. Cela indique que le PIB suit l'ordre d'intégration **1**, autrement dit il devient stationnaire après avoir pris la différence première.

- Pour l'émission de N_2O , les résultats sont contrastés. En niveau, seul le test LLC montre que la variable est **stationnaire**, avec une p-value inférieure à 0,05, tandis que les autres tests (IPS, ADF-Fisher, et PP-Fisher) indiquent qu'elle est non stationnaire. En revanche, en première différence, tous les tests révèlent que la variable devient **stationnaire**, avec des p-values inférieures à 0,05, ce qui indique que les émissions de N_2O sont également **intégrées d'ordre 1**.
- L'IDE n'est **pas stationnaire en niveau** pour la majorité des tests (LLC, IPS, et ADF-Fisher), avec des p-values supérieures à 0,05, bien que le test PP-Fisher montre une stationnarité. En première différence, tous les tests concluent à la **stationnarité** de la variable, suggérant que les IDE sont **intégrés d'ordre 1**.
- L'indicateur de gouvernance est **stationnaire en niveau** selon tous les tests (LLC, IPS, ADF-Fisher, et PP-Fisher), avec des p-values inférieures à 0,05. Cela signifie que cette variable suit l'ordre d'intégration **0**, c'est-à-dire qu'elle est stationnaire sans avoir besoin de transformation supplémentaire.
- La variable de la population n'est **pas stationnaire en niveau**, comme le montrent les tests LLC, IPS, et ADF-Fisher, avec des p-values supérieures à 0,05. Cependant, le test PP-Fisher indique que la variable est stationnaire. En première différence, tous les tests montrent que la variable devient **stationnaire**, avec des p-values inférieures à 0,05. Cela signifie que la population est **intégrée d'ordre 1**.
- Enfin pour l'éducation, elle est **stationnaire en niveau** selon tous les tests (LLC, IPS, ADF-Fisher, et PP-Fisher), avec des p-values inférieures à 0,05. Cela indique que cette variable est également **intégrée d'ordre 0**.

Ces tests révèlent que toutes les variables répondent aux critères nécessaires pour l'application du modèle ARDL, ils sont tous stationnaire soit en niveau ou en première différence. Comme nous le présente le tableau ci-dessous :

Tableau 4: l'ordre d'intégration des variables

Variables	En niveau	En 1 ^{ère} différence	Ordre d'intégration
PIB	Non stationnaire	Stationnaire	I(1)
N_2O	Non stationnaire	Stationnaire	I(1)
IDE	Non stationnaire	Stationnaire	I(1)
GOV	Stationnaire		I(0)
POP	Non stationnaire	Stationnaire	I(1)
EDU	Stationnaire		I(0)

Source: Elaboration personnelle via Eviews 12

4.2 Le test de co-intégration

Dans notre papier, nous avons vérifié la possibilité d'une liaison à long terme entre plusieurs variables (PIB, N_2O , GOV, IDE, EDU et POP) via des tests de Co-intégration de Pedroni (1999) et de Kao (1999). Ces tests sont essentiels pour déterminer si, malgré des fluctuations à court terme, ces variables évoluent ensemble à long terme. Nous allons vérifier les hypothèses suivantes :

$$\begin{aligned} H_0 &: \text{pas de Co-intégration} \\ H_1 &: \text{tous les panels sont Co-intégrés} \end{aligned}$$

4.2.1 Test de Pedroni

Le test de Pedroni est réalisé avec deux hypothèses alternatives : l'une où les coefficients AR (AutoRégressifs) sont communs entre les individus du panel (within-dimension), et l'autre où ces coefficients sont spécifiques à chaque individu (between-dimension).

- **Within-dimension** : Les résultats montrent que les **Panel PP-Statistic** et **Panel ADF-Statistic** sont significatifs (p-value = 0.0000 et 0.0062 respectivement), donc on rejette l'hypothèse 0 de non co-

intégration. En revanche, les **Panel v-Statistic** et **Panel rho-Statistic** ne sont pas significatifs, montrant que ces tests ne nous donnent pas des conclusions claires.

- **Between-dimension** : Le **Group PP-Statistic** est significatif (p-value = 0.0000), ce qui indique également la présence d'une co-intégration entre les variables. Cependant, les **Group rho-Statistic** et **Group ADF-Statistic** sont non significatifs, donc on rejette l'hypothèse 0.

Ainsi, les tests PP et ADF (dans les deux configurations) montrent une **relation de co-intégration** entre les variables du panel, tandis que les autres statistiques ne donnent pas de résultat clair.

4.2.2 Test de Kao

Le test de co-intégration de Kao, basé sur les résidus, fournit des résultats plus unifiés. Le **t-Statistic ADF** est de -5.425134 avec une **p-value** de 0.0000. Ces résultats sont hautement significatifs, donc on rejette l'hypothèse 0 de non co-intégration. Ainsi, le test de Kao confirme également qu'il y a une **co-intégration** entre les séries temporelles.

En effet, les tests de co-intégration de Pedroni et de Kao soulignent la possibilité d'une **liaison à long terme** entre les variables étudiées (PIB, exposition de N₂O, gouvernance, IDE, éducation, urbanisation) dans les différents pays du panel. Bien que certains des tests de Pedroni ne soient pas significatifs, les tests **PP et ADF** confirment la Co-intégration. Le test de Kao, plus strict, aboutit également à la conclusion que ces variables sont co-intégrées. Comme nous le montre le tableau ci-dessous :

Tableau 5 : Résultat du test de Pedroni et de Kao

Test	Statistique	P-value	Co-intégration
Test de Pedroni (within-dimension)	Panel v-Statistic	0.8459	Non
	Panel rho-Statistic	0.5612	Non
	Panel PP-Statistic	0.0000	Oui
	Panel ADF-Statistic	0.0062	Oui
Test de Pedroni (between-dimension)	Group rho-Statistic	0.7678	Non
	Group PP-Statistic	0.0000	Oui
	Group ADF-Statistic	0.2618	Non
Test de Kao	ADF-Statistic	0.0000	Oui

Source: Elaboration personnelle via Eviews 12

4.3 Le test de Hausman

Tableau 6 : Résultat du test Hausman

	Chi-Sq Statistic	P-value
Test Hausman	2.381414	0.7942

Source: Elaboration personnelle via Eviews 12

Nos hypothèses à vérifier après les résultats :

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \text{PMG est approprié} \\ H_1: \text{MG est approprié} \end{array} \right.$$

Puisque la p-value = 0.7942 est supérieur à 5%, nous n'allons pas rejeter l'hypothèse nulle, donc l'estimateur PMG est plus approprié dans notre étude.

4.4 L'estimateur du modèle Panel ARDL par Pooled Mean Group (PMG)

Après savoir l'ordre d'intégration de nos différentes variables (Voir Tableau 2) étant mixte entre $I(0)$ et $I(1)$, nous allons estimer le modèle de Panel ARDL par la méthode de PMG (Voir Tableau 4), les résultats de notre estimation sont présentés à travers la période à long terme et la période à courte terme.

4.4.1 Effet à long terme

L'analyse des résultats par la méthode PMG des effets à long terme (Voir Tableau 5) montre que dans la région MENA, les émissions de N_2O réduisent la croissance économique à long terme (Apergis and Payne, 2009 ; Halicioglu 2009 ; Jalil et Mahmoud, 2009 ; Lean and Smyth 2010, ainsi qu'Arouri et al, 2012), reflétant les défis environnementaux liés à la pollution. Les IDE montrent un potentiel de croissance, mais leur impact n'est pas significatif. L'amélioration de l'éducation est essentielle pour stimuler durablement l'économie, tandis qu'une urbanisation excessive peut freiner la croissance. Une gouvernance plus forte pourrait améliorer ces résultats en renforçant les institutions économiques et sociales.

Voici un aperçu des sorties de notre traitement de donnée sous Eviews 12 :

- **Emissions de N_2O** : Le coefficient est négatif et significatif (-0.000336, $p = 0.0219$), ce qui indique qu'une augmentation des émissions de N_2O entraîne une légère réduction du PIB à long terme. Cela reflète l'effet potentiellement néfaste des émissions polluantes sur la croissance économique, probablement en raison des coûts associés à la pollution (santé, environnement, etc.).
- **Investissements directs étrangers (IDE)** : Le coefficient est positif (0.761206), suggérant un effet bénéfique des IDE sur la croissance du PIB, bien que cet effet ne soit pas statistiquement significatif ($p = 0.1165$). Cela signifie que, qu'il y a une corrélation positive à long terme entre les IDE et la croissance économique, cette relation n'est pas assez forte pour le confirmer dans ce modèle.
- **Gouvernance (GOV)** : Le coefficient est positif (0.251339), mais non significatif ($p = 0.8873$). Cela veut dire l'inexistence d'impact significatif entre la gouvernance et la croissance du PIB à long terme dans cet échantillon de données.
- **Éducation (EDU)** : Le coefficient est fortement positif (1.573770) et significatif ($p = 0.0035$), indiquant que le niveau amélioré d'éducation a une influence considérable et positive à long terme sur la croissance. Cela souligne la nécessité de faire des investissements dans le capital humain pour favoriser la croissance économique durable.
- **Population urbaine (POP)** : Le coefficient est négatif et significatif (-0.296570, $p = 0.0111$), suggérant que l'urbanisation excessive peut influencer la croissance économique négativement à long terme, des fois en raison de problèmes liés à la congestion, à l'infrastructure ou à des disparités sociales accrues dans les zones urbaines.

Nos résultats sont présentés comme suit:

Tableau 7: Résultat des effets à long terme des variables indépendantes

Variable	Coefficient	P-value	Résultat
N₂O	-0.000336	0.0219	Négatif et significative
IDE	0.761206	0.1165	Positif mais non significative
GOV	0.251339	0.8873	Positif mais non significative
EDU	1.573770	0.0035	Positif et significative
POP	-0.296570	0.0111	Négatif et significative

Source: Elaboration personnelle via Eviews 12

4.4.2 Effet à court terme

Les résultats de notre analyse sur les effets à court terme par la méthode PMG (Voir Tableau 6) montre que dans la région MENA, les émissions de N₂O ont un effet positif modéré sur le PIB, tandis que les IDE n'ont pas d'impact immédiat. La gouvernance dans leurs pays joue un rôle crucial, avec un effet significatif et positif, soulignant l'importance d'améliorer les institutions et mettre en place des politiques soutenant l'environnement et le bien-être des citoyens. Nous soulignons également l'impact négatif de l'éducation à court terme s'explique par la non sensibilisation des futures générations sur l'importance de faire attention aux répercussions de la pollution.

Voici un aperçu des sorties de notre traitement de donnée sous Eviews 12:

- **Émissions de N₂O:** À court terme, les émissions de N₂O ont un effet positif modéré sur le PIB (0.000801), avec une p-value proche de la significativité ($p = 0.0540$). Cela peut refléter un impact temporaire des activités industrielles sur la croissance avant que les coûts à long terme ne se manifestent.
- **Investissements directs étrangers (IDE) :** L'effet des IDE à court terme est positif (1.079891), mais non significatif ($p = 0.3251$), indiquant que les IDE n'ont pas un impact immédiat notable sur la croissance du PIB dans ce modèle.
- **Gouvernance (GOV):** À court terme, la gouvernance a un effet significatif et positif (4.034168, $p = 0.0338$) sur la croissance du PIB. Cela peut indiquer la qualité améliorée de la gouvernance, notamment l'instauration des systèmes de transparence et la mise en question du problème de la corruption, peuvent avoir un impact immédiat et positif sur l'économie.
- **Éducation (EDU):** Curieusement, l'effet à court terme de l'éducation est négatif et significatif (-3.381298, $p = 0.0426$). Ce résultat peut s'expliquer par un décalage entre l'investissement dans l'éducation et ses bénéfices économiques plutôt manifesté à long terme qu'à court terme.
- **Population (POP):** À court terme, l'urbanisation n'a pas d'effet significatif sur le PIB ($p = 0.3370$), ce qui indique que ses effets se manifestent davantage à long terme.

Nos résultats sont présentés ci-dessous:

Tableau 8: résultat des effets à court terme des variables

Variable	Coefficient	P-value	Résultat
N₂O	0.00008	0.054	Positif et marginalement significatif
IDE	1.0798	0.325	Positif et non significative
GOV	4.0341	0.033	Positif et significative
EDU	-3.3812	0.042	Négatif et significative
POP	-101.200	0.337	Négatif et non significative

Source: Elaboration personnelle via Eviews 12

5 Conclusion et recommandation

Pour conclure, nous avons trouvé dans notre étude que l'exposition de dioxyde d'azote (N₂O) exercent un effet contrasté tant à court qu'à long terme sur la croissance économique des pays sélectionnés de la région MENA. À court terme, leur effet sur le PIB reste stable mais non significatif, probablement en raison de l'intensité des activités industrielles, qui anticipe la dynamique économique. En revanche, à long terme, les émissions de N₂O influencent négativement et significativement la croissance. Ce résultat confirme l'hypothèse H1 et l'existence d'une forme "U" inversée de la Courbe Environnementale de Kuznets (CEK), illustrant ainsi les coûts croissants associés à la pollution, notamment sur la santé publique et l'environnement, qui finissent par freiner la croissance du PIB.

Les implications découlant de cette relation nous interpellé qu'à court terme, l'industrialisation pourrait stimuler l'économie sans prendre en considération l'aspect environnementale, elle génère des couts indirects qui se manifestent plus tard. Dans le long terme, la pollution augmente en raison de leur effet néfaste, entraînant une réduction de la performance économique et des pertes énorme de croissance.

En effet, pour accroître leurs bénéfices économiques à court terme et réduire les effets malveillants des émissions de N₂O à long terme. Les pays que nous avons étudié doivent intervenir rapidement en mettant des mesures strictes. Tout d'abord ils doivent mettre en place des politiques environnementales avec des règlements strictes pour faire face aux effets accrus à long terme de la pollution tout en promouvoir l'usage des énergies renouvelables, ensuite les gouvernements sont amené à créer un environnement propice aux investissements dans la transition verte en encourageant le secteur industriel à adopter des technologies propres qui influencent la croissance du PIB et permet la réduction des expositions polluantes, et finalement nous avons besoin d'une éducation à l'environnement pour préparer les entreprises et la société dans son ensemble à se prémunir contre l'impact sanitaire et économique de la pollution.

Enfin, une application rigoureuse des politiques environnementales et une transparence éminente de la gestion des déchets industrielles est impératif pour déduire que les bénéfices économique à court terme ne détériore pas la durabilité de la croissance à court terme.

Références

- [1] Ang, J. B. (2008). Economic development, pollutant emissions and energy consumption in Malaysia. *Journal of Policy Modeling*, 30(2), 271-278.
- [2] Apergis, N., & Payne, J. E. (2009). CO₂ emissions, energy usage, and output in Central America. *Energy Policy*, 37(8), 3282-3286
- [3] Aroui, M. E. H., Youssef, A. B., M'henni, H., & Rault, C. (2012). Energy consumption, economic growth and CO₂ emissions in Middle East and North African countries. *Energy Policy*, 45, 342-349
- [4] Auci, S., & Becchetti, L. (2006). The instability of the environmental Kuznets curve in the presence of endogenous technical change. *Economic Modelling*, 23(5), 837-861.
- [5] Azomahou, T., Laisney, F., & Van Phu, N. (2006). Economic development and CO₂ emissions: A nonparametric panel approach. *Journal of Public Economics*, 90(6-7), 1347-1363.
- [6] Azomahou, T., Laisney, F., & Van Phu, N. (2006). Economic development and CO₂ emissions: A nonparametric panel approach. *Journal of Public Economics*, 90(6-7), 1347-1363.
- [7] Breitung, J. (2000). "The Local Power of Some Unit Root Tests for Panel Data," in *Advances in Econometrics: Nonstationary Panels, Panel Cointegration, and Dynamic Panels*, edited by B. Baltagi, JAI Press, 161-178.
- [8] Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431-455
- [9] Fisher, R. A. (1932). *Statistical Methods for Research Workers*. Test appliqué aux panels par Maddala et Wu (1999) : Maddala, G. S., and Wu, S. (1999). "A Comparative Study of Unit Root Tests with Panel Data and a New Simple Test," *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 631-652.
- [10] Friedl, B., & Getzner, M. (2003). Determinants of CO₂ emissions in a small open economy. *Ecological Economics*, 45(1), 133-148.
- [11] Hadri, K. (2000). "Testing for stationarity in heterogeneous panel data," *The Econometrics Journal*, 3(2), 148-161.
- [12] Halicioglu, F. (2009). An econometric study of CO₂ emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37(3), 1156-1164.
- [13] Hilaire, N., & Hervé, K. F. (2012). Effets de la croissance économique sur les émissions de CO₂ dans les Pays du Bassin du Congo. *Papier Proposé Au Premier Colloque De L'Association D'Économie Théorique Et Appliquée*, 1-17.
- [14] Hossain, M. S. (2011). Panel estimation for CO₂ emissions, energy consumption, economic growth, trade openness and urbanization of newly industrialized countries. *Energy Policy*, 39(11), 6991-6999.
- [15] Im, K. S., Pesaran, M. H., and Shin, Y. (2003). "Testing for Unit Roots in Heterogeneous Panels," *Journal of Econometrics*, 115(1), 53-74.
- [16] Jalil, A., & Mahmud, S. F. (2009). Environment Kuznets curve for CO₂ emissions: A cointegration analysis for China. *Energy Policy*, 37(12), 5167-5172
- [17] Lean, H. H., & Smyth, R. (2010). CO₂ emissions, electricity consumption and output in ASEAN. *Applied Energy*, 87(6), 1858-1864.
- [18] Lean, H. H., & Smyth, R. (2010). CO₂ emissions, electricity consumption and output in ASEAN. *Applied Energy*, 87(6), 1858-1864.
- [19] Levin, A., Lin, C.-F., and Chu, C.-S. J. (2002). "Unit Root Tests in Panel Data : Asymptotic and Finite-Sample Properties," *Journal of Econometrics*, 108(1), 1-24.
- [20] Nourry, M. (2007). L'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets et la soutenabilité de la croissance économique. *Revue économique*, 58(3), 565-574.
- [21] Ozturk, I., & Acaravci, A. (2013). The long-run and causal analysis of energy, growth, openness and financial development on carbon emissions in Turkey. *Energy Economics*, 36, 262-267.

- [22] Phillips, P. C. B., and Perron, P. (1988). "Testing for a Unit Root in Time Series Regression," *Biometrika*, 75(2), 335-346. Adapté pour les panels également par Maddala et Wu (1999).
- [23] Ren, S. (2014). Estimating the environmental Kuznets curve for CO₂ emissions: Evidence from China. *Energy Policy*, 69, 491-503.
- [24] Richmond, A. K., & Kaufmann, R. K. (2006). Energy prices and turning points : The relationship between income and energy use/carbon emissions. *The Energy Journal*, 27(4), 157-180.
- [25] Saboori, B., Sulaiman, J., & Mohd, S. (2012). Economic growth and CO₂ emissions in Malaysia : A cointegration analysis of the environmental Kuznets curve. *Energy Policy*, 51, 184-191.
- [26] Shafik, N. (1994). Economic development and environmental quality: An econometric analysis. *Oxford Economic Papers*, 46, 757-773.
- [27] Stern, D. I. (2002). Explaining changes in global sulfur emissions: An econometric decomposition approach. *Ecological Economics*, 42(1-2), 201-220.