

A1.1
9
929

Université de Montréal

**Les causes macroéconomiques de la déforestation tropicale :
une analyse empirique**

par
Julien Barbeau

Département de Sciences Économiques
Faculté des Arts et des Sciences

Rapport de recherche présenté à la Faculté des études supérieures en vue de
l'obtention du grade de maîtrise en Sciences Économiques,
sous la direction du professeur André Martens
colecteur : professeur Gérard Gaudet

Décembre 2003

Centre de Documentation
Dép. de sciences économiques
Université de Montréal
C. P. 6128, Succ. "A"
Montréal, Qué., Canada, H3C 3J7

© Julien Barbeau, 2003

The population overflowing from the Andes down to the Amazon plains do not settle there. They advance like a slow burning fire, concentrating along a narrow margin between the land they are destroying and are about to leave behind, and the forest lying ahead of them.

Dourojeanni cité in Myers (1984, 150)

Résumé

Les forêts tropicales subissent d'énormes pressions depuis de nombreuses décennies. Le problème de la déforestation tropicale est alarmant car son rythme a accéléré au cours des trente dernières années. Ce phénomène est d'autant plus grave et inquiétant que la forêt tropicale joue un rôle indispensable pour la planète : elle régularise de multiples phénomènes, sert de ressources à des millions d'habitants qui y vivent et constitue le principal réservoir de la biodiversité et du patrimoine génétique mondial. La déforestation est certes un phénomène local et régional, mais ses répercussions sont mondiales. L'objectif du présent travail est de déterminer les causes macroéconomiques de la déforestation tropicale communes aux régions où est présente la forêt tropicale : l'Amérique latine et Caraïbes, l'Afrique et l'Asie-Pacifique. Quels sont les déterminants macroéconomiques de la déforestation tropicale? Afin de répondre à la question, notre étude utilise un modèle de régression linéaire pour déterminer l'impact des facteurs sur le taux de déforestation annuel moyen pour la période 1990-95. Le modèle évalue plus particulièrement les variables suivantes : la densité de population, la part de la population rurale dans la population totale, le PIB *per capita*, la technologie agricole, le ratio dette/PIB, la part de l'agriculture dans le PIB, la densité animale et l'appartenance à une région spécifique. De toutes ces variables, les variables de population rurale et du ratio dette/PIB ne sont pas significatives ; le rôle joué par l'appartenance régionale est mitigé. L'impact des autres variables est statistiquement significatif. La densité humaine et le PIB *per capita* le sont particulièrement. *De facto*, l'homme affecte et altère son environnement. Lorsque la population humaine devient de plus en plus dense, elle crée une pression indéniable sur les ressources naturelles dont les forêts. Quant au PIB *per capita*, nous décelons la présence d'une courbe environnementale inversée à la Kuznets. Au-delà d'un certain seuil, le taux de déforestation commence à décroître. Il s'agit d'une bonne nouvelle en soi, laissant présager qu'une amélioration des conditions économiques des habitants aura un effet positif sur les forêts tropicales. Malgré tout, cet aspect positif à lui seul ne règlera pas le problème complexe de la déforestation tropicale. Un optimisme teinté de réalisme est de mise.

Table des matières

RÉSUMÉ	3
LISTE DES TABLEAUX ET GRAPHIQUES	5
1. INTRODUCTION	6
2. INFORMATIONS PERTINENTES	8
2.1. L'IMPORTANCE DE LA FORÊT TROPICALE	8
2.2. L'IMBROGLIO CAUSÉ PAR LES NOTIONS DE FORÊT ET DE DÉFORESTATION	9
3. ANALYSE PRÉPARATOIRE : CHOIX ET JUSTIFICATION DES VARIABLES	11
4. REVUE DE LA LITTÉRATURE	14
4.1. EXAMEN DES RÉSULTATS ANTÉRIEURS CONCERNANT LES VARIABLES DU MODÈLE	14
4.2. ÉVALUATION	18
5. ANALYSE EMPIRIQUE	20
5.1. LE MODÈLE	20
5.2. LES DONNÉES	22
5.3. LES RÉSULTATS EMPIRIQUES	22
6. CONCLUSION	29
7. ANNEXE	32
TABLEAU 1	33
TABLEAU 2	34
TABLEAU 3	36
TABLEAU 4	37
TABLEAU 5	38
TABLEAU 6	39
TABLEAU 7	40
GRAPHIQUE 1	41
GRAPHIQUE 2	42
8. BIBLIOGRAPHIE	43

Liste des tableaux et graphiques

Tableau 1	
Tableau-synthèse d'études antérieures : informations utilisées sur la déforestation dans les modèles empirique	33
Tableau 2	
Tableau-synthèse des études antérieures : effets des variables sur la déforestation	34
Tableau 3	
Liste des 52 pays par régions composant l'échantillon de l'étude	36
Tableau 4	
Le modèle 1 : estimateurs robustes du modèle de régression linéaire par MCO avec variable dichotomique pour l'Asie-Pacifique	37
Tableau 5	
Le modèle 2 : estimateurs robustes du modèle de régression linéaire par MCO avec variable dichotomique pour l'Amérique latine et Caraïbes	38
Tableau 6	
Le modèle 3 : estimateurs robustes du modèle de régression linéaire par MCO, sans la variable ratiodette, avec variable dichotomique pour l'Asie-Pacifique	39
Tableau 7	
Tableau synoptique des résultats de la présente analyse en rapport au taux de déforestation annuel moyen	40
Graphique 1	
Présence d'hétéroscédasticité dans le modèle	41
Graphique 2	
Relation entre le PIB <i>per capita</i> et le taux de déforestation	42

1. Introduction

Les économies de la planète sont fondées sur les biens et services qui proviennent, à la base, des écosystèmes. La vie humaine elle-même dépend de la capacité soutenue des processus biologiques à apporter leur multitude de bénéfices. Selon Uphoff (2002, 43), pour le secteur agricole seulement, les besoins mondiaux en matière de nourriture doubleront probablement d'ici trente à quarante ans. Dès lors, comme le réalisent lucidement Matthews et al (2000, ix), il est clair que le développement économique et le bien-être humain dépendent en grande partie de notre habileté à gérer les écosystèmes de manière durable. Si cette recommandation se révèle vraie pour l'ensemble des peuples, elle est peut-être encore plus urgente pour les pays en développement qui montrent déjà, dans certains cas, des signes de pénuries d'aliments, d'écosystèmes essoufflés ou carrément épuisés, et dont la majeure partie de la population vit dans l'indigence et ce, surtout en milieu rural.

Pour les pays situés en zone tropicale, la problématique est très délicate car l'objectif est de concilier une plus grande production agricole et la préservation de la forêt tropicale. Présentement, on considère la déforestation tropicale comme une crise environnementale majeure. Comme le mentionnent Caviglia et Kahn (2001, 311), la déforestation n'est pas un phénomène nouveau, mais c'est l'accélération du taux de déforestation qui est préoccupant. Selon Angelsen et Kaimowitz (1999, 73), le défrichement de la forêt contribue au changement climatique, à la perte de biodiversité, à l'épuisement des ressources forestières, à l'accumulation de limon, aux inondations et à la dégradation des terres. Tous ces problèmes affectent l'activité économique et mettent en danger la vie et l'intégrité culturelle des gens qui sont dépendants de la forêt. Pourtant, afin de répondre aux demandes grandissantes en nourriture et en bois d'œuvre et à une certaine pression démographique, la coupe des forêts tropicales continue à un rythme effréné et l'expansion des terres agricoles se fait au détriment des forêts.

Le phénomène de la déforestation des forêts tropicales représente donc un des enjeux majeurs auxquels fait face l'humanité tout entière. Nous désirons donc porter notre réflexion sur cet enjeu. La déforestation est un phénomène fort complexe tout comme la forêt qui, au loin, paraît uniforme et monotone, mais dont le cœur même regorge d'une diversité et d'une complexité inouïes. Lambin (cité in Palo et Lehto, 1996, 33) identifie les défis qui attendent quiconque étudie cette problématique : la complexité des phénomènes socio-économiques, l'imbrication des systèmes naturel et humain, l'interaction des processus locaux, régionaux et mondiaux et l'intervention de phénomènes imprévisibles. Il est possible aussi d'aborder le phénomène selon diverses perspectives. On peut étudier les décisions et les agissements des agents responsables de la

déforestation : les individus, les ménages et les entreprises. Cette optique privilégie donc l'approche microéconomique. On peut, à l'inverse, opter pour une approche plus globale et étudier les causes macroéconomiques de la déforestation c. à d. les variables qui affectent le défrichement des forêts directement et/ou indirectement. Le but du présent travail est d'évaluer l'universalité de certaines causes macroéconomiques du processus de déforestation pantropicale. Nous avons ciblé quelques variables et voulu évaluer leurs impacts. Quels sont les effets sur le taux de déforestation de la densité de population, du pourcentage de la population vivant en milieu rural, du PIB *per capita*, de la technologie agricole, du ratio dette/PIB, de la part de l'agriculture dans le PIB et de la densité de bétail? Tel est l'objet du présent travail.

Dans un premier temps, nous présenterons quelques notions importantes pour la bonne compréhension du phénomène. Dans cette section, un premier volet sera consacré à l'importance de la forêt tropicale pour l'ensemble de la planète et un second volet présentera les difficultés entourant la définition des notions de forêt et de déforestation, comme l'impact que produit une telle ambiguïté sur les données. Dans un second temps, nous établirons le modèle qui sera testé, présenterons les différentes variables retenues et justifierons leur présence, puis énoncerons les attentes théoriques les concernant (analyse préparatoire). Dans un troisième temps, puisque notre travail est l'héritier d'une série de travaux faits sur la déforestation tropicale et se situe dans leur prolongement, une revue de la littérature permettra de connaître certaines théories et résultats d'études antérieures relatifs aux variables retenues pour notre modèle. Puis dans un quatrième temps, l'analyse empirique révélera les résultats de notre modèle économétrique. Nous verrons s'ils corroborent nos attentes théoriques ou non. En conclusion, nous verrons, entre autre, en quoi ces résultats confirment ou infirment les résultats de nos prédécesseurs.

2. Informations pertinentes

2.1. L'importance de la forêt tropicale

Les forêts de la Terre sont des écosystèmes importants qui couvrent environ le quart de la surface terrestre de la planète, excluant le Groenland et l'Antarctique. Un peu plus de 50% des forêts se trouvent dans les pays en développement selon Matthews et al (2000, 3). Les forêts tropicales, d'une exceptionnelle richesse, contiennent au moins 50% et possiblement une proportion encore plus grande des espèces de la planète sur seulement 6% de la surface terrestre. Selon Matthews et al (2000, 3), l'évaluation des surfaces soumises à la déforestation tropicale est incertaine, mais excéderait probablement les 130 000 km² par année. Myers (1995, 111) avance, pour sa part, le chiffre de 150 000 km². Environ 40% des forêts tropicales sont relativement peu perturbées par l'activité humaine, bien qu'environ la moitié de ces forêts peu perturbées risque d'être développée sous peu. Les pertes annuelles moyennes des suites de la déforestation estimées par régions en développement sont les suivantes : l'Amérique latine a subi une diminution annuelle de 64 800 km² pour les années 1980-90 et de 56 900 km² pour les années 1990-95. L'Afrique a subi des pertes annuelles de 42 800 km² pour les années 1980-90 et de 37 500 km² pour les années 1990-95. Finalement pour l'Asie, les pertes annuelles moyennes s'évaluent à 44 100 km² pour les années 1980-90 et de 41 700 km² pour les années 1990-95 (FAO, 1997, 18). Les forêts tropicales incluent une grande variété d'écosystèmes (par exemple, arbres à feuilles persistantes, semi-persistantes, semi-caduques, caduques et arbrisseaux ; régions alpine ou semi-alpine, savane, etc.) et se retrouvent dans des pays recevant entre 200 et 2000mm de pluie annuellement et qui se concentrent entre les Tropiques du Cancer et du Capricorne.

Malgré leur richesse et leur importance, les forêts tropicales sont souvent perçues comme de simples réservoirs de bois d'œuvre ou de terres potentiellement convertibles à l'agriculture. Pourtant ces forêts offrent de nombreux autres avantages que l'on peut classer en deux grandes catégories : elles fournissent des produits de consommation et des services environnementaux. Outre le bois d'œuvre, les forêts tropicales offrent une multitude d'autres produits : des fruits, des noix, des huiles, du latex entre autre, des médicaments, des matériaux de construction, de la viande et plusieurs autres produits qui servent les besoins des habitants dépendants de la forêt, et qui sont échangés sur les marchés locaux ou internationaux. Comme nous l'avons mentionné plus tôt, les forêts tropicales comprennent la plus riche diversité d'espèces florales et fauniques : plus de 50% des espèces de la planète sur une superficie de 6% de la surface terrestre. La biodiversité est très précieuse. Elle peut avoir une utilité directe, elle a un rôle éducatif à jouer et peut servir à des

fins de recherches scientifiques. Cette biodiversité est vulnérable et directement menacée par la déforestation. La destruction de grandes parties des forêts tropicales conduira à une extinction de nombreuses espèces et entraînera l'appauvrissement génétique des ressources. Les forêts tropicales contribuent aussi, dans une large part, à la séquestration des gaz carboniques qui seraient responsables, en partie, du réchauffement de la planète. Ainsi la déforestation tropicale serait responsable du changement climatique généralement connu sous le nom d'effet de serre. Les forêts tropicales produisent aussi d'autres services environnementaux : elles préservent et retiennent les eaux, préviennent l'érosion des sols et les protègent. De plus, de nombreuses sociétés et de nombreux individus vénèrent les forêts et leur confèrent une valeur intrinsèque dotée d'une importance spirituelle et culturelle indéniables à leurs yeux.

2.2. L'imbroglie causé par les notions de forêt et de déforestation

Réalisant tous les avantages que les forêts tropicales procurent, il paraîtrait très simple à terme de trouver des solutions afin de réduire, voire d'arrêter, la déforestation tropicale. Pourtant, de nombreuses difficultés sèment le parcours de qui veut comprendre et étudier le phénomène. Tout d'abord, il est difficile de circonscrire la notion de forêt, objet de notre étude. Comment définit-on la forêt? Quels paramètres doivent être utilisés pour la caractériser? Quelle proportion d'une région la forêt doit-elle recouvrir afin que la zone soit considérée comme une forêt? Bien qu'il n'y ait pas de définition universellement acceptée, bon nombre d'analystes, économiques ou autres, utilisent la définition de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) : la superficie forestière inclut les surfaces couvertes par les forêts primaire et secondaire. La forêt primaire inclut les forêts de feuillus, de conifères et de bambous ayant une couverture continue en arbres pouvant atteindre sept mètres de hauteur et produire du bois ; ils doivent couvrir au minimum 20% du territoire. La forêt secondaire consiste en un mélange de forêt et d'herbage ayant au moins 10% de couverture en arbres (FAO, 1997, annexe 2). De la même manière, à quel moment doit-on parler de déforestation? La FAO (1997, annexe 2) définit la déforestation comme la *conversion permanente* des terres forestières à d'autres usages. À quel moment précis sommes-nous témoins d'une conversion permanente? Quel est le point de non retour? Kahn et Mc Donald (1995, 117) ont souligné l'ambiguïté de la notion. Il est difficile de déterminer si la coupe pour le bois d'œuvre, pour la conversion en terre agricole ou même une coupe sélective se terminent invariablement en conversion permanente pour une utilisation non-forestière.

Ces difficultés ne se résorbent pas lorsque vient le temps d'évaluer les surfaces forestières des différents pays et les taux de déforestation. Il n'existe pas d'organisme mondial qui recueille lui-même les données forestières. La qualité

des données souffre de ce manque de coordination internationale et d'uniformité. Les données sont souvent rapportées par les pays tropicaux eux-mêmes et peuvent donc être biaisés. Ceci constitue un inconvénient très sérieux. L'information désirée dépend donc fortement du bon-vouloir des gouvernements. Les données de sondage ont un fort biais subjectif et, comme l'indiquent Koop et Tole (1999, 236), les gouvernements peuvent rapporter de façon déficitaire l'étendue de la diminution de la forêt pour des raisons politiques. De plus, lorsque les données officielles ne sont pas disponibles, des estimations sont faites par des organismes internationaux et des problèmes de précision surgissent. Bien évidemment, les données se précisent au fil des années avec l'aide, par exemple, de l'imagerie par satellite. Mais, l'inexistence de systèmes d'inventaires continus pour surveiller la déforestation tropicale et l'imprécision des données, ou leur continuels réajustement, ne permettent pas la modélisation économétrique de nature temporelle.

La déforestation est un phénomène indéniablement abscons. Comme l'affirme Didia (1997, 64), les causes de la déforestation sont complexes. Nous pouvons rajouter avec Deacon (1994, 415) que les causes ne sont pas seulement complexes, mais qu'elles ne sont pas très bien comprises d'autre part. Plusieurs analyses et discussions souvent commettent l'erreur d'associer effets et causes ou de confondre les sources de déforestation (niveau microéconomique) avec les causes fondamentales (niveau macroéconomique). De plus, les causes de la déforestation peuvent avoir des effets directs et indirects sur les différents agents. Il est donc difficile d'établir des liens clairs et précis entre les variables macroéconomiques et la déforestation. Les variables macroéconomiques influencent les décisions des agents de déforestation à travers des canaux fort complexes et plusieurs des relations causales sont indirectes. D'ailleurs, nous verrons, lors de la revue de la littérature, que peu de liens clairs et univoques peuvent être établis entre la plupart des variables et la déforestation. Pour le moment, dans la communauté économique seule les variables reliées à la population sembleraient jouer un rôle majeur et décisif dans la déforestation. Nous sommes donc loin d'un consensus.

3. Analyse préparatoire : choix et justification des variables

Notre étude cherche à trouver les déterminants macroéconomiques de la déforestation tropicale et à évaluer leurs impacts sur celle-ci. Nos nombreuses lectures nous ont amené à considérer certaines variables (sept au total en excluant les variables dichotomiques) plutôt que d'autres. Notre modèle de déforestation essaie d'évaluer le lien existant entre le taux de déforestation annuel moyen, variable dépendante, et les variables indépendantes suivantes : la densité d'habitants (*densité*), le pourcentage de la population totale vivant en milieu rural (*poprurale*), le PIB *per capita* (nous avons aussi inclus cette variable au carré supposant que son effet n'est pas linéaire - $PIBcap$ et $PIBcap^2$), le capital technologique agricole (*techno*), le ratio dette extérieure totale/PIB (*ratiodette*), la part de l'agriculture dans le PIB (*agro*) et la densité animale (bovins et ovins - *bétail*). Ces variables ont potentiellement un rôle à jouer dans le phénomène de la déforestation tropicale. De plus, elles témoignent de divers facettes de la vie socio-économique influençant la déforestation : l'agriculture, les populations en milieu rural, les revenus, la dette nationale, la technologie et le bétail. Le modèle économétrique sera présenté en détail à la section 5. Pour le moment, nous présentons les variables explicatives qui constituent le modèle et les attentes théoriques que nous envisageons pour chacune d'elle.

Étant donné que la déforestation tropicale relève davantage de facteurs humains que de facteurs naturels (Rudel, 1989, 327), il s'avère donc essentiel et incontournable de tenir compte de l'impact des populations humaines sur la déforestation. En cela, le problème a des intonations malthusiennes (Rudel et Roper, 1997a, 56). Les variables de population (densité de population et population rurale) sont des variables pertinentes qui se sont avérées extrêmement populaires au sein de la littérature économique vouée à la problématique. L'effet de population sera appréhendé par ces deux variables.

Tout d'abord, notre intuition suggère l'existence d'un lien positif entre la densité humaine et la déforestation tropicale. Plus la densité d'un pays est élevée, plus est forte la pression exercée sur la forêt tropicale. Effectivement, plus le nombre d'habitants pour une même surface s'agrandit, *ceteris paribus*, plus on risque de voir survenir des effets négatifs sur les ressources naturelles, telle la déforestation. Quant à la variable « population rurale » (le pourcentage de la population totale vivant en milieu rural), elle permet d'évaluer l'impact de la proximité de la population humaine sur la forêt tropicale. En effet, le principal agent de déforestation serait le petit agriculteur qui cherche à améliorer son sort en transformant les terres forestières en terres agricoles (l'agriculture par coupe et brûlis représenterait les deux tiers de la déforestation selon Myers, 1995, 111). Cette proximité de la forêt augmente donc la probabilité de la déforestation.

Puisque la forêt est voisine du monde rural, une augmentation du pourcentage de la population vivant en milieu rural augmenterait le taux de déforestation.

Une autre variable fort importante est le PIB *per capita* qui peut servir de variable-substitut au revenu disponible par habitant. L'augmentation de revenu entraînerait à son tour l'augmentation de la consommation : consommation de produits agricoles et de produits forestiers (bois d'œuvre) entre autres. Dans les deux cas, il y aurait un accroissement de la déforestation soit, par une extensification probable des terres agricoles au détriment des forêts afin de répondre à la demande des produits agricoles soit, par une coupe d'arbres afin de répondre aux besoins en matériaux de construction. Ainsi, nous nous attendons à ce qu'une augmentation du PIB *per capita* favorise la déforestation. Toutefois une interrogation survient : est-ce que la relation entre le PIB *per capita* et le taux de déforestation est linéaire? À la suite de Koop et Tole (1999), n'y aurait-il pas la possibilité de supposer l'existence d'une courbe environnementale inversée à la Kuznets où, au-delà d'un certain seuil, le taux de déforestation diminuerait? Afin de répondre à cette interrogation, nous incluons la variable PIB *per capita* élevée au carré (PIB *per capita*²).

Afin d'évaluer le rôle joué par la technologie agricole dans la déforestation tropicale, nous avons opté pour la création d'une variable composite à partir du capital physique agricole (le nombre de tracteurs et l'utilisation de fertilisants). Certains auteurs ont utilisé la valeur ajoutée de l'agriculture comme variable d'approximation (Rock, 1996). La technologie agricole, amplement étudiée sur le plan formel et théorique par Angelsen et Kaimowitz (2001), est appelée à avoir un rôle de plus en plus important dans la problématique reliée à la déforestation tropicale dans les années à venir. Beaucoup d'espairs sont en effet mis sur les innovations technologiques. D'ailleurs, beaucoup d'auteurs ont consacré études et monographies à ce sujet (Angelsen et Kaimowitz (2001), Hayami et Rutten (1998), Boserup (1965 et 1981)). Le lien qui unit la technologie à la déforestation tropicale est toutefois beaucoup plus complexe qu'il n'y paraît. Intuitivement, on est porté à croire que la technologie agricole favorise inconditionnellement l'usage intensif des terres agricoles, c. à d. l'augmentation de la productivité sans altérer le stock actuel des terres agricoles. Pourtant, une réflexion, tout aussi logique, suggère qu'en augmentant la productivité agricole, plusieurs ménages ruraux pourraient être intéressés à étendre leur surface agricole pour profiter de cette nouvelle situation qui leur est favorable (phénomène connu sous le nom d'extensification). Théoriquement l'effet total est donc incertain. Toutefois, en prenant l'expérience asiatique en exemple, nous croyons que le premier effet l'emportera sur le second : une augmentation de la variable composite de la technologie diminuera le taux de déforestation.

Pour les pays en développement, dont ceux en zone tropicale, la dette représente souvent un fardeau. Le ratio dette extérieure totale/PIB y est appréciable et mine souvent les politiques gouvernementales. Afin de faire face à leurs obligations de court terme envers leurs créiteurs, les gouvernements doivent souvent adopter une vue myope pour corriger une situation pressante. La forêt sert à obtenir des devises en vendant le bois d'œuvre sur les marchés internationaux. L'intérêt pour le sujet est donc dans l'ordre des choses. Est-ce qu'une augmentation du ratio dette extérieure totale/PIB augmente ou diminue le taux de déforestation? Notre réflexion suggère qu'un ratio élevé place un pays dans une position précaire. Menotté, car ses choix à court terme sont limités, il doit alors exploiter les richesses naturelles de son territoire, dont la forêt tropicale, afin de servir sa dette.

Finalement, deux variables supplémentaires viendront clore le modèle. Nous nous intéresserons à la part de l'agriculture dans le PIB et à la densité de bétail. Une économie orientée vers l'agriculture déplace le noyau de son activité économique des centres urbains, où se concentre principalement le secteur industriel, vers la campagne, où se concentre l'agriculture. La terre est un facteur important à la production agricole et l'augmentation de la production peut passer par l'extensification des terres et donc induire une déforestation des surfaces forestières qui servent de « réserve à terres » pour l'agriculture. Donc, un pays économiquement orienté vers l'agriculture devrait connaître un taux de déforestation plus élevé que les autres. Nous avons préalablement étudié l'impact de l'homme sur les forêts, afin de boucler la boucle, nous désirons évaluer l'effet du bétail sur la forêt en prenant comme variable la densité animale (composée de bovins et d'ovins parce qu'ils sont des animaux de pâturage). À notre connaissance, aucune étude n'a évalué empiriquement l'impact des animaux de pâturage sur la déforestation. Cette variable constitue en soi un nouvel élément dans ce champ d'étude. Nous croyons que la densité animale agit de façon similaire à celle de la densité humaine : plus le nombre d'animaux est important pour une même surface, plus les forêts tropicales subissent de pression. Donc la densité animale contribuerait à la déforestation. L'analyse empirique viendra évaluer ces différentes variables et hypothèses par l'entremise d'un modèle de régression linéaire que nous appliquerons à la section 5. Mais avant, nous ferons la revue de la littérature consacrée aux variables que nous avons retenues pour notre modèle.

4. Revue de la littérature

Par ses enjeux, la déforestation tropicale est devenue un sujet capital et incontournable au sein de la communauté des scientifiques et chercheurs : les économistes n'y ont pas échappé. Un véritable boom de l'étude du phénomène est apparu au cours des années 80 et ne s'est pas résorbé. La contribution des économistes à l'étude du phénomène de la déforestation tropicale est de plus en plus florissante. L'apport de la science économique se fait aussi bien aux niveaux théorique et analytique qu'au niveau empirique. Les études s'intéressent aussi bien aux causes microéconomiques qu'aux causes macroéconomiques. Des enquêtes sont menées aux différents paliers de gouvernement : local, régional national et international. À la fin des années 90, Angelsen et Kaimowitz (1998, 1) avaient recensé pas moins de 150 modèles économiques formels seulement! Les modèles de régression économétrique au niveau global (international) constituent la catégorie de modèles la plus populaire. Ils utilisent les données nationales afin de dégager des généralisations sur les processus majeurs affectant la déforestation. Notre modèle s'inscrit dans cette veine c. à d. comme un modèle de régression pantropical cherchant à évaluer l'impact de certaines variables. La plupart des variables de notre modèle ont été testées préalablement par divers auteurs ; certaines variables ont su bénéficier d'une plus grande attention (les variables de population dont la densité et le PIB - qui agit souvent comme substitut du revenu). Les tableaux-1 et 2 (annexe, pages 33 et 34) présentent sous forme synthétique les différentes études empiriques qui ont servi à l'élaboration de la revue de la littérature.

4.1. Examen des résultats antérieurs concernant les variables du modèle

Les variables de population (densité humaine et population rurale) se sont avérées être des variables extrêmement populaires au sein de la communauté économique. Angelsen et Kaimowitz (1999, 87) affirment que les taux de déforestation peuvent s'accroître parce que la population augmente (la densité augmente du même coup) et que ses besoins en terres agricoles pour la production de nourriture, en bois de chauffage, en bois d'œuvre augmentent aussi. Mais ils ajoutent qu'une prise de conscience du potentiel négatif de la densité humaine peut amener les gens à promouvoir le progrès technologique (surtout dans les cas où la densité est importante) et à créer des changements institutionnels qui pourraient contribuer à réduire la pression sur les forêts. De nombreux résultats empiriques suggèrent que la population et la densité humaine sont positivement corrélées à la déforestation, mais, selon eux, cette corrélation serait plus faible que prévue.

Plusieurs auteurs, ayant testé la relation empiriquement, dénotent l'existence effective d'une corrélation positive entre la densité humaine et le taux

de déforestation. Palo (1994, 44-45) a considéré la densité de population comme une variable substitut aux demandes de produits alimentaires et forestiers. Dans son étude, l'augmentation de la densité humaine, *ceteris paribus*, crée une augmentation de la demande pour la nourriture, les vêtements, l'énergie, les logements et les services de santé. Cette demande crée une pression à la hausse sur les agents de déforestation. Il n'est certes pas faux de lier la densité humaine à la demande de produits forestiers et alimentaires sauf que la relation est très large : la densité humaine sert d'indicateur à une multitude de demandes. De même, cette équation ne dit rien sur les niveaux de revenus des pays. Un pays très peu peuplé pourrait connaître une consommation énorme (prenez comme exemple le cas de certains pays occidentaux). Pour Rock (1996, 122), il apparaît clair que la pression démographique débordera les limites de l'agriculture traditionnelle pour s'étendre plus avant dans la forêt tropicale.

Puisque les forêts tropicales se trouvent à proximité du monde rural, une augmentation de la part de la population vivant en milieu rural aura une incidence positive sur la déforestation. Pour Rudel et Roper (1997b, 107), la déforestation est plus grande pour les pays qui ont une forte population rurale. À la fin des années 80, Rudel (1989, 328) identifie les populations croissantes des communautés rurales comme une cause majeure de la déforestation tropicale. Il remarque effectivement que les explications démographiques attribuent souvent le déclin des forêts tropicales à la croissance des populations rurales qui vivent près des forêts. Hormis les études de Rudel (1989), de Rudel et Roper (1997a et 1997b), peu d'analyses ont été consacrées aux populations rurales. Les variables de population sont toujours traitées à un niveau national et non en rapport au type de milieu de résidence des habitants (populations rurales ou populations urbaines). De plus, les données concernant les populations rurales sont plus difficiles à compiler (accès aux communautés rurales réduit, coûts liés à la collecte élevés, etc.).

Le PIB *per capita* peut servir d'approximation du revenu des habitants. Angelsen et Kaimowitz (1999, 89) indiquent qu'un revenu national plus grand peut réduire la pression exercée sur les forêts en améliorant les opportunités d'emploi des secteurs à l'extérieur du monde agricole, mais aussi favoriser la déforestation en stimulant la demande des produits agricoles et forestiers et, en améliorant l'accès aux forêts vierges et à des marchés reculés. L'effet serait donc mixte. Toutefois, les habitants des pays dont le PIB s'élève pourraient exiger que les forêts soient protégées. De plus, certains auteurs évoquent la possibilité que l'effet du PIB *per capita* sur la déforestation n'est pas linéaire. La déforestation augmenterait dans un premier temps avec l'augmentation du PIB *per capita*, puis à partir d'un certain seuil, le taux de déforestation diminuerait avec l'amélioration du PIB *per capita*. Ce phénomène est connu sous le nom de courbe environnementale inversée à la Kuznets (EKC).

Pourtant, encore une fois, nul consensus n'a été obtenu sur l'existence d'un tel effet ou d'une telle courbe. Après plus d'une décennie de débat, la preuve empirique d'une courbe environnementale inversée à la Kuznets ne permet pas de trancher. Rudel et Roper (1997a, 61) sont d'avis que les taux de déforestation sont particulièrement élevés pour les pays très pauvres. Ils augmentent dans un premier temps avec la croissance économique, puis ils diminuent lorsque la richesse additionnelle crée d'autres opportunités économiques. Selon eux, ce raisonnement suggère, sans l'établir, l'existence d'une relation curvilinéaire entre le développement économique et la déforestation. Pour Capistrano (1994, 74), toute relation entre le PIB *per capita* et la déforestation est loin d'être directe et simple. L'effet net d'un PIB *per capita* élevé sur la déforestation est une question de nature empirique car la théorie suggère que les différentes possibilités sont valides.

Pour Shafik (1994, 88), la relation entre le PIB *per capita* et le taux de déforestation doit être perçu comme un sujet central. Bien que ses résultats n'eussent pas été significatifs, il remarque que la forme quadratique est la plus précise. Les résultats de Koop et Tole (1999, 232) démontrent que la relation entre la déforestation et le PIB *per capita* varie énormément entre les pays et que cette hétérogénéité ne permet d'établir l'existence d'une courbe environnementale inversée à la Kuznets, à moins d'imposer des hypothèses très strictes. Ils concluent donc qu'il y a peu d'évidence suggérant l'existence d'une EKC.

Par contre, chez certains auteurs, une telle courbe semble exister. Quel est le seuil où se renverse la tendance ? Est-ce un seuil réaliste pour les pays en développement ? En estimant leur modèle, Palo et Lehto (1996, 39), ont établi ce point tournant à 5000\$ US. Pour Rock (1996, 121), le point tournant correspondait à 3500\$ US. Shafik (1994, 89) avait trouvé un seuil de 1500\$ US, mais il était non significatif. Ces PIB *per capita* s'avèrent être difficilement atteignables pour un nombre élevé de pays. Le temps nécessaire à atteindre ce seuil pourrait bien se révéler suffisant pour compléter la déforestation de leurs forêts tropicales !

La technologie agricole a fait l'objet d'un grand nombre d'ouvrages spécialisés sans toutefois avoir été testée empiriquement et de façon systématique. La raison est fort simple : il est difficile d'établir une variable qui représente bien l'aspect technologique en agriculture. Comment doit-on définir la technologie agricole ? Rock (1996, 117-118) la définit comme la valeur ajoutée en agriculture par hectare. Pour notre part, nous avons opté pour une variable composite créée à partir du capital physique servant à l'agriculture (elle sera définie à la section 5). Plusieurs études empiriques ont démontré que le progrès technologique conduit à l'augmentation de la déforestation tropicale (Katila

(1995) signalé dans Angelsen et Kaimowitz (1999, 91) et Rock (1996, 119)), alors que d'autres ont trouvé le contraire (Panayotou et Sungswan (1994) et Southgate (1994) signalés par Angelsen et Kaimowitz (1999, 91)). Il apparaît évident que la définition donnée à la technologie conditionne son impact sur la déforestation. Comme nous l'avons mentionné plus tôt, il s'agit néanmoins d'un champ d'intérêt primordial sur lequel on fonde beaucoup d'espoir afin de solutionner le problème de la déforestation tropicale.

L'endettement extérieur peut être particulièrement sévère dans les pays en développement. Il a donc capté l'attention de nombreux économistes. Ceux-ci ont donc cherché à évaluer l'impact de l'endettement sur la déforestation. Plusieurs études ont trouvé une corrélation positive et significative entre l'endettement extérieur et la déforestation (Kahn et Mc Donald (1994 et 1995), Rudel et Roper (1997a et 1997b)). Par contre, d'autres études n'ont trouvé aucune relation claire (Gullison et Losos (1993), Capistrano (1994)).

La raison sous-jacente est qu'une forte dette extérieure est susceptible d'encourager les décideurs politiques à promouvoir des politiques privilégiant l'exportation de ressources naturelles et la coupe des forêts tropicales afin de produire des biens agricoles et forestiers pour l'exportation. Selon Kahn et Mc Donald (1994, 59), une dette extérieure importante encouragerait les gouvernements à adopter des comportements myopes et ignoreraient les impacts à long terme sur les ressources naturelles. Par exemple, l'activité de déforestation s'accroîtrait afin de satisfaire à une demande pressante de revenus et de devises. Pour ces auteurs, les résultats empiriques de leur étude suggèrent qu'il y a une forte relation statistique entre la dette et la déforestation. Ils ajoutent toutefois que la dette n'est pas la seule variable économique, ni la plus importante, qui cause la déforestation tropicale. À l'encontre de Kahn et Mc Donald, Deacon et Murphy (1992, mentionnés par Kahn et Mc Donald, 1994, 60) suggèrent que la dette et la déforestation sont plutôt des symptômes d'un même phénomène et que la relation de causalité, à proprement parler, n'existe pas.

Rudel et Roper (1997a, 61) ont développé un modèle qui distingue les pays selon la taille de leur forêt (pays de grandes forêts et pays à forêts fragmentées). Leurs résultats empiriques ont révélé que la relation entre la dette et la déforestation des pays ayant de grandes forêts n'était pas significative. Par contre, les pays à forêts fragmentées, subissant une crise de la dette, augmentaient la production des cultures de rente. Cette dernière solution passait par une augmentation de la déforestation afin de fournir les terres nécessaires à cette production additionnelle.

Toutefois, beaucoup d'études ont démontré que le lien entre la dette et la déforestation est plutôt ténu. Il est vrai qu'une forte dette peut contribuer à la

stagnation économique. Nous pouvons toujours prolonger la réflexion et affirmer que de telles conditions poussent les plus pauvres vers les terres marginales (les forêts tropicales) et favorisent leur dégradation. Pourtant, le rôle de la dette n'a pas été isolé des autres facteurs dans ce processus contribuant à la déforestation tropicale. Sur le plan théorique, les nombreuses réflexions sur le rôle de la dette dans la déforestation sont souvent pertinentes et logiques. Mais, Gullison et Losos (1993, 142) remarquent avec justesse que les revenus reliés à l'exportation des produits forestiers sont très minimes par rapport à la dette. Dès lors, il est difficile de croire que ces revenus ont un impact important sur le service de la dette. L'augmentation de la vente de produits forestiers ne semble pas être une solution plausible au service de la dette.

À notre connaissance et à la lumière de nos lectures, la part de l'agriculture dans le PIB a été peu évaluée empiriquement et la densité animale n'a pas été testée du tout. La littérature économique a donc été avare de commentaires à leur sujet. La discussion sur ces variables sera donc un peu plus ample lors de l'analyse empirique.

4.2. Évaluation

Les principales faiblesses reprochées aux différentes études concernent les données reliées à la déforestation et la taille des échantillons utilisés pour tester les modèles économétriques. Nous ne reviendrons pas sur la qualité des données reliées à la déforestation que nous avons traitée plus tôt à la section 2. Dans le cas de la déforestation, les modèles de régression à coupe transversale impliquent toujours un problème de taille de l'échantillon, problème naturel et récurrent. La taille de l'échantillon demeure donc un problème réel car nul ne peut influencer sur le nombre de pays ayant une végétation tropicale. Dans son analyse préliminaire, Rudel (1989) a dû contraindre son échantillon à 36 pays seulement, étant donné la faible qualité des données. Pour sa part, l'échantillon de Rock (1996) ne contient que 39 pays. Or il est difficilement concevable de généraliser des résultats lorsque les modèles de régression n'atteignent pas le seuil minimum de degrés de liberté $n=40$. Les conclusions sont dès lors caduques et la généralité que ces analyses cherchent à établir est contestable. Certains auteurs, comme Palo et Lehto (1996) réussissent à contourner ce problème en utilisant des unités régionales plutôt que des entités nationales. Ils augmentent la taille de l'échantillon, mais en fragmentant les entités nationales de la sorte, ils exacerbent le problème de la qualité, de la précision et de l'uniformité des données. Ce qu'ils gagnent d'un côté (la taille de l'échantillon), ils l'abandonnent de l'autre (la qualité et la relative homogénéité des données).

D'autres critiques peuvent être émises cas par cas. Par exemple, Rudel et Roper (1997a) ont élaboré deux ensembles d'explications de la déforestation à

tester empiriquement : le premier ensemble (défini comme la théorie de la frontière) identifie les entrepreneurs, les compagnies et les petits cultivateurs comme les principaux agents de déforestation. Le second ensemble, identifié comme la théorie de l'immixtion (le fait de s'immiscer), attribue la grande part de la déforestation aux populations rurales en expansion qui n'ont aucune autre opportunité économique que d'agrandir leurs surfaces agricoles. Cette approche prise par les auteurs est quelque peu inusitée et inhabituelle par rapport à l'ensemble de la littérature économique. D'ailleurs, il n'y aura pas de suite à ce type d'analyse très spéculative et hypothétique. Ils ont aussi pallier la faiblesse des données sur la déforestation en utilisant une variable dichotomique pour évaluer les taux de déforestation. Les pays ont été catégorisés selon que leur taux de déforestation était « faible » ou « élevé ». Le taux de déforestation de 1% a servi de seuil de démarcation. L'utilisation d'un seuil de démarcation demeure arbitraire malgré qu'il serve à pallier le défaut provenant des données (surtout pour les périodes plus anciennes). Un pays dont le taux de déforestation est de 1.1% est probablement plus proche d'un pays dont le taux de déforestation est de 0.9% que d'un pays ayant un taux de déforestation de 2.5%. De même, ce choix ne constitue pas une garantie contre l'imprécision des données. Un pays dont le vrai taux est de 0.7%, mais dont le taux évalué est de 1.3% se retrouvera dans la catégorie des pays à taux de déforestation élevé plutôt que dans la catégorie des pays à faible taux.

Chez Rock (1996), la définition de certaines variables laisse perplexe. Rock utilise la proportion simple des individus pauvres (*headcount index*) pour évaluer la pauvreté rurale. Cet indice de pauvreté ne respecte pas les axiomes de monotonie et de transférabilité établis par Sen (1976). Afin d'évaluer le degré de distribution des propriétés des terres, Rock retient la part des terres agricoles détenues par les petits propriétaires. Or, cette définition surestime le degré de distribution des terres car un nombre important de ménages ruraux ne possède pas de terre. Finalement, quelques études voulant attirer l'attention sur certaines variables oublient souvent que la variable étudiée fait partie d'un ensemble plus vaste de causes qui s'influencent mutuellement.

5. Analyse empirique

5.1. Le modèle

Notre modèle de régression est un modèle de régression linéaire multiple à coupe transversale ayant comme variable dépendante le taux de déforestation annuel moyen (1990-1995) ; il sera estimé par la méthode des moindres carrés (MCO). Nous avons opté pour ce type de modèle car il est simple à utiliser et les diverses restrictions sur les données de déforestation ne permettent pas pour le moment l'élaboration de modèles très complexes. D'ailleurs la très grande majorité des modèles empiriques a eu recours à cette méthodologie. Exceptions à la règle, Rudel et Roper (1997a et 1997b) et Kahn et Mc Donald (1994 et 1995) ont utilisé un modèle des moindres carrés à deux étapes (2SLS). Jusqu'à maintenant, les modèles de séries temporelles sont écartés car les taux de déforestation sont compilés depuis peu et bon nombre d'entre eux sont approximatifs et réestimés année après année. Afin d'assurer la légitimité et la qualité de notre étude, ce type de modélisation a donc été écarté.

À l'instar de la plupart des modèles empiriques, notre modèle de régression à coupe transversale prend la forme suivante :

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij}$$

où :

y_i est le taux de déforestation annuel moyen de 1990-95 pour le pays i ($i = 1$ à n).

x_{ij} est la variable explicative j pour le pays i

β_0 est la constante

les β_j sont les coefficients des différentes variables indépendantes

$j = 1$ à 9 (en plus des huit variables explicatives, nous avons inclus une variable dichotomique selon l'appartenance à la région Asie-Pacifique dans le premier modèle, puis dans le second, un même type de variable dichotomique selon l'appartenance à la région Amérique latine et Caraïbes).

$n = 52$ (puisque l'échantillon est composé de 52 pays).

Notre modèle fait donc l'hypothèse implicite qu'il existe une structure commune à tous les pays c. à d. l'effet sur le taux de déforestation de changements de n'importe laquelle des variables indépendantes sera le même pour chacun des pays. En d'autres mots, tous les pays auront les mêmes β_0 et β_j . Ce type de modèle simple à coupe transversale est utile afin d'établir des

effets stylisés communs à l'ensemble des pays, mais il s'agit d'une hypothèse très forte. Une deuxième hypothèse indique que l'effet de la variable sur le taux de déforestation est constant (linéaire) sauf pour le PIB *per capita* car nous avons aussi inclus cette variable au carré. Voici donc les trois variantes du modèle de régression qui seront testées :

$$1) \text{txdéf} = \beta_0 + \beta_1 \text{densité} + \beta_2 \text{poprurale} + \beta_3 \text{PIBcap} + \beta_4 \text{PIBcap}^2 + \beta_5 \text{techno} + \beta_6 \text{ratiodette} + \beta_7 \text{agro} + \beta_8 \text{bétail} + \beta_9 \text{asie} + u_i$$

$$2) \text{txdéf} = \beta_0 + \beta_1 \text{densité} + \beta_2 \text{poprurale} + \beta_3 \text{PIBcap} + \beta_4 \text{PIBcap}^2 + \beta_5 \text{techno} + \beta_6 \text{ratiodette} + \beta_7 \text{agro} + \beta_8 \text{bétail} + \beta_9 \text{america} + u_i$$

$$3) \text{txdéf} = \beta_0 + \beta_1 \text{densité} + \beta_2 \text{poprurale} + \beta_3 \text{PIBcap} + \beta_4 \text{PIBcap}^2 + \beta_5 \text{techno} + \beta_6 \text{agro} + \beta_7 \text{bétail} + \beta_8 \text{asie} + u_i$$

avec :

txdéf = le taux de déforestation annuel moyen 1990-95 ;

densité = la densité de la population définie comme le nombre d'habitants par km² en 1995 ;

poprurale = le pourcentage de la population totale vivant en milieu rural en 1995 ;

PIBcap = PIB *per capita* annuel moyen 1990-95 ;

PIBcap² = PIB *per capita*² annuel moyen 1990-95 ;

techno = variable composite du capital technologique agricole du pays (composée à partir du nombre de tracteurs annuel moyen par 100 hectare de terre arable pour la période 1990-95 et du nombre de centaines de grammes de fertilisants par hectare de terre arable pour la même période ; un poids égale a été accordé aux deux éléments ; le pays de référence est le Pérou, sa variable composite a été normalisée à 100.) ;

ratiodette = le ratio dette extérieure totale/PIB annuel moyen pour la période 1990-95 ;

agro = part de l'agriculture dans le PIB annuel moyen pour la période 1990-95 ;

bétail = la densité de bétail définie comme le nombre de bovins et d'ovins par km² ;

asie = variable dichotomique valant 1 si le pays est situé dans la région Asie-Pacifique, 0 sinon ;

america = variable dichotomique valant 1 si le pays est situé dans la région Amérique latine et Caraïbes, 0 sinon.

5.2. Les données¹

Comme il a été mentionné, l'estimation de la relation entre les variables indépendantes et la déforestation est basée sur des régressions à coupe transversale d'un échantillon de 52 pays représentant les trois régions où sont présentes les forêts tropicales : l'Amérique latine et Caraïbes (15 pays), l'Afrique (25 pays) et l'Asie-Pacifique (12 pays). La liste des pays et leur taux de déforestation respectif se retrouvent en annexe, tableau 3, p 36. Les forêts tropicales ne sont pas distribuées également. Le Brésil, l'Indonésie et la République démocratique du Congo (l'ex-Zaire) détiennent conjointement 45% des forêts tropicales. Si on rajoute les forêts du Pérou, de la Colombie, de la Bolivie, du Mexique, du Venezuela et de l'Inde pour compléter le top dix, ils cumulent ensemble 60% de toutes les forêts tropicales. Les pays inclus dans notre échantillon contiennent donc approximativement plus de 87% des forêts tropicales de la planète.

La variable dépendante de déforestation est représentée dans l'étude comme le pourcentage annuel moyen de diminution de la couverture forestière pour les années 1990-95, autrement dit, le taux de déforestation annuel moyen en pourcentage pour les années 1990-95. Ces données proviennent du rapport publié par la FAO, The State of the World's Forests 1997. Hormis pour les variables de densité de population et la part de la population rurale, toutes les autres données sont des moyennes annuelles arithmétiques simples pour les années 1990-95. Pour les variables « densité de la population » et « part de la population rurale », nous avons pris les données ponctuelles de 1995. Les données pour la densité de population et la part de la population rurale proviennent du rapport The State of the World's Forests 1997 de la FAO. Les données nécessaires aux calculs des PIB *per capita*, PIB *per capita*², ratio dette extérieure totale/PIB et densité animale annuels moyens pour les années 1990-95 ont été tirées de l'Annuaire statistique de l'Organisation des Nations-Unies (45^e et 46^e éditions). Les données nécessaires au calcul de la part de l'agriculture dans le PIB annuel moyen de 1990-95 proviennent du World Development Indicators 2002 de la Banque Mondiale (sur cd-rom). Finalement, la variable composite de la technologie agricole a été créée grâce aux données recueillies dans le World Development Indicators 2003 de la Banque Mondiale (sur cd-rom).

5.3. Les résultats empiriques

Les tableaux 4 à 6 aux pages 37 à 39 de l'annexe montrent les résultats empiriques des trois modèles. Le tableau 7 (annexe, p.40) permet une vision

¹ Si le lecteur désire consulter la base de données statistiques utilisées dans cette étude, il peut contacter l'auteur à l'adresse électronique suivante : bleubarbeau@hotmail.com.

synoptique des résultats de notre étude. Les tableaux 4 à 6 présentent les coefficients estimés, leurs écarts-types et autres données statistiques (statistique t , valeur p , intervalles de confiance de 95%, le R^2 , le R^2 ajusté, etc.). Nous avons testé le modèle économétrique des trois manières telles que spécifiées. Les deux premiers modèles sont semblables, seule la variable dichotomique change : le modèle 1 contrôle pour la région Asie-Pacifique et le modèle 2 pour l'Amérique latine et Caraïbes. Le modèle 3 est similaire au premier modèle : la variable *ratiodette* n'est pas présente car elle est non significative. Comparativement au modèle 2, le modèle 1 a l'avantage de voir les variables *PIBcap* et *PIBcap*² significatives, par contre, les variables *poprurale* et *asie* ne sont pas significatives. Par rapport au modèle 1, le modèle 2 a l'avantage d'avoir un R^2 et un R^2 ajusté relativement plus élevés ($R^2 = 0.5123$ et R^2 ajusté $= 0.4078$ pour le modèle 2 et $R^2 = 0.3269$ et R^2 ajusté $= 0.1827$ pour le modèle 1) et de rendre significatives la variable *poprurale* et la variable dichotomique *america*, par contre on y perd les variables *PIBcap*, *PIBcap*², *techno* et *agro*. Les variables significatives du modèle 1 deviennent encore plus significatives dans le modèle 3 qui abandonne la variable *ratiodette* : pour une discussion sur cette dernière, nous reviendrons au modèle 1. Bien que le modèle 3 offre un R^2 et un R^2 ajusté plus faibles que le modèle 2, nous appuierons nos réflexions sur ce modèle. Nous avons dû corriger aussi pour la présence d'hétéroscédasticité dans le modèle par la méthode de Eicker-White (voir annexe, graphique 1, p.41).

La variable *densité* qui représente le nombre d'habitants par km² pour un pays est un indicateur de la pression humaine moyenne sur l'environnement dans tout le pays. La variable est statistiquement significative à 5 % (sa valeur $t = 2.43$). L'effet de la densité va dans le sens attendu : une augmentation de dix habitants par km² entraînerait l'augmentation du taux de déforestation de 0.06%. Bien qu'elle soit statistiquement significative, elle demeure toutefois économiquement très faible (le coefficient est très petit). Il faudrait une augmentation de 100 habitants par km² pour qu'il y ait un impact d'un peu plus que 0.5% ! On peut expliquer l'impact de la densité sur le taux de déforestation de la façon suivante. Le taux de déforestation peut s'accroître parce que la population augmente (et par ricochet, la densité qui est une variable de population) et que les besoins en terres agricoles, en nourriture, en bois de chauffage, en bois d'œuvre pour les habitations augmentent. Mais il ne faut pas oublier que la densité humaine peut avoir des effets directs et indirects sur la déforestation et qu'elle est fortement liée aux autres variables du système de causalité. Somme toute, dans notre modèle simplifié, la densité humaine a un impact positif et significatif sur le taux de déforestation. Dans cette perspective, la densité humaine apparaît comme une variable indépendante qui est en mesure d'expliquer la déforestation.

Les variables $PIBcap$ et $PIBcap^2$ offrent des résultats étonnants et semblent corroborer les intuitions que nous avons au départ. Les deux variables sont significatives à 5% et le sont presque à 1% ! Les signes des variables suggèrent l'existence d'une courbe environnementale inversée à la Kuznets (EKC-voir annexe, graphique 2, p.42). Le taux de déforestation augmenterait dans un premier temps avec le PIB *per capita* et diminuerait par la suite à partir d'un certain seuil. Cela suggère que l'effet d'une amélioration du PIB *per capita* et du niveau de richesse est positif à long terme. Parce que les pays deviennent plus riches, que la création d'emploi et les services dans les villes s'améliorent, cela conduit les gens à migrer vers les régions urbaines. La migration des ménages ruraux de la campagne vers les villes réduit ainsi les besoins en terres agricoles et donc les taux de déforestation. Éventuellement, la croissance des opportunités économiques alternatives, la migration vers les villes sont à ce point dynamiques, qu'elles produisent un déclin dans les taux de déforestation.

Notre point de retournement, à partir duquel la situation s'améliore, se situe approximativement à 2100\$ US par habitant. Il y a de bonnes et de mauvaises nouvelles associées à ce point tournant. Seulement dix pays de l'échantillon se classent près ou au-dessus de ce seuil. Un seul pays africain (le Botswana) et asiatique (Thaïlande) se qualifient. Par contre, la bonne nouvelle concerne les pays de la région Amérique latine et Caraïbes. Plus de la moitié des pays de cette région dans l'échantillon (8 sur 15) se situeraient près ou au-delà de ce point tournant. Malheureusement, les PIB *per capita* de nombreux pays sont très en-deçà du seuil où le taux de déforestation se contracte. Notre étude aura malgré tout démontré la présence d'une EKC, ce qui, selon nous, est leur d'espoir.

Nous aurions pensé que l'impact sur le taux de déforestation de la variable *poprurale* aurait été positif et significatif. Mais cette variable, tout comme la variable *ratiodette*, s'est avérée non significative. La théorie suggérait que plus une population est concentrée dans les campagnes, plus grand est le taux de déforestation. Pourtant, cette variable est non significative (la statistique t n'est que 0.50). Probablement qu'une partie de son effet est absorbé par la densité de la population. De plus, la variable *agro*, qui identifie la part de l'agriculture dans le PIB annuel moyen, peut aussi interagir avec cette variable. Implicitement, la variable *agro* peut représenter l'importance du monde rural. On peut émettre des doutes sur la qualité et la précision des données concernant les populations rurales. Pour des raisons économiques et de logistique il est souvent difficile d'évaluer correctement les populations rurales. De plus, les pays connaissent de nombreuses migrations internes rendant les recensements difficiles. Ces raisons pourraient être en partie responsables d'un tel résultat.

D'après le modèle 3, la variable composite de la technologie agricole, *techno*, est aussi statistiquement significative. Son coefficient est de 0.0011 (écart-type de 0.000524) et sa statistique *t*, 2.02. Encore une fois, bien qu'elle soit statistiquement significative, une simple augmentation de un point de la variable composite standardisée n'entraîne qu'une variation positive de 0.0011% du taux de déforestation. Il faudrait une augmentation de 100 points de la variable pour connaître un effet sur la déforestation relativement significatif de 0.1%. Or, cette éventualité est probable car les valeurs obtenues de la variable composite pour les pays formant l'échantillon varient de 0.80 à 1109.

Étonnamment, nous aurions cru que l'impact de la technologie agricole sur la déforestation aurait été négatif. Malheureusement pour nous, la variable composite est constituée de deux technologies aux forces antagonistes. Théoriquement, l'utilisation de fertilisants semble ralentir, voire endiguer, la déforestation puisqu'elle constitue une technologie intensive en travail et libérant la terre. Il faut consacrer plus de travail par heure pour une même surface de terre, préservant l'emploi des travailleurs sur les terres actuelles. De plus, les fertilisants permettent de produire davantage : ils permettent de produire la même quantité de biens agricoles sur une surface de terre cultivable plus petite ou de produire davantage pour une même surface de terre.

Mais notre variable technologique inclut aussi l'influence du nombre de tracteurs par hectare. Cette composante joue un rôle inverse par rapport à celui des fertilisants. Le tracteur est une technologie qui libère une grande quantité de travail. Les travailleurs libérés doivent donc assurer leur subsistance d'une autre manière. Dans les pays en développement, puisque les marchés locaux de l'emploi sont souvent peu développés ou imparfaits, ces travailleurs libérés se tournent vers une agriculture de subsistance en émigrant vers les régions forestières accélérant ainsi la déforestation. Il semble légitime toutefois de croire qu'une technologie qui augmente la productivité agricole risque fort de favoriser la déforestation puisque l'agriculteur, soucieux de son bien-être, profitera de cette amélioration afin d'augmenter sa production et/ou sa surface cultivable. La déforestation sera encore plus grande si le changement technologique libère du travail, disponible désormais pour une agriculture additionnelle.

Bien que nos résultats soient significatifs, ils ne constituent en rien le point final de la réflexion sur la technologie agricole. La complexité de la technologie comme facteur influençant la déforestation demeure entier. En effet, elle a non seulement un effet direct sur le comportement des ménages agricoles mais aussi un effet indirect d'équilibre général sur les marchés des produits, du travail et des facteurs de production et sur leurs prix respectifs.

Que l'on se réfère aux modèles 1 ou 2, la variable *ratiodette* s'est révélée invariablement non significative pour expliquer le taux de déforestation (la statistique *t* n'est respectivement que 0.38 et 0.34). Nous avons donc juger bon de l'abandonner au modèle 3.

Contrairement aux variables précédentes, les variables *agro* et *bétail* n'ont jamais connu le même niveau d'attention de la part des économistes. Nous n'avons d'ailleurs recensé que peu d'études qui traitent explicitement et empiriquement de la variable *agro* et aucune, de la variable *bétail* : ces deux variables s'avèrent somme toute secondaires. Débutons tout d'abord avec la variable *agro*. Elle représente la part de l'agriculture dans le PIB annuel moyen pour la période 1990-1995. Cette variable est significative au niveau de 5% (sa statistique $t = 2.06$). Le signe du coefficient semble corroborer l'idée qu'un pays dont l'économie est orientée vers le secteur agricole connaîtra un taux de déforestation plus élevé que les autres. Elle s'avère être la variable économiquement la plus significative. Son coefficient est petit mais relativement plus grand que les coefficients des autres variables : une augmentation de 10% de la part de l'agriculture dans le PIB entraînerait une augmentation de 0.2% du taux de déforestation. Il s'agit d'une mauvaise nouvelle en soi. Mais est-ce un scénario envisageable ? Historiquement, nous voyons un mouvement de réduction de la part du secteur agricole dans les économies. Ce phénomène a été observé et complété par la plupart des pays occidentaux et la même tendance se dessine pour les pays en développement.

L'activité agricole ne recule pas pour autant : loin de là ! Une meilleure thèse suggère que la croissance des autres secteurs est plus rapide que celle de l'agriculture. La croissance de l'agriculture peut se faire de deux manières principales : 1) en favorisant la productivité des terres agricoles actuelles (intensification) ou 2) en augmentant la superficie des terres agricoles (extensification). L'intensification est une alternative non spontanée et « organisée » et nécessite, malheureusement, des investissements énormes que ne peuvent faire la grande majorité des agriculteurs de la planète. En effet, l'utilisation de nouvelles espèces améliorées, de fertilisants et de machineries est coûteux. Elle n'est donc accessible qu'à une infime partie des agriculteurs. À l'inverse, la deuxième alternative est plus « spontanée ». Son développement est relativement hors contrôle. Elle constitue souvent l'unique solution pour l'agriculteur pauvre sans ressources. Dès lors, les terres forestières sont convoitées et servent de réservoir pour l'expansion agricole. Les pays asiatiques, hautement peuplés et conscients de cette problématique, ont donc opté pour la première méthode et investi afin de ralentir cette progression dans les forêts. Malheureusement, la croissance agricole passe principalement par la seconde voie en Amérique latine et en Afrique.

Comme nous l'avons mentionné dans la section sur les attentes théoriques, aucune analyse empirique, à notre connaissance, n'a traité l'influence des animaux de pâturage sur la déforestation. Les animaux de pâturage, bovins et ovins, contribuent dans une certaine mesure à la dégradation des forêts tropicales car ils nécessitent des terres afin de trouver plantes et graminées pour se nourrir. De plus, leurs déplacements sur ces terres (surtout vrai pour les bovins) contribuent à l'accélération de cette dégradation. Effectivement, selon Shane (1986, 4), dans son analyse socio-économique, l'élevage de bétail est souvent perçu comme l'un des éléments les plus importants dans la destruction des forêts tropicales et plus particulièrement en Amérique du Sud. Le bétail doit souvent être déplacé à cause de la perte de nutriments des zones de pâturage et du compactage des sols. On doit convertir davantage de zones forestières en nouvelles zones de pâturage afin de répondre aux besoins des animaux. Nous avons donc prévu que le fonctionnement de la densité animale s'alignerait sur celle de l'être humain. Tel n'est pas le cas. Nous voyons au contraire que l'effet de la densité animale sur la déforestation est négatif c. à d. l'augmentation d'animaux par km² contribue à réduire le taux de déforestation. L'effet est statistiquement significatif (valeur $t = -2.35$) mais économiquement peu significatif : il faut une augmentation de 100 bêtes par km² pour voir le taux de déforestation réduire de 0.1%. Les résultats auraient dû aller dans l'autre sens. L'existence d'une corrélation positive de cette nature entre la variable et le taux de déforestation est l'indice que notre variable n'évalue probablement pas l'effet des animaux comme tel. La variable *bétail* évalue probablement une autre caractéristique propre à l'élevage de bétail, par exemple, de meilleures gestions des ressources offertes. Augmenter le nombre d'animaux pour une même surface peut être le signe d'une meilleure productivité de l'élevage du bétail. Ensuite, l'élevage d'animaux de pâturage est certes un phénomène mondial, mais son importance varie selon les régions. Cette variable est pertinente pour l'Amérique latine et l'est moins pour la zone Asie-Pacifique. Le cas de l'Afrique se situe à mi-chemin entre les deux autres zones. Une variable combinée liant la région et *bétail* aurait certes été préférable.

Nous avons aussi inclus des variables dichotomiques pour vérifier l'existence de différences dans les champs économique, social, politique et physique parmi les régions affectées du monde. Il faut noter aussi que les variables dichotomiques régionales permettent de capter les motivations propres à chaque région pour la déforestation. Par exemple, nous pourrions penser que les activités principales de déforestation sont le bois de chauffage et le pâturage excessif en Afrique, l'industrie forestière en Asie-Pacifique et la conversion en terres agricoles en Amérique latine et Caraïbes. Dans les modèles 1 et 3, nous avons inclus la variable Asie-Pacifique. Cette variable n'a pas d'effet significatif sur le taux de déforestation (la statistique t associée aux modèles 1 et 3 est de -1.33 et -1.48 respectivement). Pourtant, elle aurait un impact négatif sur la

déforestation : le fait d'appartenir à la zone Asie-Pacifique permettrait de réduire le taux de déforestation de 0.5%. Par contre dans le modèle 2, les résultats sont très intéressants et statistiquement très significatifs concernant la variable *america* (la statistique *t* est de 3.30)! En plus, son impact est très grand : le fait d'appartenir à la zone Amérique latine et Caraïbes augmente le taux de déforestation de 1.3%. Comment expliquer un tel résultat ? Tout d'abord, la première raison est spécifique aux petits pays de l'Amérique centrale et des Caraïbes. Leurs forêts sont extrêmement petites et fragmentées, dès lors il devient très facile d'empiéter sur ces dernières et de les exploiter. Ensuite, de nombreux pays d'Amérique du Sud ont instauré des politiques de développement et de colonisation de l'Amazonie. Pensons notamment au Pérou et au Brésil ! En dernier lieu, les effets de la pression humaine en Amérique latine ne se font pas sentir aussi grandement qu'en Asie où des mesures politiques et économiques ont été prises afin de préserver la forêt tropicale de la destruction totale (par exemple la promotion de l'intensification et l'utilisation de nouvelles espèces végétales plus résistantes et productives). Peu de mesures ont donc été prises en ce sens en Amérique latine puisque la situation ne paraît pas urgente.

6. Conclusion

Nous avons tenté au cours de ce travail d'identifier les déterminants macroéconomiques de la déforestation tropicale. Quels sont les facteurs responsables de la déforestation tropicale au niveau global? L'utilisation d'un modèle de régression linéaire ayant le taux de déforestation annuel moyen pour les années de 1990-95 comme variable dépendante a permis d'identifier certains facteurs. La densité humaine et le PIB *per capita* sont les facteurs qui se révélèrent les plus significatifs. Une lueur d'espoir prévaut pour ce dernier ; le taux de déforestation augmente dans un premier temps puis, au-delà d'un certain seuil, la tendance s'inverse et le taux de déforestation commence à diminuer. Cet effet serait l'indice de la présence d'une courbe environnementale inversée à la Kuznets. Par contre, peu de pays se situent près ou au-dessus de ce seuil. La situation est davantage favorable pour les pays de la région Amérique latine et Caraïbes. De plus, le point tournant de 2100 \$ US peut s'avérer être un objectif difficile, voire impossible à atteindre pour de nombreux pays. Leur forêt tropicale risque de disparaître avant qu'ils n'aient atteint ce seuil! La densité humaine contribue aussi à l'augmentation du taux de déforestation. Nous ajoutons notre voix aux autres auteurs : la densité humaine est un facteur qui affecte systématiquement le taux de déforestation. Les variables de la technologie agricole, de la part de l'agriculture dans le PIB sont moins significatives, mais sont aussi positivement corrélées avec le taux de déforestation. Les variables de population rurale et de ratio dette/PIB ne semblent pas affecter le taux de déforestation. Étrangement, la variable densité de bétail avait un effet négatif sur le taux de déforestation ; ce dernier résultat laisse perplexe et s'explique très mal.

Parmi les variables macroéconomiques qui ont servi à expliquer la déforestation tropicale, la densité humaine crée une relative unanimité au sein de la communauté des économistes : elle crée une pression négative sur le forêt tropicale. Nos résultats confirment donc la tendance observée. Notre variable « population rurale » s'est avérée non significative ; nos résultats divergent des résultats de Palo (1994) et de Rudel et Roper (1997a et 1997b) pour qui cette variable avait un impact négatif et significatif sur la couverture de la forêt. La plupart des auteurs ont trouvé que l'impact du PIB *per capita* sur la déforestation était positif et linéaire. Peu d'auteurs ont démontré l'existence d'une relation non linéaire. Nous ne sommes toutefois pas les seuls à avoir observé une telle relation. Rock (1996) l'avait observé aussi. La variable de l'endettement divise les chercheurs en deux camps : ceux qui affirment qu'elle n'a pas d'impact significatif sur la déforestation et ceux qui affirment qu'elle est liée positivement à la déforestation. Nos résultats confirment la thèse des premiers tenants : l'endettement ne semble pas jouer de rôle dans la déforestation. La technologie agricole n'a pas fait l'objet de nombreuses analyses empiriques. Contrairement à Rock (1996), cette variable s'est révélée significative dans notre étude. La

variable de la production agricole confirme les résultats de la plupart de nos prédécesseurs ; elle se révèle significative et est liée positivement à la déforestation. Pour la densité animale, aucune autre analyse n'a évaluée cette variable. À ce niveau aucune comparaison n'est donc possible.

Malgré le boom qu'a connu la modélisation forestière et des nouvelles intuitions qui furent dégagées au fil des décennies, une méthodologie un peu trop restrictive et des données dont la qualité ne fait pas l'unanimité rendent les résultats des modèles empiriques en général moins convaincants. Bien qu'elle se soit améliorée, la qualité des données sur la déforestation n'est toujours pas exceptionnelle. Ces données sont toujours compilées à un niveau national et l'uniformisation des données entre les pays n'est pas encore la règle. Par exemple, plusieurs pays ont tendance à présenter des données conservatrices à propos de la déforestation pour des raisons idéologiques ou politiques. Pour le moment, aucun organisme ne chapeaute entièrement la cueillette de ces données. De plus, les variables de notre modèle doivent affecter la déforestation dans les pays de la même manière afin que le modèle produise des résultats globaux intéressants. Cette hypothèse est très forte et probablement trop restrictive. Rien n'indique que les effets des variables soient les mêmes parmi les différents pays.

Établir des liens de causalité directs et précis entre les déterminants macroéconomiques et la déforestation constitue un travail difficile et périlleux. Les variables macroéconomiques influencent les décisions des différents agents impliqués à travers des canaux très complexes et interreliés. De même, plusieurs relations sont indirectes. Dès lors, à la lumière de cet avertissement, la lecture des résultats et des effets des variables est à faire avec prudence et circonspection. Il faut le souligner et le resouligner : déterminer les causes de la déforestation à un niveau macroéconomique est intrinsèquement difficile. D'ailleurs la littérature économique est témoin de cette complexité : l'unanimité concernant les résultats laisse à désirer. Sauf pour certaines données de population, comme la densité humaine, aucun consensus n'a été obtenu sur les liens unissant les variables et la déforestation. La plupart de nos résultats furent statistiquement significatifs, mais leurs faibles coefficients, signalant des impacts réels peu significatifs, indiquent une autre faiblesse de notre modèle macroéconomique. Tout ceci, malheureusement, vient jeter de l'ombre et peut-être même une certaine forme de discrédit sur la modélisation forestière à un niveau global.

Dès lors, d'autres avenues devront être explorées à l'avenir. Ces nouvelles pistes devront fournir des résultats moins équivoques et plus convaincants que les modèles macroéconomiques. Les modèles empiriques régionaux, microéconomiques ou les études de cas devraient être privilégiés afin de régler, ou, à tout le moins, minimiser les nombreux problèmes que nous avons

mentionnés concernant le modèle macroéconomique. D'ailleurs, grâce à ces approches, nous pourrions relaxer l'hypothèse très restrictive qui impose la constance de l'effet des variables à travers l'ensemble des pays. Il faudra toutefois demeurer vigilant avec ces nombreux modèles. Nous pourrions difficilement inférer des conclusions globales à partir de résultats locaux ; ce saut pourrait être risqué et décevant. Par exemple, la coexistence de la dette et de la déforestation au Brésil n'implique pas nécessairement un lien de causalité entre les deux pour l'ensemble des pays où est présente la forêt tropicale. En effet, l'impact au Brésil ne sera pas le même que celui d'un petit pays africain ou d'un pays asiatique extrêmement peuplé. De plus, au sein même du pays, les différentes régions connaîtront des liens différents entre les variables. Les effets de la déforestation se situent bel et bien au niveau global, mais nous devons peut-être concentrer davantage nos efforts aux niveaux régionaux et locaux pour rechercher les causes et établir des liens directs entre les variables et la déforestation. Afin de mieux comprendre ce phénomène, il faudra aller davantage sur le terrain et y mener des enquêtes plus approfondies. Tout cela demande du temps, de l'énergie et de l'argent, des éléments qui font souvent défaut. Nous devons donc cesser d'observer la forêt de loin et la pénétrer plus avant afin de porter notre regard sur l'arbre lui-même.

7. Annexe

Tableau 1

Tableau-synthèse d'études antérieures : informations utilisées sur la déforestation dans les modèles empiriques

Étude	période couverte	source des données forestières	nombre de pays dans l'échantillon	méthodologie
1) Capistrano (1994)	1967-1985	FAO/UNEP	45 pays	modèle de régression multilinéaire estimé par MCO
2) Didia (1997)	1981-1985	FAO	55 pays	modèle de régression multilinéaire estimé par MCO
3) Kahn et Mc Donald (1994 et 1995)	1981-1985	FAO	68 pays	modèle de régression multilinéaire estimé par 2SLS
4) Palo (1994)	1990	FAO <u>Tropical Forest Resources-1990</u>	60 pays	matrice de corrélation entre la couverture de la forêt et les variables
5) Palo et Lehto (1996)	1953-1991	FAO/FORIS	67 pays subdivisés en 578 unités sous-nationales	modèle de régression multilinéaire estimé par MCO
6) Rock (1996)	1990	WRI (1994) basé sur les données de la FAO	39 pays	modèle de régression multilinéaire estimé par MCO
7) Rudel (1989)	1976-1980	FAO <u>Forest Assessment-1980</u>	36 pays	modèle de régression multilinéaire estimé par MCO
8) Rudel et Roper (1997a)	1976-1990	estimations des auteurs	68 pays	modèle de régression multilinéaire estimé par MCO
9) Rudel et Roper (1997b)	1980-1990	FAO <u>Forest Assessment-1990</u>	51 pays	modèle de régression multilinéaire estimé par 2SLS
10) Shafik (1994)	1962-1985	FAO	66 pays	régression de panel

Tableau 2

Tableau-synthèse des études antérieures : effets des variables sur la déforestation

Étude	Variable dépendante	Variables indépendantes et effets ^a					
		Population	Revenu	Productivité agricole	endettement extérieur	Production agricole et bétail	Autres variables
1) Capistrano (1994)	aire de la forêt coupée par l'industrie forestière (1000 m ²)	population totale positif période 2 (0.01)	PNB per capita positif périodes 2 et 3 (0.01)	NA	ratio service dette sur dette négatif période 2 (0.05)	NA	taux de déforestation réel positif période 3 (0.01)
2) Didia (1997)	déforestation (1000 ha)	NA	NA	NA	NA	NA	index du niveau de démocratie négatif (0.01)
3) Kahn et Mc Donald (1994 et 1995)	aire ayant subi de la déforestation (1000 ha)	NA	NA	NA	<ul style="list-style-type: none"> ratio service total de la dette / exportations totales positif (0.01) changement annuel dans la dette extérieure publique positif (0.05) 	NA	NA
4) Palo (1994)	couverture forestière	<ul style="list-style-type: none"> densité de la population négatif (R= -0.78) densité de la population rurale négatif (R= -0.77) 	PNB per capita négatif (-0.14)	NA	NA	<ul style="list-style-type: none"> production de nourriture per capita négatif (-0.48) 	NA
5) Palo et Lehto (1996)	couverture forestière	<ul style="list-style-type: none"> densité de la population négatif (0.01) taux de croissance de la population négatif (0.05) 	PNB per capita négatif (0.05)	NA	NA	NA	% de zone écologique humide positif (0.01)

Tableau 2 (suite)
Tableau-synthèse des études antérieures : effets des variables sur la déforestation

Étude	Variable dépendante	Variables indépendantes et effets ^a					
		Population	Revenu	Productivité agricole	endettement extérieur	Production agricole et bétail	Autres variables
6) Rock (1996)	taux de déforestation annuel moyen	taux de croissance annuel positif (0.05)	PIB per capita relation non linéaire ; positif jusqu'à un certain niveau puis négatif (0.05)	valeur ajoutée de l'agriculture non significatif	NA	NA	NA
7) Rudel (1989)	déclin de la couverture forestière	croissance de la population totale positif (0.01)	revenu per capita non significatif	NA	NA	part des exportations agricoles p/r au PNB non significatif	exportations de bois d'oeuvre non significatif
8) Rudel et Roper (1997a)	déclin de la couverture forestière	croissance de la population rurale positif (0.05)	PNB per capita négatif (0.01)	NA	dette extérieure per capita positif (0.10)	NA	production de bois d'oeuvre non significatif
9) Rudel et Roper (1997b)	déclin de la couverture forestière	densité rurale positif (0.01)	PNB per capita non significatif	NA	dette extérieure per capita non significatif	exportations agricoles en % du PIB positif (0.01)	NA
10) Shafik (1994)	taux de déforestation annuel	NA	PIB per capita non significatif	NA	dette per capita non significatif	NA	<ul style="list-style-type: none"> • taux d'investissement positif (0.01) • tarifs d'électricité négatif (0.01)

a) Les effets sont en relation avec la variable dépendante utilisée par l'auteur de l'étude. Lorsque l'effet est significatif, sont indiqués le sens de l'effet et le niveau de signification statistique entre parenthèses.

Tableau 3

Liste des 52 pays par région composant l'échantillon de l'étude et leur taux de déforestation annuel moyen pour la période 1990-1995.

Amérique latine-Caraïbes	Asie-Pacifique	Afrique
1) Bolivie : 1.2%	16) Bangladesh : 0.8%	28) Angola : 1.0%
2) Brésil : 0.5	17) Cambodge : 1.6	29) Bénin : 1.2
3) Colombie : 0.4	18) Inde : 0.0	30) Botswana : 0.5
4) Costa Rica : 3.0	19) Indonésie : 1.0	31) Burkina Faso : 0.7
5) El Salvador : 3.3	20) Laos : 1.2	32) Cameroun : 0.6
6) Équateur : 1.6	21) Malaisie : 2.4	33) Centrafricaine, République : 0.4
7) Guatemala : 2.0	22) Myanmar : 1.4	34) Chad : 0.8
8) Haïti : 3.4	23) Papouasie/Nouvelle-Guinée : 0.4	35) Congo : 0.2
9) Honduras : 2.3	24) Philippines : 3.5	36) Côte d'Ivoire : 0.6
10) Mexique : 0.9	25) Sri Lanka : 1.1	37) Congo, République démocratique du (ex-Zaire) : 0.7
11) Nicaragua : 2.5	26) Thaïlande : 2.6	38) Gambie : 0.9
12) Panama : 2.1	27) Vietnam : 1.4	39) Ghana : 1.3
13) Paraguay : 2.6		40) Guinée : 1.1
14) Pérou : 0.3		41) Kenya : 0.3
15) Venezuela : 1.1		42) Liberia : 0.6
		43) Madagascar : 0.8
		44) Mali : 1.0
		45) Mozambique : 0.7
		46) Nigeria : 0.9
		47) Sénégal : 0.7
		48) Tanzanie : 1.0
		49) Togo : 1.4
		50) Uganda : 0.9
		51) Zambie : 0.8
		52) Zimbabwe : 0.6

Tableau 4

Le modèle 1 : estimateurs robustes du modèle de régression linéaire par MCO avec variable dichotomique pour l'Asie-Pacifique

txdéf	coefficient	écart-type robuste	statistique t	P > t	intervalle de confiance de 95%
densité	0.00548**	0.00270	2.03	0.049	0.0000283 et 0.0109381
poprurale	0.00672	0.00994	0.68	0.503	-0.013341 et 0.0267744
pibcap	0.00149**	0.00063	2.37	0.022	0.0002225 et 0.002754
pibcap ²	-3.15E-07**	1.23E-07	-2.57	0.014	-5.63E-07 et -6.81E-08
techno	0.00103*	0.00052	2.00	0.052	-0.0000104 et 0.0020697
ratiodette	0.00090	0.00238	0.38	0.707	-0.0038946 et 0.0056917
agro	0.02158**	0.01045	2.06	0.045	0.0004788 et 0.0426753
bétail	-0.00141*	0.00082	-1.71	0.095	-0.0030698 et 0.0002562
asie	-0.47829	0.35970	-1.33	0.191	-1.204201 et 0.2476215
constante	-0.75510	1.14582	-0.66	0.513	-3.06745 et 1.557246

Nombre d'observations : 52

F (9, 42) : 3.83

Prob > F : 0.0013

R² : 0.3269

R² ajusté : 0.1827

- i) *** indique une signifiante statistique au niveau de 1%
 ** indique une signifiante statistique au niveau de 5%
 * indique une signifiante statistique au niveau de 10%

Tableau 5

Le modèle 2 : estimateurs robustes du modèle de régression linéaire par MCO avec variable dichotomique pour l'Amérique latine et Caraïbes

txdéf	coefficient	écart-type robuste	statistique t	P > t	intervalle de confiance de 95%
densité	0.00450*	0.00269	1.67	0.102	-0.000939 et 0.0099329
poprurale	0.02104*	0.01084	1.94	0.059	-0.0008328 et 0.0429193
pibcap	0.00066	0.00059	1.11	0.272	-0.0005347 et 0.0018498
pibcap ²	-1.54E-07	1.18E-07	-1.30	0.199	-3.91E-07 et 8.40E-08
techno	0.00085	0.00059	1.45	0.156	-0.0003356 et 0.0020295
ratiodette	0.00054	0.00161	0.34	0.739	-0.0027113 et 0.0037941
agro	0.01155	0.00726	1.59	0.119	-0.0031015 et 0.0262031
bétail	-0.00149*	0.00088	-1.69	0.098	-0.0032676 et 0.0002878
america	1.27761***	0.38773	3.30	0.002	0.4951434 et 2.060073
constante	-1.13595	1.09115	-1.04	0.304	-3.337969 et 1.06608

Nombre d'observations : 52

F (9, 42) : 5.97

Prob > F : 0.0000

R² : 0.5123

R² ajusté : 0.4078

- i) *** indique une signifiante statistique au niveau de 1%
 ** indique une signifiante statistique au niveau de 5%
 * indique une signifiante statistique au niveau de 10%

Tableau 6

Le modèle 3 : estimateurs robustes du modèle de régression linéaire par MCO, sans la variable ratiodette, avec variable dichotomique pour l'Asie-Pacifique

txdéf	coefficient	écart-type robuste	statistique t	P > t	intervalle de confiance de 95%
densité	0.00577**	0.00237	2.43	0.019	0.0009831 et 0.0105588
poprurale	0.00512	0.01080	0.50	0.617	-0.0154071 et 0.025652
pibcap	0.00132**	0.00052	2.54	0.015	0.0002733 et 0.0023737
pibcap ²	-2.88E-07***	1.08E-07	-2.67	0.011	-5.06E-07 et -7.08E-08
techno	0.00106**	0.00052	2.02	0.049	3.06 E -06 et 0.0021167
agro	0.02036**	0.00988	2.06	0.045	0.0004292 et 0.0402855
bétail	-0.00155**	0.00066	-2.35	0.024	-0.0028863 et -0.0002194
asie	-0.50838	0.34297	-1.48	0.146	-1.200035 et 0.1832745
constante	-0.40436	0.87076	-0.46	0.645	-2.160427 et 1.351701

Nombre d'observations : 52

F (8, 42) : 4.02

Prob > F : 0.0012

R² : 0.3225

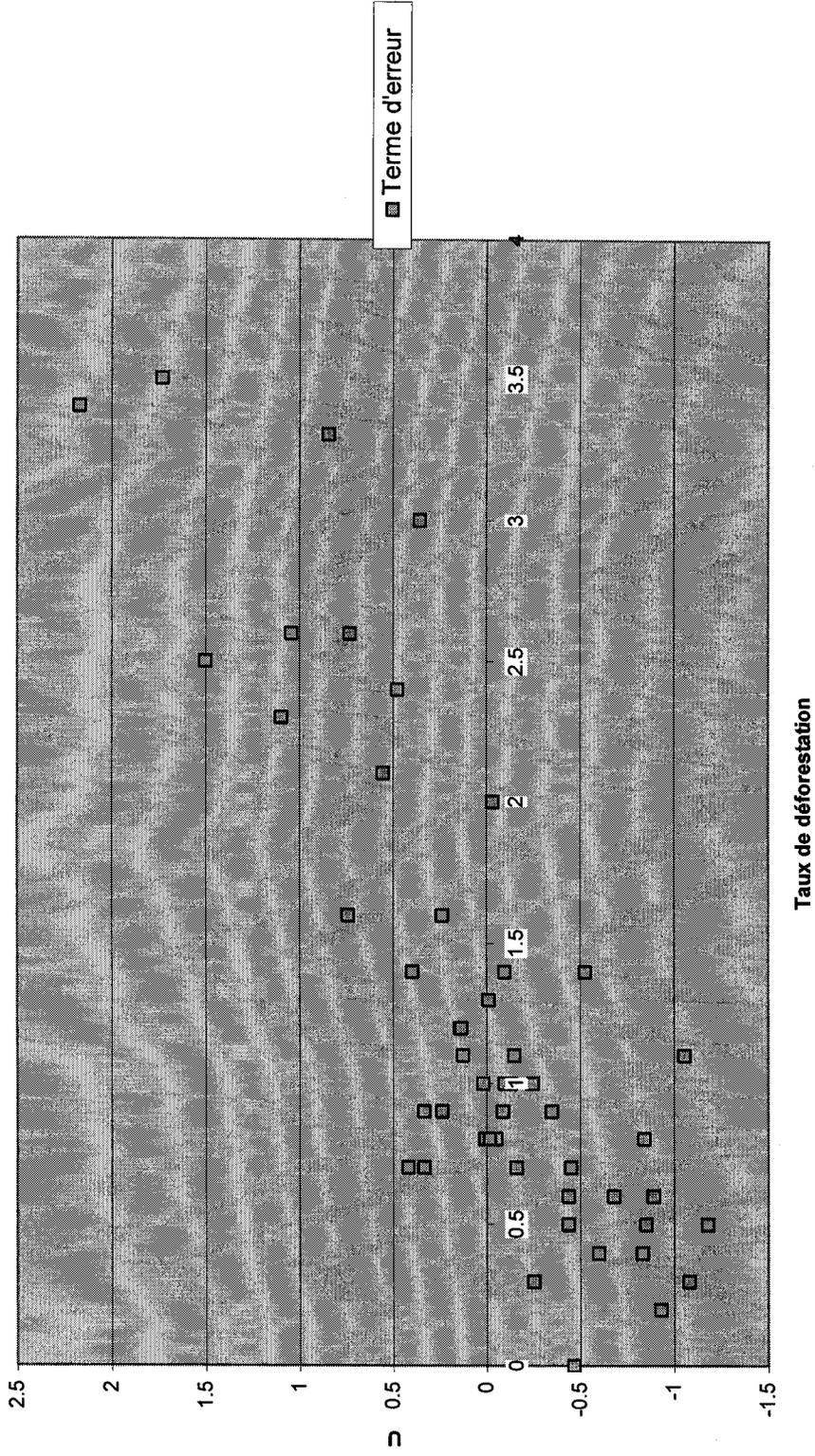
R² ajusté : 0.1964

- i) *** indique une signifiante statistique au niveau de 1%
 ** indique une signifiante statistique au niveau de 5%
 * indique une signifiante statistique au niveau de 10%

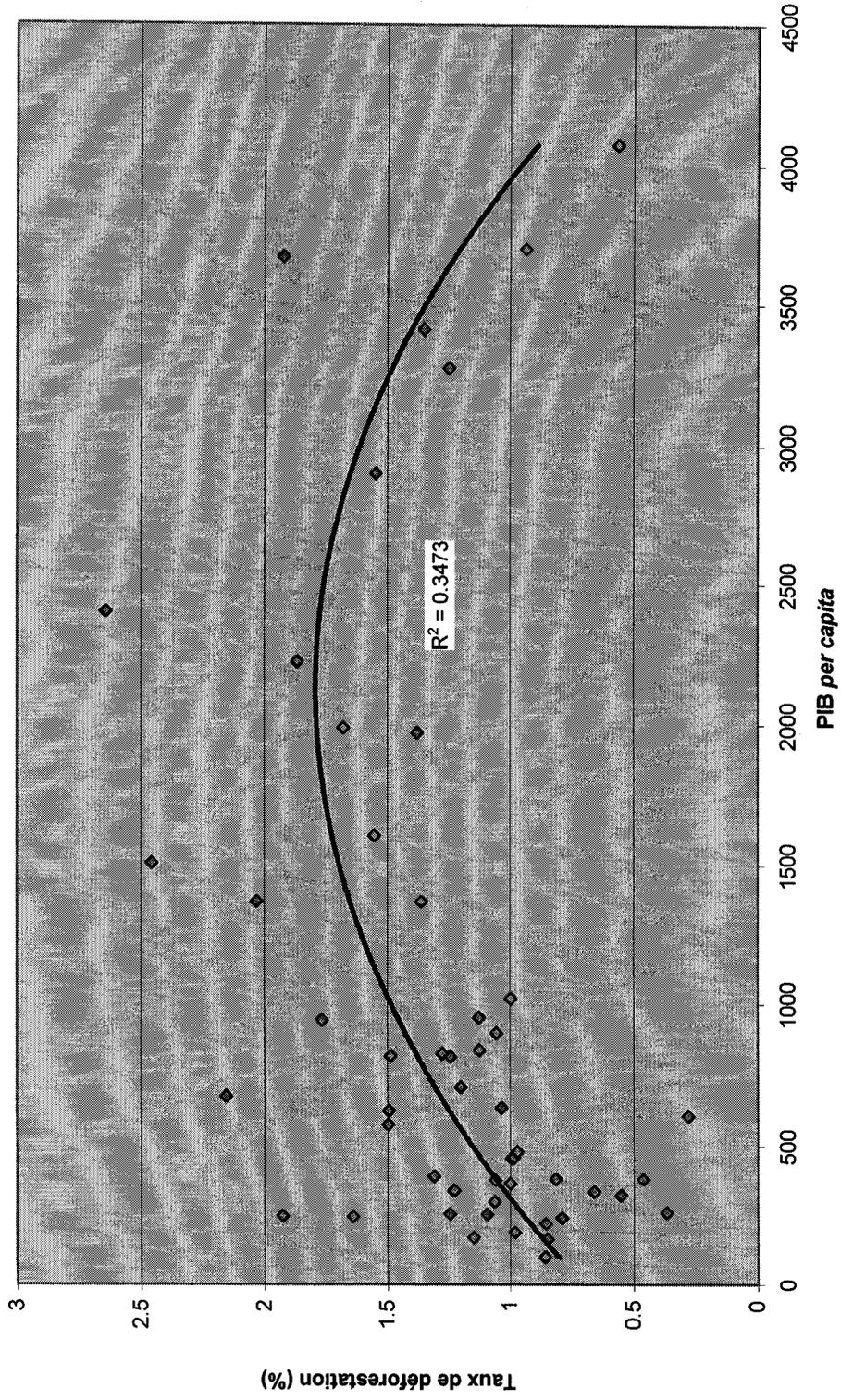
Tableau 7
Tableau synoptique des résultats de la présente analyse en rapport au taux de déforestation annuel moyen

	densité	poprurale	pibcap	pibcap ²	techno	ratiolette	agro	bétail	asie	america
Modèle 1	+ (5%)	non significatif	- (5%)	+ (5%)	+ 10%	non significatif	+ (5%)	- (10%)	non significatif	NA
Modèle 2	+ (10%)	+ (10%)	non significatif	non significatif	non significatif	non significatif	non significatif	- (10%)	NA	+ (1%)
Modèle 3	+ (5%)	non significatif	+ (5%)	- (1%)	+ (5%)	NA	+ (5%)	- (5%)	non significatif	NA

Graphique 1 :
Présence d'hétéroscédasticité dans le modèle



Graphique 2 :
Relation entre le PIB *per capita* et le taux de déforestation



8. Bibliographie

- Angelsen, A.
Kaimowitz, D. Agricultural Technologies and Tropical Deforestation,
New York, Éd. CABI, 2001, 422 p.
- Angelsen, A. et
Kaimowitz, D. « Rethinking the Causes of Deforestation : Lesson
from Economic Models » in The World Bank Research
Observer, 14 (1), 1999, pp. 73 à 98
- Angelsen, A.
Kaimowitz, D. Economic Models of Tropical Deforestation : A
Review, Bogor, Éd. CIFOR, 1998, 139 p.
- Boserup, E. Population and Technological Change, Chicago, The
University of Chicago Press, 1981, 255 p.
- Boserup, E. The Condition of Agricultural Growth, Chicago, Éd.
Aldine Publishing Company, 1965, 124 p.
- Brown, K et
Pearce, D. « Saving the World's Tropical Forests" in The Causes
of Tropical Deforestation, Vancouver, Éd. UBC Press,
1994, pp. 2 à 26.
- Capistrano, A.D. « Macro-scale Economic Influences on Tropical Forest
Depletion » in Ecological Economics, 1995, 14, pp. 21 à
29.
- Capistrano, A.D « Tropical Forest Depletion and the Changing
Macroeconomy, 1967-85" in The Causes of Tropical
Deforestation, sous la direction de D. Pearce et K.
Brown, Vancouver, UBC Press, 1994, pp. 68 à 85.
- Caviglia, J. L. et
Kahn, J.R « Diffusion of Sustainable Agriculture in the Brazilian
Tropical Rain Forest : A Discrete Choice Analysis » in
Economic Development and Cultural Change, vol. 49
(2), 2001, pp. 311 à 333.
- Deacon, R.T. "Deforestation an the Role of Law in a Cross-section
of Countries" in Land Economics, 1994, 70 (4), pp. 414-
430.

- Didia, D.O. "Democracy, Political Instability and Tropical Deforestation" in Global Environmental Change, 1997, 7(1), pp. 63 à 76.
- Gullison, R.E. et Losos, E.C. « The Role of Foreign Debt in Deforestation in Latin America" in Conservation Biology, 1993, 12 (1), pp. 140 à 147.
- FAO The State of the World's Forests - 1997, Rome, FAO, 1997, 154 pages.
- Hayami, Y. et Ruttan, V. W. Agriculture et développement, une approche internationale, Paris, Éd. INRA, 1998, 600 p.
- Kahn, J. et Mc Donald, J.A. « Third-world Debt and Tropical Deforestation" in Ecological Economics, 1995, 12, pp. 107 à 123.
- Kahn, J. et Mc Donald, J. « International Debt and Deforestation » in The Causes of Tropical Deforestation, sous la direction de D. Pearce et K., Brown Vancouver, UBC Press, 1994, pp.57 à 67.
- Koop, G. et Tole L. "Is there an Environmental Kuznets Curve for Deforestation?" in Journal of Development Economics, 58, 1999, pp.231 à 244.
- Matthews, E. et al Pilot Analysis of Global Ecosystems, Washington, Éd. World Resources Institute, 2000, 90 p.
- Myers, N. "Tropical Deforestation : Population, Poverty and Biodiversity" in The Economics and Ecology of Biodiversity Decline, sous la direction de T.M. Swanson, Cambridge, Éd. Cambridge University Press, 1995, pp. 111 à 122.
- Myers, N. The Primary Source : Tropical Forests and our Future, New York, Éd. W.W. Norton, 1984, 399 p.
- Palo, M. "Population and Deforestation" in The Causes of Tropical Deforestation, sous la direction de D. Pearce et K. Brown, Vancouver, UBC Press, 1994, pp.42 à 56.

- Palo, M. et Lehto, E. « Modeling Underlying Causes of Pantropical Deforestation” in Sustainable Forestry Challenges for Developing Countries, sous la direction de M. Palo, Pays-Bas, Éd. Kluwer Academic Publishers, 1996, pp. 27 à 61.
- Rock, M.T. “The Stork, the Plow, Rural Social Structure and Tropical Deforestation in Poor Countries?” in Ecological Economics, 1996, 18 (2), pp. 113 à 131.
- Rudel, T.K. “Population, Development, and Tropical Deforestation : a Cross-national Study” in Rural Sociology, 1989, 54 (3), pp.327 à 338.
- Rudel, T.K. et Roper, J. « The Paths to Rain Forest Destruction : Crossnational Patterns of Tropical Deforestation, 1975-90” in World Development, 1997a, 25 (1), pp.53 à 65.
- Rudel, T.K. et Roper, J. « Forest Fragmentation in the Humid Tropics : Cross-national Analysis” in Singapore Journal of Tropical Geography, 18(1), 1997b, pp. 99 à 109.
- Sen, A.K. “Poverty : an Ordinal Approach to Measurement” in Econometrica, 1976, 44, pp.219 à 231.
- Shafik, N. “Macroeconomic Causes of Deforestation : Barking up the Wrong Tree?” in The Causes of Tropical Deforestation, sous la direction de D. Pearce et K. Brown, Vancouver, UBC Press, 1994, pp. 86 à 95
- Shane, D.R. Hoofprints on the Forest, Philadelphie, Éd. Institute for the study of human issues, 1986, 159 p.
- Southgate, D. “Economic Progress and Habitat Conservation in Latin America” in The Economics and Ecology of Biodiversity Decline, Cambridge, Cambridge University Press, 1995, pp. 91 à 98.
- Uphoff, N.T. Agroecological Innovations : Increasing Food Production with Participatory Development, Londres, Éd. Earthscan Publications, 2002, 306 p.