

ÉCOLE DES HAUTES ÉTUDES COMMERCIALES
AFFILIÉE À L'UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

**L'impact de la libéralisation des
échanges commerciaux sur l'environnement**

par

José Bourque

Sciences de la gestion

Mémoire présenté en vue de l'obtention
du grade de maître es sciences
(M.Sc.)

Décembre 1999

© José Bourque, 1999

SOMMAIRE

Le courant de libéralisation des échanges commerciaux a souvent été associé à l'augmentation de la richesse globale mais a également soulevé des inquiétudes chez plusieurs groupes. Parmi celles-ci se trouve la dégradation de l'environnement suite à la relocalisation de firmes polluantes dans les pays qui ont une réglementation environnementale peu stricte.

Dans la présente étude nous avons tenté, dans un premier temps, d'améliorer les modèles présents dans la littérature par l'ajout d'un indicateur de la sévérité de la réglementation environnementale. Étant donné le choix limité de ce type d'indicateur et les résultats peu concluants, nous nous sommes tournés, dans un deuxième temps, vers l'estimation du modèle de Antweiler et al. (1998). Notre étude, qui considère comme la leur les effets d'échelle, technique et de composition, diffère essentiellement quant à l'utilisation de nouveaux polluants, soit le dioxyde de carbone (CO₂) et les oxydes d'azote (NO_x).

En se basant sur des données portant sur 15 à 55 pays, selon le polluant étudié, nos résultats empiriques démontrent que si l'ouverture au commerce international engendre une hausse du PIB et du PIB per capita de l'ordre de 1%, les émissions de CO₂ et de NO_x augmentent respectivement de 0,55 et 0,54%. Par contre, si l'ouverture au commerce est principalement guidée par l'accumulation de capital, nous concluons qu'une hausse du ratio capital-travail de 1% mènera à une hausse plus faible des émissions de CO₂ et de NO_x, soit de 0,2 et 0,09% respectivement.

Outre ces résultats, nous trouvons également que l'hypothèse de l'existence de paradis pour pollueurs n'est pas vérifiée pour les deux polluants à l'étude. En effet, selon nos résultats un pays « pauvre » subit plutôt des pressions positives de ses partenaires commerciaux pour hausser ses standards

environnementaux. De plus, l'hypothèse selon laquelle la dotation en facteurs dicte les échanges commerciaux n'est que partiellement vérifiée.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION.....	1
2. CADRE D'ANALYSE.....	4
2.1 EFFETS D'ÉCHELLE, DE COMPOSITION ET TECHNIQUE.....	4
2.2 CROISSANCE ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENT.....	6
2.3 REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	9
2.3.1 <i>Études théoriques</i>	9
2.3.2 <i>Études empiriques</i>	11
3. MODÈLE D'ANALYSE ET DESCRIPTION DES DONNÉES.....	18
3.1 LES VARIABLES DÉPENDANTES.....	19
3.2 LES VARIABLES INDÉPENDANTES.....	22
3.3 NOTRE ÉCHANTILLON.....	38
4. RÉSULTATS EMPIRIQUES.....	40
4.1 PREMIÈRE STRATÉGIE EMPIRIQUE.....	40
4.2 DEUXIÈME STRATÉGIE EMPIRIQUE.....	41
4.3 ANALYSE DES RÉSULTATS.....	47
4.4 ÉTAPE FINALE RELATIVEMENT À NOS ESTIMATIONS.....	51
5. CONCLUSION.....	55
ANNEXES.....	57
BIBLIOGRAPHIE.....	66

1. INTRODUCTION

Suite au courant de libéralisation des marchés des dernières années, l'opinion populaire veut que les pays ayant des normes environnementales moins sévères soient la terre d'accueil par prédilection des firmes polluantes. Ces entreprises se localiseraient alors dans les pays qui leur offrent un avantage comparatif environnemental par rapport aux autres nations [(Markusen et al. (1995), Hoel (1997) et Tanguay (1998)]. Ainsi, malgré les propos voulant que le libre-échange accroisse la richesse globale, certains groupes manifestent leurs préoccupations quant aux incidences négatives, dont la dégradation de l'environnement.

Les préoccupations face à la migration de firmes polluantes suite à l'ouverture des marchés sont présentes chez différents groupes. Tout d'abord, les environmentalistes s'opposent largement au mouvement de mondialisation en indiquant qu'il en résultera une hausse de la production et un déplacement des firmes polluantes vers des pays ayant des normes environnementales moins sévères. Selon eux, ces deux points entraîneront nécessairement une augmentation de la pollution à l'échelle planétaire. L'argumentation de ce groupe se base souvent sur des faits isolés pour défendre ses opinions. Notons, entre autres, le cas des *maquiladoras*¹ au Mexique qui revient souvent pour illustrer les côtés néfastes de la mondialisation. Un autre type de préoccupation vient des gouvernements et citoyens des pays développés qui craignent de voir quitter certains secteurs industriels au profit de pays ayant une réglementation environnementale moins stricte. Pour leur part, les autorités des pays en voie de développement (PVD)

¹ Les *maquiladoras* sont des firmes étrangères situées au Mexique qui produisent largement pour exporter vers les États-Unis. En se localisant près de la frontière, les firmes opèrent sous des normes environnementales moins sévères qu'en sol américain en plus de profiter d'avantages liés au faible coût de la main-d'œuvre. Ces firmes profitent d'une politique mexicaine qui permet l'importation, sans tarif douanier, de composantes étrangères dans le but d'en faire une transformation éventuelle et une réexportation.

s'inquiètent face à l'éventualité que leur économie soit spécialisée dans les industries polluantes.

Face à cette situation, où de nombreuses inquiétudes sont émises sur l'avenir de l'environnement planétaire, le but de notre étude est de déterminer si la libéralisation du commerce international influence le niveau de pollution et, si tel est le cas, dans quel sens est la relation.

Notre étude se base sur celle de Antweiler et al. (1998) qui se veut la plus récente et qui corrige le plus les failles des études précédentes. Par rapport à cette étude, notre approche se voulait, dans un premier temps, innovatrice sur plusieurs fronts, soit par l'ajout d'un indicateur de la sévérité de la réglementation environnementale, par l'utilisation d'une mesure d'ouverture au commerce international différente et par l'utilisation de polluants différents. Toutefois, les résultats obtenus à l'aide de cette approche n'ont pas été concluants. Pour cette raison, nous avons par la suite estimé le même modèle que Antweiler et al., en considérant comme eux les effets d'échelle, de composition et technique. Cependant, notre étude se distingue toujours de celle de ces auteurs puisque nous utilisons des polluants qui n'ont jamais été considérés pour l'estimation de ce type de modèle, soit le CO₂ et le NO_x. De plus, nous incluons à notre modèle une mesure d'ouverture au commerce international différente de celles utilisées dans la littérature propre à notre sujet de recherche.

La première partie de ce travail illustrera le cadre d'analyse dans lequel se situe notre travail. Plus précisément, nous énoncerons les mécanismes identifiés par la littérature pour établir un lien entre l'ouverture au commerce international et le niveau de pollution. De plus, nous traiterons de la relation entre la croissance économique et l'environnement. Pour conclure cette première section, un portrait de la littérature théorique et empirique sur le sujet sera dressé. Dans la seconde partie, nous présenterons notre modèle et

décrivons les variables qui le composent. Finalement, dans la dernière section, nous expliquerons notre démarche empirique et analyserons nos résultats.

2. CADRE D'ANALYSE

2.1 Effets d'échelle, de composition et technique

L'impact de l'ouverture des marchés sur l'environnement soulève beaucoup d'inquiétudes chez les différents groupes nommés précédemment. Afin de clarifier la relation entre ces deux variables, il est utile de distinguer trois mécanismes qui surviennent suite à une ouverture, soit les effets d'échelle, de composition et technique [Grossman et Krueger (1993)].

Premièrement, l'**effet d'échelle** (*scale effect*) capture la relation entre l'augmentation du commerce et l'expansion de l'activité économique. Les hypothèses sous-jacentes à cette relation sont que si la nature des intrants à la production et la composition du panier de biens produits demeurent inchangées, alors la quantité totale de pollution générée devrait augmenter suite à l'ouverture qui cause une augmentation de l'activité économique. Ce mécanisme se rapproche de l'intuition des environmentalistes qui plaident qu'une hausse du commerce accroît la pollution.

En second lieu, l'**effet de composition** (*composition effect*) se base sur une approche Heckscher-Ohlin conventionnelle selon laquelle une libéralisation du commerce amène chaque pays à se spécialiser dans les secteurs où il a un avantage comparatif. Le commerce affecte alors la composition de la production. Ainsi, si nous considérons l'environnement comme intrant dans le processus de production, un pays avec une abondance relative en environnement va augmenter sa spécialisation dans les biens intensifs en pollution suite à une ouverture du commerce. À l'opposé, un pays qui importe un bien polluant va voir la production de ce bien diminuer suite à la libéralisation. Cette théorie fait référence à l'appellation anglaise «*pollution haven hypothesis*», selon laquelle les pays ayant des normes environnementales peu contraignantes verront les firmes polluantes migrer

vers leur territoire. Toutefois, il est possible que les sources d'avantages comparatifs soient plus « traditionnelles », c'est-à-dire les différences relatives d'abondance en capital et travail. Low (1992) indique que la moyenne pondérée des dépenses en contrôle et réduction de la pollution dans les secteurs industriels aux États-Unis n'est que de 0,54% des coûts totaux de production. Ceci laisse présager que les firmes pourraient ne pas être guidées en premier lieu par ce type d'avantage comparatif pour se localiser. L'impact du commerce via l'effet de composition serait alors plus ambigu, les dotations en facteurs telles que le capital et le travail seraient alors les forces qui dictent le commerce international. Cette théorie est connue sous le vocable de dotation en facteurs (*factor endowment hypothesis*). En général, les pays en voie de développement ont une abondance relative en travail par rapport au capital. Ainsi, une dégradation de l'environnement suite à l'ouverture au commerce dans ces pays serait plus probable si les secteurs intensifs en main-d'œuvre étaient polluants. En étudiant cinq industries polluantes², Tobey (1990) a démontré que l'abondance relative en main-d'œuvre non-qualifiée a un impact significatif sur les exportations nettes de biens polluants que pour une seule industrie, soit celle des métaux non ferreux. Ce résultat nous amène donc à croire que via l'effet de composition, les PVD n'ont pas nécessairement un avantage comparatif pour la production de biens polluants.

Le dernier mécanisme qui associe la mondialisation des échanges à l'environnement est l'**effet technique** (*technique effect*). Cet effet permet de prendre en considération que l'extrait n'a pas besoin d'être produit par les mêmes technologies suite à la libéralisation. Dans notre cas, l'extrait de pollution par unité de production devrait diminuer et ce, spécialement dans les PVD. Premièrement, les firmes étrangères devraient transférer des

² Les industries polluantes sont définies comme celles où les coûts de réduction de la pollution sont supérieurs à 1,85% des coûts totaux. Tobey se base sur la situation américaine où les secteurs qui correspondent à ce critère sont l'industrie chimique, minière, des pâtes et papiers, des métaux non ferreux et de l'acier.

technologies plus modernes dans l'économie locale lorsque les restrictions sur l'investissement étranger sont relâchées. Suite au courant de sensibilisation environnemental et à la diminution des coûts, les nouvelles technologies sont conçues de manière à émettre moins d'émissions polluantes que les précédentes. Ainsi, le degré de pollution par unité de production est réduit. En second lieu, la théorie du commerce international indique qu'une libéralisation engendre une hausse dans les niveaux de revenus des différents pays participants. Si tel est le cas, les électeurs vont demander une amélioration des normes environnementales comme expression de la hausse de la richesse nationale. L'hypothèse derrière ce raisonnement est qu'un environnement sain est considéré comme un bien normal. Par l'interaction de ces deux éléments, l'effet technique résultera donc en une diminution de la pollution suite à l'ouverture.

Pour expliquer la relation entre l'augmentation du commerce et l'environnement, notre étude considérera ces trois mécanismes. Une explication plus complète de notre approche sera présentée dans la section qui traite de notre méthodologie.

2.2 Croissance économique et environnement

La relation entre l'augmentation du commerce et la qualité environnementale est loin d'être évidente et de faire l'unanimité lorsqu'on considère les trois mécanismes présentés précédemment. Comme différents facteurs mènent la théorie économique à indiquer que le commerce international engendre une augmentation de la croissance économique³, il nous apparaît important de vérifier si la littérature trouve une relation entre la croissance et la qualité de l'environnement.

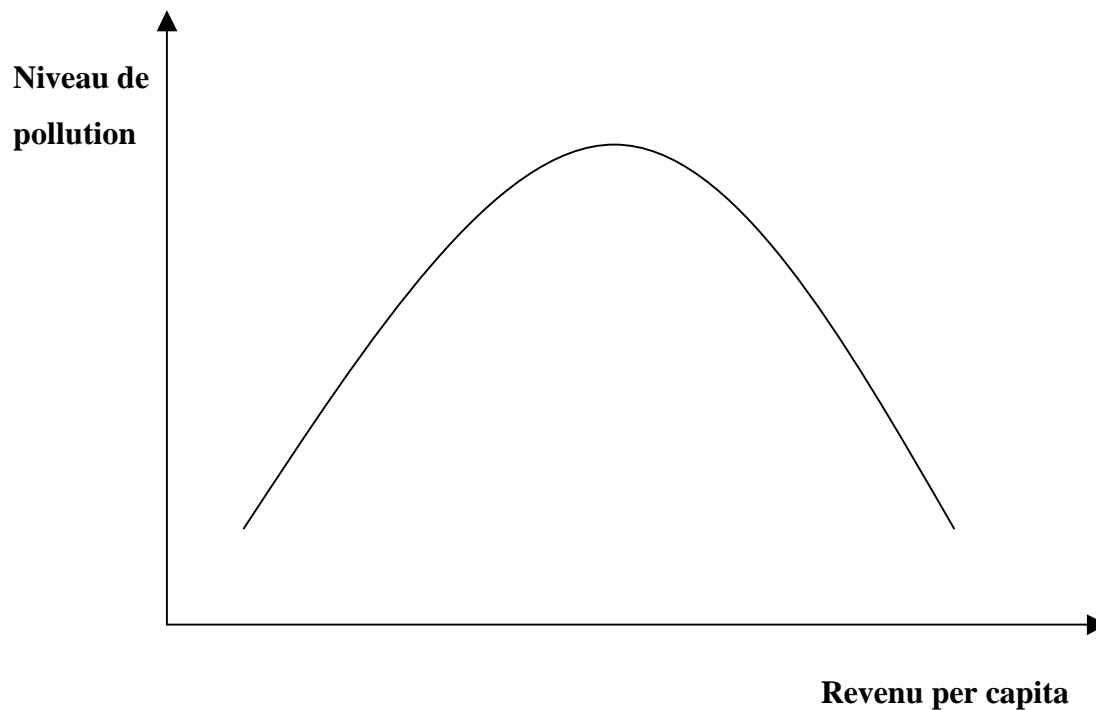
³ La hausse de la croissance économique qui résulte du commerce international peut s'expliquer par des facteurs tels que l'augmentation de la productivité via la spécialisation, les économies d'échelle qui résultent de l'extension du marché, le progrès technique qui découle des contacts avec l'étranger et la plus forte compétition qui s'installe suite à l'arrivée des concurrents étrangers [Krueger (1980)].

Parmi les études qui ont analysé l'impact de la croissance économique⁴ sur l'environnement, deux approches ont été proposées. Une première [Grossman et Krueger (1993, 1995), Selden et Song (1994), Shafik (1994), Holtz-Eakin et Selden (1995), Hettige et al. (1997), Xepapadeas et Amri (1998)] estime la relation entre le revenu per capita et différents indicateurs de qualité environnementale⁵. La seconde approche [Hettige et al. (1992)] utilise plutôt un indice qui mesure l'intensité toxique de la production manufacturière sectorielle pour refléter la qualité de l'environnement. La plupart de ces études tendent à démontrer qu'il existe une relation ayant la forme d'un U inversé entre le développement économique et le niveau de pollution. Cette relation est comparée à celle identifiée par Kuznets (1955) qui associait plutôt le développement économique aux inégalités de revenu. La figure 1 illustre le U inversé de Kuznets appliqué à la relation entre la qualité de l'environnement et la croissance économique.

⁴ Il est important de mentionner que les concepts de croissance économique et de développement économique sont différents. La croissance économique pouvant être associée à l'augmentation du PIB réel, tandis que le développement économique est plus associé au niveau de PIB réel per capita. Cependant, la littérature qui traite de la relation entre la croissance économique et l'environnement s'entend pour dire que la croissance et le développement économique vont dans le même sens.

⁵ Les indicateurs utilisés sont divers polluants atmosphériques et aquatiques, les déchets municipaux per capita, l'accès à de l'eau potable ou à un certain niveau d'hygiène urbaine, et des indicateurs de déforestation.

Figure 1
*U inversé de Kuznets illustrant la relation entre
le niveau de pollution et le développement économique*



Une explication de cette relation serait que, dans un premier temps, la croissance économique, qui est associée au début de l'industrialisation et à la modernisation de l'agriculture, cause une dégradation de l'environnement. Par la suite, une série de facteurs fait en sorte que lorsqu'un certain niveau de développement économique a été atteint, une amélioration relative de l'environnement s'ensuit, du moins pour certains polluants. Ces facteurs consistent en 1) une élasticité revenu positive pour la qualité environnementale; 2) des changements dans la composition de la consommation et de la production; 3) une augmentation du niveau d'éducation et de sensibilité environnementale; et 4) des systèmes politiques plus ouverts

(Selden et Song). Les résultats des études recensées sont présentés au tableau A1 en annexe.

Les différents résultats présentés dans la littérature sont importants pour notre étude puisqu'ils nous indiquent que la croissance économique, engendrée dans notre cas par les gains à l'échange, a un effet significatif sur l'environnement. L'impact de la croissance sur l'environnement n'est toutefois pas nécessairement favorable. Ainsi, bien que la relation trouvée ait souvent la forme d'un U inversé, ce qui laisse présager des jours meilleurs, pour certains polluants, le sommet de la fonction est souvent à un niveau supérieur au revenu per capita de plusieurs nations. Ceci laisse entrevoir que la situation environnementale de ces pays devrait continuer de s'aggraver pour les stades de développement économique ultérieurs. Une ouverture au commerce international pourrait toutefois permettre une croissance plus rapide et ainsi permettre un passage plus vite dans la partie descendante de la courbe.

2.3 Revue de la littérature

2.3.1 Études théoriques

La majorité des études sur la relation entre le commerce international et l'environnement ont utilisé une approche théorique. Comme le nombre d'études est important et que le présent travail ne consiste pas à élaborer un modèle théorique, cette section n'a pour objectif que d'illustrer l'évolution de la littérature théorique qui nous mène à choisir notre modèle. Les résultats et hypothèses des différentes études recensées dans les lignes qui suivent sont présentés au tableau A2 en annexe.

La première vague de modèles⁶ qui a abordé la relation entre le commerce international et l'environnement a démontré que les nations avec des normes environnementales moins strictes ont un avantage concurrentiel pour la production de biens polluants, ce qui augmente les exportations et diminue les importations de ce type de produit. Parmi ce groupe, McGuire (1982) a inclus la notion d'investissement direct étranger pour démontrer qu'une firme qui œuvre dans une industrie polluante et qui fait face à des normes environnementales plus sévères va relocaliser ses opérations dans un pays moins réglementé.

Suite à ces études, la littérature s'est développée sous différents axes, mais ce n'est qu'au cours des dernières années que sont apparus des modèles plus pertinents à l'approche des trois mécanismes. Copeland et Taylor (1994, 1995) ont critiqué les études antérieures en indiquant qu'elles ne parviennent à définir la structure du commerce que dans une situation où les politiques environnementales sont fixes. Ces modèles ne permettent donc pas d'évaluer la situation où la réglementation environnementale est endogène aux conditions qui prévalent dans un pays. Comme il a été illustré précédemment, à un certain niveau de développement, la croissance économique est associée à une amélioration des conditions environnementales. Il est donc important de considérer la réglementation environnementale comme sensible à la croissance économique dans notre modèle. De plus, dans le modèle de Copeland et Taylor (1994), les trois mécanismes sont abordés sous une approche théorique.

Richelle (1996) a mené plus loin l'approche de Copeland et Taylor, qui ne comportait qu'un seul facteur de production – le travail – en incluant à son modèle le capital. Cet ajout permet donc de considérer le rôle que l'abondance en facteurs de production peut jouer dans la détermination de la structure du commerce. L'amélioration de Richelle a été incluse dans l'étude théorique et empirique d'Antweiler et al.. Leurs modèles permettent donc, aux différences

⁶ Pethig (1976), Siebert (1977), Yohe (1979) et McGuire (1982).

de revenu et d'abondance en facteurs dans les différents pays, de déterminer conjointement la structure du commerce. Cette considération est d'autant plus importante dans un modèle empirique puisque la majorité des industries polluantes sont fortement intensives en capital, point mentionné précédemment lorsque nous avons fait référence à l'étude de Tobey.

L'évolution récente de la littérature nous mène à un modèle comportant des hypothèses plus larges où les trois mécanismes sont incorporés. Notre modèle de référence est celui de Antweiler et al. qui est le plus récent et qui considère, entre autres, que les effets de la pollution sont transfrontaliers, que le commerce est dicté par deux facteurs, le travail et le capital, et que les politiques environnementales sont endogènes aux conditions économiques d'un pays.

2.3.2 Études empiriques

La littérature empirique sur la relation entre la libéralisation du commerce et son impact sur l'environnement commence à peine à émerger suite aux nombreuses études théoriques qui ont précédé. Le tableau A3 en annexe expose les principaux résultats et caractéristiques des différentes études empiriques.

L'étude de base à laquelle plusieurs auteurs font référence est celle de Grossman et Krueger (1993) qui mentionne pour une première fois l'approche des trois mécanismes. Le cadre de cette recherche était d'évaluer les impacts environnementaux de l'ALÉNA. En se basant sur trois mesures de la qualité de l'air (les concentrations en dioxyde de soufre (SO₂), en particules et en fumée) dans différentes villes à travers le monde, ils ont régressé ces indicateurs environnementaux sur le revenu per capita (effets d'échelle et technique), des variables spécifiques à chaque site d'observation, une variable d'intensité commerciale (effet de composition), de même qu'une tendance

linéaire. Cette étude aborde également la relation entre les coûts de réduction de la pollution et la structure du commerce et des investissements entre le Mexique et les États-Unis. En utilisant des données qui couvrent une période pouvant s'étaler de 1977 à 1988, et qui englobent de 13 à 32 pays, selon le polluant, les résultats indiquent qu'une libéralisation du commerce peut augmenter la spécialisation du Mexique dans les secteurs qui causent moins de dommages environnementaux. L'asymétrie dans les réglementations environnementales entre les deux pays n'aurait qu'un poids minime pour la structure du commerce par rapport à l'avantage comparatif du Mexique dans la main-d'œuvre non qualifiée. De plus, les résultats indiquent que peu de liens significatifs sont trouvés entre une plus grande ouverture au commerce international et le niveau de pollution. La seule exception est par rapport au SO_2 , où une plus grande ouverture implique une diminution du niveau de la concentration de ce polluant. Ce résultat va à l'encontre des craintes des environnementalistes.

Notre étude va dans le même sens que celle de Grossman et Krueger (1993) et prendra en considération les trois mécanismes qu'ils proposent. Toutefois, nous considérerons les améliorations effectuées dans les modèles subséquents qui sont présentés dans les lignes qui suivent.

Un premier reproche fait à l'étude de Grossman et Krueger (1993) est qu'ils estiment les effets technique et d'échelle par le biais d'une seule variable, soit le PIB per capita. Gale et Mendez (1998) ont été les premiers à soulever ce point et ont utilisé une nouvelle variable pour isoler l'effet d'échelle de l'effet technique. L'effet d'échelle est alors reflété par une variable construite en pondérant le PIB du pays par la proportion qu'a la ville, où est situé le site d'observation, dans la population du pays. L'intuition selon laquelle une augmentation de l'activité économique cause une dégradation de l'environnement peut ainsi être captée. Le PIB per capita permet alors d'estimer seulement l'effet technique.

Les résultats de Gale et Mendez, obtenus pour le SO_2 , sont en ligne avec l'intuition pour l'effet d'échelle. Toutefois, l'effet technique ne représente plus une fonction ayant la forme d'un U inversé mais bien une fonction linéaire décroissante. Une augmentation du PIB per capita serait donc liée à une diminution du niveau de pollution quel que soit le niveau de revenu du pays. Une autre critique faite par Gale et Mendez sur l'approche de Grossman et Krueger est qu'ils estiment l'effet de composition par l'intensité commerciale d'un pays. Gale et Mendez suggèrent plutôt d'utiliser les forces qui déterminent le commerce soit les dotations en facteurs d'un pays telles que le capital, le travail et les terres cultivables. Cependant, ils indiquent que par l'application d'instruments de politiques commerciales, un pays peut créer des distorsions aux flux commerciaux qui sont censés résulter des avantages comparatifs entre les pays. Par exemple, un pays qui appliquerait un quota à l'importation pour protéger une industrie nationale créerait une distorsion par rapport aux échanges commerciaux qui devraient avoir lieu. Pour cette raison, ils conservent la variable qui reflète le degré d'ouverture d'un pays au commerce international, soit la somme des exportations et des importations sur le PIB. L'ajout des variables qui indiquent la dotation en facteurs fait ressortir qu'il existe une relation avec la qualité environnementale. Ainsi, la pollution augmente avec l'abondance en capital et diminue avec celle en travail et en terres cultivables. Pour ce qui est du degré d'ouverture au commerce international, aucune relation significative n'est trouvée en lien avec les concentrations de SO_2 .

Les critiques de Gale et Mendez sur l'étude de Grossman et Krueger seront prises en considération dans notre étude. Toutefois, leurs estimations se limitent à l'année 1979 et se basent sur les concentrations de SO_2 dans 34 villes, ce qui nous amène à être prudents face aux résultats obtenus. Antweiler et al. formulent d'autres critiques sur l'approche de Gale et Mendez. Entre

autres, ils indiquent que les estimations économétriques ne prennent pas en considération la possibilité d'hétéroscédasticité.

L'étude de Antweiler et al., étant l'une des plus récentes parmi celles qui divisent l'impact du commerce sur l'environnement en trois mécanismes et celle qui corrige le plus les lacunes présentes dans les recherches antérieures, servira de modèle de base pour l'élaboration de nos travaux. Bien appuyés sur un modèle théorique, auquel nous avons précédemment fait référence, les auteurs basent leurs estimations économétriques sur 2 713 observations qui proviennent de 293 sites d'observations répartis dans 111 villes de 44 pays. Le polluant utilisé pour refléter la qualité environnementale est uniquement le SO₂. Dans leur étude, les auteurs indiquent qu'un indicateur de sévérité de la réglementation environnementale devrait être inclus au modèle. Étant limité dans le choix d'indicateur, ils utilisent le revenu per capita comme approximation pour cette variable. Par rapport à ce point, ils indiquent qu'une augmentation de la richesse d'un pays se traduit par un durcissement des normes environnementales. En combinant les trois effets du commerce, Antweiler et al. en arrivent au résultat que l'ouverture du commerce est bonne pour l'environnement. Leur conclusion est que si le commerce augmente le PIB et le PIB per capita de 1%, alors l'effet net du commerce est de réduire les concentrations en pollution d'environ 1%. Leurs résultats indiquent également qu'il existe une relation négative entre le degré d'ouverture d'un pays et la concentration en SO₂. Ce résultat, tout comme celui de Grossman et Krueger (1993) pour le SO₂ présenté plus tôt, est en opposition avec l'intuition des environnementalistes qui croient qu'un pays plus ouvert sera l'hôte de firmes polluantes. Une description plus complète de la méthodologie de Antweiler et al. sera présentée dans la section où nous aborderons notre modèle empirique.

Dean (1998) apporte également sa contribution en indiquant que les résultats peu significatifs sur la relation entre la libéralisation du commerce et l'environnement présentés dans la littérature sont peut-être causés par une

mauvaise spécification du modèle. Elle avance la possibilité que la croissance du revenu et la dégradation de l'environnement soient déterminées conjointement. Dean estime donc un modèle à équations simultanées pour permettre la présence d'effets dynamiques entre la croissance du revenu et des émissions. Elle conclut que l'ouverture du commerce aggrave directement l'environnement via l'influence de la spécialisation, mais que cet impact négatif est atténué par l'effet technique. Il est à noter que cette approche n'est pas le modèle central de l'étude de Antweiler et al., mais qu'ils ont considéré la simultanéité dans une analyse de second niveau pour démontrer la robustesse de leurs estimations. Les résultats obtenus sont considérablement en ligne avec leur modèle à une équation. Les résultats de Dean nous portent à croire que la relation contemporaine entre la pollution et le revenu est assez négligeable, ce pourquoi nous n'aborderons pas ce point. Antweiler et al. ont brièvement traité cet aspect pour en arriver aux mêmes conclusions.

Une autre approche pour évaluer les trois mécanismes a été utilisée par Cole et al. (1998) qui ont étudié plus spécifiquement l'impact de l'*Uruguay Round* sur l'environnement. En se basant sur neuf blocs commerciaux et cinq polluants, ils estiment l'effet de composition et les effets technique et d'échelle combinés. Leur approche n'utilise pas d'outil économétrique; ils obtiennent plutôt leurs estimations à partir de ratios. L'effet de composition est calculé à partir des estimés de François et al. (1995) sur les changements de production sectorielle amenés par l'*Uruguay Round*. Ils appliquent ainsi ces estimés aux intensités de pollution sectorielles de Hettige et al. (1994) pour en déduire un impact sur les émissions de polluant. Pour évaluer les effets d'échelle et technique, les auteurs sont plus ou moins clairs quant à leur méthodologie. Ils calculent le tout à partir des variations d'émissions per capita qui résultent de l'augmentation du revenu per capita. Des estimés sont calculés pour les années 1990 et 2000 en considérant les prévisions de croissance de la population du Programme des Nations Unies sur l'environnement (UNEP). Les résultats agrégés de Cole et al. sont que toutes les nations étudiées

connaîtront une augmentation dans leurs émissions de dioxyde d'azote (NO₂). Pour les autres polluants, en général, les émissions augmentent dans les PVD et diminuent dans les pays développés. Selon nous, une faiblesse de cette approche réside dans le fait que les effets d'échelle et technique sont estimés par la même variable, alors que nous désirons les estimer séparément.

Une série d'autres études existent pour illustrer l'impact de la mondialisation des échanges sur la qualité environnementale. Toutefois, ces études n'utilisent pas les effets d'échelle, technique et de composition comme dans les études présentées précédemment.

Parmi ces études, certaines examinent comment les flux commerciaux peuvent être affectés par la réglementation environnementale et/ou par les niveaux de coûts de réduction de la pollution chez les différents partenaires commerciaux. Cette approche a été abordée en premier lieu par Tobey qui a analysé la relation entre la sévérité environnementale et les flux commerciaux de cinq industries polluantes. Ses résultats démontrent que la réglementation environnementale n'a pas d'impact significatif sur la structure du commerce international. L'étude de Grossman et Krueger (1993), dont il a été question précédemment, utilise pour sa part les coûts de réduction de la pollution. De son côté, Antweiler (1997) incorpore un index environnemental basé sur les émissions de polluants par industrie. Une série d'autres études examinent également l'hypothèse selon laquelle les pays en voie de développement ont vu les firmes polluantes migrer vers leur territoire suite à l'ouverture économique de leurs frontières (*pollution haven hypothesis*). Parmi ces études se trouvent celles de Low et Yeats (1992), Hettige et al. (1992), Wheeler et Birdsall (1993), Eskeland et Harrison (1997) et Mani et Wheeler (1997).

Il ressort essentiellement de ces recherches que l'ouverture au commerce a un impact peu significatif sur l'environnement. De plus, peu

d'études démontrent que les coûts de réduction de la pollution ou la sévérité environnementale ont un effet significatif sur les flux commerciaux.

3. MODÈLE D'ANALYSE ET DESCRIPTION DES DONNÉES

Le développement récent de la littérature empirique sur la relation entre l'ouverture du commerce international et l'environnement nous mène à adopter l'approche utilisée par Antweiler et al., qui nous semble la plus complète. En effet, comme il a été mentionné précédemment, cette étude est la plus récente et corrige les faiblesses des travaux antérieurs dans le domaine. Le modèle qui suit s'inspire donc directement de celui d'Antweiler et al. et servira de base pour notre étude.

$$\begin{aligned}
 Z_{it} = & \beta_0 + \beta_1 * PIB_{it} + \beta_2 * PIBCAP_{it} + \beta_3 PIBCAP_{it}^2 + \beta_4 KL_{it} + \beta_5 KL_{it}^2 \\
 & + \beta_6 O_{it} + \beta_7 SÉVÉRITÉ_{it} + \beta_8 O_{it} RSÉVÉRITÉ_{it} + \beta_9 O_{it} (RSÉVÉRITÉ_{it})^2 \\
 & + \beta_{10} O_{it} RKL_{it} + \beta_{11} O_{it} (RKL_{it})^2 + \beta_{12} TENDANCE_i + \beta_i \Psi_i + \varepsilon_{it} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Notre variable dépendante, Z_{it} , représente les émissions de pollution enregistrées dans le pays i , à l'année t , ces indices servant pour l'ensemble des variables utilisées dans ce modèle. Les différents polluants utilisés dans cette étude sont le dioxyde de carbone (CO_2) et les oxydes d'azote (NO_x). Nos différentes variables indépendantes sont définies comme suit :

- PIB_{it} est le PIB réel.
- $PIBCAP_{it}$ est une moyenne mobile de trois ans du PIB réel per capita.
- KL_{it} représente le ratio capital-travail.
- O_{it} représente un indicateur d'ouverture au commerce international.
- $SÉVÉRITÉ_{it}$ illustre la sévérité de la réglementation environnementale.
- $O_{it}RSÉVÉRITÉ_{it}$ est un terme d'interaction entre l'indicateur d'ouverture au commerce international et le niveau de sévérité de la réglementation environnementale du pays i relativement à ceux des pays de l'échantillon.
- $O_{it}RKL_{it}$ représente l'interaction entre l'ouverture au commerce international et le ratio relatif capital-travail.

- $TENDANCE_t$ est une tendance linéaire.
- ψ_i illustre la présence d'effets fixes pour les différents pays.
- ε_{it} est un terme d'erreur.

Des explications supplémentaires sur l'ensemble des variables dépendantes et indépendantes de notre modèle sont présentées dans la section qui suit.

3.1 Les variables dépendantes

Comme il a été mentionné, deux polluants serviront tour à tour de variable dépendante dans nos estimations, soit les émissions de CO₂ et de NO_x. L'utilisation de ces polluants constitue une nouveauté dans la littérature pour l'estimation économétrique d'un modèle comme le nôtre. Il est important d'indiquer les raisons qui motivent le choix de nos polluants. Ces motifs ont été identifiés par Antweiler et al. et nous considérerons les mêmes qu'eux. Ils consistent en ce que le polluant 1) soit un sous-produit de la production de biens, 2) soit émis en plus grande quantité par unité de production dans certaines industries, 3) ait des effets importants sur l'environnement local, 4) soit sujet à la réglementation étant donné son effet nocif sur la population, 5) soit associé à des technologies de réduction de la pollution connues et disponibles pour l'implantation et 6) soit disponible pour une combinaison d'économies ayant un stade de développement et un degré d'ouverture au commerce international différents.⁷

Le polluant utilisé par Antweiler et al., soit le SO₂, répond donc à ces six critères. Ici, il est important de mentionner qu'un obstacle majeur, si l'on étudie les relations entre le commerce international et l'environnement

⁷ Les caractéristiques de nos échantillons seront présentées à la page qui suit et à la section 4.2.

planétaire, réside dans le manque de données qui permettraient une comparaison entre divers pays sur un horizon temporel considérable.

Ainsi, nos échantillons comprennent 21 pays pour le CO₂ et 18 pour le NO_x.⁸ La très forte majorité de ces pays sont développés. Par conséquent, le sixième motif mentionné par Antweiler et al. est plus ou moins respecté. Toutefois, cet aspect ne représente pas un obstacle étant donné que notre recherche ne reflète pas la situation qui prévaut à l'échelle mondiale. Au contraire, notre approche pourrait même être plus représentative de la réalité puisque la forte proportion du commerce international est réalisée entre pays développés, comme les pays de l'OCDE.

Pour ce qui est des autres motifs mentionnés, ils sont respectés par le NO_x. Toutefois, tel n'est pas nécessairement le cas pour le CO₂. Ainsi, les émissions de ce polluant ne sont pas nécessairement associées directement à des problèmes importants au niveau local. En effet, l'environnement planétaire en est plutôt affecté. Étant donné ces différents aspects qui divergent des critères énoncés par Antweiler et al., il sera intéressant de comparer nos résultats avec les leurs.

Dans les lignes qui suivent, nous présenterons une brève description des deux polluants étudiés, quant à leurs principales sources d'émissions, leurs effets sur la santé humaine et l'environnement planétaire, de même que les différentes ententes internationales qui ont été conclues pour diminuer les émissions.⁹

⁸ Il est à noter que les données pour le CO₂ sont disponibles pour plusieurs pays. Toutefois, pour cet exercice, nous sommes limités à 21 pays étant donné la contrainte que nous impose l'utilisation des autres variables du modèle.

⁹ L'information présentée dans les lignes qui suivent s'inspire des ouvrages suivants : Nations Unies (1995), Wijetilleke et Karunaratne (1995), Elsom (1996) et Environnement Canada (1998).

Le dioxyde de carbone (CO₂)

Le CO₂, tout comme les autres gaz à effet de serre, absorbe les radiations infrarouges de la Terre, ayant comme conséquence de créer une couche autour de la planète qui empêche la chaleur de quitter l'atmosphère. Au cours du dernier siècle, la température de la planète a augmenté de 0,3 à 0,6 degré Celcius. Il est à noter qu'on estime qu'environ 50% de cette hausse est attribuable au CO₂ [Tétrault (1992)]. Des changements dans la température planétaire pourraient provoquer des modifications dans le niveau des précipitations et dans les zones climatiques, causer des conditions météorologiques plus extrêmes et augmenter le niveau des mers. Les principales causes de l'augmentation de CO₂ dans l'atmosphère sont la combustion de charbon, pétrole et gaz naturel, de même que la déforestation. Afin de faire face aux problèmes associés aux émissions de CO₂, plus de 160 pays ont adhéré au Protocole de Kyoto en 1997 où les signataires se sont engagés à diminuer leurs émissions d'ici 2012 par rapport à la situation qui prévalait en 1990. Des objectifs spécifiques ont été assignés à chaque pays. Par exemple, le Canada s'est engagé à réduire ses émissions de l'ordre de 6% d'ici 2010.

Les oxydes d'azote (NO_x)

Les oxydes d'azote comprennent l'oxyde d'azote (NO), l'oxyde nitreux (N₂O) et le dioxyde d'azote (NO₂). Bien que les phénomènes naturels, tels que l'action bactérienne dans le sol, les éruptions volcaniques et les éclairs, sont responsables d'une plus grande quantité d'oxydes d'azote dans l'atmosphère que les activités humaines, les émissions naturelles sont diluées à l'échelle planétaire. À l'opposé, les émissions provenant d'activités humaines, dont les plus importantes sont associées à l'utilisation de combustibles fossiles, aux usines d'explosifs, de fertilisants et de verre, de même qu'aux raffineries de pétrole, sont surtout concentrées dans les zones urbaines. Les oxydes

d'azote dans l'atmosphère réduisent la visibilité, aggravent le réchauffement planétaire et agissent comme catalyseur dans la diminution de l'ozone dans les couches supérieures de l'atmosphère. L'exposition à ce polluant pour de longues périodes peut causer des dommages irréversibles aux poumons. D'autres problèmes de santé, auxquels les asthmatiques sont particulièrement vulnérables, sont des bronchites, brûlements des yeux, oppressions de la poitrine et maux de tête. Le Protocole de Sofia a été signé en 1988, dans le cadre duquel 25 pays ont convenu d'appliquer des standards nationaux aux nouvelles sources, de même que de réajuster convenablement les standards pour les principales sources stationnaires existantes.

Plusieurs études citées précédemment ont utilisé les concentrations de polluants à différents sites d'observation comme variable dépendante. Toutefois, étant donné la disponibilité limitée de notre indicateur de sévérité de la réglementation environnementale, dont il sera question plus loin, nous devons nous tourner vers les émissions de polluants pour avoir un nombre suffisant d'observations dans notre échantillon. En utilisant les concentrations de polluants, les études antérieures devaient prendre en considération la localisation des différents sites d'observation, de même que le niveau des précipitations et la température. La justification pour considérer tous ces éléments est qu'ils affectent tous le niveau de concentration de la pollution.¹⁰ Toutefois, comme nos données sont associées aux émissions de polluants, nous ne devons pas considérer ces divers éléments.

3.2 Les variables indépendantes

La présente section traite des différentes variables indépendantes de notre modèle. Les intuitions présentées se basent sur celles que l'on retrouve dans

¹⁰ Par exemple, une station d'observation située en plein centre-ville risque d'être associée à une concentration de la pollution plus élevée qu'une station de la même ville mais qui est localisée en banlieue.

l'étude de Antweiler et al. même s'il est possible que nos résultats divergent des leurs. Une section sur l'analyse des résultats pourra expliquer cette divergence.

Le produit intérieur brut (PIB)

La variable *PIB* a pour objectif de capter l'effet d'échelle dont il a déjà été question. Comme il est logique de présumer qu'une augmentation de la production va mener à une hausse des émissions de polluant, si nous posons l'hypothèse que les intrants à la production et que la composition du panier de biens demeurent constants, nous devrions trouver une relation positive entre le PIB et le niveau de pollution.

Le produit intérieur brut per capita (PIBCAP)¹¹

Pour sa part, le PIB per capita est la variable associée à l'effet technique. L'inclusion d'un terme au carré de cette variable vise à permettre à l'effet technique d'avoir un impact décroissant. Ainsi, le terme quadratique nous permet de prendre en considération la possibilité d'une « relation à la Kuznets » entre les niveaux de développement économique et de pollution. Si cette relation de Kuznets est vérifiée, nous devrions avoir un coefficient positif pour le terme de premier degré et négatif pour celui quadratique. Nous avons construit cette variable en utilisant une moyenne mobile de trois ans, pour tenir compte que les changements de revenus n'ont pas un impact immédiat sur le niveau des politiques environnementales, celles-ci étant plutôt réactives dans

¹¹ Les séries du Penn World Table (PWT) pour les variables PIB per capita, le ratio capital sur travail (KL) et le premier indicateur d'ouverture au commerce international [(X+M)/PIB] n'étaient pas toujours complètes. Afin de pouvoir utiliser un panel équilibré pour nos trois échantillons, nous avons complété ces derniers en extrapolant les valeurs pour les séries du PWT. Lorsqu'une donnée était manquante, sans se situer à la fin de la série, nous avons utilisé la valeur moyenne de l'année précédente et suivante pour estimer la valeur.

le temps.

Le ratio capital-travail (KL)

Notre effet de composition est pour sa part représenté par le ratio du capital-travail d'un pays. Il permet donc de refléter la dotation en facteurs d'une nation. Ainsi, s'il est vrai que les industries intensives en capital sont plus polluantes, nous devrions retrouver un coefficient positif. Tout comme pour la variable PIB per capita, nous incluons également un terme quadratique du ratio capital-travail afin de permettre à l'accumulation de capital d'avoir un effet décroissant à la marge. Nous anticipons donc un signe négatif pour le coefficient de cette variable.

Les indices d'ouverture au commerce international (O1 et O2)

Un indicateur très répandu et simple pour refléter le degré d'ouverture d'un pays au commerce international est le ratio de la somme des exportations et des importations sur le PIB. Ainsi, notre premier indicateur d'ouverture au commerce international se lit comme suit :

$$O1_{it} = \frac{(X + M)_{it}}{PIB_{it}} \quad (2)$$

Cet indicateur peut donc nous informer de la taille relative du commerce extérieur du pays i par rapport à sa production nationale à l'année t . Comme les études antérieures sur la relation entre le commerce international et l'environnement ont toutes utilisé cet indicateur, nous procéderons dans la même veine. Par contre, comme nous le présentons dans les lignes qui suivent, nous utilisons également un indicateur d'ouverture au commerce international qui n'a jamais été utilisé dans ce type de recherche.

Cet indicateur d'ouverture (*OI*) au commerce international nous permet seulement de prendre en considération des variables telles que des barrières au commerce international¹² et ne nous permet pas de tenir compte d'autres variables qui pourraient influencer directement le niveau des échanges commerciaux d'un pays. Par exemple, un pays peut nous sembler très ouvert, étant donné la proportion élevée de ses échanges commerciaux par rapport à la taille de son économie. Toutefois, ceci peut être le résultat de la proximité d'un partenaire commercial important. Le cas du Canada serait un bon exemple étant donné sa proximité avec les États-Unis. À l'opposé, un autre pays peut nous sembler fermé alors que sa superficie peut permettre d'éviter l'importation de différentes ressources naturelles.

Pour tenir compte de cette situation, une méthode a été développée par Gwartney et Lawson (1997)¹³ pour considérer certains facteurs qui peuvent influencer le ratio de la somme des exportations et des importations sur le PIB d'un pays. La méthode qu'ils utilisent consiste à estimer l'équation suivante pour un ensemble de pays :

$$\ln \frac{(X + M)_{it}}{PIB_{it}} = \beta_0 + \beta_1 \ln(POPULATION)_{it} + \beta_2 \ln(SUPERFICIE)_{it} + \beta_3 MER_{it} + \beta_4 MILE2_{it} + \beta_5 MILE3_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

où *i* représente le pays et *t* l'année. Les différentes variables explicatives du ratio de la somme des exportations et des importations sur le PIB sont la population du pays, sa superficie, une variable binaire (*MER*) qui reflète le fait que le pays ait un accès direct à la mer ou non et deux variables, *MILE2* et *MILE3*, qui illustrent respectivement si moins de 50% et plus de 50% de la

¹² Des exemples de barrières au commerce international sont les tarifs douaniers, les quotas et les restrictions volontaires à l'exportation.

¹³ Bien que cette méthode ne soit pas parfaite et néglige des facteurs comme la structure industrielle d'un pays, nous nous limitons à reproduire la méthodologie de ces deux auteurs puisque cette section n'est pas l'objectif du présent travail.

population du pays en question réside à moins de 150 miles d'un pays limitrophe.¹⁴ Nous anticipons que le coefficient associé à la population du pays sera négatif, car plus un pays a d'habitants, plus il est possible pour lui de réaliser des économies d'échelle et ainsi pouvoir rencontrer plus facilement la demande interne. Le même raisonnement peut s'appliquer au coefficient de la superficie, car plus un pays est vaste, plus il y a de chance que se trouvent sur son territoire différentes ressources naturelles et terres agricoles, ce qui diminue les nécessités d'importation. Par contre, l'abondance de ces ressources peut augmenter les exportations du pays¹⁵. Pour ce qui est de la variable binaire *MER*, qui illustre si le pays a un accès direct à la mer¹⁶, nous anticipons que ce coefficient aura un signe négatif, car le pays en question a de moins bonnes possibilités de commerce outre-mer étant donné la non-disponibilité d'infrastructures portuaires sur son territoire. Finalement, les variables *MILE2* et *MILE3*, qui représentent la proximité de la population locale avec une autre nation, devraient toutes deux avoir un coefficient positif puisque plus la population d'un pays habite près des pays voisins, plus faibles sont les coûts de transport pour s'approvisionner à l'étranger. De plus, nous nous attendons à ce que la valeur du coefficient *MILE3* soit plus élevée, car il indique qu'une plus forte proportion de la population réside près de la frontière avec un autre pays.

Après avoir estimé les coefficients, les auteurs calculent les différentes valeurs de $(X + M) / PIB_{it}$ de la façon suivante :

$$\frac{\hat{X} + \hat{M}}{PIB_{it}} = e^{(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \ln(POPULATION)_{it} + \hat{\beta}_2 \ln(SUPERFICIE)_{it} + \hat{\beta}_3 MER_{it} + \hat{\beta}_4 MILE2_{it} + \hat{\beta}_5 MILE3_{it})} \quad (4)$$

¹⁴ Pour éviter toutes combinaisons linéaires, la variable *MILE1*, qui indique que 0% de la population habite à 150 miles d'un pays limitrophe, n'a pas été incluse au modèle.

¹⁵ Comme nous le verrons plus loin, considérer les exportations dans ce ratio rend l'interprétation des résultats plus difficiles. Cet argument milite en faveur de ne pas les inclure dans notre coefficient d'ouverture.

¹⁶ Les valeurs un et zéro sont associées respectivement aux pays n'ayant pas un accès direct à la mer et en ayant un.

Par la suite, ils sont en mesure d'identifier si un pays est considéré ouvert ou fermé. Ainsi, un pays sera :

⇒ ouvert au commerce international si $(X + M)/PIB_{it} > (\hat{X} + \hat{M})/PIB_{it}$

⇒ et fermé au commerce international si $(X + M)/PIB_{it} < (\hat{X} + \hat{M})/PIB_{it}$.

Cet indicateur d'ouverture au commerce international est disponible pour les années 1975, 1980, 1985, 1990 et 1995. Comme nous avons besoin de cet indicateur d'ouverture à une fréquence annuelle, nous avons donc utilisé une méthodologie semblable à celle de Gwartney et Lawson afin d'obtenir les résultats pour toutes les années de notre échantillon. Nous avons cependant appliqué une légère modification à leur méthodologie en estimant ce modèle avec le ratio importations sur PIB (M/PIB) plutôt que la somme des exportations et des importations¹⁷. La raison qui justifie ce changement est que la plupart du temps les barrières tarifaires sont appliquées aux importations d'un pays plutôt qu'aux exportations. De plus, comme nous l'avons indiqué précédemment, le fait d'inclure les exportations pourrait biaiser notre coefficient associé à la superficie, puisqu'un pays avec une large superficie a généralement plus de potentiel pour exporter. Si nous conservions la somme des importations et des exportations sur le PIB comme variable dépendante, l'interprétation de la variable superficie aurait donc été problématique. L'équation estimée prend donc la forme suivante :

$$\ln \frac{M_{it}}{PIB_{it}} = \beta_0 + \beta_1 \ln(POPULATION)_{it} + \beta_2 \ln(SUPERFICIE)_{it} + \beta_3 MER_{it} + \beta_4 MILE2_{it} + \beta_5 MILE3_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

Afin de procéder à l'estimation des coefficients de l'équation 5, nous avons utilisé 93 pays provenant de l'étude de Gwartney et Lawson et ce pour

¹⁷ Cette modification nous a été suggérée par un des auteurs, M. R. Lawson, qui nous a indiqué que ce changement sera apporté dans une édition ultérieure.

les années 1975 à 1995. Les données utilisées pour calculer cet indicateur proviennent de la même source que celles de l'étude de Gwartney et Lawson, soit la Banque Mondiale (1998)¹⁸. Nous avons appliqué la même procédure que ces auteurs afin d'estimer $(\hat{M}/PIB)_{it}$ pour les pays et années de notre échantillon. Toutefois, nous avons poussé notre approche économétrique plus loin que celle de Gwartney et Lawson, ces derniers n'utilisant que la technique des moindres carrés ordinaires (MCO) pour effectuer leurs estimations. Après avoir détecté la présence d'hétéroscédasticité et d'autocorrélation d'ordre 1, nous avons estimé ce modèle avec la méthode en pooling développée par Kmenta (1986). Cette méthode permet de corriger l'autocorrélation d'ordre 1 des erreurs dans le temps, de même que l'hétéroscédasticité présente entre les observations des différents pays.

Notre second indicateur d'ouverture au commerce international prend donc la forme suivante :

$$O2_{it} = \left(\frac{M}{PIB} \right)_{it} - \left(\frac{\hat{M}}{PIB} \right)_{it} \quad (6)$$

Les résultats de nos estimations, qui sont en ligne avec nos attentes, sont présentés au tableau 1.

¹⁸ Les variables *MER* et *MILE* nous ont été fournies par Lawson. Étant donné l'énorme charge de travail associée à la construction de ces variables nous avons préféré utiliser les mêmes valeurs que Gwartney et Lawson. Nous avons procédé à une vérification sommaire où les différentes valeurs nous ont semblé en lien avec notre jugement sur la situation.

Tableau 1
Résultats de l'estimation de l'équation 5

Variable dépendante	ln (M/PIB)	
Constante	6,393	(28,55) **
ln population	-0,163	(10,16) **
ln superficie	-0,099	(9,50) **
Mer	-0,069	(1,88) *
Mile2	0,177	(2,88) **
Mile3	0,186	(4,44) **
R ²	0,25	
Nombre d'observations	1 953	

Note : Les valeurs entre parenthèses représentent la statistique t de Student (** significatif à 1%, * significatif à 10%)

L'utilisation d'un indicateur d'ouverture au commerce international dans nos estimations nous permet de vérifier si l'ouverture d'un pays au commerce international va provoquer une hausse ou une baisse de la pollution. Cependant, cette variable, prise seule, ne peut nous donner beaucoup d'information puisque l'impact de l'ouverture d'un pays au commerce international devrait être associé aux caractéristiques de ce pays, c'est-à-dire, la spécialisation de sa production.

Il est bon de noter que nous sommes novateurs avec l'utilisation de cette variable pour refléter le degré d'ouverture d'un pays au commerce international sur un long horizon temporel. En effet, cette variable a été utilisée qu'une seule fois dans les études sur le commerce international et l'environnement, soit dans l'étude de Eliste et Fredriksson (1998). Toutefois, ces derniers n'ont utilisé que les valeurs calculées par Gwartney et Lawson pour l'année 1990.

Ainsi, cette variable prise seule peut nous indiquer si, suite à une plus grande ouverture d'un pays au commerce international, la pollution diminuera ou augmentera. Une hausse de la pollution pourrait donc indiquer qu'en

général, suite à l'ouverture au commerce international, des pays se spécialisent dans la production de biens polluants, ce qui fait augmenter la pollution en général. À l'opposé, une baisse de la pollution pourrait être associée à l'implantation de technologies moins polluantes par les firmes étrangères dans les pays qui s'ouvrent. De plus, un autre point qui milite en faveur du fait qu'un pays ouvert soit moins pollué que s'il était fermé, est le fait que ce pays soit soumis aux pressions de ses partenaires commerciaux. À cet effet, l'article XX de l'accord général sur les tarifs douaniers et le commerce (GATT de 1947) énonce des conditions permettant à un pays d'adopter des mesures visant la protection de l'environnement et la conservation des ressources naturelles épuisables.

La sévérité de la réglementation environnementale (SÉVÉRITÉ)

Une critique qui peut être faite aux études citées antérieurement qui utilisent l'approche des trois mécanismes est qu'aucune n'incorpore directement une variable qui reflète la sévérité de la réglementation environnementale dans leur modèle. Nous avons mentionné que Antweiler et al. indiquaient que leur variable reflétant l'effet technique, soit le PIB per capita, pouvait en quelque sorte illustrer le niveau de sévérité de la réglementation environnementale. En effet, comme la qualité environnementale est un bien normal, on s'attend à ce qu'une hausse de la richesse nationale se traduise par une demande de normes environnementales plus strictes. Toutefois, nous croyons qu'il y a lieu d'utiliser un meilleur indicateur de la réglementation environnementale puisqu'il est possible d'avoir une réglementation environnementale qui diffère entre des nations qui ont un même niveau de développement économique. Nous pouvons penser aux pays scandinaves ou à l'Allemagne qui ont des normes considérées plus strictes que celles de pays avec un niveau de développement comparable. Pour cette raison, nous pensons qu'il est important d'avoir une variable qui reflète le niveau de réglementation environnementale d'une nation. Encore une fois, cet

aspect de notre recherche constitue une nouveauté par rapport aux études qui utilisent l'approche des trois mécanismes pour expliquer l'impact de la mondialisation sur l'environnement.

Une raison qui peut expliquer la non inclusion d'une variable illustrant la sévérité de la réglementation environnementale dans les études antérieures est la non disponibilité de cette dernière. À notre connaissance, trois séries d'indicateurs existent à un niveau international.¹⁹ La première date des années 70 et a été publiée par Walter et Ugelow (1979) à partir de rapports soumis par des pays de l'OCDE lors de la Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (UNCTAD). Plus de 40 pays avaient alors évalué la sévérité de leur réglementation environnementale par rapport à celle des États-Unis qui était considéré à l'époque comme un pays ayant une réglementation stricte. Un indicateur très complet a été réalisé récemment par Dasgupta et al. (1995). Celui-ci est basé sur des rapports nationaux soumis par 145 pays lors du Sommet de Rio en 1992. Afin de construire un indicateur, les auteurs ont élaboré une grille d'analyse couvrant cinq secteurs, soit l'agriculture, le transport, l'énergie et les secteurs industriel et urbain, et ce pour 31 pays. Ces deux séries d'indicateurs, soit ceux de Walter et Ugelow et de Dasgupta et al., ont été utilisées respectivement dans les travaux de Tobey (1990) et Eliste et Frederikson (1998) dont il a été question précédemment. Un troisième indicateur du niveau de réglementation environnementale disponible pour plusieurs pays a été élaboré par van Beers et van den Bergh (1997). Les auteurs utilisent des données du début de la décennie sur une série

¹⁹ Il est à noter que d'autres séries existent mais à l'échelle nationale seulement. Plusieurs études (voir Jaffe et al. (1995) pour une revue complète de la littérature sur ce sujet) qui considèrent les différences de réglementation environnementale ont été réalisées avec des données américaines pour voir les facteurs de localisation des entreprises entre les états.

d'indicateurs environnementaux²⁰ pour construire un classement pour 21 pays de l'OCDE. La limite que nous imposent ces différents indicateurs est qu'ils ne sont disponibles respectivement que pour 1976 et 1992, pour les deux derniers indicateurs. L'utilisation de ces indicateurs nous obligerait donc à procéder à des estimations en coupe transversale, ce qui limiterait trop le nombre d'observations dans nos estimations.

Un indicateur du niveau de sévérité de la réglementation environnementale n'étant pas disponible sur un horizon temporel suffisamment long, nous avons donc dû nous tourner vers une variable qui approxime le degré de sévérité de la réglementation environnementale. Ce problème a également été soulevé par Moreau (1998) qui a arrêté son choix sur une variable de type sondage relative à la perception qu'ont les gens de la pratique du recyclage dans leur pays. Cet indicateur provient du World Competitiveness Report (Institute for Management Development, 1991-1995) et est construit à partir de sondages soumis à des cadres supérieurs et des exécutifs des différents pays étudiés.²¹

L'avantage pour nous d'utiliser les données publiées par le WCR, et non celles de ces différents auteurs, est que des observations sont disponibles sur une période de cinq ans et ce pour plusieurs pays. Bien que la pratique du recyclage dans un pays n'est pas un indicateur parfait pour refléter le niveau de réglementation environnementale qui prévaut, cette variable est tout de même une bonne indication de l'attention qui est portée à l'environnement dans une nation.

²⁰ Ces indicateurs sont la part de marché de l'essence sans plomb, la proportion du territoire national associé à des espaces protégés, le taux de récupération du papier et du verre, la proportion de la population connectée à une usine de traitement des eaux, de même que deux variables illustrant l'intensité énergétique dans les pays.

²¹ Il est à noter que ce type de variable fait partie de celles utilisées par van Beers et van den Bergh dans leur étude.

Tout comme Moreau l'indique, l'utilisation de cette variable peut toutefois soulever certaines critiques étant donné sa nature. En effet, cette variable est de type sondage et reflète la perception qu'ont les répondants de la situation qui prévaut dans leur pays. Un biais peut alors être présent étant donné que l'information détenue par les répondants peut être imparfaite. Cependant, la taille de l'échantillon, l'origine des répondants et la stabilité des résultats entre les différentes années apportent une certaine crédibilité à cette variable. En effet, près de 3 000 cadres supérieurs qui proviennent de milieux professionnels différents du secteur privé répondent annuellement à ce sondage.

Afin de valider l'utilisation de la variable reflétant la perception du recyclage comme indicateur de la sévérité de la réglementation, nous procéderons également à des estimations en utilisant une autre variable qui approxime le niveau de réglementation dans un pays. Cette variable est les dépenses publiques de recherche et développement pour la protection de l'environnement. Cette variable est disponible pour plusieurs pays de l'OCDE et ce, pour une période se situant entre 1980 et 1995 selon les pays. Pour tenir compte de l'importance de la taille du pays, nous avons divisé les dépenses en R&D par le nombre d'habitants. Le tableau 2 illustre le classement des différents pays selon nos deux variables approximatives de la sévérité de la réglementation environnementale.²² Comme nos deux variables sont des approximations, nous présentons également les données relatives aux dépenses de lutte contre la pollution effectuées par le secteur public pour plusieurs pays de l'OCDE. Encore une fois, les données ont été divisées par la population pour tenir compte de la taille des différents pays. La raison pour laquelle nous ne pouvons utiliser cette variable est qu'elle n'est pas disponible sur un horizon continu pour plusieurs pays. Toutefois, nous avons calculé les coefficients de corrélation entre cette variable et nos deux approximations du

²² Les données utilisées sont celles de 1994. Lorsqu'une observation n'était disponible pour 1994, l'année la plus récente a été utilisée.

niveau de sévérité de la réglementation environnementale, soit les variables recyclage des ressources et dépenses publiques en R&D pour la protection de l'environnement. Les coefficients de corrélation sont respectivement 0,85 et 0,50.²³ Nous voyons ici qu'il existe une corrélation élevée entre notre variable de recyclage des ressources et celle des dépenses de la lutte contre la pollution. Comme la variable qui reflète les dépenses de lutte contre la pollution est plus générale et risque ainsi de mieux illustrer l'attention portée aux questions environnementales, nous croyons qu'une variable fortement et positivement corrélée avec celle-ci est un indicateur fiable.

Nous utiliserons donc nos deux approximations du niveau de sévérité de la réglementation environnementale dans des estimations différentes. Naturellement, pour ces deux variables, le signe que nous anticipons est négatif, c'est-à-dire qu'une augmentation de la sévérité environnementale va causer une diminution des émissions de polluants.

²³ Les coefficients ont été calculés en utilisant les données de 1994.

Tableau 2

Variables approximatives du niveau de sévérité de la réglementation environnementale

Pays	Recyclage des ressources¹	Dépenses publiques de R&D pour la protection de l'env. par habitant²	Dépenses de lutte contre la pollution³
Suisse	1	8	1
Autriche	2	7	2
Danemark	3	4	8
Allemagne	4	3	6
Pays-Bas	5	2	3
Suède	6	1	10
Norvège	7	5	n/d
Finlande	8	6	12
Canada	9	11	9
Australie	10	10	13
États-Unis	11	15	5
Nouvelle-Zélande	12	13	n/d
France	13	9	4
Japon	14	20	7
Belgique	15	16	15
Royaume-Uni	16	12	17
Hong Kong	17	n/d	n/d
Corée	18	n/d	11
Inde	19	n/d	n/d
Portugal	20	18	16
Espagne	21	17	17
Thaïlande	22	n/d	n/d
Italie	23	14	14
Turquie	24	n/d	n/d
Mexique	25	21	19
Grèce	26	19	20
Vénézuela	27	n/d	n/d

Notes : (1) Selon les données de l'Institute for Management and Development (World Competitiveness Report – 1995)

(2) Selon les données de l'OCDE (1997)

(3) Selon les données de l'OCDE (1998).

*Les termes d'interaction (O*RKL et O*RSÉVÉRITÉ)*

Il a été mentionné plus tôt qu'on ne peut statuer si la pollution dans un pays va augmenter suite à une plus grande ouverture au commerce international, car différentes caractéristiques, comme la dotation en facteurs et les différences de politiques environnementales, peuvent interagir et ainsi déterminer l'impact de l'ouverture. Il faut donc considérer ces caractéristiques propres à un pays qui influencent le type de production dans lequel le pays se spécialisera suite à l'ouverture. Afin de pouvoir considérer les caractéristiques d'un pays, il nous faut déterminer la moyenne de ces deux variables pour notre échantillon²⁴. À l'aide de ces moyennes, nous pouvons alors établir la situation d'un pays relativement à celles du groupe en calculant les ratios suivants :

$$RKL_{it} = \frac{KL_{it}}{KL} \quad (7)$$

$$RSÉVÉRITÉ_{it} = \frac{SÉVÉRITÉ_{it}}{SÉVÉRITÉ} \quad (8)$$

Par exemple, un pays i avec une valeur plus grande que l'unité pour la variable RKL sera considéré comme un pays intensif en capital relativement à l'échantillon. À partir de ces variables, il nous est maintenant possible de construire nos termes d'interaction avec nos indicateurs d'ouverture au commerce international. Ainsi, cette procédure nous permet de voir quel sera l'impact sur l'environnement d'une ouverture éventuelle pour un pays abondant en capital ou en travail. Nous anticipons que nos termes d'interaction qui impliquent le ratio relatif capital-travail refléteront qu'une

²⁴ Il est à noter que pour calculer nos deux termes d'interaction, nous avons utilisé comme moyenne pour nos deux variables KL et $SÉVÉRITÉ$ les valeurs associées à l'échantillon pour le CO₂. La raison de procéder ainsi est d'avoir un portrait qui reflète le plus possible la situation mondiale. Cette manière de procéder a également été utilisée par Antweiler et al..

plus grande ouverture d'un pays intensif en capital résultera en une augmentation de la pollution et que l'effet sera opposé pour un pays intensif en travail. En effet, si un pays est abondant en capital, on s'attend à ce que, suite à une ouverture au commerce, il augmentera ses exportations de biens intensifs en capital. Ainsi, s'il est vrai que les industries intensives en capital sont plus polluantes, le niveau de pollution devrait augmenter. Cette variable prise seule, toutes choses étant égales par ailleurs, peut refléter l'hypothèse selon laquelle le commerce est dicté seulement par les dotations en facteurs (*factor endowment hypothesis*).

Pour ce qui est du terme d'interaction entre l'indicateur d'ouverture au commerce et la variable relative de sévérité de la réglementation environnementale ($RSÉVÉRITÉ*O$), nous anticipons qu'une plus grande ouverture d'un pays plus réglementé engendrera une baisse de la pollution. À l'opposé, si un pays a des normes moins sévères que celles représentées par notre pays moyen²⁵, alors une ouverture au commerce devrait provoquer une hausse de la pollution au sein de ce pays. Cette variable prise seule, toutes choses étant égales par ailleurs, peut pour sa part refléter l'hypothèse selon laquelle le commerce de biens polluants est influencé surtout par les différences de réglementations environnementales (*pollution haven hypothesis*). Tout comme pour les variables KL et PIBCAP, nous avons inclus des termes quadratiques dans nos termes d'interaction. La raison de procéder ainsi est la même que celle mentionnée précédemment.

Une tendance linéaire (TENDANCE)

Nous avons également inclus à notre modèle une tendance linéaire qui a pour objectif de capter des éléments communs à l'ensemble des pays et qui varient dans le temps. Parmi ceux-ci, nous pouvons noter la prise de

²⁵ Ici, nous référons toujours à la moyenne calculée à partir de notre échantillon pour le CO₂.

conscience de la population face aux problèmes environnementaux et les progrès technologiques pour réduire la pollution. Comme ces deux éléments sont associés à une baisse de la pollution, le signe du coefficient associé à la tendance devrait être négatif. D'un autre côté, pour un polluant comme le CO₂ où les effets néfastes sont plutôt d'ordre mondial, via le réchauffement de la planète, plutôt que local, nous anticipons un signe positif. Le récent Protocole de Kyoto devrait permettre une réduction des émissions de ce polluant dans les années futures. En effet, sans une entente entre plusieurs nations, un pays n'a pas d'incitatif à réglementer sévèrement les émissions de ce gaz d'une manière unilatérale puisque les effets pervers ne diminueront pas nécessairement étant donné leur nature globale. On pourrait comparer ce problème à celui du dilemme du prisonnier présenté dans la théorie des jeux. En effet, un pays n'a pas d'incitatif à diminuer ses émissions s'il sait que les autres nations ne coopèrent pas. Ainsi, un pays qui diminuerait ses émissions aurait probablement une baisse de bien-être puisque les coûts économiques (perte de productivité, déplacement de ressources vers ce secteur, etc.) engendrés pour abaisser la pollution ne seraient pas compensés par les bénéfices économiques (par exemple, la hausse de la qualité de vie). Étant donné que les autres pays agiraient comme des resquilleurs en n'abaissant pas leurs émissions, les bénéfices d'une baisse de la pollution seraient minimes pour le pays qui fournit les efforts.

3.3 Notre échantillon

Dans les sections précédentes, nous avons indiqué que les données relatives aux différentes variables ne sont pas disponibles pour toutes les années et pour tous les pays. Il résulte donc que nos échantillons pour les différentes estimations ne sont pas tous semblables. Les variables qui causent les plus importants changements dans la taille de nos échantillons sont les émissions de polluants et les indicateurs de sévérité de la réglementation

environnementale. La taille de nos échantillons est indiquée au bas des tableaux où les résultats de nos estimations sont présentés.

4. RÉSULTATS EMPIRIQUES

4.1 Première stratégie empirique

Nous avons procédé à l'estimation de l'équation 1 en utilisant différentes méthodes économétriques et spécifications de notre modèle. Cependant, les résultats n'ont pas été vraiment significatifs et en ligne avec nos anticipations. Nous avons alors changé la spécification de notre modèle et procédé à de nouvelles estimations qui se sont avérées plus concluantes. Comme les problèmes économétriques et les méthodes utilisées pour les résoudre ont été présents dans nos deux approches empiriques, nous élaborerons sur ces points lors de la présentation de la seconde approche à la section 4.2. Bien que nous ne nous attardons pas trop sur la première approche, nous présentons toutefois les résultats de l'estimation de l'équation 1 pour les deux polluants à l'étude au tableau A4 en annexe. Nous désirons mentionner que nous avons utilisé deux échantillons afin d'estimer notre modèle. Dans un premier temps, notre échantillon était un panel balancé afin de nous permettre d'utiliser la méthode d'estimation de Kmenta²⁶. Toutefois, ceci nous a contraint à restreindre considérablement la taille de notre échantillon et du même coup la diversification des pays constituant notre échantillon. Dans un deuxième temps, nous avons utilisé le maximum de données possible afin de nous permettre d'effectuer nos estimations sur le plus grand éventail de pays. Les résultats présentés au tableau A4 se réfèrent à cet échantillon.²⁷

L'analyse des résultats nous permet de constater que peu de

²⁶ Pour plus de détails, voir le chapitre 12 de Kmenta (1986). La justification de l'utilisation de cette méthode dans nos travaux sera donnée ultérieurement. Par panel balancé, nous entendons un panel de données où les observations pour tous les pays de l'échantillon couvrent les mêmes années.

²⁷ Il est à noter que malgré que nous n'exposons pas tous les résultats, ceux qui ne sont pas présentés n'étaient pas plus significatifs.

coefficients sont significatifs et de signe attendu. En effet, seulement la variable de tendance linéaire a un coefficient significativement différent de zéro à un seuil de 95% et un signe attendu pour les deux polluants, soit négatif pour le NO_x et positif pour le CO₂. On observe également que l'indicateur de sévérité de la réglementation environnementale a un coefficient de signe négatif tel qu'attendu. Cependant, ce dernier n'est significatif que pour l'estimation du CO₂. Une explication à nos résultats peu concluants peut être le nombre restreint d'observations et le fait d'avoir un panel non équilibré qui peut être la source de certains problèmes économétriques, puisqu'il n'était pas possible de corriger simultanément l'autocorrélation d'ordre 1 et l'hétéroscédasticité.²⁸ De plus, bien qu'un test de Hausman ne nous permette pas de conclure en la présence de simultanéité entre notre variable dépendante et l'indicateur de sévérité de la réglementation environnementale, il pourrait y avoir ce type de problème ce qui biaiserait nos résultats.

4.2 Deuxième stratégie empirique

Pour pallier aux problèmes que nous venons de mentionner, nous avons décidé d'aborder une seconde approche en reproduisant exactement la méthodologie de Antweiler et al.. Pour ce faire, notre équation 1 a été modifiée pour maintenant prendre la forme suivante :

$$\begin{aligned}
 Z_{it} = & \beta_0 + \beta_1 * PIB_{it} + \beta_2 * PIBCAP_{it} + \beta_3 PIBCAP_{it}^2 + \beta_4 KL_{it} + \beta_5 KL_{it}^2 \\
 & + \beta_6 O_{it} + \beta_7 O_{it} RPIBCAP_{it} + \beta_8 O_{it} (RPIBCAP_{it})^2 + \beta_9 O_{it} RKL_{it} \\
 & + \beta_{10} O_{it} (RKL_{it})^2 + \beta_{11} TENDANCE_t + \beta_i \Psi_i + \varepsilon_{it}
 \end{aligned} \quad (9)$$

Le changement majeur associé à notre seconde approche est le retrait de la variable *SÉVÉRITÉ*. Du même coup, les termes d'interaction qui

²⁸ Il est à noter qu'avec les logiciels que nous avons utilisés, soit Shazam et Eviews, l'estimation de panels non équilibrés n'était pas un exercice possible.

comportaient la variable *SÉVÉRITÉ* comprennent maintenant la variable *PIBCAP*. La logique derrière l'utilisation de cette variable est que le PIB per capita est un indicateur du niveau de richesse d'un pays. Ainsi, plus une nation est riche, plus elle risque d'exiger une réglementation environnementale stricte puisque la qualité environnementale est un bien normal. Toutefois, tel qu'il a été mentionné précédemment, nous sommes conscients de la faiblesse associée à cette approche puisqu'elle ne permet pas de distinguer entre des pays ayant des niveaux de développement économique similaires et des goûts différents en ce qui a trait à la qualité environnementale. Le fait de procéder à cette modification nous permet d'avoir un échantillon considérablement plus large pour ce qui est du CO₂, le nombre d'observations passant de 98 à 990. En plus d'avoir plus d'années, nous avons également accès à des données pour un plus grand nombre de pays, soit 55 pour la période allant de 1975 à 1992.

Pour ce qui est de l'échantillon pour nos estimations avec le NO_x, nous sommes toujours limités à certains pays de l'OCDE, soit 15, étant donné la non disponibilité des données pour les autres pays. Pour ce polluant, nous avons un échantillon de 120 observations comparativement à 75 lors de notre première stratégie empirique. La liste complète des pays compris dans nos deux échantillons est présentée au tableau A5 en annexe. Il est à noter que, malgré le fait que nous utilisons la même méthodologie que Antweiler et al., notre étude se distingue tout de même par le choix des polluants. Ainsi, nous utilisons le NO_x et le CO₂, deux polluants qui n'ont jamais été utilisés pour estimer le modèle de Antweiler et al.. Des informations sommaires sur l'ensemble des variables comprises dans notre modèle sont présentées au tableau A6 en annexe. Il est intéressant de noter que tel que nous l'avons mentionné précédemment, le type de pays étudiés diffère selon le polluant en question. Ainsi, les données du tableau A6 en annexe illustrent bien ceci. En effet, le PIB per capita moyen pour les pays qui composent notre échantillon pour les estimations avec le CO₂ est de 6 136 \$EU, alors qu'il est de

12 285 \$EU pour le NO_x. De plus, en observant l'écart-type on voit bien que notre échantillon pour le NO_x est essentiellement composé de pays développés.

La première étape que nous avons réalisée lors de l'estimation de l'équation 9 a été d'exclure les variables qui font intervenir le coefficient d'ouverture et les termes d'interaction. La raison de procéder ainsi est de vérifier si cette spécification simple nous permet d'observer les effets d'échelle, technique et de composition. Nous avons tout d'abord estimé le modèle en utilisant la technique des moindres carrés ordinaires, soit la méthode la plus restrictive pour l'estimation de notre modèle. Par la suite, nous avons utilisé un modèle qui incorpore des effets fixes, ce qui permet de considérer les aspects qui sont spécifiques à chaque pays. Dans notre cas, on peut entre autres penser aux caractéristiques géographiques (climat, superficie, etc.) et à la structure industrielle qui diffèrent entre les pays, mais qui sont stables dans le temps. Ainsi, ces éléments peuvent en quelque sorte influencer les émissions de polluants. Nous avons démontré la supériorité de ce modèle face à la technique des MCO avec l'aide d'un test du maximum de vraisemblance.²⁹ Le modèle avec effets fixes ne nous permet cependant pas de considérer les problèmes d'hétéroscédasticité et d'autocorrélation qu'on retrouve souvent dans un modèle avec des données de type panel. Nous avons donc procédé à l'évaluation de la présence de ces deux types de problèmes et les résultats nous confirment à un seuil de 95% la présence d'hétéroscédastité et d'autocorrélation d'ordre 1.³⁰ Afin de corriger ces problèmes qui violent certaines des hypothèses des MCO, nous avons utilisé la méthode développée par Kmenta dont il a été question plus tôt. Comme nous l'avons mentionné, cette méthode permet de corriger l'hétéroscédasticité et l'autocorrélation

²⁹ Les résultats statistiques de ce test sont présentés au bas des tableaux 3 et 4.

³⁰ En effet, nous avons détecté la présence d'hétéroscédasticité à l'aide d'un test de Breusch-Pagan-Godfrey. Pour les estimations avec les deux polluants, le résultat du test nous donne une valeur supérieure au seuil critique de 18,31, ce qui nous confirme la présence d'hétéroscédasticité. Pour détecter la présence d'autocorrélation, nous avons procédé à un test de Durbin-Watson. La valeur de cette statistique se situe entre 0,15 et 0,5 pour nos deux polluants, ce qui indique la présence d'autocorrélation d'ordre 1.

d'ordre 1 dans les estimations avec données de panel. Nous avons donc procédé à l'estimation du modèle avec la méthode de Kmenta en ajoutant la présence d'effets fixes.

Comme notre panel ne comprend pas l'ensemble des pays de la planète, nous avons également estimé notre modèle avec des effets aléatoires. Ainsi, avec ce type de modèle, nous considérons que les termes constants spécifiques à chaque pays sont aléatoirement distribués entre les unités de notre échantillon. Bien que le modèle à effets aléatoires soit moins coûteux en terme de perte de degrés de liberté, il traite les effets individuels propres aux pays comme non corrélés avec les autres régresseurs. Cependant, il n'y a aucune justification théorique pour procéder ainsi.³¹

La seconde étape de nos estimations est d'ajouter les termes d'interaction et le coefficient d'ouverture au commerce international. Ainsi, nous nous trouvons à estimer l'équation 9, qui est le modèle au complet. L'ensemble des résultats pour les deux polluants est présenté aux tableaux 3 et 4 dans les pages qui suivent.³²

³¹ Pour plus de détails sur les modèles à effets fixes et aléatoires, voir les sections 16.4.3 et 16.4.4 de Greene (1993).

³² Il est à noter que nous avons débuté nos estimations avec le logiciel Shazam. Toutefois, nous avons utilisé le logiciel Eviews pour réaliser les estimations des modèles à effets aléatoires, puisque ce logiciel permet de procéder à ce type d'estimation beaucoup plus facilement.

Tableau 3
Résultats des régressions concernant le CO₂

Variables	1 ^{ère} étape		2 ^{ème} étape			
	Kmenta avec effets fixes	Effets aléatoires	Kmenta avec effets fixes		Effets aléatoires	
PIB	0,0000001 (12,12)***	0,00000009 (21,56)***	0,0000001 (12,92)***	0,0000001 (12,19)***	0,0000001 (22,00)***	0,0000002 (57,27)***
PIB PER CAPITA	1,711 (6,00)***	6,143 (4,20)***	1,859 (5,82)***	2,068 (6,59)***	9,931 (5,33)***	-3,502 (7,04)***
PIB PER CAPITA²	-0,0001 (6,52)***	-0,0003 (4,29)***	-0,0001 (6,45)***	-0,0001 (7,06)***	-0,0005 (5,50)***	0,0002 (6,39)***
KL	-0,120 (1,51)	-1,116 (2,80)***	0,001 (0,01)	-0,167 (1,96)**	-1,30 (2,77)***	0,117 (0,97)
KL²	-0,0000004 (0,41)	0,000008 (1,58)	0,0000008 (0,99)	0,0000008 (0,82)	0,00001 (2,10)**	-0,000009 (4,19)***
O1			11,156 (1,96)**		164,285 (2,21)**	
O2				14,505 (1,24)		122,668 (8,06)***
RPIBCAP *O			-0,007 (2,83)***	-0,016 (1,79)*	-458,195 (3,29)***	-334,0 (6,54)***
RPIBCAP² *O			22,813 (3,06)***	53,207 (2,04)**	169,826 (3,28)***	195,295 (6,78)***
RKL *O			31,048 (2,11)**	63,941 (1,75)*	0,718 (0,42)	60,982 (1,60)
RKL² *O			-15,393 (3,40)***	-30,160 (2,67)***	13,605 (0,97)	-46,532 (1,68)*
TENDANCE	128,55 (7,98)***	346,587 (4,09)***	144,31 (7,75)***	139,39 (7,93)***	318,80 (3,42)***	-271,08 (5,33)***
CONSTANTE	-1 856,2 (1,01)	23 630 (2,51)**	-6 863 (3,11)***	-2 585,1 (1,46)	12 721,8 (1,34)	11 330 (10,54)***
R²	0,946	0,996	0,950	0,949	0,996	0,833
RAPPORT DE VRAISEMBLANCE¹	-8 248,2	N/D	-8 274,5	-7 891,9	N/D	N/D
NOMBRE D'OBS.	990	990	990	936	990	936

Notes : Les valeurs entre parenthèses représentent les statistiques t de Student.

*** Significatif à 1%, ** significatif à 5%, * significatif à 10%.

Afin de ne pas surcharger ce tableau, les résultats pour les variables dichotomiques ne sont pas présentés. En général, ces variables sont très significatives.

- (1) Ces valeurs ont été comparées à celles respectives pour les MCO dont les valeurs sont de -12 205,2 pour la première étape, de -12 183,9 et -11 554,1 pour la seconde étape, le premier chiffre étant associé au modèle avec O1 et le second avec celui avec O2. Pour effectuer le test du maximum de vraisemblance, les valeurs sont comparées à une χ_{55}^2 pour le modèle avec le premier indicateur d'ouverture et à une χ_{52}^2 pour celui avec le second indicateur.

Tableau 4
Résultats des régressions concernant le NO_x

Variables	1 ^{ère} étape		2 ^{ème} étape			
	Kmenta avec effets fixes	Effets aléatoires	Kmenta avec effets fixes		Effets aléatoires	
PIB	0,8 E-08 (3,92)***	0,3 E-08 (11,62)***	0,1 E-08 (4,64)***	0,1 E-08 (4,95)***	0,3 E-08 (15,50)***	0,3 E-08 (11,01)***
PIB PER CAPITA	0,140 (5,28)***	0,375 (3,78)***	0,162 (5,16)***	0,150 (5,62)***	1,393 (7,16)***	0,484 (4,08)***
PIB PER CAPITA²	-0,000005 (5,00)***	-0,00001 (3,69)***	-0,000005 (4,43)***	-0,000005 (5,11)***	-0,0005 (7,13)***	-0,00002 (3,59)***
KL	-0,009 (1,82)*	-0,037 (1,22)	-0,018 (2,09)**	-0,007 (1,36)	-0,076 (1,433)	-0,040 (1,20)
KL²	0,00000008 (2,34)**	0,0000004 (1,65)	0,0000001 (2,55)**	0,00000007 (2,30)**	0,0000009 (2,72)***	0,0000005 (1,78)*
O1			-1,360 (0,58)		94,536 (4,63)***	
O2				6,393 (1,42)		115,64 (1,31)
RPIBCAP *O			-0,0001 (0,98)	-0,001 (2,64)***	-127,089 (5,53)***	-145,047 (0,86)
RPIBCAP² *O			-0,291 (0,74)	3,646 (2,17)**	29,082 (4,10)***	41,183 (0,85)
RKL *O			2,786 (1,42)	-4,587 (1,09)	28,482 (2,13)**	-11,468 (0,17)
RKL² *O			-0,428 (1,19)	0,497 (0,71)	-6,038 (2,12)**	3,086 (0,22)
TENDANCE	-4,680 (2,80)***	-28,05 (1,49)	-5,203 (1,12)	-7,041 (2,46)**	-83,984 (2,78)***	-39,541 (1,98)**
CONSTANTE	1 339,8 (6,63)***	-857,64 (1,18)	1 081,6 (4,29)***	992,67 (4,27)***	-6 814,73 (4,50)***	-1 439,07 (1,57)
R²	0,997	0,998	0,998	0,998	0,999	0,999
RAPPORT DE VRAISEMBLANCE	-542,5	N/D	-552,1	-551,8	N/D	N/D
NOMBRE D'OBS.	120	120	120	120	120	120

Notes : Les valeurs entre parenthèses représentent les statistiques t de Student.

*** Significatif à 1%, ** significatif à 5%, * significatif à 10%.

Afin de ne pas surcharger ce tableau, les résultats pour les variables dichotomiques ne sont pas présentés. En général, ces variables sont très significatives.

- (1) Ces valeurs ont été comparées à celles respectives pour les MCO dont les valeurs sont de -954,8 pour la première étape, de -947,3 et -950,5 pour la seconde étape, le premier chiffre étant associé au modèle avec O1 et le second avec celui avec O2. Pour effectuer le test du maximum de vraisemblance, toutes ces valeurs sont comparées à une χ^2_{15} dont le seuil critique à 95% est de 25,0.

4.3 Analyse des résultats

Avant d'analyser les résultats pour chaque polluant, il est bon de mentionner que le pouvoir explicatif de notre modèle est très élevé comme l'illustrent les valeurs des R carrés pour l'ensemble de nos régressions. En effet, pour la quasi totalité des modèles estimés par un modèle à la Kmenta avec présence d'effets fixes ou par un modèle à effets aléatoires, la valeur de nos R carrés est supérieure à 0,95.

Premièrement, on remarque que pour l'ensemble des régressions, notre variable reflétant l'effet d'échelle, le PIB, a un signe positif tel qu'anticipé. Cette variable est par ailleurs très significative, ce qui nous confirme sans aucun doute qu'une hausse de la production engendre une hausse des émissions, toutes choses étant égales par ailleurs.

Le même constat s'applique aux résultats relatifs à la variable PIB per capita et à son terme quadratique. Les signes positif et négatif qui sont respectivement associés à ces deux variables nous permettent donc d'observer une « relation à la Kuznets » contrairement à ce que Antweiler et al. ont obtenus.

Nos résultats divergent également de ceux de Antweiler et al. en ce qui a trait à la variable du ratio du capital-travail et à son terme quadratique. Rappelons ici que Antweiler et al. avançaient que le signe du coefficient de ce ratio devrait être positif pour le terme linéaire et négatif pour celui quadratique. Leur justification étant que les industries intensives en capital sont généralement polluantes et qu'ainsi, l'accumulation de capital est associée à une hausse de la pollution. La première constatation, à propos de nos résultats, est que ces deux variables ne sont pas toujours significatives. En effet, pour nos deux polluants, il est peu fréquent de pouvoir observer que les deux variables sont simultanément significatives dans une même estimation.

De plus, pour les estimations avec le NO_x , lorsque les résultats obtenus sont significatifs, ils ne sont pas en ligne avec ceux de Antweiler et al. Ainsi, alors que ces auteurs obtenaient un signe positif pour le terme linéaire et négatif pour celui quadratique, nous obtenons le contraire. Une raison pouvant expliquer ceci est que les pays de l'échantillon pour le NO_x sont des pays abondants en capital. Ainsi, les industries qui émettent ce polluant dans ces pays en sont rendues à un stade de modernisation plutôt qu'à un stade de développement. La modernisation impliquerait donc l'implantation de nouvelles technologies, qui sont moins polluantes que les précédentes. À l'opposé, le développement des industries intensives en capital, peu importe le type de technologie implantée, aurait comme impact d'augmenter la pollution puisque ces industries sont peu présentes ou inexistantes dans un pays avec un ratio capital-travail peu élevé. Une autre raison pour expliquer que nos résultats pour les coefficients du ratio capital-travail divergent de ceux de Antweiler et al. est qu'il existe une corrélation assez élevée³³ entre les variables *PBCAP* et *KL*. Les tableaux A8 et A9 en annexe illustrent les matrices de corrélation entre les variables comprises dans nos deux échantillons.

Nous avons mentionné que pris seul, notre indicateur d'ouverture au commerce international pouvait ne pas être significatif puisque nous devons considérer l'avantage comparatif d'un pays lorsque ce dernier s'ouvre davantage au commerce international pour évaluer l'impact. Lorsque nous observons nos résultats, nous voyons que tel est le cas, du moins pour notre second indicateur d'ouverture, soit celui de Gwartney et Lawson, qui est rarement significatif. Notre autre indicateur, soit celui de la somme des exportations et des importations sur le PIB a un coefficient positif lorsque significatif. Ce résultat implique que, toutes choses étant égales par ailleurs,

³³ Les coefficients de corrélation entre ces variables sont de 0,90 pour le CO_2 et de 0,69 pour le NO_x .

plus un pays s'ouvre au commerce international, plus les émissions de polluants augmentent.

Il est alors intéressant de voir si les facteurs qui reflètent la spécialisation d'un pays sont importants à considérer lorsqu'un pays s'ouvre. Par exemple, est-ce qu'un pays qui a une abondance relative en capital et qui se spécialise dans les secteurs intensifs en capital suite à une ouverture au commerce international verra une hausse de ses émissions du polluant en question?

Pour répondre à ce type d'interrogation, nous allons maintenant analyser les résultats fournis par nos termes d'interaction dans nos estimations. Comme les résultats diffèrent selon le polluant, nous analyserons les résultats pour un polluant à la fois.

Tout d'abord, pour le NO_x , les résultats non significatifs pour les termes d'interaction qui font intervenir le ratio capital-travail ($RKL*O$) nous indiquent que l'hypothèse selon laquelle la dotation en facteurs dicte l'influence qu'aura le commerce international ne semble pas tenir pour ce polluant. Il semble plutôt que la richesse relative d'un pays ait un impact lors de l'ouverture au commerce, hypothèse reflétée par les termes d'interaction qui incorporent le PIB per capita relatif d'un pays ($RPIBCAP*O$). Toutefois, il n'apparaît pas que l'hypothèse de l'existence de paradis pour pollueurs tienne. Au contraire, on observe une diminution des émissions suite à l'ouverture. Pour expliquer un tel résultat, nous pouvons avancer qu'un pays « pauvre » va subir les pressions de son partenaire commercial lorsqu'il transige avec lui. Ainsi, il ne va pas assouplir ses normes pour attirer les industries polluantes, mais bien les durcir pour répondre aux pressions de son partenaire commercial. Ce résultat a aussi été trouvé par Eliste et Fredriksson qui ont étudié l'impact de la réglementation agricole sur le commerce de ce type de produit. Ainsi, selon ces auteurs, un pays moins réglementé doit

hausser ses normes s'il veut exporter dans un pays où les standards sont plus stricts.

Les résultats relatifs aux émissions de CO₂ valident aussi la théorie que nous venons de présenter, soit que l'ouverture d'un pays « pauvre » va résulter en une baisse de sa pollution. Au niveau de la théorie selon laquelle la dotation en facteurs influence les échanges commerciaux, nous voyons que cette dernière n'est que partiellement vérifiée puisque les variables qui font intervenir le ratio capital-travail ne sont pas nécessairement toujours significatives.

Pour ce qui est des résultats associés à la variable de tendance linéaire, ils sont généralement très significatifs et en ligne avec nos intuitions. Il est intéressant de noter que les coefficients pour les estimations avec le NO_x sont négatifs, ce qui pourrait être expliqué par la sensibilisation planétaire aux dommages causés par la pollution, de même que par le progrès technologique qui permet de baisser les coûts de réduction de la pollution. Au contraire, le signe du coefficient de la variable de tendance linéaire est positif pour le CO₂.

La différence entre ces deux résultats peut s'expliquer par le fait que le CO₂ est un polluant dont les effets néfastes sont d'ordre mondial. Ainsi, sans l'intervention d'une autorité supranationale ou d'un accord multilatéral, aucun pays n'a un incitatif à diminuer ses émissions. Pour faire face à ce problème global, le Protocole de Kyoto, dont il a déjà été question, a été signé en 1997.³⁴ De plus, le CO₂ est très associé à la croissance du PIB et à la croissance de la population, ce qui n'est pas nécessairement le cas pour le NO_x.

³⁴ Il est intéressant de noter qu'un exemple de succès face à un problème environnemental d'ordre global a été le Protocole de Montréal signé en 1988. Ainsi, cette entente, qui a été ratifiée par plus de 150 pays, engage les signataires à diminuer fortement l'emploi de produits, comme les chlorofluorocarbones (CFC), qui détruisent la couche d'ozone. Pour éviter le problème du dilemme du prisonnier, des sanctions commerciales sont incluses au Protocole pour les pays qui ne respectent pas leur engagement. Les résultats ont été une baisse de 76% de la production mondiale de CFC entre 1988 et 1995.

Il est à noter que certains résultats de nos estimations ne sont pas en ligne avec ceux des autres estimations. Ainsi, pour le CO₂, le modèle à effets aléatoires, qui inclut le second indicateur d'ouverture au commerce international, donne des résultats qui ne suivent pas notre intuition pour les variables *PIBCAP* et *TENDANCE*. Lorsqu'on analyse l'ensemble de nos résultats, on voit que les estimations avec le second indicateur d'ouverture au commerce sont généralement moins significatives. Ce constat, associé à ceux du modèle à effets aléatoires dont il vient d'être question, nous amènent à conclure que les résultats du modèle qui inclut le premier coefficient d'ouverture sont plus robustes. Pour cette raison, nous poursuivrons notre analyse sur les modèles ayant cette spécification.

4.4 Étape finale relativement à nos estimations

Notre troisième et dernière étape consiste à regarder si les élasticités estimées pour les effets d'échelle, technique et de composition, de même que pour l'ouverture au commerce mènent à des conclusions plausibles selon les différents scénarios qui seront présentés dans les prochaines lignes. Les élasticités associées à nos estimations présentées aux tableaux 3 et 4 se retrouvent au tableau 5.³⁵ Toutes les élasticités sont évaluées à la moyenne de notre échantillon et s'interprètent comme celles s'appliquant à un "pays moyen" de notre échantillon. Il est à noter que toutes les élasticités estimées présentent des valeurs plausibles. Cependant, on constate que pour les effets technique et de composition, des écarts assez importants sont enregistrés entre les résultats pour le modèle à effets fixes et celui à effets aléatoires. Rien nous laisse voir pourquoi ces résultats diffèrent selon le modèle utilisé.

³⁵ Les élasticités ont été calculées en utilisant la moyenne échantillonnale selon la formule

$$\eta = \frac{\partial Y}{\partial X} \times \frac{\bar{X}}{\bar{Y}}, \text{ où } Y \text{ est la variable dépendante et } X \text{ la variable indépendante.}$$

Comme il nous est impossible de statuer quel sera l'impact de l'ouverture au commerce international sur la croissance économique, nous posons comme hypothèse que la croissance sera de l'ordre de 1%.³⁶ Un premier scénario étudié est d'envisager que cette croissance n'est nullement associée à un progrès technologique.³⁷ Nous posons également comme hypothèse que la croissance de 1% affecte dans la même proportion le PIB et le PIB per capita. En partant de ces deux hypothèses, soit une croissance du PIB et du PIB per capita de 1%, l'impact final sur les émissions de polluant provient de l'addition des effets d'échelle et technique. Ainsi, pour le CO₂, l'impact de l'augmentation de 1% du PIB et du PIB per capita est une hausse d'environ 0,55% ou de 0,71% des émissions selon la méthode économétrique utilisée, ici nous avons respectivement les résultats pour les modèles à effets fixes et à effets aléatoires.³⁸ Toujours en utilisant les mêmes approches économétriques, les résultats pour le NO_x sont des hausses respectives d'environ 0,54% et 0,11%.

Tableau 5

Élasticités pour les effets d'échelle, technique et de composition

	Effets fixes		Effets aléatoires	
	CO ₂	NO _x	CO ₂	NO _x
Effet d'échelle	0,442	0,307	0,401	0,881
Effet technique	0,112	0,228	0,312	-0,775
Effet de composition	0,009	-0,090	-0,271	-0,338

³⁶ Cette hypothèse a été formulée de façon arbitraire afin d'évaluer l'impact de la croissance économique sur les émissions de polluants selon un ordre de grandeur donné.

³⁷ Pour fin de comparaison et de façon tout à fait arbitraire, les deux scénarios retenus sont les mêmes que ceux de Antweiler et al.

³⁸ Par exemple, le résultat pour l'impact sur les émissions de CO₂, soit une hausse de 0,55% dans le modèle à effets fixes, est trouvé en additionnant l'effet d'échelle (0,44) et l'effet technique (0,11).

Dans un autre ordre d'idée, nous avons évalué quel serait l'impact sur l'environnement d'une croissance économique, qui serait entièrement provoquée par l'accumulation de capital. Afin de pouvoir réaliser nos calculs, nous posons l'hypothèse que la part du capital dans la production domestique est de 1/3. Ainsi, l'accumulation de capital qui engendre une augmentation de 1% du ratio capital-travail crée une hausse de 1/3 de point de pourcentage du PIB et du PIB per capita.³⁹ Prenons l'exemple du CO₂ où l'impact indirect sur l'effet d'échelle et technique serait respectivement une augmentation des émissions de 0,15 et 0,04%.⁴⁰ Lorsqu'on ajoute l'impact de l'effet de composition, la hausse des émissions ne serait alors que de l'ordre de 0,2% suite à une ouverture au commerce international qui impliquerait une hausse de 1% du ratio capital-travail.⁴¹ En suivant la même logique, les résultats pour le modèle à effets aléatoires serait que la croissance du PIB et du PIB per capita augmenterait respectivement la pollution de 0,13 et 0,10% mais que la somme de ces deux hausses serait compensée par l'effet de composition. Le résultat final, selon notre scénario, est donc une faible diminution des émissions de CO₂ de l'ordre de 0,04%.

Lorsqu'on estime le même scénario de l'accumulation de capital⁴², mais cette fois pour le NO_x, le résultat final pour les estimations avec le modèle à effets fixes est une légère hausse des émissions de 0,09% une fois les trois effets considérés. Au niveau du modèle à effets aléatoires, le résultat est une baisse de l'ordre de 0,3%. Bien que ces résultats soient différents, rien nous laisse présumer pourquoi nous obtenons de tels conclusions.

³⁹ Cette argumentation a été élaborée par Solow et s'applique à la plupart des pays. Pour plus de détails, voir Parkin et Bade (1997), chapitre 33.

⁴⁰ Ce résultat est associé au modèle à effets fixes. Pour parvenir à ces chiffres, nous avons multiplié par 1/3 l'élasticité du PIB et du PIB per capita puisque la hausse du ratio capital-travail engendre une augmentation de 1/3 point de pourcentage pour les effets d'échelle et technique.

⁴¹ Le résultat de 0,2% provient de la somme des impacts indirects sur l'effet d'échelle et technique, soit des hausses des émissions de 0,15 et 0,04%, et de l'impact de l'effet de composition, soit une augmentation des émissions de 0,009%.

On voit que pour l'ensemble des scénarios et des méthodes économétriques considérées, l'impact final de l'ouverture du commerce international lorsqu'on considère les trois effets a rarement un impact favorable sur l'environnement. En effet, au mieux, le niveau d'émissions diminue de 0,3% lorsque l'ouverture du commerce est associée à une forte accumulation de capital. Il est bon de mentionner que ce résultat est obtenu pour le NO_x , polluant pour lequel notre échantillon est composé de pays développés. Comme nous l'avons déjà indiqué, pour ces pays, l'accumulation de capital peut signifier la modernisation de leurs industries et non le développement d'une nouvelle industrie manufacturière.

4.5 Autres

Il a été mentionné précédemment que des protocoles visant à diminuer les émissions des divers polluants utilisés dans cette étude avaient été signés. Nous avons donc procédé à l'ajout de variables dichotomiques reflétant si un pays a adhéré au protocole en question⁴³. Afin de permettre aux pays signataires de mettre en œuvre leurs intentions, notre variable dichotomique débute l'année suivant la signature de l'entente. Comme la participation à un tel protocole international devrait se traduire par des baisses dans le niveau d'émissions du polluant en question, le signe associé à ce coefficient devrait être négatif. Comme les observations de notre échantillon couvrent la période allant de 1975 à 1992, il nous est impossible d'inclure une variable dichotomique pour le Protocole de Kyoto (1997), qui est associée aux émissions de CO_2 . Pour cette raison, nous n'avons procédé qu'à l'estimation des modèles pour le NO_x (Protocole de Sofia). L'ajout de cette variable n'améliore pas nécessairement la performance du modèle en général. Au contraire, les valeurs des t de Student sont généralement plus faible. Les résultats associés à cette estimation sont présentés au tableau A7 en annexe.

⁴² La logique de Solow s'applique encore ici.

⁴³ Les valeurs un et zéro sont associés respectivement aux pays signataires et non signataires.

5. CONCLUSION

En conclusion, nous désirons indiquer que nos résultats ne sont pas un constat qu'il faut appliquer à l'ensemble de la planète et généraliser à tous les polluants. Nous avons vu que, malgré l'utilisation de la même méthodologie que Antweiler et al., nos résultats diffèrent des leurs. En effet, nous trouvons essentiellement que l'ouverture au commerce international engendre une hausse des émissions pour les polluants étudiés tandis que ces auteurs arrivaient à la conclusion opposée. Une raison qui peut expliquer la divergence dans nos résultats est que les polluants utilisés sont différents. Ainsi, il ne faut pas généraliser le résultat d'une étude qui utilise un ou deux polluants à l'ensemble des polluants.

Il est vrai qu'en général, ce sont les pays industrialisés qui transigent entre eux. Par contre, il est fréquent d'observer des échanges commerciaux entre pays à divers stades de développement et ayant des dotations en facteurs différentes. Sur ce point, nos résultats ne laissent pas présager l'existence de paradis pour pollueurs, soit essentiellement des pays en voie de développement, dans l'économie en général. Toutefois, il n'est pas exclu qu'une nation adopte ce comportement. Il ne faut donc pas généraliser à tous les pays les résultats obtenus.

Bien que nos résultats ne permettent pas une généralisation des implications de la libéralisation des échanges commerciaux sur l'environnement, ils fournissent un élément de plus aux décideurs et tenants de la mondialisation quant à la crainte de voir les pays en voie de développement se spécialiser dans la production de biens polluants.

Malgré que nos résultats rejettent l'hypothèse de l'existence de paradis pour pollueurs, nous ne concluons pas pour autant qu'une plus grande ouverture au commerce international pour un pays est bénéfique pour son

environnement. En effet, nos résultats, qui diffèrent selon le polluant et le scénario étudiés, indiquent généralement une dégradation de la qualité environnementale suite à l'ouverture d'un pays au commerce international. Ainsi, les résultats pour le modèle à effets fixes indiquent qu'une plus grande ouverture au commerce international qui serait associée à une hausse de 1% du PIB et du PIB per capita engendrerait une augmentation des émissions de CO₂ et de NO_x de respectivement 0,55 et 0,54%. Par contre, si l'ouverture au commerce se traduit principalement par l'accumulation de capital, nous concluons qu'une hausse du ratio capital-travail de 1% mènera à une hausse plus faible des émissions de CO₂ et de NO_x, soit de 0,2 et 0,09% respectivement.

Notre travail a aussi permis de soulever, une fois de plus, l'absence, dans la littérature, d'un indicateur de sévérité de la réglementation environnementale qui soit utilisable dans des recherches empiriques au niveau de plusieurs pays. Malgré les quelques indicateurs que nous avons recensés, nous constatons qu'ils ne sont pas vraiment applicables à ce type de travaux. Il serait donc souhaitable qu'une plus grande disponibilité de ce type de données soit possible, de même que pour les émissions de divers polluants pour des pays en voie de développement.

ANNEXES

Tableau A1

Synthèse des études empiriques sur la relation entre la croissance économique et l'environnement

Auteurs	Indicateur(s) environnementaux	Relation entre le PIB/capita et les indicateurs environnementaux
Grossman et Krueger (1993)	SO ₂ Particules Fumée	Fonction croissante jusqu'à 5 000\$, décroissante entre 5 000 et 14 000\$ puis légèrement croissante par la suite Fonction décroissante Fonction décroissante à partir de 5 000\$
Grossman et Krueger (1995)	SO ₂ Fumée Particules DBO DCO Nitrates Matières fécales Plomb Cadmium Arsenic Mercure Nickel	Fonction quadratique avec un sommet à 4 053\$ Fonction quadratique avec un sommet à 6 151\$ Fonction décroissante Fonction quadratique avec un sommet à 7 623\$ Fonction quadratique avec un sommet à 7 853\$ Fonction quadratique avec un sommet à 10 524\$ Fonction quadratique avec un sommet à 7 955\$ Fonction quadratique avec un sommet à 1 887\$ Fonction quadratique avec un sommet à 11 632\$ Fonction quadratique avec un sommet à 4 900\$ Fonction quadratique avec un sommet à 5 047\$ Fonction quadratique avec un sommet à 4 113\$
Hettige et al. (1992)	Intensité toxique de la production industrielle	Fonction quadratique lorsque estimée par l'intensité par unité de PIB (sommet non-disponible) Fonction croissante lorsqu'estimée par l'intensité par unité de production industrielle
Hettige et al. (1997)	Demande biochimique en oxygène	Augmentation jusqu'à 7 000\$, puis stabilité (tranches de revenus plutôt qu'une estimation par une fonction)
Holtz-Eakin et Selden (1995)	CO ₂	Fonction quadratique avec un sommet à 35 428\$
Selden et Song (1994)	Particules SO ₂ NO _x CO	Fonct. quad. avec un sommet entre 9 511 et 10 289\$ ⁽¹⁾ Fonct. quad. avec un sommet entre 8 709 et 10 292\$ Fonct. quad. avec un sommet entre 11 217 et 21 773\$ Fonct. quad. avec un sommet entre 5 963 et 19 092\$
Shafik (1994)	Accès à l'eau potable Hygiène urbaine Déforestation Oxygène dissoute Matières fécales dans les rivières Particules SO ₂ Déchets municipaux per capita Émissions de carbone per capita	Fonction décroissante Fonction décroissante Relation non-significative Relation non-significative Fonction croissante jusqu'à 1 375\$, puis décroissante jusqu'à 11 400\$ et croissante par la suite Fonction quadratique avec un sommet à 3 280\$ Fonction quadratique avec un sommet à 3 670\$ Fonction croissante Fonction croissante. Les auteurs indiquent qu'un sommet est atteint mais qu'il est à l'extérieur de leur échantillon.

¹ Pour cette étude, les résultats varient selon la spécification du modèle.

Tableau A2

Synthèse des études théoriques sur la relation entre l'ouverture du commerce et l'environnement

Auteurs	Impact du commerce sur l'environnement	Particularités et hypothèses du modèle
Copeland et Taylor (1994)	-	<p>Considère les trois mécanismes. Se limite à une pollution locale. Le seul déterminant du commerce considéré est les différences de revenu entre pays. Le commerce n'égalise pas le prix des facteurs. Les politiques environnementales répondent d'une manière endogène aux changements de revenu créés par le commerce.</p>
Copeland et Taylor (1995)	+ ou -	<p>La pollution est transfrontalière. Le travail est le seul facteur de production qui détermine le commerce. Le prix des facteurs est égalisé par le commerce. Les politiques environnementales répondent d'une manière endogène aux changements de revenu créés par le commerce.</p>
Richelle (1996)	+ ou -	<p>La pollution est transfrontalière. Le travail et le capital sont les deux facteurs de production qui déterminent le commerce. Les politiques environnementales répondent d'une manière endogène aux changements de revenu créés par le commerce.</p>
Antweiler et al. (1998)	+ ou -	<p>Considère les trois mécanismes. La pollution est transfrontalière. Le travail et le capital sont les deux facteurs de production qui déterminent le commerce. Les politiques environnementales répondent d'une manière endogène aux changements de revenu créés par le commerce.</p>

Tableau A3

Synthèse des études empiriques sur la relation entre l'ouverture des marchés et l'environnement

Auteurs	Polluants	Pays ou régions	Particularités	Résultats
Antweiler (1997)	CO ₂ , SO ₂ , NO ₂	127 paires de pays	Utilisation d'un modèle gravitationnel en incluant un indice d'avantage environnemental.	Rejet de l'hypothèse selon laquelle un « pays pollué » a un avantage pour le commerce international.
Antweiler et al. (1998)	SO ₂	44 pays	Considère la dotation en facteurs. Utilise différents indicateurs d'ouverture au commerce international. PIB per capita reflète la sévérité.	Une hausse de 1% du PIB ou PIB per capita qui résulte de la libéralisation des échanges engendre une réduction d'environ 1% des concentrations en pollution.
Cole et al. (1998)	NO ₂ , SO _x , CO, particules, CO ₂	Japon, États-Unis, UE, Chine, Est asiatique, Sud asiatique, Afrique, Amérique latine, Europe de l'Est	Estimation de l'impact de l' <i>Uruguay Round</i> sur l'environnement.	Augmentation des émissions de NO ₂ pour toutes les régions étudiées. Pour les autres polluants, en général, il y a diminution dans les pays développés et augmentation dans les PVD.
Dean (1998)	Demande chimique en oxygène (DCO)	Provinces chinoises	Modèle à équations simultanées.	Impact négatif de la libéralisation des échanges sur l'environnement
Gale et Mendez (1996)	SO ₂	25 pays	Se limite à 1979. Considère la dotation en facteurs.	Ouverture au commerce non-significative. Émissions de polluants augmentent avec l'abondance en capital.
Grossman et Krueger (1993)	SO ₂ , particules, fumée	19 à 40 pays selon le polluant	Premier à considérer les trois mécanismes. Dans le cadre de l'ALÉNA.	Peu d'impact significatif entre l'ouverture au commerce et l'environnement
Hettige et al. (1992)	Intensité toxique	80 pays	Utilisation de l'intensité toxique de 37 secteurs industriels.	Migration des industries polluantes vers les PVD.
Low et Yeats (1992)	Aucun polluant utilisé	109 pays	Évaluation des avantages comparatifs des 43 secteurs industriels les plus polluants.	Migration des industries polluantes vers les PVD.
Tobey (1990)	Aucun polluant utilisé	23 pays	Utilisation d'un indicateur de sévérité environnementale. Étude des cinq secteurs industriels ayant les coûts relatifs de réduction de la pollution les plus élevés.	La sévérité environnementale n'a pas d'impact significatif sur le commerce.

Tableau A4
 Résultats des estimations de notre première stratégie empirique

Variables	Polluants	
	CO ₂	NO _x
PIB	0,0000000002 (2,31)**	-0,000000001 (1,16)
PIB PER CAPITA	0,005 (0,67)	-15,476 (11,42)***
PIB PER CAPITA ²	-0,000000009 (0,37)	0,0006 (12,07)***
KL	-0,155 (1,13)	0,193 (0,99)
KL ²	0,00000002 (1,29)	0,000002 (1,22)
O1	-0,659 (1,89)*	-342,17 (8,51)***
SÉVÉRITÉ	-0,532 (3,17)***	-17,593 (1,14)
RSEVÉRITÉ*O	0,632 (1,93)*	-1,946 (0,08)
RSEVÉRITÉ ² *O	-0,111 (1,11)	14,842 (1,63)
RKL*O	0,400 (1,02)	574,69 (9,85)***
RKL ² *O	-0,076 (0,48)	-213,29 (8,89)***
TENDANCE	1,463 (2,58)**	-399,59 (4,92)***
CONSTANTE	3771,1 (7,48)***	0,0000001 (9,20)***
R ²	0,999	0,838
NOMBRE D'OBSERVATIONS	98	75

Les valeurs entre parenthèses représentent les statistiques t de Student.

*** Significatif à 1%, ** significatif à 5%, * significatif à 10%.

Notes : Tous les résultats présentés dans ce tableau proviennent d'estimations corrigeant la présence d'hétéroscédasticité et incluent des effets fixes pour les pays.

L'indicateur d'ouverture au commerce international utilisé dans ces estimations est $(X+M)/PIB$. Pour sa part, l'indicateur de sévérité de la réglementation environnementale est celui associé à la variable des dépenses en R-D par habitant.

Comme nous suspectons la présence d'endogénéité entre notre variable dépendante et l'indicateur de sévérité de la réglementation environnementale, nous avons procédé à un test de Hausman (pour plus de détails voir Berndt (1991) section 8.2.B). Toutefois, ce test ne nous permet pas de conclure en la présence de simultanéité entre ces deux variables.

Les données pour le ratio capital-travail ne sont disponibles que jusqu'en 1992. Afin de conserver le plus d'observations, nous avons procédé à une extrapolation pour 1993 et 1994. Pour établir les valeurs, nous avons calculé la pente entre les années 1980 et 1992 et avons par la suite calculé les valeurs pour 1993 et 1994.

Tableau A5
Liste des pays pour les divers polluants¹

Pays	Polluants		Pays	Polluants	
	CO ₂	NO _x		CO ₂	NO _x
Argentine	X		Kenya	X	
Australie	X		Luxembourg	X	
Autriche	X	X	Madagascar	X	
Belgique	X	X	Malawi	X	
Bolivie	X		Maroc	X	
Canada	X	X	Mexique	X	
Chili	X		Nigeria	X	
Colombie	X		Norvège	X	X
Corée	X	X	Nouvelle-Zélande	X	
Côte-d'Ivoire	X		Panama	X	
Danemark	X	X	Paraguay	X	
Équateur	X		Pays-Bas	X	X
Espagne	X		Pérou	X	
États-Unis	X	X	Philippines	X	
Finlande	X	X	Portugal	X	X
France	X	X	Rép. Dominicaine	X	
Grèce	X		Royaume-Uni	X	X
Guatemala	X		Sierra Leone	X	
Honduras	X		Sri Lanka	X	
Hong Kong	X		Suède	X	
Île Maurice	X		Suisse	X	X
Inde	X		Syrie	X	
Iran	X		Thaïlande	X	
Islande	X	X	Turquie	X	
Israël	X		Venezuela	X	
Italie	X	X	Zambie	X	
Jamaïque	X		Zimbabwe	X	
Japon	X				

¹ Ces pays sont ceux qui ont été considérés dans notre seconde approche empirique. Les pays constituant notre échantillon pour la première stratégie empirique diffèrent légèrement de ceux présentés ici.

Tableau A6
Description des variables du modèle

Variable	Définition	Moyenne (Écart-type) selon l'échantillon		Source
		CO ₂	NO _x	
CO ₂	Émissions annuelles de CO ₂ (en milliers de tonnes métriques)	50 349 (170 140)	-	CDIAC (voir Marland et al. - 1999)
NO _x	Émissions annuelles de NO _x (en milliers de tonnes métriques)	-	2 145,3 (5 061,4)	OCDE (1997) ¹
PIB	Produit intérieur brut réel (PPA, en \$EU de 1987)	2,0809 E+11 (6,3811 E+11)	5,8123 E+11 (1,1396 E+12)	Banque Mondiale
PIB per capita	PIB per capita réel en moyenne mobile de trois ans (PPA, \$EU de 1985)	6 135,6 (4 745,3)	12 285 (3 252,9)	Penn World Table ²
KL	Ratio capital-travail	15 975 (14 150)	33 107 (14 020)	PWT
O1	(X+M)/PIB	60,839 (36,855)	67,383 (28,075)	PWT
O2	Indicateur d'ouverture (voir la section 3.2 pour méthodologie)	2,210 (10,260)	2,601 (10,836)	Gwartney et Lawson (1997)
RPIBCAP	Ratio du PIB per capita d'un pays sur la moyenne de l'échantillon	1,000 (0,762)	1,855 (0,479)	Construit à partir de PWT ³
RKL	Ratio ratio capital-travail d'un pays sur la moyenne de l'éch.	1,000 (0,869)	1,877 (0,785)	Construit à partir de PWT ³

- (1) Les données de l'OCDE proviennent en majorité de la publication Compendium sur l'environnement (1987–1997) mais les données antérieures à 1985 nous ont été fournies directement par l'OCDE.
- (2) Lors de notre première stratégie empirique, les données utilisées pour cette variable provenaient de la Banque Mondiale puisque les séries de PWT se terminent en 1992. Pour plus d'information, voir Hetson et Summers (1991).
- (3) La moyenne de l'échantillon pour la construction des termes *RPIBCAP* et *RKL* se base sur les données des pays inclus dans les estimations pour le CO₂ étant donné le plus large éventail de pays.

Tableau A7

Résultats de notre seconde stratégie empirique avec l'ajout d'une variable dichotomique pour les protocoles.

<i>Variables</i>	<i>Polluant</i>
	NO _x
PIB	-0,000000001 (6,63)***
PIB PER CAPITA	0,166 (5,97)***
PIB PER CAPITA ²	-0,000005 (5,45)***
KL	-0,015 (1,53)
KL ²	0,0000001 (2,19)**
O1	-1,019 (0,49)
RPIBCAP*O	-0,0003 (1,59)
RPIBCAP ² *O	0,029 (0,06)
RKL*O	2,488 (1,30)
RKL ² *O	-0,378 (1,09)
TENDANCE	-2,895 (0,52)
CONSTANTE	808,55 (3,62)***
SOFIA	6,931 (0,64)
R ²	0,998
NOMBRE D'OBSERVATIONS	120

Les valeurs entre parenthèses représentent les statistiques t de Student.

*** Significatif à 1%, ** significatif à 5%, * significatif à 10%.

Notes : Tous les résultats présentés dans ce tableau proviennent d'estimations qui utilisent la méthode de Kmenta avec effets fixes.

L'indicateur d'ouverture au commerce international utilisé dans ces estimations est $(X+M)/PIB$.

Les pays de notre échantillon qui ont signé le Protocole de Sofia (NO_x) sont le Canada, les États-Unis, l'Autriche, la Belgique, le Danemark, la Finlande, la France, l'Islande (1990), l'Italie, le Luxembourg, les Pays-Bas, la Norvège, l'Espagne, la Suède, la Suisse et le Royaume-Uni.

Tableau A8
Matrice de corrélation pour le CO₂

<i>CO₂</i>	1								
<i>PIB</i>	0,942	1							
<i>KL</i>	0,201	0,273	1						
<i>KL²</i>	0,123	0,187	0,926	1					
<i>PIBCAP</i>	0,363	0,428	0,901	0,759	1				
<i>PIBCAP²</i>	0,430	0,486	0,880	0,793	0,972	1			
<i>O1</i>	-0,224	-0,227	0,190	0,196	0,229	0,204	1	-	
<i>O2</i>	-0,051	-0,059	0,086	0,083	0,143	0,153	-	1	
	<i>CO₂</i>	<i>PIB</i>	<i>KL</i>	<i>KL²</i>	<i>PIBCAP</i>	<i>PIBCAP²</i>	<i>O1</i>	<i>O2</i>	

Tableau A9
Matrice de corrélation pour le NO_x

<i>CO₂</i>	1								
<i>PIB</i>	0,988	1							
<i>KL</i>	-0,030	-0,006	1						
<i>KL²</i>	-0,081	-0,065	0,961	1					
<i>PIBCAP</i>	0,396	0,414	0,686	0,560	1				
<i>PIBCAP²</i>	0,479	0,488	0,676	0,576	0,979	1			
<i>O1</i>	-0,517	-0,547	0,039	0,047	-0,246	-0,303	1	-	
<i>O2</i>	-0,077	-0,081	-0,015	-0,045	-0,166	-0,167	-	1	
	<i>NO_x</i>	<i>PIB</i>	<i>KL</i>	<i>KL²</i>	<i>PIBCAP</i>	<i>PIBCAP²</i>	<i>O1</i>	<i>O2</i>	

BIBLIOGRAPHIE

- Antweiler, W., «Trade vs. The Environment : New Empirical Evidence», UBC, 1997, 27 p.
- Antweiler, W., B.R. Copeland et M.S. Taylor, «Is Free Trade Good for the Environment?», National Bureau of Economic Research, Working Paper #W6707, 1998, 43 p.
- Banque Mondiale, *World Development Indicators 1998*, Banque Mondiale, 1998.
- Berndt E.R., *The Practice of Econometrics – Classic and Contemporary*, Addison-Wesley Publishing Company, 1991, 702 p.
- Cole, M.A., A.J. Rayner et J.M. Bates, «Trade Liberalization and the Environment», *The World Economy*, vol. 21, #3, 1998, p.337-347.
- Copeland, B.R. et M.S. Taylor, «North-South Trade and the Environment», *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 109, #3, 1994, p.755-787.
- Copeland, B.R. et M.S. Taylor, «Trade and Transboundary Pollution», *American Economic Review*, vol. 85, #4, 1995, p.716-737.
- Dasgupta, S., A. Mody, S. Roy et D. Wheeler, «Environmental Regulation and Development : A Cross-Country Empirical Analysis», Policy Research Working Paper # 1448, Policy Research Department, World Bank, 1995.
- Dean, J., «Testing the Impact of Trade Liberalization on the Environment : Theory and Evidence», Johns Hopkins University, Washington, 1998, 22 p.
- Eliste, P. et P.G. Fredriksson, «Does Open Trade Result in a Race to the Bottom? Cross-Country Evidence», Environment Department, World Bank, 1998, 27 p.
- Elsom, D., *Smog Alert – Managing Urban Air Quality*, Earthscan Publications Limited, London, 1996, 226 p.
- Environnement Canada, «Le Canada signe le protocole de Kyoto sur les changements climatiques», Environnement Canada, communiqué de presse, 29 avril 1998.

- Eskeland, G.S. et A.E. Harrison, «Moving to Greener Pastures? Multinationals and the Pollution Haven Hypothesis », World Bank Working Paper Series #1744, World Bank, 1997.
- François, J.F., B. McDonald et H. Nordstrom, «Assessing the Uruguay Round», dans *The Uruguay Round and the Developing Economies*, W. Martin et A.L. Winters (éditeurs), World Bank Discussion Paper # 307, 1995, p. 117-214.
- Gale, L.R., et J.A. Mendez, « A Note on the Empirical Relationship Between Trade, Growth and the Environment », Working Paper 96-3, Arizona State University, 1996.
- Greene, W.H., *Econometric Analysis*, Second Edition, MacMillan, 1993, 791 p.
- Grossman, G.M. et A.B. Krueger, «Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement», dans *The U.S.-Mexico Free Trade Agreement*, P.Garber (éditeur), Cambridge, MIT Press, 1993, p. 13-56.
- Grossman, G.M. et A.B. Krueger, «Economic Growth and the Environment», *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 110, #2, 1995, p.353-377.
- Gwartney, J.D. et R.A. Lawson, *Economic Freedom of the World 1997*, The Fraser Institute, Vancouver, 1997, 287 p.
- Hettige, H., R.E.B. Lucas et D. Wheeler, «The Toxic Intensity of Industrial Production : Global Patterns, Trends and Trade Policy», *American Economic Review*, vol. 82, #2, 1992, p.478-481.
- Hettige, H., M. Mani et D.Wheeler, «Industrial Pollution in Economic Development : Kuznets Revisited», World Bank, Policy Research Working Paper, 1997.
- Heston, A. et R. Summers, « The Penn World Table (Mark 5) : An Expanded Set of International Comparaisons, 1950-1988 », *Quarterly Journal of Economics*, 1991, p. 327-368.
- Hoel, M., «Environmental Policy with Endogenous Plant Locations», *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 99, #2, 1997, p.241-259.
- Holtz-Eakin, D. et T.M. Selden, «Stocking the fires? CO₂ Emissions and Economic Growth», *Journal of Public Economics*, vol. 57, #1, 1995, p.85-101.

- Institute for Management Development, *The World Competitiveness Yearbook*, World Economic Forum, IMD, 1991 à 1995.
- Jaffe, A.B., S.R. Peterson, P.R. Portney et R.N. Stavins, « Environmental Regulation and the Competitiveness of U.S. Manufacturing : What Does the Evidence Tell Us? », *Journal of Economic Literature*, 1995, p.132-163.
- Kmenta, J., *Elements of Econometrics*, MacMillan Publishing Company, New York, 1986, 786 p.
- Krueger, A.O., «Trade Policy as an Input to Development», National Bureau of Economic Research, Working Paper # 466, 1980.
- Kuznets, S., «Economic Growth and Income Inequality», *American Economic Review*, vol. 45, #1, p. 1-28, 1955.
- Low, P., «Trade Measures and Environmental Quality : The Implications for Mexico's Exports», dans *International Trade and Environment*, P. Low (éditeur), World Bank Discussion Paper #159, Washington, World Bank, 1992, p. 105-120.
- Low, P. et A. Yeats, «Do 'Dirty' Industries Migrate?», dans *International Trade and the Environment*, P. Low (éditeur), World Bank Discussion Paper #159, Washington, World Bank, 1992, p.89-103.
- Mani, M. et D. Wheeler, « In Search of Pollution Havens? Dirty Industry in the World Economy, 1960-1995 », Policy Research Department, World Bank, 1997.
- Markusen, J.R., E.R. Morey et N. Olewiler, «Competition in Regional Environmental Policies when Plant Locations are Endogenous», *Journal of Public Economics*, vol. 56, #1, 1995, p.55-78.
- Marland, G., T.A. Boden, R.J. Andres, A.L. Brenkert et C.A. Johnston, «Global, Regional, and National Fossil Fuel CO2 Emissions», dans *Trends: A Compendium of Data on Global Change*, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 1999.
- McGuire, M., «Regulation, Factor Rewards, and International Trade», *Journal of Public Economics*, vol. 17, #3, 1982, p.335-354.
- Moreau, J., «La différence de sévérité dans la réglementation environnementale de plusieurs pays de l'OCDE», HEC, Montréal, 1998, 66 p.

- Nations Unies, *Stratégies et politiques visant à réduire la pollution atmosphérique – Résultats de l'examen approfondi de 1994 effectué en vertu de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance*, Commission économique pour l'Europe, Genève, 1995, 145 p.
- OCDE, *Compendium sur l'environnement*, OCDE, Paris, 1989 à 1997.
- OCDE, *Vers un développement durable – Indicateurs d'environnement*, OCDE, Paris, 1998, 130 p.
- Parkin, M. et R. Bade, *Macroeconomics : Canada in the Global Environment*, Addison-Wesley, Don Mills, 1997.
- Pethig, R., «Pollution, Welfare and Environmental Policy in the Theory of Comparative Advantage», *Journal of Environmental Economics and Management*, vol.2, 1976, p.160-169.
- Richelle, Y., «Trade Incidence on Transboundary Pollution : Free Trade can Benefit the Global Environmental Quality», Université Laval, Cahier de recherche #9616, 1996, 35 p.
- Selden, T.M. et D. Song, «Environmental Quality and Development : Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?», *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 27, 1994, p.147-162.
- Shafik, N., «Economic Development and Environmental Quality : An Econometric Analysis», *Oxford Economic Papers*, vol. 46, Supplementary Issue, 1994, p.757-773.
- Siebert, H., «Environmental Quality and the Gains from Trade», *Kyklos*, vol.30, #4, 1977, p.657-693.
- Tanguay, G., «Strategic Environmental Policies under International Duopolistic Competition», HEC, Montréal, 1998, 30 p.
- Tétrault, M., «Changing the Atmosphere», *Development*, Agence canadienne de développement international, printemps 1992, p.4-8.
- Tobey, J.A., «The Effects of Domestic Environmental Policies on Patterns of World Trade : An Empirical Test», *Kyklos*, vol. 43, #2, 1990, p.191-209.
- van Beers et van den Bergh, «An Empirical Multi-Country Analysis of the Impact of Environmental Regulations on Foreign Trade Flows», *Kyklos*, vol. 50, #1, 1997, p. 29-46.

- Walter, I. et J. Ugelow, «Environmental Policies in Developing Countries», *Ambio*, 8, 1979, p. 102-109.
- Wheeler, D. et N. Birdsall, «Trade Policy and Industrial Pollution in Latin America : Where Are the Pollution Havens? », *Journal of Environment & Development*, 2 (1), 1993, p.137-149.
- White, K.J., *Shazam Econometrics Computer Program - User's reference manual version 7.0*, McGraw-Hill, 1993, 483 p.
- Wijetilleke, L. et S.A.R. Karunaratne, «Air Quality Management – Considerations for Developing Countries», World Bank Technical Paper # 278, 1995, 95p.
- Xepapadas, A. et E. Amri, «Some Empirical Indications of the Relationship Between Environmental Quality and Economic Development», *Environmental and Resource Economics*, 11, 1998, p.93-106.
- Yohe, G.W., «The Backward Incidence of Pollution Control – Some Comparative Statics in General Equilibrium», *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 6, #3, 1979, p.187-198.