

Convergence des émissions par tête de dioxyde de carbone : Le rôle de l'éducation

KINDA S. Romuald

Doctorant au CERDI¹, Université d'Auvergne

¹ Centre d'Etude et de Recherche sur le Développement International (CERDI-CNRS), Université d'Auvergne. 65 Bd François Mitterrand 63000 Clermont-Ferrand, France
Email : kindaromi@yahoo.fr; Somlanare_Romuald.Kinda@u-clermont1.fr

Abstract

This paper examines the importance of education on the convergence in carbon dioxide per capita emissions for 85 countries over the period 1970-2004. Following Brock and Taylor (2004), we add human capital specially education in the green solow model and apply Generalized Method of Moments (GMM-System) to panel data. This rigorous approach takes into account observed and unobserved heterogeneity of countries and solves the endogeneity of some variables.

Our results suggest the absence of convergence in carbon dioxide per capita emissions in world. Contrary to common intuition, in developing countries there is no convergence and education doesn't matter for carbon dioxide emissions. The main engine in emissions growth reduction is technical progress. In developed countries, education favours convergence in carbon dioxide per capita emissions only if it interacts with good political institutions. Without interaction to political institutions, education increases carbon dioxide per capita emissions growth and handicaps convergence.

Résumé

Cet article a pour but d'analyser le rôle de l'éducation dans la convergence des émissions par tête de dioxyde de carbone dans 85 pays. Pour cela nous nous inspirons de Brock et Taylor (2004) et développons le modèle de Solow vert augmenté du capital humain. L'analyse empirique s'effectue sur des données de panel sur la période 1970-2004 à l'aide de la méthode du GMM-system afin de résoudre le problème d'endogénéité de certaines variables. Nos résultats suggèrent l'absence d'une convergence des émissions par tête de dioxyde de carbone au niveau mondial. Dans les pays en développement il y a une divergence des émissions par tête de dioxyde de carbone et l'éducation semble n'avoir aucun effet sur la pollution. Le moteur de la réduction des émissions de pollution reste le progrès technique. Pour les pays développés, l'éducation est facteur de convergence si et seulement si elle est associée à de bonnes institutions politiques. En absence de celles-ci, l'éducation est facteur de pollution.

Mots clé: Convergence; émissions de dioxyde de carbone; education; Methode des moments généralisés.

JEL Classification: I20, 013, Q53

1. Introduction

Depuis quelques années, le débat sur le changement climatique a connu un regain d'attention du fait que ces effets (environnementaux, socio-économiques) sont plus évidents aujourd'hui qu'ils ne l'étaient auparavant. En réponse, ont été signés entre les Etats des accords dont le Protocole de Kyoto. Il établit entre autres des mécanismes de flexibilité, des engagements des pays pour la stabilisation ou mieux la réduction des émissions de gaz à effet de serre (ges) sur la période 2008-2012. Toutefois ces engagements n'incluent pas les PED et son application est sujette à de nombreuses critiques. Malgré ces nombreuses incertitudes, le Protocole de Kyoto reste le seul instrument d'économie politique contre la pollution à l'échelle internationale qu'il convient d'améliorer afin d'intégrer les pays en développement.

Analyser la distribution géographique des gaz à effets de serre (ges) peut affecter les négociations multilatérales sur le climat. Elle pourrait inciter les pays à émission par tête élevée de pollution (les pays développés) à effectuer plus d'effort pour atténuer le changement climatique par rapport aux pays dont les émissions par tête sont faibles (les PED). Sachant que les émissions de ces derniers dépasseront celles des premiers cités d'ici quelques années, certains analystes souhaitent encourager leur participation par une allocation des droits d'émissions de GES selon le principe des émissions par tête. Cependant un tel principe a été rejeté par les pays développés qui craignent un transfert important des ressources financières en direction des PED. S'il s'avère que les émissions convergent dans le temps alors cette crainte pourrait diminuer voire disparaître. Si par contre les émissions divergent dans le temps, ce principe entraînerait un transfert de ressources important à travers les échanges internationaux de quotas. L'absence de convergence des émissions bloque la participation des PED à une politique de réduction des émissions de pollution. Inciter leur participation au travers d'une allocation par tête pourrait ne pas avoir l'aval des pays développés s'il n'y a pas une convergence des émissions. Ainsi l'analyse de la convergence des GES est primordiale en termes d'implication politiques.

L'objectif de ce travail est d'analyser le rôle de l'éducation dans la convergence des émissions de pollution. D'une part, il s'agit d'analyser la convergence des émissions par tête de dioxyde de carbone de 85 pays durant la période 1970-2004. Cette analyse s'inscrit dans la littérature empirique récente de la convergence de pollution de l'air illustrée par de nombreux auteurs. Strazicich et List (2003), s'interrogent sur l'existence d'une convergence spatiale des émissions de dioxyde de carbone sur la période 1960-1997. Ils concluent à une convergence conditionnelle des émissions de pollution pour l'ensemble de 21 pays industrialisés. Ils

justifient ce résultat par le fait que ces pays se trouvent dans la partie décroissante de la courbe de kuznet environnementale et que leur revenu par tête sont inférieurs à celui de l'état régulier. Cela entraînerait une réduction de la pollution plus faible durant la phase transitoire qu'à l'état régulier. Nguyen (2005) obtient également une convergence pour les pays industrialisés et une faible convergence pour l'ensemble de 100 pays sur la période 1966-1996. Stegman (2005) montre que la convergence des émissions par tête est faible pour l'ensemble de 97 pays étudiés (sur la période 1950-1999) et inexistante pour ceux dont les taux de croissance sont élevés. Par ailleurs, les pays dont le niveau d'émission est bas ont une forte probabilité de rester au bas de la distribution tandis que ceux dont le niveau est élevé, en haut de celle-ci.

D'autre part, nous analysons le lien entre l'éducation et la convergence de la pollution à l'aide du modèle de Solow vert et augmenté du capital humain. Cela nous permet de mettre en évidence non seulement l'importance du capital humain et plus spécifiquement l'éducation mais aussi d'identifier d'autres déterminants. Contrairement à la littérature sur la croissance et la convergence économique, celle sur l'environnement s'est peu intéressée au rôle de l'éducation sur la pollution de l'air. Nous distinguons deux approches que sont l'approche de l'externalité civique et l'approche du capital humain.

Nos résultats suggèrent l'absence d'une convergence des émissions par tête de dioxyde de carbone au niveau mondial. Dans les pays en développement il y a une divergence des émissions par tête et l'éducation semble n'avoir aucun effet sur la pollution. Le moteur de la réduction des émissions de pollution reste le changement technologique. Pour les pays développés, l'éducation est facteur de convergence si et seulement si elle est associée à de bonnes institutions politiques. En absence de celles-ci, l'éducation est facteur de croissance de la pollution.

Le reste du papier est organisé comme suit. La section 2 montre en quoi l'éducation influence la qualité de l'environnement et dans la section 3 nous présentons le modèle théorique à savoir le modèle de Solow environnemental augmenté. La section 4 présente les résultats empiriques et la dernière est consacrée à la conclusion.

2. Comment l'éducation influence la qualité de l'environnement ?

L'éducation peut avoir un effet sur l'environnement selon plusieurs canaux. Nous distinguons essentiellement deux approches que sont l'approche de l'externalité civique et l'approche du capital humain.

La première approche consiste à tenir compte de l'externalité civique de l'éducation. En effet depuis quelques années, l'éducation est considérée comme un vecteur essentiel du développement durable et donc de la lutte contre la pollution. Robitaille (1998) la considère comme "un processus permanent d'apprentissage concourant à la formation de citoyennes et citoyens ayant acquis les savoirs, savoir-être, savoir-faire et savoir-vivre. Cela leur permet de s'engager dans des actions individuelles et collectives, fondées sur les principes d'interdépendance et de solidarité, qui favorisent l'harmonisation des relations « personne-société-environnement » et l'avènement des sociétés écologiquement viables, socio politiquement équitables et économiquement justes ici et ailleurs, maintenant et pour les générations futures". Farzin et Bond (2006) identifient trois canaux permettant une relation positive entre le niveau de l'éducation dans un pays et les indicateurs de qualité environnementale.

D'abord les individus les plus éduqués seraient davantage conscients des problèmes environnementaux et auraient donc des comportements et modes de vie en faveur de l'amélioration de l'environnement. Ainsi Bimonte (2002) obtient une relation positive entre le niveau de l'éducation et la demande de protection environnementale. Il montre également que l'éducation accroît le niveau minimum de qualité environnementale auquel une société donnée exige pour un même niveau de revenu.

Ensuite les populations les mieux éduquées ont une meilleure capacité à utiliser les moyens et canaux existants afin d'exprimer leurs préférences environnementales. Ils peuvent aussi s'organiser en groupes de pression afin d'obtenir la mise en place de politiques publiques environnementales. Wheeler et al(1997) réalisent une analyse sur les facteurs incitant les populations à se plaindre des dommages environnementaux en Chine. Ils concluent que les provinces chinoises dont le niveau d'éducation de la population est relativement plus faible ont une propension marginale plus faible à se plaindre des dommages environnementaux. Ils justifient cela par le fait qu'en absence d'éducation, les populations ont peu d'information pour mesurer les risques et les effets néfastes des dommages environnementaux à long terme et ne s'intéressent donc qu'à leur impact évident. Cela pourrait aussi s'expliquer par le fait que les individus moins bien éduqués ont peu confiance dans leur propre capacité d'influencer les autorités. Des études empiriques menées par la Banque Mondiale (Wheeler & Huq, 1993) montrent qu'en absence de politiques

gouvernementales efficaces, les communautés dont le niveau d'éducation est élevé entreprennent des actions favorables au contrôle ou la réduction des émissions de pollution.

Malgré le relatif consensus sur l'effet positif de l'éducation, d'autres auteurs pensent que l'éducation est facteur de pollution. Jorgenson (2003) considère que l'éducation a un effet positif sur l'empreinte écologique. Des individus éduqués ont davantage de revenu et de pouvoir d'achat et sont incités à une surconsommation des biens matériels. En effet le désir de bien vivre sans se soucier des conséquences de la recherche du bonheur à travers les biens matériels et le modèle idéologique du "consommer plus pour être plus heureux" (Princen et al. 2002) véhiculé par la publicité et les médias les amènent à une plus grande consommation des biens matériels. Considérant que la surconsommation des biens est un facteur de surexploitation des ressources naturelles, les individus éduqués contribuent à la dégradation de l'environnement (pollution de l'air, des sols, et des eaux). Ses résultats concluent à un effet positif et significatif du taux de scolarisation sur l'empreinte écologique par tête.

Selon la seconde approche, l'accumulation du capital humain accroît la productivité du travail et donc le revenu (Mankiw, Romer and Weil, 1992). Selon l'hypothèse de la courbe de kuznet environnementale, la qualité de l'environnement se dégrade initialement avec la hausse du revenu et donc du processus de développement économique. A partir d'un seuil donné, la tendance se renverse et la hausse du revenu peut être alors associée à une amélioration de l'environnement. Cela s'explique par le fait que l'accroissement du revenu par tête génère des ressources nécessaires à l'abattement de la pollution. L'effet de l'éducation sur l'environnement est donc indirect, double et fonction du niveau de développement de l'économie.

Ensuite, l'éducation facilite le développement et l'adoption de nouvelles technologies plus productives et propres. Elle stimule la création du savoir, l'innovation du fait de ces fonctions de recherche et de diffusion émanant des centres de recherches et d'institutions et promeut de nouvelles idées et connaissances. Ces institutions forment d'une part de nombreux ingénieurs et scientifiques et donc un secteur de recherche favorable à la dépollution, capables de développer des technologies environnementales. De nombreux auteurs tels que Wheeler et al.(1992) et O'Connor (1994) ont montré l'importance du commerce international dans le transfert et l'adoption de nouvelles technologies plus propres permettant à nombreux pays de réaliser des sauts technologiques. Ainsi l'accumulation du capital humain permet la réduction de la pollution via le transfert de technologies propres et leur assimilation et/ou diffusion au sein des économies.

Enfin l'éducation peut changer la structure des exportations des économies qui peuvent devenir relativement plus intensives en capital humain et donc relativement moins dépendantes des exportations extractives polluantes et accroissant leur capacité à installer des politiques de protection de l'environnement. Lorsque dans une économie donnée, la pollution n'est pas régulée, sa hausse ou sa réduction dans le temps dépend fortement du changement technologique et de la nature de la croissance économique. En effet si l'économie croît initialement grâce à l'accumulation du capital physique polluant et plus tard grâce à l'accumulation du capital humain non polluant, alors la pollution peut apparaître sous la forme d'une courbe en U inversée.

3. Modèle théorique : modèle de Solow Vert augmenté

Considérons une économie donnée pour laquelle la production de biens (Y) est une fonction de type Cobb-Douglas et caractérisée par des rendements d'échelle constant.

$$Y = F(K, H, BL)$$

$$Y = K^\alpha H^\beta (BL)^{1-\alpha-\beta} \quad (1)$$

avec Y l'output, K le capital physique, H le capital humain, L la taille de la population et B le niveau de progrès technique. Le taux de croissance de la population et du progrès technique incorporé sont respectivement de n et g et obtenus par :

$$\frac{\dot{L}}{L} = n \text{ et } \frac{\dot{B}}{B} = g \quad (2)$$

La production de l'économie génère des émissions de pollution (E) modélisée par l'équation ci-dessous :

$$E = \Omega F(K, H, BL) \quad (3)$$

Autrement dit les émissions de pollution sont déterminées par la taille de l'économie F et les techniques de production (Ω). Ces techniques peuvent être influencées par le progrès technique permettant la réduction de la pollution. L'économie met en place un secteur des activités de dépollution qui peuvent être en amont ou en aval afin de traiter et de réduire les dommages environnementaux. La dépollution des activités de l'économie se fait au taux (g_A).

Soit s_k et s_h les taux d'investissement du capital physique et du capital humain respectivement dans l'output. Nous supposons que le taux de dépréciation du capital humain est identique à celui du capital physique.

En définissant le capital physique, l'output, le capital humain et les émissions par unité intensive respectivement par $k = \frac{K}{BL}$, $y = \frac{Y}{BL}$, $h = \frac{K}{BL}$, $e = \frac{E}{BL}$, la dynamique du capital physique et du capital humain est obtenue respectivement par les équations ci-dessous:

$$\begin{aligned}\dot{k} &= s_k y - (\delta + n + g)k \\ \dot{h} &= s_h y - (\delta + n + g)h\end{aligned}\quad (4)$$

L'on obtient alors le modèle de solow vert augmenté du capital humain ci-dessous:

$$\begin{aligned}e &= \Omega f(k, h) \\ y &= f(k, h) \\ \dot{k} &= s_k y - (\delta + n + g)k \\ \dot{h} &= s_h y - (\delta + n + g)h \\ \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} &= -g_A\end{aligned}\quad (5)$$

De l'équation (3), le taux de croissance des émissions de pollution correspond à :

$$\frac{\dot{E}}{E} = \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} + \frac{\dot{F}}{F}\quad (6)$$

L'évolution de la fonction (F) dépend de l'état dans lequel se trouve l'économie qui peut être à l'état régulier ou dans la dynamique transitionnelle.

L'état régulier

A l'état régulier, le capital physique ($k_{i,t}$) et humain ($h_{i,t}$) convergent vers leur valeur d'équilibre $k_{i,t}^*$ et $h_{i,t}^*$

$$k^* = \left(\frac{s_k^{1-\beta} s_h^\beta}{(n+g+\delta)} \right)^{1/(1-\alpha-\beta)} \quad \text{et} \quad h^* = \left(\frac{s_k^\alpha s_h^{1-\alpha}}{(n+g+\delta)} \right)^{1/(1-\alpha-\beta)}$$

Sachant qu'à l'état régulier, l'économie croît au rythme ($g+n$), le taux de croissance des émissions de pollution correspond alors:

$$\frac{\dot{E}}{E} = -g_A + g + n\quad (7)$$

Ce taux peut être positif, nul ou négatif et correspond à la différence entre l'effet d'échelle provenant de l'impact de la croissance économique sur la pollution et l'effet technique provenant du progrès technique du secteur de la dépollution. La condition pour une croissance soutenable, à l'état régulier, est que la croissance du progrès technique dans le secteur de dépollution soit supérieure à celle de l'économie et de la population d'une part et que la croissance du revenu par tête soit positive d'autre part. On a:

$$\begin{aligned}g &> 0 \\ g^A &> g + n\end{aligned}\quad (8)$$

La dynamique transitionnelle

En considérant que l'économie se situe hors de l'état régulier et en approximant le taux de croissance de l'économie similairement à Brock & Taylor (2004), le taux de croissance des émissions par tête de pollution est alors :

$$\log\left(\frac{e_{i,t}}{e_{i,t-1}}\right) = \beta_1 \log(e_{i,t-1}) - g_{Ai,t} + \beta_2 \log(h_{i,t}) + \delta x_{i,t} + \lambda_t + \alpha_i + \varepsilon_{i,t} \quad (9)$$

avec $e_{i,t}$ représente la quantité de dioxyde de carbone (en tonne metric) émise par individu, en moyenne, vivant dans un pays i à l'année t .

L'équation (9) issue du modèle de solow vert augmenté du capital humain nous permettra d'analyser d'une part le rôle du capital humain dans la croissance de la pollution et d'autre part si les pays partageant les mêmes caractéristiques économiques et les mêmes conditions initiales ont une convergence de leurs émissions par tête de pollution.

4. Analyse empirique

4.1. Spécification économétrique

L'approche économétrique de notre papier est d'analyser le rôle du capital humain dans la convergence des émissions par tête des émissions de pollution. A cet effet nous estimons l'équation(8) reliant le taux de croissance des émissions de pollution au niveau de l'éducation et à un ensemble de variables de contrôle. La période d'étude est 1970-2004 et les données sont compilées en moyennes quinquennales. Il s'agit d'un échantillon de 85 pays (pays en développement et développés).

La variable clé de l'hypothèse de la convergence correspond au coefficient β_1 . Si celui-ci est significativement négatif, alors on peut conclure que les pays dont les émissions par tête sont basses rattrapent ceux dont les émissions sont initialement élevées. Et s'il est significativement positif, il y a une divergence des émissions.

4.1.1 Les déterminants du taux de croissance des émissions de pollution

Le taux d'investissement et de croissance de la population

Dans le modèle de Solow vert de Brock et Taylor (2004), un taux d'investissement plus fort entraîne un stock de capital plus élevé à l'état régulier et donc une croissance plus élevée des émissions par tête de pollution durant la dynamique transitionnelle. De même, une

augmentation de la population a un impact négatif sur le niveau du stock de capital et sur le taux de croissance des émissions de pollution par tête.

L'ouverture commerciale

Selon Grossman et Krueger (1995), les effets de l'ouverture au commerce international peuvent être décomposés en trois éléments: l'effet d'échelle, l'effet technique et l'effet de composition. L'effet d'échelle mesure l'accroissement de l'activité économique provenant de son ouverture qui aura donc un impact positif sur les émissions de pollution. Lorsque les techniques de production deviennent plus propres du fait de l'augmentation des revenus de population induisant une demande pour un environnement plus sain, les émissions de pollution diminuent (effet technique). L'effet de composition peut avoir un impact positif ou négatif sur l'environnement car il mesure l'évolution de l'économie vers une structure productive plus ou moins propre. Ainsi, Antweiler et al. (2001) concluent que le commerce réduit les émissions de pollution de 43 pays sur la période 1971-1996. Il en est de même pour Frankel et Rose (2005) qui concluent que l'ouverture est favorable à la baisse de pollution. Cependant d'autres auteurs tels que Managi (2004) concluent que l'ouverture a un impact négatif sur les émissions de dioxyde de carbone.

Les institutions politiques

L'argument est qu'un système politique et civil libre permet aux populations d'exprimer facilement leurs préférences pour une meilleure protection de l'environnement. La relation entre les libertés politiques et l'environnement a été analysée par de nombreux auteurs. Deacon (1999) et Olson (1993) affirment que les libertés politiques sont favorables à la protection de l'environnement en ce sens que les régimes non démocratiques vont sous produire l'environnement considéré comme un bien public. Ils justifient cela en considérant que les régimes non démocratiques sont dirigés par une élite politique qui s'accapare une part importante des revenus du pays et des rentes générées afin de maximiser son propre bien-être. La mise en place de politiques environnementales rigoureuses peut retarder la création de revenus (via la croissance économique) dont le coût marginal sera plus élevé pour l'élite gouvernante alors que le bénéfice marginal est uniforme pour l'élite et la population. Comme le coût marginal d'une politique environnementale est supérieur au bénéfice marginal de l'élite, ils ne seront pas favorables à de telles politiques. Comme la distribution des revenus est moins inégalitaire dans les régimes démocratiques, le coût marginal des politiques environnementales et son impact sur la croissance économique sont alors supportés par

l'ensemble de la population. Un coût marginal individuel faible accroît la probabilité de mise en place de politiques réduisant les émissions de pollution. Cependant Congelton (1992) pense que les libertés politiques peuvent avoir un impact positif sur les émissions de pollution. Selon lui, les gouvernements démocratiques peuvent être atteints d'une myopie politique contrairement aux gouvernants non démocratiques qui les amènent à décider sur un horizon temporel court.

Le progrès technique

Nous définissons le progrès technique comme l'ensemble des techniques et de processus de production contribuant à la réduction voire l'annulation des dommages environnementaux et ou l'usage des matières premières et énergétiques, des ressources naturelles. Nous modélisons le progrès technique à partir de l'estimation de l'intensité de l'économie en dioxyde de carbone. En effet on peut considérer que l'évolution de l'intensité polluante de l'économie peut s'expliquer par la structure de l'économie même d'une part et par le progrès technique pour la réduire d'autre part. Les facteurs structurels influençant l'intensité polluante d'une économie donnée sont le niveau global de l'activité économique (le revenu par tête), l'ouverture au commerce international et l'évolution des prix de l'énergie. Notre méthode consiste à estimer l'intensité polluante d'une économie donnée sur ses principaux facteurs qui sont structurels, le coefficient associé au trend étant considéré comme le progrès technique². L'estimation de notre équation (10) s'effectue par MCO pour chaque pays i et t la période donnée.

$$\text{Log} \left(\frac{e_{i,t}}{y_{i,t}} \right) = \gamma_i + \gamma_1 \text{Log}(pcpib_{i,t}) + \gamma_2 \text{energ}_{i,t} + \gamma_3 \text{ouv}_{i,t} + \gamma_3 \text{trend} + \omega_{i,t} \quad (10)$$

avec $\frac{e_{i,t}}{y_{i,t}}$ les émissions de dioxyde par unité de revenu, $pcpib_{i,t}$ le revenu par tête, $\text{energ}_{i,t}$ le prix du pétrole et $\text{ouv}_{i,t}$ l'ouverture commerciale.

4.2. La méthode d'estimation

Nous effectuons notre estimation en panel. La prise en compte des dimensions transversale et temporelle permet de tenir compte de l'hétérogénéité inobservée (par exemple l'influence des spécificités économiques et des politiques environnementales, etc.). Pour estimer notre équation, nous pouvons supposer que les comportements entre pays et dans le temps sont identiques et utiliser alors l'estimateur des moindres carré ordinaires (MCO). Il est difficile cependant de croire que le comportement de la Chine en matière de pollution est semblable à celui du Luxembourg d'où l'importance de modéliser l'hétérogénéité des

² Nous sommes conscients que l'estimation du progrès technique par cette méthode a de nombreuses limites.

comportements. Deux possibilités existent. La première consiste à supposer que les effets sont fixes. On prend en compte les spécificités individuelles et les spécificités temporelles en introduisant des effets fixes pays et temporels. On peut alors estimer notre équation en recourant aux moindres carrés ordinaires (MCO) auxquels on ajoute des variables muettes pays et temporelles. On peut aussi utiliser l'estimateur intra individuel temporel qui consiste à effectuer une estimation des écarts aux moyennes temporelles et individuelles. L'idée fondamentale expliquant l'utilisation des effets fixes est que ceux-ci sont corrélés aux variables explicatives. Un autre avantage est la modélisation des effets inobservables en considérant qu'ils sont stables dans le temps ou communs aux pays. La seconde méthode considère que les effets spécifiques sont aléatoires et non corrélés avec les variables explicatives. De plus ces effets ne doivent être corrélés ni entre eux ni avec l'erreur idiosyncratique.

Cependant l'équation d'estimation ci-dessus, peut se réécrire sous la forme suivante. En posant $g_{i,t}^e = \log(e_{i,t}) - \log(e_{i,t-1})$ alors on a :

$$\log(e_{i,t}) - \log(e_{i,t-1}) = \alpha_i + (\beta - 1)\log(e_{i,t-1}) + \delta x_{i,t} + \lambda_t + \varepsilon_{i,t} \quad (11)$$

$$\log(e_{i,t}) = \alpha_i + \beta \log(e_{i,t-1}) + \delta x_{i,t} + \lambda_t + \varepsilon_{i,t}$$

Il s'agit alors d'un modèle dynamique avec la présence de la variable dépendante retardée parmi les variables explicatives. L'estimation de ce modèle par les méthodes standards est inadéquate. En effet en posant $y_{i,t} = \log(e_{i,t})$, $y_{i,t-1} = \log(e_{i,t-1})$ et en appliquant les MCO au modèle on alors :

$$y_{i,t} - y_{i,t-1} = \beta(y_{i,t-1} - y_{i,t-2}) + \delta(x_{i,t} - x_{i,t-1}) + (\gamma_t - \gamma_{t-1}) + (\varepsilon_{i,t} - \varepsilon_{i,t-1}) \quad (12)$$

Par la définition même du modèle ci-dessus (équation (12)), il y a une corrélation entre la variable retardée ($y_{i,t-1}$) et le terme d'erreur ($\varepsilon_{i,t}$), ou entre ($y_{i,t-1}$) et ($\varepsilon_{i,t}$) ou encore entre ($y_{i,t-1}$) et ($\varepsilon_{i,t-1}$). Ces corrélations entraînent un biais pour l'estimateur car la variable retardée est endogène. Selon Nickell (1982), en présence d'un modèle autorégressif pur, l'estimateur peut être alors consistant si T tend vers l'infini. L'estimation du modèle en différence première n'est pas satisfaisante car l'estimateur est non convergent lorsque N tend vers l'infini. Il est donc inadéquat d'estimer le modèle dynamique ci-dessus par les méthodes économétriques standards du fait de la corrélation entre la variable endogène retardée et l'erreur. Pour résoudre ces problèmes, nous utilisons la méthode des moments généralisés

proposée par Arellano-Bond (1991), Arellano-Bover (1995) et Blundell-Bond (1998) qui résoud le biais d'endogénéité des variables et prend en compte les effets spécifiques.

Arellano et Bond (1991) proposent l'utilisation des variables retardées en niveau comme instruments dans l'estimation de l'équation en différence première.

$$y_{i,t} - y_{i,t-1} = \beta(y_{i,t-1} - y_{i,t-2}) + \delta(x_{i,t} - x_{i,t-1}) + (\gamma_t - \gamma_{t-1}) + (\varepsilon_{i,t} - \varepsilon_{i,t-1}) \quad (13)$$

En considérant que les variables explicatives sont faiblement exogènes et que les erreurs ne sont pas corrélées, les conditions suivantes doivent être respectées;

$$E(y_{i,t-s}(\varepsilon_{i,t} - \varepsilon_{i,t-1})) = 0 ; s \geq 2 ; t=3, \dots, T$$

$$E(x_{i,t-s}(\varepsilon_{i,t} - \varepsilon_{i,t-1})) = 0 ; s \geq 2 ; t=3, \dots, T$$

Cependant Blundell et Bond (1998) et Arellano et Bover (1995) montrent que les valeurs retardées des variables explicatives sont de faibles instruments conduisant à des résultats biaisés lorsque l'échantillon est fini. Ils proposent l'utilisation du GMM en système qui est plus efficace que l'estimateur GMM en différence à l'aide des simulations de Monte Carlo. C'est une technique qui consiste à estimer le système d'équations ci-dessous composé de deux équations, l'une en niveau et l'autre en différence première.

$$\begin{aligned} y_{i,t} &= \beta * y_{i,t-1} + \delta x_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \\ y_{i,t} - y_{i,t-1} &= \beta(y_{i,t-1} - y_{i,t-2}) + \delta(x_{i,t} - x_{i,t-1}) + (\gamma_t - \gamma_{t-1}) + (\varepsilon_{i,t} - \varepsilon_{i,t-1}) \end{aligned} \quad (14)$$

Pour l'équation en différence, les instruments utilisés sont les valeurs retardées en niveau des variables ($y_{i,t}$) et ($x_{i,t}$) alors que pour l'équation en niveau, les instruments sont les différences premières de ($y_{i,t}$) et ($x_{i,t}$). Les conditions que les moments doivent respecter pour l'équation en niveau sont :

$$E((y_{i,t-s} - y_{i,t-s-1}).(\alpha_i + \varepsilon_{i,t})) = 0 \text{ pour } s=1$$

$$E((x_{i,t-s} - x_{i,t-s-1}).(\alpha_i + \varepsilon_{i,t})) = 0 \text{ pour } s=1$$

L'estimateur en GMM système est plus efficace que l'estimateur en GMM différence en ce sens que les moments doivent respecter les 4 conditions ci-dessus. De plus on teste la validité des variables retardées comme instruments à l'aide du test de suridentification de Sargan et on effectue aussi un test d'autocorrélation des erreurs de second ordre.

Par ailleurs l'autre problème potentiel de notre étude est l'endogénéité de certaines variables explicatives provenant du biais de simultanéité, des erreurs de mesure et du risque de variables omises. En effet, nous avons montré précédemment que les coefficients de notre

estimation sont biaisés du fait de l'existence d'une corrélation entre la variable retardée ($y_{i,t-1}$) et le terme d'erreur ($\varepsilon_{i,t}$), ou entre ($y_{i,t-1}$) et ($\varepsilon_{i,t}$) ou encore entre ($y_{i,t-1}$) et ($\varepsilon_{i,t}$) qui conduit à une endogénéité de notre variable retardée. Pour corriger ce biais, nous appliquons la méthode du GMM en système dont l'intérêt principal est qu'il instrumente les variables explicatives par les valeurs retardées en niveau et leurs différences premières.

4.3. Analyse descriptive des données

Les données de dioxyde de carbone par tête, du taux d'investissement, de l'ouverture commerciale et du taux de croissance de la population sont issues du World Development Indicators (World Bank, 2005). Celles sur le capital humain (l'éducation) et des institutions politiques proviennent respectivement de Barrolee (2000) et de Polity IV (2002). Les émissions de dioxyde de carbone par tête sont mesurées en tonne métrique par tête et correspondent aux émissions provenant de la combustion des énergies fossiles et des industries de ciment sous la forme liquide, solide ou de gaz. L'ouverture commerciale et le taux d'investissement correspondent respectivement à la part de la somme des exportations et des importations et des investissements dans le produit intérieur brut(PIB) du pays. Comme institutions politiques, nous avons choisi l'indice de polity2 qui est un score obtenu par la différence de l'indice de démocratie et de celui d'autocratie sur une échelle allant de +10 (démocratie) à -10 (autocratie). L'indicateur de démocratie est caractérisé par l'existence effective de règles institutionnelles encadrant l'exercice du pouvoir et la présence d'institutions permettant aux citoyens d'exprimer leurs attentes et préférences aux responsables. L'autocratie est caractérisée par l'absence ou la restriction de participation politique compétitive, la planification et le contrôle de l'économie. L'exercice du pouvoir est très peu contraint par des institutions et les leaders sont choisis uniquement au sein d'une « élite politique ». Les données de l'éducation issues de Barro&Lee(2000) correspondent au nombre moyen d'années d'instruction des individus de plus de 15 ans.

Le tableau(1) présente la statistique descriptive de l'éducation, des émissions de pollution et leur taux de croissance. Il indique un fort taux de croissance des émissions par tête de dioxyde de carbone (8,23%). Celle-ci, tirée par les PED (9,4%) indique leur importance dans le phénomène actuel et global de pollution relativement aux pays développés (4,3%). On constate aussi que les pays (notamment développés) pour lesquels les niveaux d'émissions par tête sont élevés sont relativement plus instruits et ont des taux de croissance de dioxyde de carbone plus faibles.

[Tableau1]

Par ailleurs, une analyse plus approfondie des dioxydes de carbone et de l'éducation permet de constater que leur distribution (graphique1) diffère selon le niveau de développement. La distribution des émissions et de l'éducation des pays développés est plus à droite que celle des PED impliquant non seulement une structure économique plus polluante mais aussi une corrélation positive entre l'éducation et les émissions par tête de dioxyde de carbone.

[Figure1]

4.4. Les résultats des estimations économétriques

Le tableau (2) présente les résultats obtenus par la méthode de GMM-système. La colonne (1) montre l'absence de convergence conditionnelle des émissions par tête de dioxyde de carbone au niveau mondial car le coefficient associé au logarithme du niveau initial des émissions par tête est non significatif et égal à (-0,003). Ce résultat est conforme aux précédentes études (Stegman (2005), Aldy (2006), Nguyen(2006)) qui concluent à une absence de convergence au niveau mondial. L'investissement, moteur de la croissance économique et donc du développement économique, contribue énormément à la croissance des émissions. Quant au progrès technique, il a un effet négatif et significatif sur les émissions par tête de pollution. L'éducation n'a pas d'impact sur l'environnement de même que les institutions politiques et le taux de croissance de la population.

[Tableau2]

Sachant que les pays ont des comportements différents en matière de pollution, nous distinguons les PED des pays développés. En effet on pourrait supposer que le Botswana et le Luxembourg pourraient avoir des comportements différents en matière de pollution comme nous l'a montré les distributions différentes des deux groupes. Les colonnes 2 et 3 du tableau (3) montrent comment les résultats basiques changent lorsque l'échantillon est restreint aux PED et aux pays développés. On constate une convergence conditionnelle des émissions par tête de dioxyde de carbone au sein des pays développés et une absence de celle-ci pour les PED. Cette différence de comportement en termes de pollution entre ces deux ensembles économiques se constate également par la différence notable du niveau moyen d'éducation (instruction) et de la qualité des institutions et de leurs effets opposés sur la pollution. En effet contrairement aux PED où elle n'agit pas, l'éducation est facteur de pollution dans les pays

développés. Il en est de même des institutions qui contribuent à la pollution (dépollution) dans les PED (les pays développés) respectivement.

Le rôle des institutions et du capital humain comme sources fondamentales de la différence de développement économique, mis en évidence par la littérature économique, nous interroge sur la possibilité que l'effet de l'éducation sur l'environnement peut différer selon la qualité des institutions dans un pays donnée.

4.4.1. La prise en compte d'effet non linéaire de l'éducation : Interaction entre l'éducation et des institutions

Considéré comme un bien public, la qualité de l'environnement pourrait ne pas être déterminée directement par la préférence des individus mais plutôt par leur reflet à travers les institutions politiques présentes. Autrement dit la manière dont interagit le niveau d'éducation et les institutions pourrait affecter la protection de l'environnement. Mahon (2006) considèrent que l'effet de l'éducation sur la qualité de l'environnement pourrait être plus efficace en présence d'institutions politiques stables considérés comme un canal d'expression des individus. Cependant cet effet pourrait être différencié selon le niveau de développement. Dans les PED où le niveau de l'éducation est relativement plus faible et les institutions peu développées, l'instruction peut réduire fortement la capacité des populations à exprimer leur préférence pour une meilleure protection de l'environnement rendant l'effet moyen de l'éducation sur les émissions de pollution négligeable.

Inclure une variable interactive entre l'éducation et les institutions à notre équation suggère que l'effet de l'éducation sur la croissance des émissions de pollution serait conditionnel à la qualité des institutions.

Les colonnes (4) et (5) confirment que le taux de croissance des émissions par tête de dioxyde de carbone dépend positivement et significativement du taux d'investissement. Il est plus important au niveau des PED où il est le principal déterminant de pollution. Cela pourrait s'expliquer par le fait que de nombreux pays en développement, préoccupés par les problèmes de croissance économique, de chômage et de réduction de la pauvreté, soient peu soucieux des problèmes environnementaux. Ces investissements qu'ils soient physiques ou humains peuvent leur bénéficier car considérés comme le moteur de la croissance. Les investissements domestiques ou étrangers permettent aux pays d'avoir accès au marché extérieur, aux nouvelles technologies et aux compétences. Ces opportunités varient selon les pays. Dans certains pays, les investissements sont orientés vers les secteurs de la construction des services et de la fabrication. Dans d'autres pays, les investissements sont dirigés vers les

secteurs des ressources naturelles notamment les firmes pétrolières ou les entreprises de bois très consommateurs d'énergie et donc pollueurs. C'est le cas en Afrique où 65% des investissements directs étrangers y sont réalisés. L'effet attendu étant la création des emplois, l'amélioration des recettes fiscales pour l'Etat et la réduction de la pauvreté en général, ces pays peuvent être moins sensibles à la protection de l'environnement. De même, la faiblesse des infrastructures notamment routières augmente fortement l'utilisation de l'énergie. Enfin, on peut penser qu'une augmentation des investissements dans ces pays peut accélérer la production économique et donc la consommation des ressources polluantes.

Les institutions politiques ont un effet significatif et contraire selon le niveau de développement. Dans les pays en développement, l'effet est positif et pourrait s'expliquer par le comportement de "passager clandestin" des individus, des entreprises voire des responsables politiques qui considèrent le phénomène de pollution comme un bien public et sont incités peu enclin à la combattre. Ce n'est pas le cas des pays développés où elles permettent de réduire les émissions par tête de pollution. Cet effet est d'autant plus important et significatif lorsque le niveau d'instruction augmente. Les colonnes(3) et (5) montrent que l'effet réel des institutions sur la pollution est conditionnel au niveau d'instruction.

L'éducation apparaît être un facteur de dégradation de l'environnement uniquement dans les pays développés bien que son effet soit faiblement atténué en présence de libertés politiques. Pour les pays en développement, l'élément moteur de la dépollution est le progrès technique tandis l'éducation et sa variable interactive n'ont aucun effet sur la croissance des émissions par tête de pollution. Deux raisons peuvent expliquer cela. Les individus les moins éduqués (relativement à ceux des pays développés) sont aussi plus pauvres et consomment moins de biens matériels facteur de dégradation de l'environnement. Ajouté à cela, la relative faiblesse des institutions politiques qui réduit fortement leur capacité à exprimer leur préférence pour une meilleure protection de l'environnement.

4.4.2. Analyse de la robustesse des résultats

Bien que l'estimation en GMM soit utilisée par de nombreux économistes depuis quelques années, des critiques apparaissent. Ainsi dans son manuel 'Econométrie des données de panel', Sevestre (2002) montre que l'estimateur en GMM peut être biaisé si les instruments ne sont pas bons. Selon lui, une faiblesse éventuelle de la corrélation entre la variable endogène et les instruments utilisés peut donner des résultats remplissant les conditions de Sargan mais qui ne sont cependant pas satisfaisants. En effet il pourrait exister des instruments (variables retardées) non pertinentes dont le rôle est d'augmenter la valeur de

la p-value associée au test de Hansen/ Sargan. Nous avons montré que notre estimation par la méthode des GMM-system remplit les conditions de validité des instruments et d'absence d'autocorrélation des erreurs de second ordre avec des p- value respectives de 82% et 21%. Pour vérifier la pertinence de nos résultats, nous régressons chacune des variables endogènes sur leurs instruments afin de vérifier la significativité des coefficients associés. En effet, nous soupçonnons certaines de nos variables explicatives comme le progrès technique et l'ouverture commerciale de ne pas être exogènes. Bien que le modèle théorique considère le progrès technique dans le secteur de dépollution comme exogène, nous pouvons en douter. Nous pensons que l'augmentation de la pollution dans une économie peut inciter les autorités à encourager les efforts de recherches et développement (R&D). Nous pouvons nuancer cette affirmation dans le cas des PED où le progrès technique pourrait provenir d'un transfert technologique des pays développés. Dans le même ordre d'idées, l'on peut se demander si l'évolution de la pollution agit sur l'ouverture commerciale. Les pays où les émissions de pollution sont élevées, peuvent être considérés comme des pays où la réglementation environnementale est peu contraignante. Selon Copeland et Taylor (1994), ces pays peuvent avoir un avantage comparatif et se spécialiser dans les industries polluantes et donc devenir des havres de pollution. Le tableau (3) montre que les variables retardées d'une et de deux périodes expliquent les variables endogènes et nous concluons que les instruments utilisés sont pertinents et que nos résultats ne sont pas biaisés.

[Tableau3]

Une autre analyse de la robustesse de nos résultats serait de considérer d'autres variables mesurant le capital humain. Comme le suggèrent les tableaux (4a et 4b), nos résultats restent stables malgré l'utilisation de sept variables alternatives. Ainsi donc le niveau moyen d'éducation des populations aux études secondaires et supérieures a des effets similaires sur la croissance des émissions par tête de dioxyde de carbone et cet effet est différencié selon le niveau de développement.

[Tableaux 4a et 5b]

Enfin, nous cherchons à savoir si l'effet de l'éducation sur les émissions par tête serait simplement du à l'omission du revenu par tête. Partant du fait que l'éducation contribue à une hausse du revenu et de la croissance économique, l'éducation accroît l'utilisation des

ressources environnementales. Elle est donc source de pollution via le revenu par tête. Nos résultats obtenus pourraient simplement s'expliquer par l'absence du revenu par tête. Cela nous amène à contrôler la robustesse de nos résultats par l'ajout du revenu par tête. Le tableau (5) montre que, non seulement le revenu par tête n'a pas d'effet significatif sur la croissance des émissions par tête mais que nos résultats obtenus restent stables et cohérents. Autrement dit, après avoir contrôlé pour le revenu par tête, l'éducation est un facteur de croissance de la pollution dans les pays développés. Ces différentes séries de tests ci-dessus permettent de conclure que les résultats obtenus sont pertinents.

[Tableau5]

5. Conclusion

L'analyse de la convergence des émissions par tête de dioxyde de carbone nous a permis de mettre en lumière une divergence de celle-ci au niveau global durant la période 1970-2004. Au sein des PED, les émissions par tête de dioxyde de carbone divergent et l'éducation n'a aucun effet significatif sur la croissance de celles-ci. Le changement technologique contribue à leur réduction. L'investissement, moteur de la croissance économique, est une source importante de pollution au sein des PED et des pays développés. Pour ces derniers, les émissions par tête de pollution convergent et l'éducation est un facteur de pollution. Cependant elle contribue à la qualité de l'environnement que lorsqu'elle interagit avec les institutions politiques. La convergence des émissions de pollution au sein des pays développés et leur divergence au sein des PED met en lumière des intérêts et les difficultés de négociations multilatérales sur le réchauffement climatique. L'article met aussi en évidence l'importance d'autres facteurs tels que le changement technologique, les institutions politiques et surtout les investissements dans la croissance de ces émissions de pollution.

Nos résultats sont importants en termes de politiques économiques. D'abord ils mettent en évidence l'importance du capital humain dans la protection de l'environnement. L'accumulation actuelle des connaissances et de savoir est certes un facteur de croissance économique mais aussi de croissance de la pollution. Il ne s'agit pas de recommander une remise en cause des politiques d'éducation dont les valeurs intrinsèques sont évidentes. Au contraire il y'a une nécessité d'introduire un changement de perception et de rôle de l'éducation en faveur de l'environnement. Cela est d'autant plus important pour les PED que l'atteinte des Objectifs du Millénaire pour le Développement(OMD) en matière d'éducation sera suivie de dégradation de l'environnement. Ensuite il existe un phénomène de passager clandestin de certains pays dans la lutte contre le réchauffement climatique. Par ailleurs les investissements étant un facteur clé de la croissance économique et déterminant de la

pollution, la réduction de ces effets s'accompagnera nécessairement par la mise en place d'investissements écologiquement propres. Enfin la divergence de la pollution au niveau mondial et des PED exige la transformation du protocole de Kyoto qui devrait inclure des accords de transferts technologiques et la promotion de modes d'investissements et développement plus propre écologiquement.

Ce papier ouvre des pistes pour les recherches futures. En effet, elle met en évidence un impact différencié sur l'environnement des institutions politiques dans les pays développés et les PED. Il serait alors intéressant d'analyser les déterminants profonds de ce comportement de "passager clandestin" des PED.

Bibliographie

Aldy, J. E. 2004, "Divergence in per capita carbon dioxide emissions", Cambridge, MA: Harvard University, Department of Economics Working Paper.

Antweiler, W., Copeland, B. R., and Taylor M. S. 2001, "Is free trade good for the environment?", *American Economic Review*, 91(4):877–908.

Araujo C., Brun J-F et Combes J-L. 2004, *Econométrie*, Bréal édition, France

Bernauer, T. and Koubi, V. 2004, "On the political determinants of environmental quality,CIS Working Paper, No 2, 2004.

Barro, R. and J.W. Lee 2001, "International Data on Educational Attainment: Updates and Implications", *Oxford Economic Papers* 53(3).

Barro, R. 1999, "Human Capital and Growth in Cross-Country Regressions?", *Swedish Economic Policy Review*,6(2).

Bassanini, A. and S. Scarpetta 2001, "Does human capital matter for growth in OECD countries? Evidence from pooled mean-group estimates", OECD Economics Department Working Papers, No. 282.

Bimonte, 2002, Information access, income distribution, and the environmental Kuznets curve, *Ecological Economics* **41** (2002), pp. 145–156

Bond, S.R., A. Hoeffler and J. Temple 1998, *GMM Estimation of Empirical Growth Models*, mimeo, Nuffield College, Oxford.

Bongaarts, John 1992, "Population Growth and Global Warming" *Population and Development, Review*. 18.2 (Jun. 1992): 299-319.

Breton, T. 2004. "Can Institutions or Education Explain World Poverty? An Augmented Solow Model Provides Some Insights," *Journal of Socio-Economics*, Vol. 33, No. 1, pp. 45-69.

Brock, W. A. and M. S. Taylor 2004, *Economic growth and the environment: a review of theory and empirics*. NBER Working Paper 10854, Cambridge MA

Brock W A. & M. Scott Taylor 2004, "The Green Solow Model," NBER Working Papers 10557, National Bureau of Economic Research

Carlsson, Fredrick, and Susanna Lundstrom. 2001. "Political and Economic Freedom and the Environment: The Case of CO2 Emissions," *Working Paper no 29*, Department of Economics, Goteborg University, Sweden.

Chatterji, M. 1992, "Convergence Clubs and Endogenous Growth", *Oxford Review of Economic Policy*, 8 (4), 57-69.

Cole, M. A., Elliot, R. J. R., and Fredriksson, P. G. 2004, "Endogenous pollution havens: Does fdi influence environmental regulations?", Working Paper 2004/20, University of Nottingham.

Copeland, Brian R. and M.S. Taylor. 1994. "North- South Trade and the Environment," *Quart J. Econ.* 109:3, pp. 755–87.

Congleton, Roger D. 1992. "Political Institutions and Pollution Control," *Review of Economics and Statistics* 74 (3): 412-421.

O'Connor, D., 1994, "Managing the Environment with Rapid Industrialisation: Lessons from the East Asian Experience", Development Centre Studies, OECD, Paris

Deacon, Robert T. 1999, "The Political Economy of Environment-Development Relationships: A Preliminary Framework," *mimeo*, Department of Economics, University of California, Santa Barbara.

Duchin F.; Lange G.-M.; Kell G.1995, "Technological change, trade and the environment", *Ecological Economics*, Volume 14, Number 3, September 1995, pp. 185-193(9) Frankel,

Farzin Y.H. and C.A. Bond, 2006, "Democracy and environmental quality", *Journal of Development Economics*, 81 213– 235.

Frankel and Rose, 2005 "Is trade good or bad for the environment? Sorting out the causality", *The Review of Economics and Statistics* 87

Gassebner, Lamla et Jan-Egbert Sturm 2006, "Economic, Demographic and Political Determinants of Pollution Reassessed: A Sensitivity Analysis", CESifo Working Paper Series No. 1699

Gassebner, M., Lamla, M., and Sturm, J.-E. 2006b, "Economic, demographic and political determinants of pollution reassessed: A sensitivity analysis", KOF Working Paper 129.

Grimes, P. and J. Kentor. 2003, "Exporting the greenhouse: Foreign capital penetration and CO2 emissions 1980-1996", *Journal of World-Systems Research* 9, 261-276.

Grossman and Krueger, 1995, Economic growth and the environment, *Quarterly Journal of Economics* 110 (1995) (2), pp.

Heil, M.T., Wodon, Q.T. 2000, "Future inequality in CO2 emissions and the impact of abatement proposals", *Environmental and Resource Economics* 17, 163–181.

Jaffe et al., 2000, "Technological Change and the Environment", RFF Discussion Paper 00 47, Resources for the Future, Washington, DC.

Joseph E. Aldy 2006, "Per Capita Carbon Dioxide Emissions: Convergence or Divergence?", *Environmental and Resource Economics*, Volume 33, Number 4, April 2006, pp. 533-555(23)

Klick, J. 2002, "Autocrats and the environment or it's easy being green", Working Paper Series 02-16, George Mason University.

Mabey, N. & McNally, R.1999, “Foreign Direct Investment and the Environment: From Pollution Havens to Sustainable Development”, October, WWF-UK, Godalming, Surrey

Managi, Shunsuke 2004, “Trade Liberalization and the Environment: Carbon Dioxide for 1960–1999”, *Economics Bulletin*, Vol. 17, No. 1 pp.

Mani, M; Wheeler, D.1998, “In search of pollution havens? Dirty industry in the world economy, 1960 to 1995”, *Journal of Environment and Development* Vol. 7, no. 3, pp. 215-247. Sep 1998.

Mankiw, N.G., D. Romer et D.N. Weil 1992, “A Contribution to the Empirics of Economic Growth”, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 107, N°. 2, pp. 407-427, Mai.

Matthew A. Cole and Robert J.R. Elliott 2005, “FDI and the Capital Intensity of 'Dirty' Sectors: A Missing Piece of the Pollution Haven Puzzle”, *Review of Development Economics*, Vol. 9, No. 4, pp. 530-548, November 2005

McKibbin W. and A. Stegman 2005, “Convergence of Per Capita Carbon Emissions”, Lowy Institute Working Paper in International Economics

McKittrick, R. 2007. “Why Did US Air Pollution Decline After 1970?” *Empirical Economics*, 33(3), 2007, 491–513.

Nazrul Islam 1995, “Growth Empirics: A Panel Data Approach”, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 110, No. 4 (Nov., 1995), pp. 1127-1170

Olson, Mancur. 1993, “Dictatorship, Democracy and Development,” *American Political Science Review* 87 (3): 567-576.

P Nguyen Van 2005, “Distribution Dynamics of CO2 Emissions”, *Environmental and Resource Economics*, - Springer, Volume 32, Number 4 / Decembre, 2005

Pargal, S., and D. Wheeler, 1996, "Informal Regulation in Developing Countries: Evidence from Indonesia," *Journal of Political Economy*. December

Pasche, Markus, 2002, “Technical progress, structural change, and the environmental Kuznets curve”, *Ecological Economics*, Elsevier, vol. 42(3), pages 381-389, Septembre

Pritchett, Lant. 1996b. “Where Has All the Education Gone?” World Bank working paper no. 1581.

Stegman A, 2005 “Convergence in carbon emissions per capita”, Centre for Applied Macroeconomic Analysis Working Paper, The Australian National University (2005).

Sevestre Patrick 2002, *Econométrie des données de panel*, Dunod, Paris France

Strazicich, M. C., & List, J. A. 2003, “Are CO2 emission levels converging among industrial countries?” *Environmental and Resource Economics*, 24, 263–271.

Torras, M. and J.K. Boyce 1998, "Income, inequality, and pollution: A reassessment of the environmental Kuznets curve," *Ecological Economics*, 25(2), (1998): 147-160.

Wheeler, David and Mody, Ashoka. 1992, "International Investment Location Decisions: The Case of U.S. Firms," *Journal of International Economics*, Aug. 1992, 33(1,2), pp. 57-76.

Wheeler, David. 2000, "Racing to the Bottom? Foreign Investment and Air Pollution in Developing Countries", Mimeo. Washington D.C.: World Bank.

Wheeler, David and Dasgupta, Susmita, 1997, "Citizen Complaints as Environmental Indicators: Evidence from China", World Bank Policy Research Working Paper No. 1704

Wheeler D and Pargal 1996, "Informal Regulation of Industrial Pollution in Developing Countries: Evidence from Indonesia", *Journal of Political Economy*, 104(1996): 1314-27.

Annexes

Annexe A

Définition et source des variables

| Variables | Définitions | Source de données |
|--|--|------------------------------------|
| Emissions par tête de dioxyde de carbone | Dioxyde de carbone par tête (metric tonne par tête) | Word Development Indicators (2006) |
| Emissions par tête initial | Dioxyde de carbone par tête en début de chaque période | |
| Taux d'investissement | Investissement/PIB | |
| Taux d'ouverture | (Exportations+Importations) / Produit Intérieur Brut | |
| Taux croissance population | Taux de croissance de la population | |
| Institutions politiques | Score combiné de démocratie et d'autocratie sur une échelle allant de -10 à 10. (-10) représente une grande autocratie et 10, une grande démocratie | Polity IV |
| Education | Nombre d'années moyens d'instruction de la population | Barrolee 2000 |
| Progrès technique | Taux de progrès technique. Il est calculé comme le résidu d'une régression en panel où la variable expliquée est l'intensité de l'économie en dioxyde de carbone et les variables explicatives sont le PIB par tête, l'ouverture commerciale et le prix de l'énergie | Auteur |

Liste des pays inclus dans l'échantillon

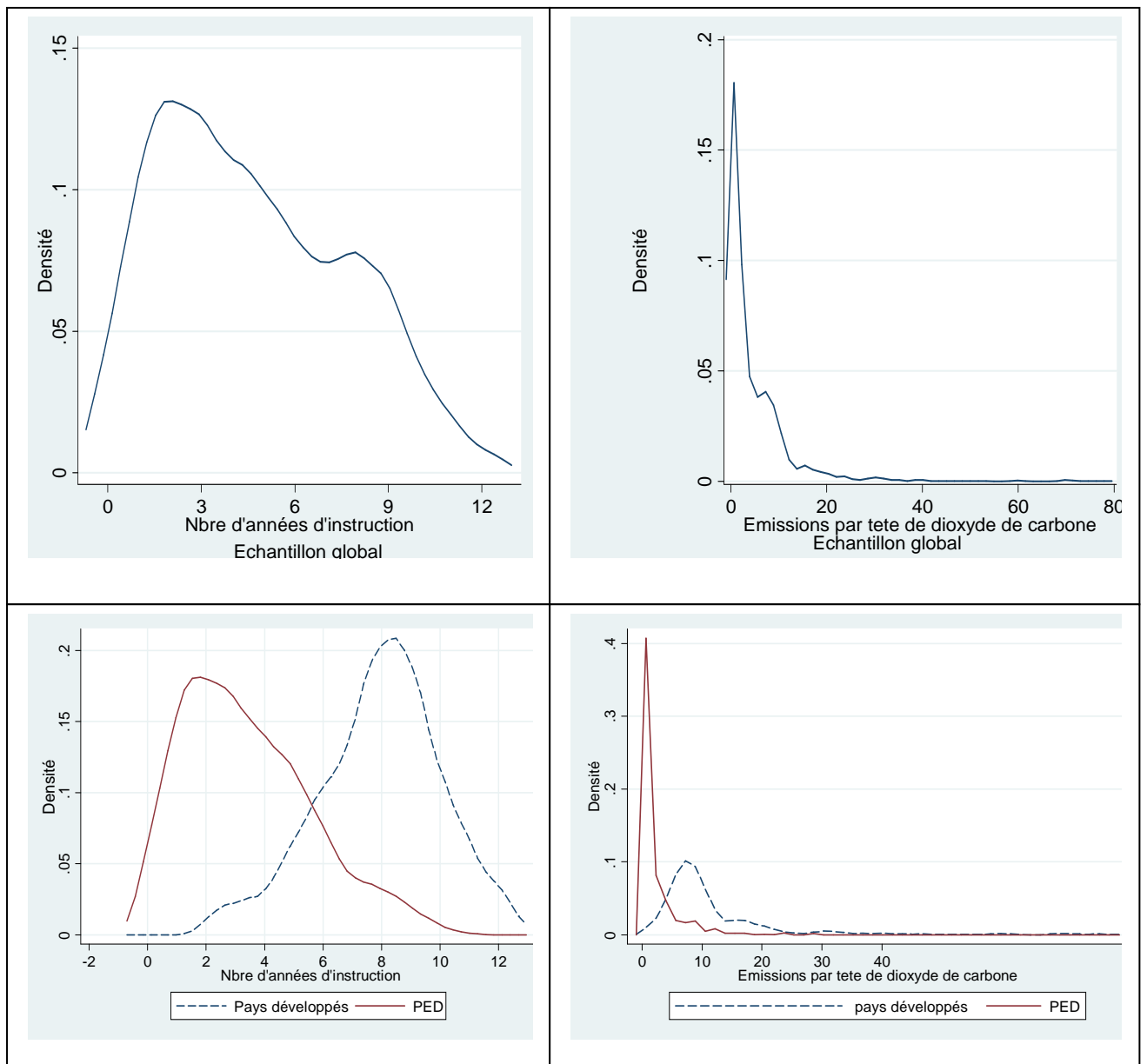
Afrique du Sud, Algérie, Allemagne, Australie, Autriche, Belgique, Burundi, Benin, Bangladesh, Bahreïn, Bolivie, Brésil, Botswana, Canada, Centrafrique, Chili, Chine, Cameroun, Congo, Colombie, Costa Rica, Danemark, République Dominicaine, Equateur, Egypte, Espagne, France, Finlande, Fiji, Ghana, Grèce, Guatemala, Honduras, Haïti, Hollande, Hongrie, Indonésie, Inde, Iran, Israël, Italie, Jamaïque, Japon, Jordanie, Kenya, Luxembourg, Mexique, Mali, Mauritanie, Malawi, Malaisie, Nouvelle Zélande, Niger, Nicaragua, Népal, Norvège, Pakistan, Pérou, Philippines, Papouasie Nouvelle Guinée, Guinée, Pologne, Portugal, Paraguay, Rwanda, Royaume-Unis, Sénégal, Sri Lanka, Sierra Leone, Salvador, Syrie, Suède, Suisse, Togo, Thaïlande, Trinidad and Tobago, Tunisie, Turquie, Uganda, USA, Uruguay, Zambie

Statistiques descriptives

| | Moyenne | Ecart type | Minimum | Maximum |
|--|----------------|-------------------|----------------|----------------|
| Log Emissions de dioxyde de carbone par tête initial | 4,56 | 0,35 | 0,0015 | 78,61 |
| Taux croissance émissions dioxyde carbone par tête | 0,08 | 7,91 | -4,44 | 2,76 |
| Taux Investissement | 21,42 | 7,39 | 2,53 | 86,79 |
| Taux d'ouverture | 71,14 | 41,51 | 5,71 | 297,33 |
| Taux progrès technique | -1,46 | 1,22 | -7,28 | 0,64 |
| Institutions politiques | 0,49 | 7,47 | -10 | +10 |
| Taux croissance population | 1,97 | 1,61 | -20,36 | 16,17 |
| Education | 4,67 | 2,95 | 0,042 | 12,21 |

Source: Auteur

Figure1 : Distribution des émissions de pollution et de l'éducation



ANNEXE-B*Tableau1: Statistiques descriptives des émissions de dioxyde de carbone et de l'éducation*

| | Moyenne | Ecart-type | Min | Max |
|------------------------|---------|------------|-------|-------|
| Monde | | | | |
| Taux croissance | 0,08 | 0,35 | -4,44 | 2,76 |
| Emissions/tête | 4,56 | 7,91 | 0,001 | 78,61 |
| Education | 4,67 | 2,06 | 0,042 | 12,21 |
| Pays développés | | | | |
| Taux croissance | 0,04 | 0,29 | -1,03 | 2,76 |
| Emissions /tête | 12,26 | 12,11 | 1,72 | 78,61 |
| Education | 7,93 | 2,05 | 2,44 | 12,21 |
| PED | | | | |
| Taux croissance | 0,09 | 0,37 | -4,44 | 2,59 |
| Emissions /tête | 2,17 | 3,55 | 0,001 | 29,10 |
| Education | 3,41 | 2,19 | 0,04 | 10,27 |

Notes: l'échantillon total est composé des pays développés et en développement sur la période 1970 -2003
Source :Auteur

Tableau3: Instrumentation du progrès technique et l'ouverture commerciale

| | Taux de progrès technique (1) | Log ouverture commerciale(2) |
|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Progrès technique retardé (t-1) | 0.826 (9.91)*** | |
| Progrès technique retardé (t-2) | -0.075 (1.25) | |
| Log l'ouverture commerciale (t-1) | | 1.011 17.07)*** |
| Log l'ouverture commerciale (t-2) | | -0.092 (1.72)* |
| Constante | -0.365 (4.73)*** | 0.386 (6.80)*** |
| Observations | | |
| R2 | | |
| Nombre de pays | | |

Note: * significatif à 10%;** significatif à 5%;*** significatif à 1%. La période d'étude 1970-2003. Les Variables muettes temporelles ont été prises en compte dans le modèle. L'ajout des autres variables exogènes ne modifie pas les résultats.

Tableau2: Estimation du taux de croissance des émissions par tête de dioxyde de carbone

| | (1)Echantillon global | (2)Pays en Développement | (3)Pays développés | (4)Pays en Développement | (5)Pays développés |
|--|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Log des émissions par tête initiale | -0.003 (-0.18) | 0.008 (0.05) | -0,305 (-2,17)** | -0.009 (-0.72) | -0,201 (-2,14)** |
| Log du taux d'investissement | 0.326 (2.50)** | 0.315 (2.40)** | 0.549 (3.19)** | 0.401 (3.29)** | 0.337 (2.85)** |
| Log du taux d'ouverture | 0.086 (0.93) | 0.203 (1.51) | 0.027 (0.48) | 0.151 (1.32) | 0.017 (0.43) |
| Progrès technique | -0.209 (1.88)* | -0.209 (1.90)* | 0.045 (1.75)* | -0.178 (2.16)** | 0.026 (1.03) |
| Libertés politiques | 0.036 (1.73) | 0.043 (2.07)** | -0.049 (10.56)*** | 0.034 (1.75)** | -0.035 (1.36) |
| Taux de croissance population | -0,034 (0,30) | -0,160 (1,43) | -0,104 (2,47)** | -0,15 (1,37) | -0,026 (1,84)** |
| Education | 0.253 (0.83) | -0.219 (0.96) | 0.445 (3.76)*** | -0.047 (0.27) | 0.545 (12.45)*** |
| Education*Libertés politiques | | | | -0,008 (0,94) | -0,035 (2,91)*** |
| Constante | -1.293 (1.84)* | -1.329 (1.90)* | -0.294 (1.91)* | -1.562 (2.32)* | -1.269 (2.51)** |
| Observations | 229 | 182 | 47 | 182 | 47 |
| Nombre de pays | 85 | 63 | 22 | 63 | 22 |

Notes : * significatif à 10%, ** significatif à 5%, *** significatif à 1%. La période d'étude est 1970-2003 et les variables muettes temporelles sont prises en compte.

Tableau4a : Modèle de croissance des émissions par tête: Ajout d'autres variables de capital humain et estimation en GMM-System pour les pays développés

| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Log des émissions par tête initiale | -0.16 (-2,05)** | -0.15 (-2,98)*** | -0,14 (-2.89)*** | -0,24 (-2.64)*** | -0,16 (-2.02)** | -0,13 (-2.71)*** | -0,14 (-2.28)** | -0,30 (-2.30)** |
| Educ1 | 0.539 (12.52)*** | | | | | | | |
| PolityEduc1 | -0.040 (3.89)*** | | | | | | | |
| Educ2 | | 0.447 (13.27)*** | | | | | | |
| PolityEduc1 | | -0.038 (6.68)*** | | | | | | |
| Educ3 | | | 0.439 (13.62)*** | | | | | |
| PolityEduc3 | | | -0.039 (7.22)*** | | | | | |
| Educ4 | | | | 0.588 (10.91)*** | | | | |
| PolityEduc4 | | | | -0.039 (4.37)*** | | | | |
| Educ5 | | | | | 0.487 (10.46)*** | | | |
| PolityEduc5 | | | | | -0.044 (10.02)*** | | | |
| Educ6 | | | | | | 0.442 (11.70)*** | | |
| PolityEduc6 | | | | | | -0.038 (8.53)*** | | |
| Educ7 | | | | | | | 0.522 (9.76)*** | |
| PolityEduc7 | | | | | | | -0.048 (11.79)*** | |
| Educ8 | | | | | | | | 0.551 (10.49)*** |
| PolityEduc8 | | | | | | | | -0.043 (8.72)*** |
| Nombre de pays | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |

Notes : * significatif à 10%, ** significatif à 5%, *** significatif à 1%. La période d'étude est 1970-2003. Les autres variables de contrôles et muettes temporelles sont prises en compte dans les estimations. Les variables Educ1,...Educ8 correspondent respectivement au logarithme du nombre moyen d'années d'éducation : en général pour les individus ayant +15 ans,- au supérieur, - au supérieur pour les individus ayant +15 ans, -au secondaire pour les individus, - au secondaire pour les individus ayant plus de 15 ans,- au pourcentage de la population ayant achevé les études supérieures, -au pourcentage de la population ayant achevé les études secondaires.

Tableau 4b : Modèle de croissance des émissions par tête: Ajout d'autres variables de capital humain et estimation en GMM-System pour les pays en développement

| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) |
|-------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
| Log des émissions par tête initiale | -0.11 (-0,28) | 0.05 (-0,10) | -0,16 (-0,42) | -0,47 (0,69) | -1,15 (-0,67) | -0,03 (-0,08) | 0,42 (0,52) | -0,41 (0,74) |
| Educ1 | -0.204 (0.37) | | | | | | | |
| PolityEduc1 | -0.001 (0.09) | | | | | | | |
| Educ2 | | -0.114 (0.30) | | | | | | |
| PolityEduc1 | | -0.002 (0.34) | | | | | | |
| Educ3 | | | 0.074 (0.31) | | | | | |
| PolityEduc3 | | | -0.001 (0.28) | | | | | |
| Educ4 | | | | -0.531 (0.89) | | | | |
| PolityEduc4 | | | | -0.013 (0.85) | | | | |
| Educ5 | | | | | -0.429 (0.62) | | | |
| PolityEduc5 | | | | | 0.001 (0.05) | | | |
| Educ6 | | | | | | -0.047 (0.15) | | |
| PolityEduc6 | | | | | | -0.002 (0.35) | | |
| Educ7 | | | | | | | 1.102 (0.65) | |
| PolityEduc7 | | | | | | | 0.016 (0.54) | |
| Educ8 | | | | | | | | -0.619 (0.83) |
| PolityEduc8 | | | | | | | | -0.009 (0.69) |
| Nombre de pays | 65 | 63 | 65 | 63 | 65 | 63 | 63 | 63 |

Notes : * significatif à 10%, ** significatif à 5%, *** significatif à 1%. La période d'étude est 1970-2003. Les autres variables de contrôles et muettes temporelles sont prises en compte dans les estimations. Les variables Educ1...Educ8 correspondent respectivement au logarithme du nombre moyen d'années d'éducation : en général pour les individus ayant +15 ans,- au supérieur, - au supérieur pour les individus ayant +15 ans, - au secondaire pour les individus, - au secondaire pour les individus ayant plus de 15 ans,- au pourcentage de la population ayant achevé les études supérieures, -au pourcentage de la population ayant achevé les études secondaires.

Tableau (5) : Estimation du taux de croissance des émissions par tête de dioxyde de carbone incluant le PIB/tête

| | Pays développés | Pays en développement |
|---|---------------------|-----------------------|
| Log émissions par tête de dioxyde de carbone | | |
| Log des émissions par tête initiale | | -0,084 (-0,61) |
| Log du taux d'investissement | 0.340 (2,80)** | 0.402 (3.30)*** |
| Log du taux d'ouverture | 0.026 (0.51) | 0.147 (1.30) |
| Progrès technique | 0.031 (1.04) | -0.178 (2.16)** |
| Libertés politiques | 0.035 (1.45) | 0.034 (1.76)* |
| Taux de croissance Population | -0.029 (1.69) | -0.140 (1.27) |
| Log PIB/ tete | 0.006 (0.42) | 0.004 (0.33) |
| Education | 0.542 (12.63)*** | 0.005 (0.02) |
| Education*Libertés politiques | -0.036 (3.14)*** | -0.009 (0.95) |
| Constante | -1.407 (2.55)** | -1.61 (2.46)** |
| Nombre de pays | 22 | 63 |