



Convention CNRS-MATE N°3/2001 du 7 décembre 2001

**Conditions de
l'additionnalité développementale du MDP
et
rôle de l'Aide Publique au Développement**

Rapport final

Conditions de l'additionnalité développementale du MDP et rôle de l'Aide Publique au Développement

Mots-clefs Mécanisme de Développement Propre, additionalité, développement, fonction objectif des investisseurs publics et privés, Aide Publique au Développement

Thème GICC Thème 1 : scène de négociations internationales (1.1.4. Les pays en développement)

Coordinateur

Christophe de Gouvello
Chercheur associé
CIRED
Campus du Jardin tropical
45 bis., avenue de la Belle Gabrielle
94 736 Nogent-sur-Marne CEDEX
tél : 01 43 94 73 73
fax : 01 43 94 73 70
mél : gouvello@centre-cired.fr

Organisme gestionnaire des crédits CNRS / SMASH

Partenaires

CIRED (UMR CNRS 8568)/SMASH
Christophe de Gouvello (chercheur associé)
Khalil Helioui (chercheur associé)
Sandrine Mathy (chercheur associé)
Franck Nadaud (chercheur associé)
Francisco Poppe (stagiaire)

COPPE (Brésil)
Fernando Monteiro Cima
Claude Cohen
Alexandre Salem Szklo

IIMA (Inde)
Prof. P.R. Shukla (directeur département énergie)

ENDA-Dakar (Sénégal)
Secou Sarr

Résumé

L'étude menée consiste en trois évaluations méthodologiques de projets types MDP dans le secteur de la demande énergétique, pour des sources d'émissions diffuses, selon une progression spécifique : élargissement de l'échelle des projets.

L'objectif de la première étude est d'évaluer, dans le cas du Brésil, un projet MDP type visant à améliorer l'efficacité énergétique des réfrigérateurs. Pour ce faire, nous considérons un projet hypothétique selon lequel le gouvernement brésilien accorderait des remises aux réfrigérateurs sur-performants, c'est-à-dire aux équipements dont la consommation électrique est inférieure à celle du modèle standard (baseline), à hauteur de la valeur des émissions évitées. La baseline est définie de manière « prudente », en tant que technologie socialement optimale, méthode classiquement utilisée pour la détermination des standards d'efficacité énergétique. Afin de tester le projet envisagé, nous développons un modèle de simulation de la demande brésilienne de réfrigérateurs. Les résultats montrent que les distorsions des tarifs électriques, ajoutées aux contraintes financières pénalisant les ménages pauvres, peuvent être à l'origine, d'une part, d'écarts importants entre le scénario du laisser-faire et les baselines théoriques et, d'autre part, d'un taux élevé de *free-riding* ; et celui-ci apparaît d'autant plus prohibitif qu'il bénéficie principalement aux ménages les plus aisés. Ces résultats montrent les limites, pour le secteur résidentiel, d'une application abrupte des modalités du MDP, et les nécessités de l'adapter aux contraintes sociales et institutionnelles des PED par la prise en compte des barrières au développement des projets.

C'est l'approche que nous adoptons dans la seconde étude avec comme champ d'application la diffusion technologique du gaz naturel véhicule dans les transports urbains passagers à Delhi (voitures particulières et bus). L'adoption de cette technologie apparaît pour les particuliers les plus riches comme une option sans-regret (alors que la diffusion spontanée de la technologie n'est pas constatée), mais la contrainte en capital est très forte pour les compagnies de bus. La faible dotation de la ville en réseau de distribution du gaz et la multiplicité des acteurs (technologiques, institutionnels, commerciaux) apparaissent comme les principales barrières freinant la réalisation du projet. L'étude donne lieu à la caractérisation d'un projet MDP pour lequel les crédits obtenus ne sont pas versés sous forme de rabais à l'achat des véhicules, mais permettent de lever les barrières et de financer à la fois un système de

distribution du gaz et un système de contrôle des émissions et rend incitatif l'adoption de politiques et mesures domestiques (taxe sur le diesel).

La troisième étude de cas est plus ambitieuse que les deux précédentes : peut-on considérer dans le cadre du MDP la mise en œuvre de projets plus proches encore des politiques de développement telles que les politiques de développement urbain ou le financement d'infrastructures. Jusqu'alors, les deux études effectuées ne visaient pas des projets entraînant un effet rebond majeur sur la demande de service final et les calculs des réductions d'émissions pouvaient se faire par l'amélioration d'un coefficient d'efficacité énergétique à demande finale fixée. Dans la dernière étude, nous appréhendons l'effet rebond *via* les projets de maîtrise de la demande finale de transports urbains passagers. Pour être éligible au MDP, l'évaluation des gains entraînés par un tel projet pose un problème spécifique aux modélisateurs : anticiper à la fois le transfert modal et l'impact sur le niveau absolu de la demande finale de service transport. Une description des comportements selon les couches sociales de la population de Delhi montre les comportements stratégiques entre localisation résidentielles, coût et temps de transports. Ceci nous conduit à élaborer une architecture de modélisation de la demande modale de transports prenant en compte à la fois les contraintes budgétaires et temporelles des usagers qui nous montre la complexité incontournable de la mesure des réductions d'émissions pour ces projets. Alors que dans l'étude précédente, une fixation conventionnelle de la tonne évitée était possible, dans ce cas, des coûts de transaction même élevés ne permettront pas de s'abstraire d'une forte incertitude. Dans ce cas, du fait de la forte inertie, s'en tenir à la mesure stricte des réductions à l'instant t conduit à sous estimer la valeur de long terme des tonnes non émises entraînant des irréversibilités structurelles et modifiant les coûts de réduction futurs. Ceci dépasse largement la notion de projet du MDP, mais la vraie dimension qui apparaît ici est que l'on voit bien que les politiques climatiques ne sont plus séparables des politiques de développement.

Celle-ci conduirait en outre à l'exclusion des pays à faible revenu pour lesquels les investissements notamment dans les infrastructures dépendent en grande partie des financements de l'APD, alors que les grands pays, principaux récipiendaires des investissements directs étrangers, et capables de lever des ressources locales, pourraient eux inscrire le financement des infrastructures dans le MDP. Une opportunité d'articulation des politiques climatiques avec les modes de financement du développement devrait viser la couverture des risques spécifiques au financement de ces projets de manière à rétablir une homogénéité géographique et rendre plus

attractifs la venue d'investisseurs étrangers dans les pays ayant d'importants besoins en investissements.

Summary

This project assesses the Clean Development Mechanism (CDM) principles in the diffuse sectors, namely the residential and the transportation ones, through three case-studies. These case studies analyses candidate CDM project methodologies following an increasing project scale.

The first case study envisions a project targeted on the transformation of an electrical appliance market. We consider a hypothetical CDM project consisting in a rebate program where appliances supplied on the market are rebated according to carbon emission savings (as compared to baselines). The method is tested in the case of the Brazilian refrigerator market. It proves inaccurate when tariff distortions and realistic household behaviours are acknowledged. Baseline estimates are not robust and free-riding is encouraged. These results are pessimistic about CDM perspectives in the residential sector; some avenues likely to help overcoming them are suggested in conclusion, in particular the idea to extend the project perimeter beyond the market of energy-using equipment in order to include critical infrastructures and institutions.

This is what we do in the second case study on the diffusion of the natural gas vehicle in New-Delhi urban passenger transports (individual vehicles and buses). While the natural gas vehicle seems to be a potential no-regret option for high income classes (although its spontaneous diffusion is not observed), transportation companies face severe financial constraints to adopt it. The poor development of the natural gas distribution network in the city of New-Delhi and the poor coordination of the relevant actors appear to be the main barriers impeding a classical CDM project targeted on vehicle replacement. In this case study, we define a CDM project methodology where emission credits are not issued to rebate energy conserving vehicles, but to reduce energy efficiency barriers and to finance both a natural gas distribution network and an emission monitoring system in order the ensure the effectiveness of market based-instrument (i.e. a tax on diesel oil).

The third case study is more ambitious than the two preceding ones : is it possible to consider in the CDM the realisation of projects closer to development policies such as urban development policies or the financing of infrastructure ? The two other studies did not concern projects inducing a rebound effect on final demand, and the calculation of emission reductions could be done with the improvement of an energy efficiency coefficient considering final demand unchanged. In the last study, we take

account of the rebound effect with a project of demand side management in the sector of urban transportation. To be eligible in the CDM, the evaluation of the gains induced by such a project impose to be able to anticipate the modal transfer and the impact on the absolute level of final demand of transport. A description of consumer behaviour according to his level of revenue in the city of Delhi shows the arbitration between residential localisation, cost and duration of transport trips. This drives us to elaborate a framework of modelisation of transport modal demands considering both financial and temporal budgets of consumers. This shows the inescapable difficulty to measure emission reductions of such projects. While in the preceding study, a conventional fixation of the carbon ton avoided is possible, in this last case, even high transaction costs cannot escape us from a high level of uncertainty. In this case, because of a high inertia, only considering the strict measure of reductions at the instant t leads to underestimate the long term value of tons of carbon not emitted and inducing structural irreversibility and modifying future reduction costs. This goes far beyond the notion of project defined by the MDP. But, the real dimension which appears here is that climate policies and developmental policies are not separable.

Moreover, this would lead to the exclusion from the CDM of least advanced countries: their investments in infrastructures still rely heavily upon official development aid (ODA), excluding them from MDP financing, while bigger countries receive important amounts of foreign direct investment and can mobilize local resources, and could then benefit from MDP projects. An opportunity of articulation between climate policies and development financing could be that additional financing from climate policy cover part of specific risks of infrastructure projects in order to homogenize the geographic distribution of private investments, particularly to attract private investors in less advanced countries.

Introduction générale

Elément qui n'a sans doute pas été perçu par tous les négociateurs, le Mécanisme de Développement Propre (MDP) offre un renversement des priorités mettant au cœur d'un mécanisme visant à réduire les émissions de GES dans les PED, la dimension développement. Il constitue une véritable innovation et pourrait apporter une réponse à l'harmonisation entre développement et environnement recherchée depuis la Conférence de Stockholm en 1972, et l'émergence du concept de développement durable.

Cependant, jusqu'alors, la focalisation sur l'intégrité environnementale du mécanisme risque de minimiser l'impact sur le développement du mécanisme. En effet, elle renvoie à la nécessité de ne rétribuer que des réductions réelles par rapport à un scénario de référence défini comme le scénario sans projet, mais de fait inobservable. Ceci se traduit par la difficile élaboration de méthodologies pour la détermination de ces scénarios de référence. Une étude au cas par cas est bien sûr possible, mais conduirait à des coûts de transaction élevés qui pourraient exclure de ce mécanisme les pays, typiquement les pays les plus pauvres, ne disposant pas des capacités institutionnelles et techniques requises. C'est pourquoi, de manière à réduire les coûts de transaction, des méthodologies standardisant les définitions des scénarios de référence doivent être répertoriées par le Comité Exécutif du mécanisme. L'Accord de Marrakech prévoit également des procédures simplifiées pour les « petits projets ». Cependant, à ce jour, la quasi-totalité des projets présentés depuis l'année 2000 ont été rejetés ; et le volume des crédits correspondant aux projets soumissionnés (et en attente des résultats des procédures de vérification) s'est réduit à l'équivalent de 3 MtC/an, soit un montant très inférieur au potentiel théorique¹. Le risque, ici est que la standardisation ne conduise à surestimer les réductions effectives et induise un fort taux de *free riding*.

Or, en dynamique, à force de vouloir être précis à l'instant t et de ne vouloir valoriser que des tonnes réellement réduites sur la période considérée (au maximum 14 ans), nombre de projets se verront exclus car il sera trop difficile d'assurer un certain niveau de précision. On risque alors d'aboutir à un mécanisme qui effectivement ne créditera

¹ Le potentiel théorique du MDP est significatif : en 2000, l'AIE avait estimé que le volume des crédits pourrait atteindre 340 MtC/an, ce qui représente un flux de 9 milliards de dollars pour les PVD, en supposant un prix des permis de l'ordre de 25\$/tC.

que des vraies tonnes réduites, mais en faible quantité, excluant alors du mécanisme un potentiel important à des niveaux technico-économiques plus structurels, et orientant de manière irréversible les trajectoires de développement. On peut de ce point de vue penser aux secteurs à sources d'émissions diffuses pour lesquels il est impossible d'opérer des mesures et une référence précise pour chacune des sources et donc nécessaire d'élaborer des méthodologies de standardisation minimisant l'incertitude. On peut imaginer pouvoir accepter un certain risque sur la mesure, si on considère que les gains en carbone sont nettement supérieurs au niveau d'incertitude et en valent la peine du point de vue du développement.

C'est dans ce cadre que nous avons choisi d'investir les options de réductions d'émissions du côté de la demande énergétique. Dans le précédent contrat GICC, nous avons investi de secteur de l'offre, avec une étude du secteur électrique indien, pour lequel les sources d'émissions sont ponctuelles, les protocoles de mesures facilement identifiables, et les acteurs en nombre restreint. Ici, il s'agit de secteurs où les choix énergétiques dépendent des décisions d'acteurs hétérogènes (pouvoirs publics, entreprises fabriquant les équipements, ménages) non uniquement dépendant de signaux-prix, mais également de paramètres non observables. De surcroît, les barrières de marché (manque d'informations sur les performances énergétiques des équipements pour lesquels les propriétaires ne paient pas le coût réel y sont typiquement aggravées par les difficultés de coordination d'acteurs hétérogènes et aux responsabilités diffuses (Bertoldi, 1997).

Pourtant, les dépenses énergétiques pèsent de plus en plus lourdement sur les ménages pauvres, notamment depuis l'application des programmes de libéralisation des marchés de l'énergie. Les secteurs de l'habitat et des transports représentent respectivement 20% et 25% des rejets de CO₂, avec des taux de croissance très élevés. Tous ces éléments plaident pour l'existence d'un potentiel d'action significatif pour, à la fois, réduire les émissions structurelles et améliorer les performances économiques ; l'IPCC considère que 50% des émissions du secteur de l'habitat peuvent être réduites à bas coût (IPCC, 2001).

Dans la première partie du rapport, nous abordons ces secteurs par trois évaluations méthodologiques dans le secteur de la demande énergétique, selon une progression spécifique : élargissement de l'échelle des projets. A la suite du premier projet GICC, nous aurons ainsi couvert l'ensemble des projets types de réductions d'émissions dans les PED (côté offre et demande).

La première étude consiste en une application abrupte des modalités de standardisation des références et du mode de rémunération des Crédits de Réduction d'Emissions (CRE) du MDP sur le secteur résidentiel brésilien (efficacité énergétique des réfrigérateurs).

La seconde étude tente une caractérisation plus large du projet MDP de manière à ce qu'il permette par un partage et un mode d'allocation des CRE, de lever les barrières à la réalisation du projet.

Dans ces deux premières études, nous considérons qu'il n'y a pas d'effet rebond sur la demande, effet que nous prenons en compte dans la troisième étude qui vise la maîtrise de la demande de transports urbains passagers et montre les limites du MDP et la nécessité de remettre en cause la séparabilité entre politiques climatiques et modes de financement du développement.

C'est ce que nous abordons dans la seconde partie du rapport.

Première partie

I. Comment utiliser le MDP dans le secteur résidentiel : le cas des réfrigérateurs brésiliens ?

Les personnes suivantes ont participé à ce projet : Fernando Monteiro Cima¹, Claude Cohen¹, Khalil Helioui², Franck Nadaud² et Alexandre Salem Szklo¹.

¹ : Energy Planning Program, Engineering School - COPPE, Federal University of Rio de Janeiro, P.O. Box 68565, 21945-970 Rio de Janeiro, RJ, Brazil. Emails: fernandocima@ppe.ufrj.br, claudecohen@ppe.ufrj.br, szklo@ppe.ufrj.br.

² : Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement (CIRED) CNRS-EHESS, 45 bis, avenue de la Belle Gabrielle/ Jardin Tropical, 94736-Nogent-sur-Marne/ France. Emails : helioui@centre-cired.fr, nadaud@centre-cired.fr.

1.1. Introduction

L'objectif de cette étude de cas est d'évaluer, dans le cas du Brésil, un projet MDP type visant à améliorer l'efficacité énergétique des réfrigérateurs. La portée de cette étude est toutefois plus large : la problématique et les résultats ici présentés sont valables pour toutes les applications électriques utilisées dans le secteur résidentiel (éclairage, téléviseurs, air conditionné, etc.). Cette étude va ainsi nous aider à préciser dans quelle mesure le MDP pourrait contribuer à la réalisation du potentiel de réduction des émissions dans le secteur résidentiel, et de ce fait, favoriser également le progrès économique et social dans les PVD.

Nous considérons un projet MDP hypothétique visant à améliorer les performances énergétiques des réfrigérateurs à travers un programme de remise sur les équipements les plus économes. Le programme accorde une remise aux appareils dont la consommation est inférieure à un niveau de référence ; la valeur de cette remise correspond à celle des crédits d'émission anticipés. Un tel projet pourrait être soumis

par un ou plusieurs fabricants de réfrigérateurs ; il serait toutefois préférable qu'il soit présenté par le gouvernement du pays hôte de façon à ce qu'il couvre l'ensemble du marché national.

Une façon commode pour définir la baseline est d'utiliser la méthode proposée pour la définition des standards d'efficacité énergétique au Brésil (Jannuzzi, 2002). Cette méthode fixe le standard au niveau de la technologie socialement optimale. On aboutit à une baseline *a priori* restrictive, parce qu'ignorant l'existence de défaillances de marché, telles le manque d'information et les contraintes financières, empêchant les ménages de faire des choix socialement optimaux. D'un côté, cela devrait avoir pour effet de sous-estimer les crédits d'émission valides ; mais, de l'autre côté, cela devrait limiter le risque de *free-riding* qui apparaît chaque fois que l'on applique un standard uniforme à des agents aux caractéristiques hétérogènes.

Notre évaluation du projet est opérée à travers deux questions :

- la baseline proposée offre-t-elle une approximation acceptable du choix des ménages, hors programme d'incitation ?
- quel impact ce projet pourrait-il avoir sur les émissions ?

Les deux prochaines sections présentent succinctement la méthode utilisée pour répondre à ces questions ainsi que les résultats obtenus. Un exposé plus détaillé de l'approche est proposé en Annexe.

1.2. Méthodologie

La méthode d'évaluation repose sur une simulation de la demande de réfrigérateurs, avec et sans le programme MDP. Dans le scénario MDP, nous supposons que le gouvernement brésilien accorde une remise pour tout achat d'équipement sur-performant (par rapport à la baseline) ; le projet MDP envisagé couvre donc l'ensemble du pays.

Nous avons procédé en deux temps pour évaluer ce projet type. Dans un premier temps, nous avons déterminé la baseline théorique et le montant des remises. Dans un second temps, nous avons développé un modèle de choix rationnel des ménages permettant de simuler la demande brésilienne de réfrigérateurs.

Après ces étapes préalables, l'évaluation de la baseline découle de sa comparaison avec le résultat de la simulation de la demande de réfrigérateurs, dans l'hypothèse où aucun programme d'incitation à l'efficacité énergétique n'est appliqué ; l'impact du

projet MDP sur les émissions est quant à lui apprécié en comparant ce dernier scénario avec celui où les réfrigérateurs sur-performants bénéficient des crédits d'émission.

Dans les simulations, nous admettons que les problèmes d'information des ménages sont résolus par une politique appropriée d'étiquetage des performances énergétiques des équipements. On observe d'ailleurs que le Brésil a déjà lancé un tel programme, ce qui devrait progressivement encourager les fabricants à améliorer leurs équipements et à intégrer les technologies disponibles d'économies d'énergie. En revanche, nous n'avons pas de raison de supposer la disparition des contraintes financières qui continueront à peser sur les choix des ménages les moins favorisés et à expliquer le caractère socialement sous-optimal de leurs décisions.

I.2.1. Détermination des baselines et des remises

Afin de déterminer les baselines théoriques et les remises, nous devons d'abord identifier les options technologiques disponibles. Conformément à la littérature sur le sujet (Jannuzzi et al., 2002), nous considérons six options techniques, représentées par les variables C₀ à C₅ (Tableau 1). La technologie C₀ est actuellement dominante sur le marché brésilien ; les solutions C₁ à C₅ intègrent, par ordre croissant de performances, des options d'économies d'énergie ; leur coût est en conséquence plus élevé. Toutes ces technologies sont prouvées ; mais elles ne sont pas largement diffusées parce qu'elles ne sont pas compétitives aux conditions actuelles du marché.

Tableau 1. Les options techniques

| Description | | Economies d'énergie* (%) | Coûts* (R\$) |
|-------------|--|--------------------------|--------------|
| C0 | Modèle actuel | 0 | 0 |
| C1 | Intégration d'un compresseur plus efficace (Innovation 1) | 24,7 | 55 |
| C2 | Innovation 1+ augmentation de l'épaisseur de l'isolation de la porte -1.27 cm (Innovation 2) | 28,5 | 73 |
| C3 | Innovation 2 + augmentation de l'épaisseur de l'isolation des parois -1.27 cm (Innovation 3) | 42,5 | 134 |
| C4 | Innovation 3+ augmentation de l'épaisseur de l'isolation de la porte -2.54 cm (Innovation 4) | 45,3 | 150 |
| C5 | Innovation 4 + augmentation de l'épaisseur de l'isolation des parois -2.54 cm (Innovation 5) | 55,3 | 198 |

Source: Jannuzzi et al. (2002)

* : Les coûts et les économies d'énergie sont mesurés par rapport à l'option C0. Les coûts sont convertis en dollars US en utilisant un taux de change 1 US\$= 3 R\$.

La détermination des baselines théoriques se fait par le calcul du coût social de chaque option technologique. Celui-ci est ici défini par la somme actualisée, au taux de 15%, du prix du réfrigérateur en question et de son coût de fonctionnement durant sa durée de vie (16 ans). La baseline, C_b , –qui peut varier d’une région à l’autre en raison des écarts du coût de l’électricité– est déterminée en tant qu’option minimisant le coût actualisé total de l’équipement :

$$C_b = \text{Min } \sum a (CI_i + p_e E_i)$$

Avec:

Σa : somme actualisée au taux d’actualisation social a ;

CI_i : coût incremental de l’option C_i ;

p_e : coût social de l’électricité ;

E_i : consommation d’énergie annuelle avec l’option C_i .

Le calcul des baselines permet ensuite celui des remises, R_i , pour les options C_i . Celles-ci sont déterminées, pour chaque technologie sur-performante, par la somme actualisée des émissions de carbone évitées, évaluées ici au taux de 50US\$/tC² :

$$R_i = \text{Min } \sum a (\text{Max}(E_b - E_i, 0) \Phi p_c)$$

Avec:

E_b : consommation d’énergie annuelle avec la baseline ;

Φ : contenu en émissions de l’électricité ;

p_c : prix du carbone.

1.2.2. Simulation de la demande de réfrigérateurs

La représentation du comportement des ménages avec et sans incitation MDP est construite à l’aide des hypothèses suivantes.

Nous considérons cinq catégories de ménages, notées H1 à H5, classées selon leurs revenus et nous supposons que l’actuelle politique de différenciation des tarifs de l’électricité par région et par revenu est maintenue.

² Pour cette présentation, nous utilisons une valeur du carbone particulièrement élevée afin que les résultats soient plus illustratifs. Une hypothèse de prix plus réaliste, de 10US\$/tC, développée en annexe, abouti aux mêmes conclusions générales que celles du rapport principal, mais entraînant un effet d’incitation nul sur le choix des ménages.

Chaque catégorie de ménage est caractérisée par le tarif électrique qui lui est appliqué et par son taux d'actualisation implicite reflétant les contraintes financières qu'elle subit. Les ménages pauvres bénéficient de tarifs subventionnés avec des taux de subvention pouvant atteindre 50% ; en revanche, les ménages de la classe moyenne ou aisée s'aquittent de taxes implicites parfois élevées. Les taux d'actualisation implicites vont de 80% à 10%, selon la catégorie de revenu des ménages.

Tableau 2. Les catégories de ménages

| Classe % (2010) | Revenus (US\$ / mois) | Tarif Electrique* (U\$/MWh) | | | | | Taux d'actualisation |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------------|-----|------|-------------|------------------|-------------------------|
| | | Sud Est | Sud | Nord | Nord Est | Centre- Ouest | |
| HI 10 | < 140 | 40 | 36 | 33 | 32 | 35 | 80% |
| HII 20 |]140 , 350] | 68 | 60 | 56 | 54 | 60 | 40% |
| HIII 26 |]350 , 1000] | 102 | 90 | 83 | 79 | 89 | 25% |
| HIV 31 |]1000 , 1500] | 114 | 101 | 94 | 91 | 101 | 20% |
| HV 13 | 1500 < | 114 | 101 | 94 | 91 | 101 | 10% |

* : les tarifs électriques brésiliens varient d'une région selon une péréquation économique et sociale complexe

La caractérisation des ménages étant posée, leur choix technologique en matière de réfrigérateur est déterminé par la minimisation du coût actualisé de l'équipement, compte tenu du tarif appliqué à la catégorie du ménage en question, de son taux d'actualisation implicite, et de la remise carbone (uniquement dans les scénarios avec programme MDP). Formellement, cela donne :

$$C_h = \text{Min } \sum a_h (CI_i + p_h E_i - R^*_i)$$

Avec:

$\sum a_h$: somme actualisée au taux d'actualisation de la classe de ménage h ;

p_h : tarif appliqué à la classe h ;

*: dans le cas des scénarios MDP.

1.3. Résultats

L'application de la méthodologie précédente donne les résultats suivants que l'on ne présentera, pour simplifier, que pour l'année de projection 2010.

I.3.1. Baselines et remises

La Baseline minimisant le coût social est l'option C_1 . Il en résulte que les options allant de C_2 à C_5 doivent bénéficier d'une remise. La valeur de ces remises s'étalent de 1 à 7,5 US\$, montants non négligeables si on les rapporte au coût de production d'un réfrigérateur au Brésil (environ 100 US\$).

Si l'on tient compte de ces remises pour calculer l'impact théorique du programme MDP sur les émissions, c'est à dire si on cherche l'optimum social intégrant la valeur des crédits d'émission, on aboutit à l'option C_3 , soit une réduction des émissions de 18%. Il s'agit d'un potentiel théorique dans la mesure où, comme nous l'avons suggéré plus haut, les critères de décision des ménages ne coïncident pas avec les critères sociaux en raison des imperfections de marché.

I.3.2. Comportement des ménages

Les simulations du comportement des ménages montrent, d'une part, que les baselines réelles, c'est à dire le choix technologique des ménages sans MDP, diffèrent sensiblement de la baseline théorique, et, d'autre part, que l'impact du projet MDP est faible. Cela se voit bien dans le tableau 3 indiquant, à la fois, les choix de référence et ceux tenant compte des remises carbone ; dans les cases où n'apparaît qu'une seule option technologique, celle-ci indique une catégorie de ménages (dans la région indiquée en colonne) pour laquelle la baseline réelle et le choix avec incitation MDP sont confondus ; les cases contenant une option suivie d'une flèche et d'une autre option correspondent aux catégories qui répondent à l'incitation MDP par un changement d'option technique, les choix sans et avec MDP étant représentés, respectivement, à gauche et à droite de la flèche.

Tableau 3. Choix des ménages avec et sans le programme MDP

| Classe | Sud-Est | Sud | Nord | Nord-Est | Centre-Ouest |
|--------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| HI | C0 | C0 | C0 | C0 | C0 |
| HII | C0 | C0 | C0 | C0 | C0 |
| HIII | $C1 \rightarrow C3$ | C1 | C1 | C1 | C1 |
| HIV | C5 | $C3 \rightarrow C5$ | $C1 \rightarrow C3$ | $C1 \rightarrow C3$ | $C3 \rightarrow C5$ |
| HV | C5 | C5 | C5 | C5 | C5 |

Le tableau 3 montre que la baseline réelle des ménages pauvres est C_0 plutôt que l'option C_1 socialement optimale. Pour ces ménages, la méthode proposée pour la détermination des baseline est sévère, dans la mesure où elle conduit à surestimer la qualité de leur choix de référence. Mais cette méthode fait l'erreur inverse pour les ménages riches : elle sous-estime les performances énergétiques de leurs techniques de référence puisque celles-ci se situent plus souvent au niveau des options C_3 ou C_5 que C_1 .

Les écarts entre les technologies de référence observées et le benchmark théorique C_1 s'expliquent par deux facteurs : les distorsions tarifaires et les contraintes financières. Les ménages pauvres restent « bloqués » avec l'option C_0 : les subventions électriques dont ils bénéficient s'ajoutent à leur taux d'actualisation très élevé pour leur rendre inattractives les options techniques économes en énergie. De leur côté, les ménages aisés achètent des équipements sur-performants, même sans l'incitation MDP, parce qu'ils payent une électricité fortement taxée. Ces ménages bénéficient donc des remises MDP, sans qu'il y ait de contre partie en termes de réduction des émissions.

Au total, nous constatons un faible effet d'incitation du programme envisagé : il ne réduit les émissions que de 5%, au lieu des 18% théoriquement estimés. Associé aux remises inutilement accordées aux ménages aisés, ce phénomène se traduit par un taux de *free riding* très élevé (80%) : sur les 0,7 MtC de crédits d'émission annuellement distribués, seuls 0,13 MtC correspondant à de réelles réductions.

Les remises ne modifient le comportement que d'une fraction des ménages, principalement ceux de la classe HIV (environ 30% de la population brésilienne en 2010), alors qu'en théorie, c'est à dire en négligeant toutes les imperfections de marché, elles devraient modifier uniformément les choix et les faire passer de l'option de référence C_1 à C_3 .

1.4. Conclusion

Les résultats du programme MDP proposé sont peu encourageants. Cela est surprenant, en partie du moins. Ce n'est pas tant le fait que l'on ait trouvé un faible effet d'incitation qui étonne ; il est bien admis que les performances des instruments de marché sont fortement entravées par les contraintes financières ; or celles-ci ont bien été prises en compte dans nos simulations, comme nous l'avons vu ; le résultat surprenant est que l'on ait obtenu un taux élevé de *free riding* alors même que nous avons opté pour une baseline théorique, l'optimum social (hors valeur du carbone), généralement considérée comme sévère. Ce résultat est dû aux distorsions tarifaires,

qui peuvent tout à fait se justifier pour des raisons sociales, mais qui nous conduisent à reconnaître que le programme MDP envisagé ne répond aux critères d'additionalité exigés par la Convention Climatique.

On se retrouve donc de nouveau confronté à la question de départ : comment utiliser le MDP dans un secteur comme celui de l'habitat ? Avec le recul que nous donne cette étude de cas, deux approches sont envisageables :

- une première attitude serait de renoncer à l'idée d'appliquer le MDP dans l'habitat tant que les distorsions tarifaires n'y auront pas été éliminées. Une telle ligne de conduite serait toutefois fort restrictive étant donné le recours quasi-systématique aux subventions croisées auquel ont recours les PVD pour atténuer les inégalités sociales.
- une autre approche serait de raffiner la méthodologie de projet MDP, ici envisagée, en définissant deux baselines : une pour les ménages à bas ou moyens revenus, et une seconde pour les plus riches. Cela pourrait être l'option C₁, ou même C₀, pour les premiers, et C₅ pour les seconds.

L'évaluation de cette seconde option exige toutefois un examen supplémentaire :

- il reste d'abord à déterminer par quelles solutions de marketing on pourrait garantir le cloisonnement du marché en sorte que tel type de réfrigérateur soit de fait réservé à telle catégorie sociale et que les remises soient accordées de façon appropriée.
- il reste aussi à préciser les financements additionnels pour augmenter l'effet d'incitation des remises accordées aux équipements dédiés aux ménages pauvres, sans lesquels ceux-ci resteront bloqués dans leurs choix de réfrigérateurs peu coûteux à l'achat mais très énergivores.

II. Comment définir un projet MDP visant la levée des barrières : la diffusion technologique du Gaz Naturel Véhicule à Delhi ?

II.1. Introduction de l'étude

Le second projet étudié vise à encourager la diffusion technologique du gaz naturel au sein du parc d'équipement véhicules de la ville de Delhi. Il donne lieu à l'exploration d'un montage de projet visant à contourner le problème de passagers clandestins identifié dans la première étude de cas et inhérent au mode d'attribution des crédits vers les ménages dans les projets d'amélioration de l'efficacité énergétique attribués dans le cas précédent sous forme de « ristourne » à l'achat. Nous étudions pour cela un scénario de partage et de rémunération des crédits en amont du projet qui permet de lever les barrières à la réalisation du projet.

Les transports urbains passagers à Delhi montrent une forte croissance³ du taux de motorisation qui s'explique par :

- Un niveau de revenu 2 fois supérieur à la moyenne Indienne avec 19.779 Rupees annuels en prix courants (1995/96) par rapport à 9.321 Rs. en moyenne.
- Un niveau de taxation très faible et avantageux pour le diesel dans la région de Delhi (Tableau II-1). Les taxes routières pour les véhicules circulant dans le territoire de Delhi sont également très

³ Durant la période 1985-90, le taux de croissance annuel moyen du nombre de voitures à Delhi atteint le taux record de 17%. Depuis, ce taux est stable autour de 10% par an. Parallèlement, le taux de croissance du nombre de 2 roues motorisées a augmenté de 6 à 8%. Ainsi en 1997, le nombre total de véhicules motorisés à Delhi était de 2,84 millions, soit plus que la somme des véhicules motorisés des trois autres grandes villes indiennes : Mumbai (0,8 million), Calcutta (0,59 million), et Chennai (0,89 million). C'est à Delhi que le ratio du nombre d'habitants par véhicule est le plus bas de l'Inde (3), contre 17, 20, et 7 pour Mumbai, Calcutta, et Chennai respectivement (TERI, 2002). Le taux de motorisation des ménages est de 200 véhicules pour 1000 habitants, ce qui est bien plus que dans d'autres villes ou pays à niveau de revenu équivalent.

faibles (jusqu'à deux fois inférieures à celles d'autres états voisins plus pauvres).

Tableau II-1 : Comparaison du prix des carburants dans différentes villes indiennes au 31 mai 2003 (48,2Rs=1€)

| Ville | Delhi | Mumbai (Bombay) | Calcutta | Chennai (Madras) |
|---------|-------|--------------------|----------|---------------------|
| Essence | 30,30 | 35,14 | 31,81 | 33,11 |
| Diesel | 19,08 | 24,26 | 20,57 | 21,38 |

- des transports publics défaillants et l'absence d'un système de transports de grande capacité (tramway ou métro) : la flotte de bus de Delhi est très âgée. La compagnie publique, principal opérateur accumule des niveaux de pertes considérables. Depuis 1992, Delhi s'est tournée vers les opérateurs privés pour étendre et améliorer le service de bus de manière à endiguer une maintenance quasi inexistante, des coûts d'opération exponentiels, une charge salariale insupportable et un service erratique. Le service délivré est néanmoins surchargé et peu sûr⁴.
- Des niveaux de pollution locale inquiétants : selon l'Energy Information Administration (1999), Delhi serait une des dix villes dans le monde les plus polluées, pollution provenant à 72% des transports. Le véritable fléau reste le niveau de concentration de particules en suspension pour lesquelles les niveaux de concentration peuvent être jusqu'à plus de quatre fois supérieurs aux normes⁵.

C'est pour ces raisons que la Cour Suprême avait décidé en 1998 du remplacement de tous les voitures et taxis datant d'avant 1990 par de nouveaux véhicules propres d'ici à 2000, de la mise en place d'incitations financières pour le remplacement de tous les voitures et taxis datant d'après 1990, que plus aucun bus de plus de huit ans ne devait

⁴ Les transports publics constituent moins de 1% de la flotte de véhicules, mais répondent néanmoins à environ la moitié de la demande de transport.

⁵ Murty et al. (2002) ont estimé, par enquête, les disponibilités à payer des ménages à Delhi pour une réduction des émissions de particules sur la base d'un modèle de production. Ainsi, pour réduire la concentration de particules aux niveaux de la norme fixée à 200 mg/m³, chaque ménage est prêt à payer chaque année 2.085 Rs. Les gains estimés pour l'ensemble de la population de Delhi pour une telle réduction de la concentration des particules représenteraient alors 4.897 millions de Rs (101 millions €) soit 2,7% du PIB de Delhi. Selon l'Energy Information Administration (1999), les coûts de santé à Delhi du fait de la pollution seraient plus de 12 fois supérieurs à la moyenne nationale.

circuler excepté des bus propres ou fonctionnant au Gaz Naturel Véhicule (GNV) et que la flotte entière de bus urbains (compagnies publiques et privés) devait être progressivement convertie au GNV en 2001, que la capacité de distribution de gaz devait passer de 9 stations à 80 en trois ans, et enfin que des inspections systématiques et des installations de maintenance devaient être mises en place pour les véhicules commerciaux dans le plus bref délai.

La réalisation du projet a pris énormément de retard. L'état d'avancement du projet au en 2001 est donné en annexe. Des barrières freinent la réalisation de ce projet. Nous étudions donc dans quelle mesure l'inscription du projet dans le MDP est possible (résoudre les problèmes de mesure) et permet sa réalisation effective.

Les composantes que nous considérons dans ce projet MDP renvoient donc à l'utilisation du carburant GNV pour les bus publics ou privés, d'une part et pour les voitures et taxis d'autre part :

- soit les véhicules sont convertis pour fonctionner au gaz (projet conversion) ; pour cela il faut équiper le véhicule d'un kit de conversion, avec notamment installation de carburateurs pour gaz qui entraînent une perte de puissance du moteur de 20% environ.
- Soit un véhicule neuf équipé au gaz est acheté en lieu et place d'un véhicule fonctionnant avec un carburant conventionnel (diesel ou essence).

Les réductions de GES induites par chacune de ces options sont données en annexe.

II.2. Méthodologie

Ce projet consiste à réduire les émissions unitaires pour certains maillons d'un parc d'équipement. Nous ne prenons pas en compte ici les effets potentiels induits sur la demande, du fait de la modification des coûts d'utilisation au km parcouru. Nous raisonnerons donc à demande totale et modale de transport urbain donnée.

Nous identifions dans un premier temps, les barrières existantes pour la mise en œuvre de ce projet dans un scénario sans MDP, ce qui nous permet par la suite d'élaborer un projet MDP (délimitation des frontières du projet, attribution des crédits visant à lever les barrières notamment à l'adoption de politiques et mesures domestiques) de manière à maximiser l'effet levier du MDP sur la pénétration technologique du GNV, couplées à un ensemble de politiques et mesures domestiques.

II.2.1. Coût en capital : coût d'adoption de la technologie et potentiel sans regret théorique

Nous étudions la contrainte en capital sur la décision individuelle d'adoption de la technologie. Pour cela, nous pouvons écrire les fonctions objectifs de l'entité (particulier ou compagnie de bus) qui prend la décision de réalisation ou non du projet par rapport à son scénario de référence défini par le type de carburant ou de véhicule utilisé sans le projet. La fonction objectif consiste en la maximisation de la valeur actuelle nette de la décision d'adoption de la technologie pour chacun par rapport au scénario de référence. Celle-ci est constituée de la différence des bénéfices B_t et des coûts C_t du projet à chacune des périodes t prenant en compte le mode de financement de l'investissement I . La variable de contrôle est le type de technologie choisie i (soit le carburant conventionnel, soit le GNV).

$$F_{Obj} = \underset{i}{Max} VAN \left(\sum_{t=1}^N (B_t^i - C_t^i) - I_0^i \right)$$

II.2.1.1. projet achat voiture neuve au GNV

Le projet que nous considérons est l'achat d'un véhicule au gaz⁶ plutôt que d'une voiture à essence : un usager décide soit d'acheter une voiture pour la première fois, soit de remplacer son ancienne voiture arrivée en fin de vie ou bien après revente de sa voiture sur le marché de l'occasion. Son choix de voiture est déterminé par un ensemble d'options qui dépend des préférences du client (puissance, climatisations, options de confort), par des considérations techniques de consommation de carburant et enfin par le prix du véhicule et enfin par le carburant utilisé. Pour financer l'achat du véhicule, les $\frac{3}{4}$ des acheteurs indiens font appel au crédit. Celui-ci est de 12% pour l'achat de voitures.

Les bénéfices du projet sont constitués des économies en carburant :

$$\Delta(p.E) = p_{GNV} . E_{GNV} - p_{conv} . E_{conv}$$

avec p ; le prix du carburant i ($i=GNV$ ou $conv$), $conv$ désigne l'essence ou le diesel et E_i consommations de carburant i ($i=conv, GNV$).

⁶ Les rares constructeurs à avoir lancé un modèle GNV sur le marché indien sont le groupe Tata indien. Depuis peu, le modèle INDICA, premier modèle entièrement indien est disponible équipé de deux réservoirs GNV (22 et 50 litres) et d'un réservoir diesel de 5 litres. Le prix de ce modèle GNV est de 25.000 Rs de plus que le modèle standard à essence (pour donner un ordre d'idée, il faut rajouter 20.000 Rs pour avoir la climatisation). Il existe également certains modèles plus « haut de gamme ».

Les coûts sont constitués du surplus d'investissement initial lié au projet de GNV. D'autres éléments peuvent apparaître : les coûts d'assurance (*Ass*), les taxes routières (*Taxes*), les coûts de maintenance (*Main*), la différence de durée de vie entre un véhicule essence et un véhicule au gaz (*Life*). Nous considérons que celle-ci est la même que ce soit un modèle essence ou un modèle au gaz.

Dans le cas de l'achat d'un véhicule, l'investissement est financé dans presque la totalité des cas par crédit. Le financement par fond propre, *FP*, est fixé au tiers de la valeur de la voiture. Le crédit apparaît dans la fonction sous forme d'annuités de remboursement $ann(I-FP, r, T)$ à un taux d'intérêt *r* pendant *T* années.

L'actualisation se fait au taux $\rho_{privé}$ défini de manière individuelle pour chacun des agents selon leur niveau de revenu. Nous faisons l'hypothèse que les revenus élevés ont un taux d'actualisation égal à celui du marché fixé par le taux d'emprunt (12%). Pour les revenus plus bas, nous considérons des taux d'actualisation privés plus élevés, nous testons les taux d'actualisation 15 et 20% pour des revenus intermédiaires et 40% pour des revenus plus bas. Nous pourrions considérer encore des taux d'actualisation plus élevés pour les très pauvres, mais on peut également supposer que ces derniers sont trop pauvres pour s'acheter une voiture.

$$VAN = VA \left(\left[\Delta p \cdot E(p) + \Delta Taxes + \Delta Ass + \Delta Main + \Delta ann(I - FP, r, T) \right], \rho_{privé}, N \right) - FP$$

Nous étudions deux catégories de produits : une voiture bas de gamme (modèle INDICA) dont le prix essence est de 320.000 Rs et un modèle haut de gamme (500.000 Rs).

Les résultats montrent (annexe) que l'option GNV est toujours choisie pour des taux d'actualisation faibles (inférieurs à 15%) donc pour des classes de revenu élevées. Elle n'est jamais choisie pour des taux d'actualisation élevés (supérieurs à 40%). Cependant, en général, les acheteurs de modèles haut de gamme auront un taux d'actualisation plus faible que ceux qui achètent les bas de gamme. Les acheteurs de modèles bas de gamme auront plus probablement un taux d'actualisation relativement élevé, ils choisiront alors le modèle essence.

D'après les résultats, de manière non surprenante, les voitures au gaz pénétreraient plus facilement au sein des ménages aisés, puisque même s'ils accordent une grande importance aux caractères optionnels et de confort d'une voiture, la VAN de l'achat du modèle au gaz sera supérieure à celle de l'achat d'un modèle essence.

II.2.1.2. projet conversion-voiture

On ne considère dans cette catégorie que la conversion de véhicules essence. Le coût d'un kit de conversion GNV, C_{kit} , est de l'ordre de 35.000Rs. Deux modèles de kits ont été testés (bas de gamme et haut de gamme). En général, les particuliers ne feront pas appel au crédit pour financer cet investissement. N est la durée de vie résiduelle de la voiture au moment de la conversion. Les économies de carburant sur la durée de vie résiduelle du véhicule dans ce cas sont moindres que dans le cas de l'achat d'un véhicule neuf construit pour rouler au gaz. La fonction objectif de l'opération s'écrit :

$$VAN = VA \left(\left[\Delta (p \cdot E)_{t=0..N} - C_{kit} \right], \rho_{privé}, N \right)$$

Pour une durée de vie résiduelle courte, la conversion au GNV est peu probable, sauf pour un modèle haut de gamme et un taux d'actualisation du propriétaire faible. Pour des durées de vie résiduelles plus longues, la conversion se fera pour les propriétaires d'un modèle de voiture bas de gamme uniquement pour des propriétaires ayant des taux d'actualisation inférieurs à 15%. Pour les propriétaires de modèles haut de gamme, la conversion se fait beaucoup plus facilement, sauf pour ceux qui actualisent énormément

II.2.1.3. projet achat-bus privé

Une nouvelle compagnie de transport s'établit à Delhi ou décide d'augmenter la taille de sa flotte de bus. Alors, au moment de s'équiper, au lieu d'opter pour une flotte de véhicules au diesel, elle choisit des bus au GNV neufs. Les investissements font appel au crédit. Pour les compagnies de bus le taux pratiqué est de 16%. Le paiement s'effectue avec versement d'un acompte, Ac , financé sur fonds propres à hauteur de 30% de la valeur du bus et des remboursements annuels fixes d'emprunt à un taux r pendant N années. La durée de vie du bus est de T années.

Les bénéfices du projets sont constitués des économies réalisées sur les dépenses d'énergie (coût du GNV inférieur au km parcouru) et les dépenses supplémentaires par le surcoût de l'investissement. Les données utilisées sont présentées en Annexe.

$$MaxVAN = VA \left[(\Delta E(p) \cdot p - \Delta C_{ann}(\Delta(I - Ac), r, N)), \rho_{compagnie}, T \right]$$

Toutes choses identiques par ailleurs, en considérant que le surcoût d'investissement n'entraîne pas une hausse de la tarification, et dans les conditions de financement actuelles décrites plus haut, l'achat d'un bus au gaz à la place d'un bus diesel pour une compagnie privée dont l'objectif premier est de rentabiliser ses investissements, n'est pas intéressant, puisque la VAN est négative quel que soit le taux d'actualisation qu'utilise l'entreprise.

Ces résultats montrent que la diffusion ne peut se faire que difficilement dans les transports collectifs, mais n'explique pas que les décisions d'investissement des ménages ne se concentrent pas sur la technologie GNV, puisque pour certaines catégories de ménages, l'achat d'un véhicule au gaz, plutôt que d'un véhicule roulant au diesel ou à l'essence présente une fonction objectif positive. Il y a donc d'autres barrières non financières que nous allons identifier et étudier dans la section suivante.

II.2.2. Identification des autres barrières

II.2.2.1. Le réseau de distribution

La Cour Suprême avait notifié dans sa décision la construction de 80 stations services de distribution de GNV dans la Ville de Delhi. Un seul compresseur coûte 20 millions de Rs (\$400 000) et une station complète peut coûter jusqu'à 30 millions de Rs (\$600 000) incluant le coût des pipelines de distribution⁷. Le coût pour 80 stations serait alors de 2,4 milliards de Rs (\$48 millions⁸). Sans un réseau d'infrastructures complet dans la ville, la diffusion du gaz est compromise. Les bus roulant au gaz doivent à l'heure actuelle faire la queue pendant plusieurs heures, sous un soleil de plomb, pour faire le plein de leur véhicule. Ce phénomène a entraîné à Delhi un fort mouvement populaire d'opposition contre cette technologie.

II.2.2.2. Les lobbies et la mauvaise volonté du gouvernement

Ce projet décidé par la Cour Suprême est très controversé en Inde entraînant une forte résistance des lobbies pétroliers défendant le diesel « propre » (diesel à faible taux de soufre qui répond aux exigences de la norme EURO II). Ce type de diesel ne réduirait pourtant que de très peu les émissions de particules⁹. D'autre part, les producteurs d'engrais sont aujourd'hui les principaux consommateurs de gaz naturel. La diffusion

⁷ <http://www.indiaonline.com/auto/feat/lpga.html>

⁸ Le coût en infrastructures que nécessite le développement de la technologie GNV peut être comparé au coût pour le gouvernement qu'entraîne la réalisation du projet du FEM pour la mise en service de 8 bus à pile à combustible, soit \$17 millions.

⁹ Seul un moteur diesel utilisant du diesel (Ultra Low Sulfur Content - ULSD) avec un taux de soufre inférieur à 0.001% (10ppm) et équipé d'un filtre catalytique à régénération continue (CRT - catalyst regenerated trap) permettrait de réduire les émissions de particules de 50 à 80%. Cependant, cette technologie n'est pas encore commercialement disponible, le diesel vendu à Delhi possède encore un taux de soufre de 0.05% soit 50 fois ce qui permettrait au diesel d'être considéré comme un carburant propre. L'accès à cette nouvelle génération de carburant coûtera excessivement cher à l'Inde puisque seul le passage national à 0.25% de soufre demandera un investissement en unités de désulfuration de 56 milliards de Rs (\$1,1 milliard) sur huit ans.

du gaz naturel dans les transports nécessiterait d'effectuer un arbitrage pour l'allocation de la ressource et l'installation d'une capacité additionnelle d'approvisionnement de gaz naturel sur le moyen terme. Le gouvernement semble répondre positivement aux pressions de ces lobbies.

II.2.2.3. Multiplicité d'acteurs

De nombreuses agences gouvernementales sont impliquées dans la mise en oeuvre du projet. On dénombre le gouvernement central (Departments of transports, Petroleum, Environnement and Law), le gouvernement d'état (Departments of Transports, Delhi Transport Corporation, Sales tax), les fabricants de châssis (Ashok Leyland et Telcoo), les agences de certification des kits et moteurs au gaz (Automobile Research Association of India, Vehicle Research and Developement Establishment, Indian Institute of Petroleum), les fabricants de cylindres pour le GNV et le ministère des explosifs pour la certification des cylindres, et enfin les usagers (DTC, les compagnies privées de bus, les écoles, les particuliers, les rickshaws) et enfin l'Indraprastha Gas Ltd (IGL) et la Gas Authority of India pour la mise en place et la construction des infrastructures nécessaires.

Ceci constitue une barrière pour la coordination du projet et dans le cadre du MDP, pour l'attribution des crédits au pro rata de la contribution de chacun des acteurs.

A partir de cette étude de l'environnement dans lequel se déroule le projet, nous reconstruisons des fonctions objectifs prenant en compte :

- la forte contrainte en capital pour les bus ;
- la faible capacité du réseau de distribution qui entraîne des pertes de temps pour les usagers (particuliers et compagnies de bus) ;
- la nécessité d'effectuer un contrôle des émissions.

Nous allons voir dans quelle mesure, le MDP peut permettre de dépasser ces obstacles.

II.3. Caractérisation d'un projet MDP potentiel

II.3.1. Sélection de mesures

Pour chacun des types de diffusion technologique considérés dans le projet MDP (conversion voitures essence, achat voiture ou bus GNV), nous reprenons les fonctions objectif décrites dans la partie II.2.1, et sélectionnons des politiques incitatives coût-efficace pour la diffusion technologique.

II.3.1.1. Mesures visant à la conversion d'une voiture essence

Les taxes à l'importation et sur les ventes sont égales respectivement à 35% et 12% du prix de vente du kit dans le scénario de référence. Nous examinons différentes hypothèses de baisses des taxes, $\delta Taxe$, et recalculons le taux d'actualisation privé de basculement pour l'adoption de la technologie gaz.

$$VAN = VA \left(\left[\Delta(p.E)_{t=0..N} - C_{kit} (1 - \delta Taxe) \right], \rho_{privé}, N \right)$$

Les résultats sont présentés en Annexe. L'impact de ces mesures est très limité, ceci pour un coût pour le gouvernement (diminution des recettes fiscales) assez important. Nous ne retenons donc pas cette mesure dans le scénario MDP.

II.3.1.2. Mesures visant à l'achat d'une voiture neuve

Différentes valeurs de rabais du taux d'intérêt r^{MDP} pour le remboursement de l'emprunt sont étudiées pour l'achat d'une voiture au GNV. Les calculs sont détaillés en annexe.

$$VAN = VA \left(\left[\Delta p.E(p) + \Delta Taxes + \Delta Ass + \Delta Main + \Delta ann \left(I - Acc, r^{MDP}, T \right) \right], \rho_{privé}, N \right) - Acc$$

Baisser les taux d'emprunts demeurent une mesure efficace pour élargir l'accès et augmenter la pénétration de la technologie gaz, cependant ce type de mesure coûte cher pour le gouvernement. Une baisse du taux d'emprunt de 12 à 10% permet d'élargir l'adoption de la technologie même aux bas revenus, mais coûte environ 15.000Rs par véhicule acheté au gouvernement qui doit compenser les banques pour le manque à gagner. Cependant, ces mesures visant à l'achat de véhicules spécifiquement construits pour rouler au gaz sont beaucoup plus intéressantes du point de vue de la réduction des émissions de GES et d'autres polluants que les mesures visant à inciter à la conversion au GNV.

II.3.1.3. Mesures visant à l'achat d'un bus au gaz

Nous testons ici une baisse du taux d'emprunt r à r^{MDP} , ainsi qu'une subvention gouvernementale, S , sur le prix d'achat d'un bus au GNV. Les calculs sont détaillés en annexe.

$$MaxVAN = VA \left[(\Delta E(p).p - \Delta ACC ann(\Delta(I - Acc - S), r^{MDP}, N)), \rho_{compagnie}, T \right]$$

Ces mesures sont les plus importantes de l'ensemble décrit ici, car nous avons vu que la contrainte en capital est très forte pour les compagnies de bus. Une subvention sur le prix d'achat du bus et une baisse du taux d'emprunt permettent de rendre la VAN de

l'adoption de la technologie positive. Ceci coûte 220.000 Rs par bus environ au gouvernement.

II.3.2. Etude du bouclage financier du projet

Ce scénario décrit une architecture du MDP incitative à la mise en œuvre de politiques et mesures domestiques (taxe sur le diesel) et permettant de concentrer les crédits au niveau des barrières : accès au crédit (taux d'intérêts trop élevés) ou système fiscal non incitatif selon les barrières identifiées dans la partie précédente (Tableau II-2).

Tableau II-2 : Délimitation du projet MDP et politiques et mesures domestiques mises en oeuvre

| Type de projet | Conversion essence voiture | Achat voiture neuve | Achat bus |
|------------------------------|--|--------------------------|---|
| Politiques et mesures | | Baisse du taux d'emprunt | Subventions à l'achat Baisse du taux d'emprunt |
| -----Taxe sur le diesel----- | | | |
| Délimitation du projet MDP | Achat véhicules au gaz Conversion de véhicules Investissement dans les infrastructures du réseau de distribution Système de contrôle et de mesure des émissions | | |

Le projet ainsi décrit ne se limite pas uniquement au niveau des agents, mais englobe la construction des infrastructures de distribution qui seront financés dans le projet. Pour cela, nous avons vu lors de la présentation des transports à Delhi que le système de tarification des carburants était très avantageux pour le diesel. L'équilibre budgétaire pour le gouvernement du projet décrit ci-dessus est donc assuré par l'ajustement d'une variable de contrôle : le taux de taxe sur le diesel.

La contrainte budgétaire du gouvernement s'écrit pour la période considérée pour le MDP c'est-à-dire 2005-2015¹⁰ :

$$I_{Contrôle} + I_{Inf} + M_{Conversion} + M_{voiture} + M_{Bus} = T + V$$

Avec

$I_{Contrôle}$ Investissement nécessaire au programme de contrôle et de mesure

I_{Inf} Investissement en infrastructures de distribution du GNV

i i=achat bus, achat voiture, conversion

M_i Coût gouvernemental total pour le financement des mesures incitatives à l'achat ou à la conversion des véhicules

$T(gnv)$ variable de contrôle, taxe additionnelle imposée sur le diesel

Le revenu total de la taxe est constitué des taxes payées par les camions, les bus et les voitures roulant au diesel.

$$T = t.J_{diesel} = t.(L_{diesel}^{camion} + L_{diesel}^{voiture} + L_{diesel}^{bus})$$

t taux de taxe sur le diesel

L_{diesel}^j nombre de litres de diesel vendus pour le mode de transport j ($j=camions, voitures, bus$)

Le coût total des mesures est décomposé selon ses différentes composantes :

$$M_i = \sum_i mes_i \cdot gnv_i$$

mes_i coût unitaire de la mesure incitative

gnv_i nombre de véhicules au GNV

Les mes_i sont obtenus d'après les calculs effectués dans la partie précédente, et les gnv_i dérivés des deux scénarios de pénétration que nous décrivons ci-dessous¹¹.

¹⁰ Nous considérons que la durée de vie du projet MDP est de 10 ans, et qu'il donne donc lieu à une comptabilisation des crédits sur la période 2005-2015, comme ceci est prévu par l'accord de Marrakech.

¹¹ Pour calculer la pénétration de la technologie GNV, il faudrait avoir des données sur la répartition des voitures au sein de la population selon les niveaux de revenus. permettant de calculer pour chacun des agents concernés la réalisation ou non de l'adoption de la technologie GNV, par le test de la fonction objectif prenant en compte les différentes mesures décrites dans le Tableau II-2.

Nous utilisons ici des taux de pénétration exogènes des véhicules au GNV selon un scénario bas (SB) et un scénario haut (SH) (Tableau II-3), de manière à étudier l'équilibre budgétaire du projet pour le gouvernement et déterminer le niveau de la taxe à appliquer sur le diesel permettant d'assurer le bouclage financier du projet.

Tableau II-3 : pénétration du GNV pour les voitures/taxis et les bus, selon deux scénarios

| | SB | | SH | |
|----------------|---|--|---|---|
| | 2005 | 2015 | 2005 | 2015 |
| Voitures/taxis | Nombre de véhicules roulant au GNV proche de zéro | 1/3 des voitures rouleront au diesel, le reste dans le rapport 2 :1 (essence : diesel) | Nombre de véhicules roulant au GNV proche de zéro | 1/2 des voitures rouleront au diesel, le reste dans le rapport 2 :1 (essence :diesel) |
| Bus | 1/3 de bus rouleront au GNV, le reste au diesel | 70% rouleront au GNV, le reste au diesel | 1/3 des bus rouleront au GNV, le reste au diesel | 90% des bus rouleront au diesel, le reste au GNV |
| Camions | Similaire au scénario de référence | Similaire au scénario de référence | Similaire au scénario de référence | Similaire au scénario de référence |

Nous estimons, dans ces scénarios, que sur le nombre de voitures roulant au GNV, 1/3 sont des voitures ayant été converties et donc pour lesquelles, il n'y a aucune mesure supplémentaire incitative, et que les 2/3 restant sont des voitures neuves bénéficiant des mesures décrites plus haut (taux bonifié). Le scénario de référence est tiré de l'étude de R. Bose et K.S. Nesamani (2000) sur la base du modèle LEAP (Long Range Energy Alternatives Planning) développé par le Stockholm Environment Institute de Boston (SEI, 1993). Une description en est donnée en Annexe.

Ceci nous permet de calculer sur la période considérée (2005-2015), le nombre de véhicules effectivement roulant au gaz selon nos hypothèses, ainsi que le nombre de litres de diesel vendus en tenant compte des hypothèses de pénétration technologique du GNV.

Le coût d'investissement pour le programme de contrôle est fixé selon les chiffres du TERI (2001) pour le scénario bas, à 2,4 milliards de Rs (TERI, 2001), et pour le scénario haut au double.

II.3.3. Résultats

Les niveaux de taxes obtenus permettant d'opérer le bouclage financier pour le gouvernement sont présentés dans le Tableau II-4.

Tableau II-4 : taux de taxe par litre de diesel permettant d'opérer le bouclage financier du projet pour le gouvernement pour différentes valeurs du carbone.

| t_{diesel} | Scénario bas | Scénario haut |
|---------------------|--------------|---------------|
| 5\$ | 1,21 Rs/l | 2,20 Rs/l |
| 10\$ | 0,93 Rs/l | 1,71 Rs/l |
| 20\$ | 0,37 Rs/l | 0,73 Rs/l |

Les taux obtenus ne sont pas très importants : le prix d'un litre de diesel à Delhi étant de 19,08 Rs/l en mai 2003, les taux de taxe proposés constitueraient donc, pour un prix du carbone de 10\$, une hausse de 4,8% et de 9%, ce qui permettrait d'aligner le taux de taxe sur le diesel à Delhi sur celui des autres états, ceci d'autant plus que l'essence est fortement taxé.

Dans ce montage financier, les résultats montrent que le volume des CRE dégagé permet de couvrir l'investissement dans le système de contrôle et des infrastructures de distribution du GNV, le reste étant couvert par l'augmentation de la taxe sur le diesel.

Ainsi, les crédits du projet MDP, que nous avons construit de manière à inciter le gouvernement à la mise en oeuvre de politiques visant à la pénétration d'une technologie « propre », permet de financer les infrastructures ainsi qu'un système de contrôle nécessaire pour assurer l'intégrité environnemental du projet.

II.4. Conclusion de l'étude

Le problème posé ici exigeait d'entrecroiser de manière systématique :

- L'analyse du réseau technologique et des cohérences qu'il impose : développement de pipelines, construction de terminaux pour la distribution en milieu urbain du gaz naturel liquéfié;
- L'analyse du réseau d'acteurs capables de le prendre en charge : en amont, groupes gaziers nationaux du secteur, gouvernement et institutions, ainsi qu'une bonne crédibilité financière, et en fin de chaîne, les consommateurs.

C'est sur cette double modélisation et représentation du système technologique et du réseau d'acteurs qui lui est lié qu'il a été possible d'étudier les systèmes d'incitation pour favoriser l'émergence de sources de financement des infrastructures nécessaires, notamment les politiques tarifaires en accord avec les choix technologiques (système de prix relatifs des différents types de carburant).

La mesure des réductions d'émissions est rendue possible :

- parce qu'il n'y a pas d'effet rebond majeur sur la demande ;
- par le financement dans le projet d'un système de contrôle obligatoire annuel des véhiculesLe problème de passagers clandestins a été ici contourné par la mise en œuvre du projet MDP pour lequel les CRE ne sont pas versés comme dans l'étude précédente sous forme de rabais à l'achat, mais permet de lever les barrières à la mise en œuvre du projet en faisant comme hypothèse que la ville de Delhi est le seul opérateur possible de ce projet.

III. MDP et effet rebond sur la demande de service final : la maîtrise de la demande de transports urbains passagers

III.1. Introduction

L'étude précédente concernait un projet de réduction des émissions unitaires d'un parc d'équipement de véhicules. Nous raisonnions alors à demande en service énergétique final donnée, en faisant l'hypothèse simplificatrice d'un effet revenu induit par la baisse des coûts de déplacements pour les agents ayant adopté la technologie GNV, négligeable. Cette hypothèse nous a permis d'effectuer le calcul des réductions induites par le projet tout en limitant l'incertitude sur la mesure.

Or, en toute rigueur, un effet d'entraînement économique résulte d'une modification du prix qui affecte la demande pour le bien transport. De la même manière, à l'échelle d'un système de transport urbain d'une ville, dès lors que l'on considère une action sur l'un des maillons du système (modification des prix relatifs des différents modes de transports, structure des investissements en rails, routes, installations portuaires, aériennes ou maritimes), on doit prendre en compte les rétroactions sur les autres maillons et sur les niveaux absolus de la demande finale. A ce niveau, le système technologique se divise en trois compartiments (Jaccard, 1997) dont les dynamiques et les inerties sont très différentes :

- **les plans d'occupation du sol et la planification urbaine**, niveaux guidés par les décisions en matière d'infrastructures et les politiques publiques déterminant les structures urbaines, le quadrillage de bâtiments affectés à un rôle (commerces, logement, bureaux...). Ce niveau est un déterminant quasi-irréversible des besoins de transports.
- **les équipements en infrastructures de transports et industriels**, niveau qui est fortement dépendant de la structure de la décision, par exemple centralisée et/ou privée. Il concerne les investissements en structure modale. Le taux de renouvellement de ce capital se mesure en décennies, et chacune des décisions implique un volume de capital dont l'ordre de grandeur est très élevé. Excepté pour quelques industries intensives en énergie, le coût de l'énergie est un paramètre de décision mineur comparé, par exemple, aux

critères stratégiques dans l'industrie ou au rapport coût/vitesse dans le secteur des transports ;

- **les équipements de transport eux-mêmes** (les voitures avec leurs propres caractéristiques de motorisation, déterminant le rendement et le carburant) : la décision se situe cette fois au niveau de l'utilisateur lui-même, avec un taux de renouvellement de quelques années. Chaque individu peut être représenté par une fonction objectif individuelle, dont les prix de l'énergie et du service rendu ne sont pas les seuls déterminants.

Nous confrontons un projet agissant sur la demande modale de transport urbain passagers, aux modalités opérationnelles du MDP (on peut dans cette optique envisager un consortium investissant dans le rail, ou encore la mise en place d'un réseau performant de bus, avec construction de voies de bus en site propre, intégré avec les autres modes de transports). Pour être éligible au MDP, l'évaluation des gains entraînés par un tel projet doit pouvoir être réalisée. Ceci pose un problème spécifique aux modélisateurs dès lors qu'ils veulent constituer une expertise fiable, ce qui suppose de pouvoir anticiper le transfert modal entraîné par le projet et donc de modéliser la demande et les spécificités la dirigeant. Pour cela, les trajets effectués quotidiennement pour se rendre au travail, représentant pour les pays à croissance rapide comme en Asie, la part la plus importante des trajets motorisés (Schipper, 1999), nous tentons ici d'identifier les déterminants modaux de cette composante de la demande. Une étude des comportements stratégiques de la population de Delhi entre localisation résidentielle et coût et temps de transports, contraintes temporelles sur la réalisation des activités autres que le travail, nous conduit à effectuer une architecture de modélisation des choix modaux.

III.2. Méthodologie

III.2.1. Formation de la demande transports urbains passagers : arbitrage entre localisation résidentielle et minimisation du temps de transport

Schaffer (2001) a mené une analyse de séries temporelles sur le temps accordé aux différentes activités quotidiennes dans les pays riches et les PED. La décomposition du temps de transport en nombre de trajets par jour et distance moyenne par trajet montre, qu'alors que le nombre de trajets domicile/travail par jour est stable, la distance domicile/travail parcourue augmente légèrement. Une étude plus fine des tendances révèle néanmoins que l'augmentation de la distance domicile/travail parcourue s'accompagne d'une augmentation du temps de transport dans presque tous les pays.

Ceci remet en cause l'hypothèse de constance d'un budget temps de transport émise par Zahavi (1980). Ainsi, l'allongement de la distance ne pourrait entièrement être compensée par le recours à des technologies plus rapides.

L'augmentation de la durée moyenne de transport pour se rendre au travail contredit la croyance largement répandue selon laquelle l'augmentation de la distance serait entièrement compensée par les changements d'usage du sol (Levinson et Lumar, 1994 ; Kenworthy et Laube, 1999). Cependant, cette tendance observée dans les pays industrialisés n'est pas constatée de la même manière dans les PED. Ainsi, dans les banlieues de pays à faible revenu, ou dans les villes à forte densité de population, les résidents doivent faire face à de nombreuses contraintes sur leur lieu de résidence en fonction de la desserte en réseaux de transport et du lieu de travail. Se dégage l'image selon laquelle, les pauvres vont chercher à minimiser à tout prix le coût de transport, tout en conservant un temps de transport compatible avec la réalisation de leur activité. Se développent ainsi pour les plus pauvres des bidonvilles, et des formes d'habitats informels et illégaux dans des conditions sanitaires déplorables¹². Les plus riches pourront choisir leur lieu d'habitation en fonction de paramètres de bien-être (environnement, espace) le plus souvent en périphérie créant ainsi une forte dépendance envers les véhicules individuels motorisés. Une description détaillée selon les niveaux de revenu des classes de population est donnée en Annexe. On voit bien ici l'arbitrage au sein des activités auquel donne lieu le temps de transport : le transport sera en priorité affecté au travail, le résidu temporel, s'il existe une fois déduites les activités primordiales, sera accordé à d'autres activités (loisirs...).

Il apparaît ainsi pertinent de considérer le temps comme une ressource disponible en quantité limitée et dont la répartition pour chacune des activités donne lieu à des arbitrages selon les nécessités de chacun. Pour mieux comprendre les comportements dans le secteur des transports des individus, et les arbitrages auxquels il doit faire face (travail/loisirs, travail/transports), nous décidons donc de revenir au niveau microéconomique où l'individu maximise son utilité sous contraintes. Pour cela nous devons intégrer la dimension temps dans la représentation des décisions de l'agent.

¹² Des estimations (Tiwari, 1999) montrent que 77% de la population totale de Delhi vivent dans des habitats marginalisés et dans des conditions ne respectant pas les normes sanitaires les plus basiques. Deux tiers de ces habitations n'ont pas accès à l'eau municipale, ni aux égouts. La majorité des personnes vivant dans ces « squats » sont des travailleurs journaliers, gagnant moins de 2.000 Rs par mois (~45€) et se déplaçant à pied ou à vélo. Pour les 28% les plus pauvres de la ville qui gagnent moins de 2.000 Rs, un ticket de bus entre 8 et 10 Rs signifie qu'ils dépensent environ 25% de leur salaire pour le transport, coût de fait inabordable.

III.2.2. Méthodologie : une architecture de modélisation

III.2.2.1. L'introduction du temps dans la fonction d'utilité du consommateur

Becker (1965) fut le premier à introduire le temps dans la fonction d'utilité : l'agent répartit son temps et les marchandises qu'il achète, entre différentes activités qui lui permettent de produire des biens et services personnels finaux, seuls sources d'utilité. Une valeur du temps unique est déterminée, l'agent égalisant les taux marginaux de substitution entre ressources temporelles et matérielles utilisées pour chaque activité. Le temps peut être converti en biens en utilisant moins de temps pour la consommation et plus de travail. Dans la formulation de Becker, lorsque le revenu augmente, la baisse relative de l'utilité marginale incite les membres du ménage à conserver du temps et dépenser plus d'argent sur des biens ou services qui permettent d'économiser du temps. Si les transports sont vus comme un facteur dont le prix baisse (réduction du temps de transport du fait de l'augmentation de l'offre), alors une plus grande quantité de ce facteur (transports) sera utilisée pour produire. Enfin, d'importantes restrictions apparaissent dans le modèle, comme le fait de ne pas assigner un temps à la consommation de chaque bien.

L'analyse s'est alors affinée pour mieux saisir la relation que l'individu entretient avec le temps : l'utilité ressentie par le consommateur dépend non seulement des biens qu'il consomme mais aussi du temps qu'il y consacre. Pour prendre des exemples dans le domaine des transports, le temps de transport n'est pas apprécié de la même manière selon que l'on est debout et serré, ou confortablement assis avec la possibilité de déjeuner ou de travailler.

En 1971, De Serpa propose un modèle qui permet de dépasser les limitations du modèle de Becker. Il considère que tant le temps nécessaire à la consommation des biens, que la quantité de biens qui en est consommée affecte l'utilité. Un temps est donc assigné à chaque bien. Ceci permet d'introduire à la fois une contrainte sur les dépenses et une contrainte temporelle : la somme totale des durées allouées à chaque activité ne peut dépasser le temps total disponible. La quantité de temps allouée à une activité est tant un problème de choix qu'un problème de nécessité. Pour chacun des biens, un temps minimum de consommation proportionnel à la quantité consommée est nécessaire.

Dans le modèle de Becker, le concept développé est celui de prix implicite et de coût d'opportunité du temps qui est uniforme pour toutes les activités et circonstances du fait du caractère homogène et parfaitement divisible du temps en tant que ressource

disponible en quantité limitée ; à l'opposé le travail de De Serpa considère la théorie de l'allocation du temps dans un contexte de choix discret, où la valeur du temps diffère d'un prix implicite uniforme.

III.3. Architecture de modélisation

Nous reprenons la formalisation établie par Jara-Diaz (1998). Nous développons un modèle microéconomique assignant aux activités une valeur de temps selon l'architecture développée par De Serpa (1971), et nous en dérivons un modèle de choix discret pour les transports. Notre objectif est de confronter par la suite cette représentation avec des données pour la ville de Delhi.

III.3.1. Le modèle d'activité - production

Selon le modèle de De Serpa (1971), on définit une fonction d'utilité, fonction des biens consommés X et du vecteur de temps $T=[t_1, \dots, t_n]$ passé dans chacune des activités.

$$\text{Max } U(X, T) \quad (1)$$

La contrainte budgétaire prend en compte un revenu salarial à un taux de salaire w , pour une durée de travail t_w , le coût de transport, c_i .

$$I_f + wt_w - P \cdot X - c_i \geq 0 \quad [\lambda] \quad (2)$$

Le temps total accordé à toutes les activités considérées est contraint par τ .

$$\tau - \sum_{i=1}^n t_i = 0 \quad [\mu] \quad (3)$$

La réalisation de chacune des activités nécessite un temps minimum :

$$t_i - h_i(X) \geq 0 \quad [k_i] \quad \forall i \neq R, W_f \quad (4)$$

$$t_j - t_j^{MIN} \geq 0 \quad [k_j] \quad j = R, W_f \quad (5)$$

λ, μ, k_i sont les multiplicateurs de Lagrange associés à chacune de ces équations.

Nous pouvons tirer de ces équations :

$$\frac{k_i}{\lambda} = \frac{\mu}{\lambda} - \frac{\partial U / \partial t_i}{\lambda} = w + \frac{\partial U / \partial t_w}{\lambda} - \frac{\partial U / \partial t_i}{\lambda} \quad (6)$$

k_i/λ : taux marginal de substitution entre le temps de l'activité i et le revenu ;

μ/λ : valeur du temps comme ressource ;

$(\partial U / \partial t_i) / \lambda$: valeur marginale du temps pour l'activité i .

On retrouve comme dans le modèle de Becker, une valeur commune à toutes les activités qui désigne la valeur du temps en tant que ressource, et correspond au taux marginal de substitution entre le temps et le revenu μ / λ ; la seconde composante renvoie à la valeur du temps dans une activité donnée i donnée par le taux de substitution entre cette activité et le revenu dans la fonction d'utilité $\frac{\partial U_i / \partial T_i}{\lambda}$. On distingue deux types d'activités :

- les activités de loisirs où la contrainte associée au minimum de temps nécessaire à cette activité n'est pas contraignante $T_i > T_i^{MIN}$, alors la variable duale associée à la contrainte est nulle ($k_i = 0$), et la valeur du temps de cette activité est égale à μ / λ . Dans ce cas, nous avons l'égalité qui caractérise les biens de loisirs : $\mu / \lambda = (\partial U / \partial t_i) / \lambda$, et il n'y a pas de réallocation de temps entre les activités ;
- les activités où l'on ne souhaite pas passer plus de temps que nécessaire, c'est à dire que la contrainte est effective : $T_i = T_i^{MIN}$, comme pour un trajet quotidien en transports pour se rendre au travail. Dans ce cas, on définit la valeur d'une économie de temps dans cette activité, associée au relâchement de la contrainte spécifique à cette activité $(\partial U / \partial t_i) / \lambda a$, cette valeur varie d'une activité à l'autre et est égale Ψ_i / λ . On remarque que la valeur du temps de loisir économisé est nulle ($k_i = 0$). Par contre, lorsque le temps consacré à la consommation un certain bien est plus grand que ce que le consommateur voudrait, le transfert de temps d'une unité de ce bien vers un bien de loisirs augmenterait le niveau d'utilité du consommateur. Dans ce cas, Ψ_i / λ sera la valeur des économies de temps de l'activité transférées à la consommation d'une activité de loisirs. Ceci est ce qui est généralement perçu par le concept de valeur du temps dans les transports.

Nous rappelons également que pour les activités auxquelles sont assignées plus de temps que le temps minimum nécessaire, donc pour les activités de loisir, la valeur du temps est égale uniformément à μ / λ . Nous remarquons dans l'équation (6) que μ / λ est également égal à la valeur totale du travail, qui se compose du salaire et de la valeur de l'utilité marginale du travail. Ainsi la valeur du temps économisé dans une activité contrainte ($k_i \neq 0$) est égale à la valeur du temps de loisirs (ou de travail) moins la valeur de son utilité marginale (présumée négative).

III.3.2. Le modèle d'activité et transport

Nous considérons une fonction d'utilité Cobb-Douglas.

$$MaxU = \Omega T_w^{\theta_w} T_t^{\theta_t} \prod_{i \in I} T_i^{\theta_i} \prod_{k \in K} X_k^{\eta_k} \quad (7)$$

Les contraintes s'écrivent :

$$w \cdot t_w - \sum_{k \in K} P_k X_k - c_t \geq 0 \quad [\lambda] \quad (8)$$

$$\tau - t_w - t_t - \sum_{i \in I} t_i = 0 \quad [\mu] \quad (9)$$

$$t_t - t_t^{MIN} \geq 0 \quad [k] \quad (10)$$

θ_i et η_k sont les paramètres correspondant respectivement aux activités et aux biens, Ω est une constante, w le taux de salaire, et c_t le coût du transport. I est l'ensemble de toutes les activités sauf le transport et le travail, K est l'ensemble de tous les biens. L'indice t désigne les trajets pour se rendre au travail. Nous considérons que chacun choisit librement le temps qu'il accorde au travail. Les conditions du premier ordre peuvent être obtenues pour les biens, le transport, le travail et les autres activités :

$$\partial U / \partial t_i = \mu = (\theta_i / t_i) U \quad \forall i \neq W, t \quad (11)$$

$$(\partial U / \partial t_w) + \lambda w - \mu = (\theta_w / t_w) U + \lambda w - \mu = 0 \quad (12)$$

$$\partial U / \partial t_t - \mu + k_t = (\theta_t / t_t) U - \mu + k_t = 0 \quad (13)$$

$$(\partial U / \partial X_k) + \lambda P_k = (\theta_k / X_k) U - \lambda P_k = 0 \quad \forall k \quad (14)$$

$$(t_t - t_t^{MIN}) \cdot k_t = 0 \quad (15)$$

III.3.2.1. Calcul de la valeur d'économie du temps de transport (VETT) pour chaque classe de revenu et chaque mode

Si nous considérons le cas particulier du transport, la valeur du temps dans les transports VETT ou k_t/λ , correspond exactement au ratio entre les utilités marginales du temps et du coût qui doivent être estimées à part du modèle utilitaire, par un modèle de choix modal discret. Cette propriété provient du fait que l'utilité modale est une fonction de l'utilité indirecte conditionnée au modèle décrit ci-dessus (1)-(6). Cet aspect a été développé par Truong et Hensher (1985). De manière explicite, le modèle activité-consommation peut être résolu pour T^* et X^* , fonction des paramètres de la fonction d'utilité, le taux de salaire, les coûts de transport, la valeur du temps de transport et toutes les autres variables exogènes. Ces fonctions qui sont des demandes conditionnelles pour les biens et les activités, peuvent être réinjectées dans la fonction d'utilité. Nous obtenons alors pour chaque mode $U(T^*, X^*)$ qui est la fonction d'utilité indirecte généralement nommée utilité modale commandant le choix modal. L'individu choisira le mode lui apportant la plus grande utilité modale.

Les paramètres sont les T_w, T_b, T, c_t, P_k et w , alors que les variables de contrôle sont les T_b et X_k .

D'après le modèle d'activité-production, les équations peuvent être résolues de manière conditionnelle par rapport au choix discret du mode de transport choisi pour le trajet j pour se rendre au travail. On obtient une solution conditionnelle pour les vecteurs biens X^{j*} et les vecteurs activités T^{j*} .

$$T^{j*} = T^{j*} \left(T_w, T_t^j, \tau - T_w - T_t^j, wT_w - c_t^j \right) \quad (16)$$

$$X^{j*} = X^{j*} \left(T_w, T_t^j, \tau - T_w - T_t^j, wT_w - c_t^j \right) \quad (17)$$

Lorsque l'on réinjecte dans U ces solutions pour le mode j , on obtient une fonction d'utilité indirecte conditionnelle.

$$U^j \left(T_w, T_t^j, \left(T_t^{j*} \right)_{t \in I}, \left(X_k^{j*} \right)_{k \in K} \right) = V^j \left(T_w, T_t^j, \tau - T_w - T_t^j, wT_w - c_t^j \right) \quad (18)$$

Celle-ci représente l'utilité modale, et fournit l'architecture permettant d'estimer le modèle de choix discret pour les trajets sur le lieu de travail. Si l'utilité modale V est linéarisée au voisinage d'un point :

$$V^j = \Psi + \alpha T_w + \beta T_t^j + \left(\tau - T_w - T_t^j \right) + \delta \left(wT_w - c_t^j \right) \quad (19)$$

Nous nous plaçons à taux de salaire fixé, w , les seuls termes qui influenceront le choix du mode seront :

$$V_t^j \approx \gamma^j - \gamma^t T_t^j - \gamma^c c_t^j \quad (20)$$

où γ^j , γ^t , et γ^c sont des paramètres à estimer pour chacune des classes de revenu. On montre que le coefficient du temps est le multiplicateur K_t et que le coefficient du coût est l'opposé de l'utilité marginale du revenu λ .

$$\left(\gamma_t / \gamma_c \right) = \left(K_t / \lambda \right) = VETT \quad (21)$$

La VETT peut être estimée d'après les données et informations sur les trajets et les activités pour chacun des individus.

III.3.2.2. Calcul de l'attribution du temps selon les activités

L'expression (21) crée un lien analytique explicite entre les multiplicateurs du modèle activités-consommation (7)-(10) et les paramètres du modèle de transport par (20). On remarque également que l'existence d'une valeur pour la VETT implique que k_t soit différent de 0 et donc que $t_t = t_t^{MIN}$ d'après l'équation (15).

Nous élaborons désormais les conditions (11) à (14) pour obtenir un modèle opérationnel du temps assigné au travail.

Tout d'abord nous résolvons l'équation (14) d'après $P_k X_k$, puis en effectuant la sommation sur k et en appliquant (8), nous obtenons :

$$\lambda/U = B/(wt_w - c_t) \quad \text{où} \quad B = \sum_k \eta_k \quad (22)$$

D'un autre côté, la résolution de l'équation (11) pour t_i , puis la sommation sur i , et l'application de (9) entraîne :

$$\mu/U = A/(\tau - t_w - T_i) \quad \text{où} \quad A = \sum_i \theta_i \quad (23)$$

Finalement de l'équation (12), on tire :

$$\mu/U = \theta_w/t_w + (\lambda/U)w \quad (24)$$

De (22), (23), et (24) on obtient:

$$A/(\tau - t_w - T_i) = \theta_w/t_w + B/(t_w - c_t/w) \quad (25)$$

de laquelle on obtient l'équation quadratique:

$$(A + B + \theta_w)t_w^2 - [(\tau - t_i)(B + \theta_w) + (c_t/w)(A + \theta_w)]t_w + (c_t/w)\theta_w(\tau - t_i) = 0 \quad (26)$$

qui représente un modèle implicite d'offre de travail où t_w est une fonction de c_t/w , t_i et des paramètres de la fonction d'utilité. La résolution de l'équation (26) s'écrit :

$$t_w = \sqrt{[\beta(\tau - t_i) + \alpha(c_t/w)]^2 - [2(\alpha + \beta) - 1](c_t/w)(\tau - t_i)} + \beta(\tau - t_i)(B + \theta_w) + \alpha(c_t/w)$$

L'équation 26 est un modèle d'offre de travail pour les individus qui sont caractérisés par des préférences implicites représentées par α et β qui sont les paramètres à estimer. Dans ce modèle, le temps de transport, le coût de transport et le taux de salaire sont des variables exogènes et t_w est une variable.

III.3.2.3. Calcul de la VETT

Maintenant, nous allons voir que cette procédure permet le calcul de toutes les composantes de la VETT de l'équation (6) :

$$k_i/\lambda = (\mu/\lambda) - (\partial U / \partial t_i / \lambda)$$

en utilisant les valeurs estimées des paramètres du modèle.

Des équations (22) et (23), la valeur de μ/λ , dépend du ratio A/B , qui peut être calculé de l'équation (25). Nous déduisons :

$$\mu/\lambda = ((1-2\beta)/(1-2\alpha))((wt_w - c_t)/(\tau - t_w - t_t))$$

De cette équation, la valeur accordée au temps de travail peut être déduite en soustrayant d'après l'équation (6) le taux de salaire.

$$\frac{\partial U / \partial t_w}{\lambda} = \left(\frac{1-2\beta}{1-2\alpha} \right) \left(\frac{wt_w - c_t}{\tau - t_w - t_t} \right) - w$$

De la même manière, la valeur du temps dans les transports est obtenue en soustrayant μ/λ de k_t/λ obtenu par l'équation (21).

III.3.2.4. Exploitation du modèle

Ce projet peut concerner la mise en œuvre d'un système de bus efficace intégré avec les autres modes de transport (avec notamment une tarification intégrée), ou bien la construction d'un métro qui peuvent être traduits en diminution de temps de transports et en nouveaux coûts monétaires pour certaines branches du réseau. Ceux-ci sont réinjectés dans les fonctions d'utilité indirectes modales pour chacun des modes de transport et pour chacun des niveaux de revenus :

$$V_i^j \approx \gamma^j - \gamma^j T_i^j - \gamma^c c_i^j$$

Les individus choisissent, à chaque période, le mode minimisant cette fonction d'utilité indirecte. Ceci nous permet d'obtenir une nouvelle distribution des modes de transports utilisés et donc de calculer les nouvelles demandes modales et grâce à des données de consommation et de facteurs d'émissions, les trajectoires d'émissions.

III.4. Conclusion

Dans une telle architecture, les **mesures des réductions d'émissions** effectivement induites par le projet montre plusieurs limites :

- la méthodologie décrite ci-dessus montre la complexité de mise en œuvre d'un tel projet dans le cadre du MDP. Les coûts de transaction nécessaires à l'élaboration du scénario de référence (recueil de données issues d'enquêtes transports, niveau d'émissions de chacun des modes) seront forcément importants et ne permettront pas de s'abstraire d'une forte incertitude sur la trajectoire de référence, car il est peu probable qu'un tel modèle puisse maîtriser tous les déterminants de la demande transport.
- de plus, les problèmes de mesure des gains associés à un projet de transfert modal couvrant une ville comme Delhi, impliquent que l'on ne peut pas se

contenter de mesures sur un seul maillon du système (comme c'était possible dans le cas du projet de Gaz Naturel Véhicule). Les mesures doivent concerner à la fois la répartition modale, les distances annuelles affectées à chaque mode de transport, les taux d'émissions de chacun des modes.

- Enfin, la répartition modale observée dans une ville, et donc les émissions de GES qui en découlent, sont autant la résultante de choix en matière de politique des transports (tarification, contrôle...), que de développement des infrastructures, de planification urbaine (emplacement des centres commerciaux, de nouveaux quartiers résidentiels), ou encore de politiques en matière de logements sociaux... L'inscription d'un tel projet dans le cadre du MDP nécessiterait de tenir compte de chacune de ces contributions dans l'attribution des crédits, partage qui devrait se faire au *pro rata* de la contribution de chacun des participants au projet, aux réductions d'émissions clause qui semble impossible à remplir dans ce cas.

Une **fixation conventionnelle fixant le nombre de tonnes évitées est toujours possible**, auquel cas il est nécessaire d'accepter d'assumer un risque environnemental lié à l'incertitude des réductions effectivement effectuées, sachant que cette marge d'incertitude pourrait être très grande.

Cependant, s'en tenir à la mesure stricte des réductions d'émissions du secteur des transports conduit à sous estimer la valeur de long terme de la tonne de carbone non émise dans le secteur des transports aujourd'hui. Une analyse statique qui ne comptabilise que les tonnes évitées à l'instant t néglige les irréversibilités inhérentes au secteur des transports ainsi que la valeur d'information pour l'évaluation de stratégies de réductions (réduire les émissions aujourd'hui dans le secteur des transports et notamment par le biais des déterminants des choix modaux (infrastructures, planification urbaine...) contribue à modifier les émissions et les coûts de réduction de demain (changement induit)). Il est donc légitime, du fait de l'effet d'inertie significatif dans le secteur des transports comparativement aux autres secteurs, d'imaginer un système de coordination internationale optant pour des signaux-prix différenciés. Pour chaque secteur, il y aura un écart entre dépense marginale d'abattement et coût marginal de long terme, cet écart, propre à chaque secteur et égal à son effet d'inertie, c'est-à-dire à la réduction marginale des coûts futurs d'abattement du secteur provoquée par le changement induit. En effet, dans le secteur des transports, les réductions mises en œuvre aujourd'hui, du fait de la **forte inertie du secteur** auront un impact sur les trajectoires à long terme dépassant l'horizon du projet. Ceci dépasse largement la notion de projet MDP.

Il faudrait alors accepter de négocier de manière spécifique pour ce qui concerne le secteur des transports, sur le fait que même en tenant compte de l'incertitude, les tonnes non émises dans le secteur des transports ont une valeur plus importantes que les réductions d'émissions dans d'autres secteurs plus flexibles. Le caractère coût-efficace ou non d'une telle approche dépend du rapport entre la marge d'incertitude sur les réductions d'émissions effectives et de la différence entre la vraie valeur de la tonne de carbone non émise dans le secteur des transports et le prix du carbone.

Mais, la vraie dimension qui apparaît ici est que l'on voit bien que les politiques climatiques ne sont **plus séparables des politiques de développement et** des modes de financement du développement.

Seconde partie

Articulation des politiques climatiques et des modes de financement du développement

I. Introduction et justification de l'étude

La construction et la dotation en infrastructures visant à répondre aux priorités de développement des PED (sécurité alimentaire, énergie, transports, eau, urbanisation) est un des premiers déterminants les trajectoires d'émissions de GES, d'où l'importance d'une prise en compte de la dimension climat au moment de leur développement. Quel impact le MDP peut-il avoir à ce niveau ?

L'Accord de Marrakech (2001) stipule l'exclusion du MDP de tout projet financé tout ou partie par des fonds de l'APD, clause revendiquée par les PED craignant un effet d'éviction entre fonds publics et fonds privés. Cependant, ceci risque d'accroître le déséquilibre de distribution géographique des projets MDP entre les « grands PEDs » (Brésil, Inde, Chine, Afrique du Sud...) et les « PEDs pauvres » (principalement les Pays les Moins Avancés). En effet, alors que certains « grands pays » peuvent compter sur des ressources locales et des investissements étrangers croissants pour financer leurs besoins en infrastructures et donc inscrire ces projets au sein du MDP, d'autres pays, plus pauvres, dépendent principalement de l'allocation de l'aide publique au développement (APD) et se verraient exclus du mécanisme.

Cette seconde partie de l'étude étudie le risque d'inéquité suite à l'éviction des flux de l'APD des projets de réductions d'émission. Dans une première partie, nous montrons la spécificité des modes de financement du développement selon les caractéristiques des pays (niveau de revenu, facteur risque), à laquelle nous confrontons dans une seconde partie, la règle de séparabilité entre APD et MDP, ce qui nous conduit à estimer les émissions de GES qui ne pourront pas être couvertes par le MDP dans les « petits pays » dépendant de l'APD et nous conduit dans une troisième partie à remettre en cause la séparabilité entre financements du développement et politiques climatiques et proposer des articulations possibles.

II. Des modes de financement spécifiques du contexte

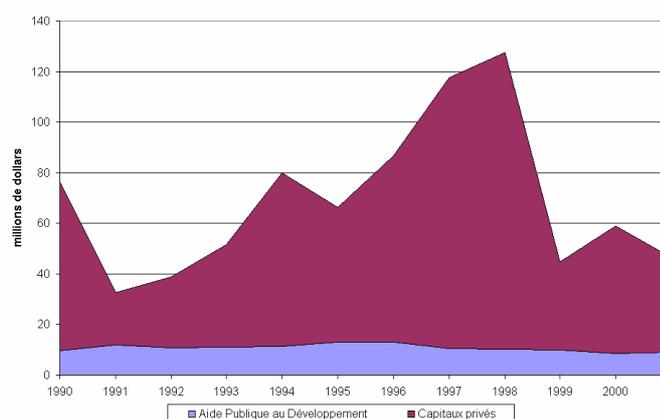
Alors que les montants de l'APD¹³ connaissent, depuis le début des années 90, une quasi-stationnarité apparente (elle est passé de 0,33% à 0,22% du PNB, soit en valeur un manque à recevoir en 1998 de 21 milliards de dollars (OCDE, 2000)) en valeur absolue au-dessus de 50 milliards de dollars par an¹⁴, le secteur privé participe de manière croissante au financement des infrastructures dans les PED.

En 1990, les flux de capitaux annuels du secteur privé vers les projets d'infrastructures dans les PED étaient du même ordre de grandeur que les flux de l'APD. Depuis cette base relativement « basse », les flux du secteur privé ont été multipliés par huit atteignant un pic de plus de 120 milliards de dollars en 1997, année au cours de laquelle ils représentaient 10 fois les montants de l'APD (Graphique II-1). Cependant, ils se sont montrés beaucoup plus volatiles que ces derniers (Stiglitz, 2002). Pour preuve, la crise asiatique en 1997 eut un impact considérable sur la confiance des investisseurs et divisa par deux, entre 1997 et 1999, les flux du secteur privé à destination du financement des infrastructures. Sur la période 1990-2001, les investissements privés dans les infrastructures ont représenté près de 700 milliards de dollars soit plus de cinq fois les montants de l'APD à direction des infrastructures qui étaient de 130 milliards de dollars (sur un montant total de l'APD toutes lignes de financement confondues de 500 milliards de dollars).

¹³ Une typologie des différentes sortes de flux financiers à destination des PED est donnée en Annexe. On distingue les flux publics (aide non liée, aide liée, aide partiellement liée), des flux privés.

¹⁴ Baisse attribuée en partie à la diminution de son intérêt stratégique et militaire depuis la fin de la guerre froide.

Graphique II-1 : Aide Publique au Développement et Flux de capitaux privés vers les infrastructures des PED sur la période 1990-2001



Source : World Bank PPI Database (2003), OECD IDS Database (2003)

II.1. les données

L'étude de la destination comparée des flux privés et de l'APD selon les niveaux de revenu des pays a été menée grâce aux données :

- de la Banque Mondiale répertoriant par secteur, par année d'investissement, par type de participation privée, coût d'investissement, et nom de l'investisseur privé, tous les projets d'infrastructures intégrant une participation du secteur privé. La base de données est en accès libre sur le site de la Banque Mondiale : <http://rru.worldbank.org/ppi/> - ;
- du Comité d'Aide au développement de l'OCDE (*International Development Statistics, IDS-online*) fournissant tous les flux d'aide bilatérale et multilatérale selon le pays donneur, le pays bénéficiaire, le secteur, les montants alloués.

La classification des pays selon leur niveau de revenu est celle établie par l'OCDE : PMA (Pays les Moins Avancés), PFR, Pays à Faible Revenu (dont le PNB par habitant était inférieur à 760\$ en 1998), PRITI, Pays à Revenu Intermédiaire-tranche Inférieure, dont le PNB était compris entre 761 et 3030\$ en 1998), les PRITS, Pays à Revenu Intermédiaire-tranche Supérieure, dont le PNB par habitant était compris entre 3031 et 9360\$ et les PRE, pays à revenu élevé, dont le PNB par habitant était supérieur à 9360\$.

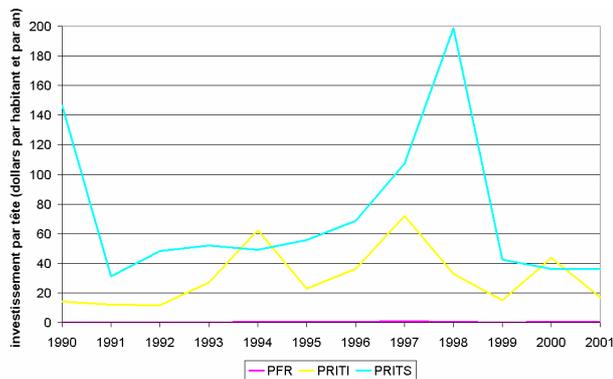
Les secteurs retenus pour l'étude sont les secteurs d'infrastructures responsables d'émissions de GES : le secteur électrique, le secteur des transports (routes, chemins de fer, aviation), le secteur industriel¹⁵ (production d'acier et de ciment).

Une description détaillée des lignes de financements sectorielles retenues est donnée en Annexe. Nous ne considérons, dans les flux pris en compte, que les financements de projets de nouvelles unités de production ou la construction d'infrastructures (projets *greenfields*), sur la période 1990-2001, et non les investissements de réhabilitation et de maintenance, ou encore les flux privés ayant juste donné lieu à un changement des droits de propriété (privatisation d'installations existantes).

II.2. L'analyse

L'analyse montre que, alors que dans les pays à revenu intermédiaire, **les flux de capitaux privés** représentent un investissement par tête qui peut être supérieur à 100\$ par an, et qui est en moyenne sur la période considérée de 30\$ par habitant et par an pour les PRITI et de 72\$ par habitant et par an pour les PRITS ; dans les PFR, ceux-ci ne représentent que 0,25\$ (Figure II-1).

Figure II-1 : niveau de flux de capitaux privés dans le secteur des infrastructures par tête selon les niveaux de revenu sur la période 1990-2001



¹⁵ Pour le secteur de l'industrie, nous ne retenons que les principaux secteurs fortement émetteurs de GES, c'est-à-dire, la production d'acier qui est le principal secteur industriel du point de vue de la consommation d'énergie (5% de la consommation d'énergie primaire mondiale selon Worell (1995) et de ciment. Certains autres secteurs mériteraient d'être traités : la production de papier, le raffinage, la production de métaux non ferreux (aluminium) mais la disponibilité des données nous limite à ces seuls secteurs.

Les capitaux privés ont été majoritairement dirigés vers les pays d'Amérique Latine et d'Asie de l'Est & Pacifique. Ils ont d'ailleurs largement été concentrés dans une poignée de pays à revenu intermédiaire. A lui seul, le Brésil a accueilli 20% des investissements privés de la période 1990-2001, l'Argentine 11%, le Mexique et la Chine 8% et la Malaisie 5% (Les PFR n'ont attiré que 11% du montant cumulé des investissements privés ; parmi eux les pays les moins avancés (PMA) ont reçu moins de 1% des fonds. Dans ces pays, l'APD reste la source principale de financement des infrastructures, représentant un total de 35 milliards de dollars sur la période contre seulement 5 milliards de dollars pour les investissements privés.

Tableau II-1). Le total de ces cinq pays représente plus de la moitié des investissements. 128 autres pays se partagent le reste.

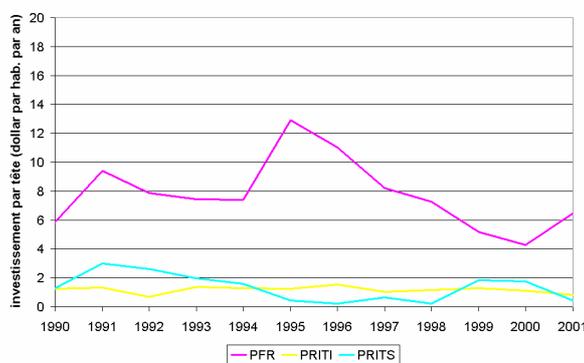
Les PFR n'ont attiré que 11% du montant cumulé des investissements privés ; parmi eux les pays les moins avancés (PMA) ont reçu moins de 1% des fonds. Dans ces pays, l'APD reste la source principale de financement des infrastructures, représentant un total de 35 milliards de dollars sur la période contre seulement 5 milliards de dollars pour les investissements privés.

Tableau II-1 : les principaux pays accueillant les capitaux privés dans les infrastructures

| | Pays | Investissement total | Part du total |
|------------------------|-------------|----------------------|---------------|
| 1 | Brésil | 141 251 | 20% |
| 2 | Argentine | 73 479 | 11% |
| 3 | Mexique | 54 020 | 8% |
| 4 | Chine | 53 933 | 8% |
| 5 | Malaisie | 32 571 | 5% |
| 6 | Inde | 30 023 | 4% |
| 7 | Philippines | 29 969 | 4% |
| 8 | Indonésie | 27 170 | 4% |
| 9 | Thaïlande | 21 484 | 3% |
| 10 | Chili | 18 473 | 3% |
| Total 10 premiers pays | | 482 373 | 69% |

Les niveaux sont inversés pour l'affectation **des fonds de l'APD**. Ce sont les PFR qui reçoivent la plus grande somme d'APD par habitant. Cependant, la Figure II-2 montre également de manière claire la baisse tendancielle de cette somme par habitant depuis 1995.

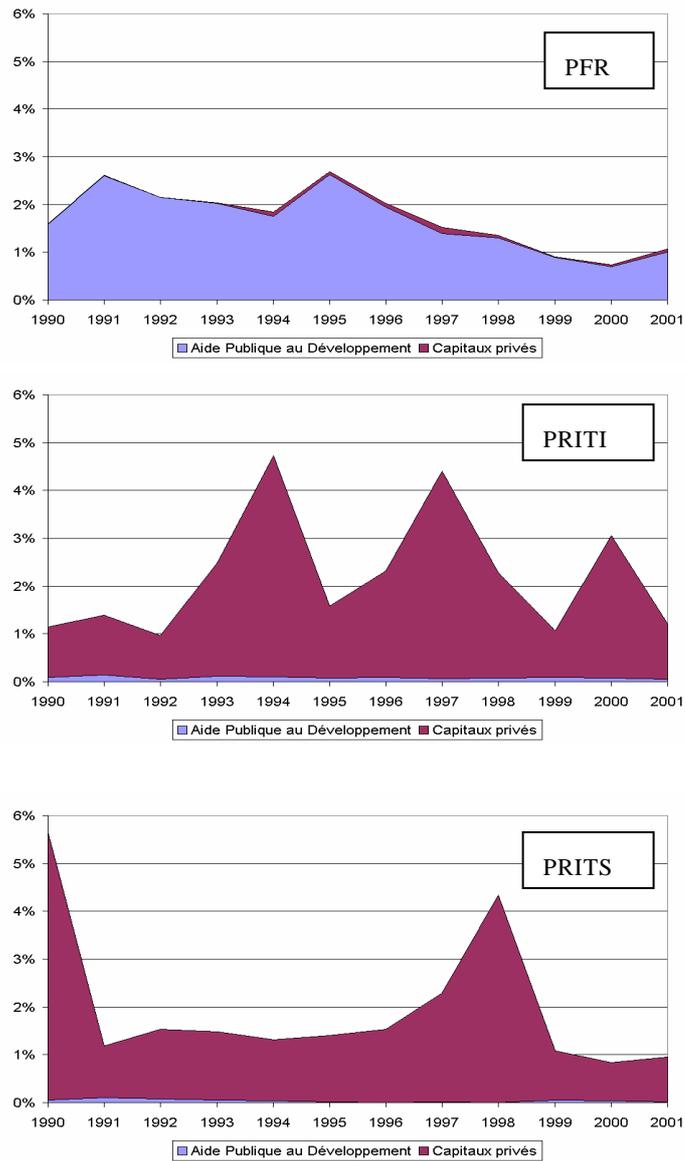
Figure II-2 : niveau d'APD dans le secteur des infrastructures économiques selon le niveau de revenu des pays



Les 3 graphiques de la Figure II-3 comparent le niveau des capitaux privés par habitant et des fonds de l'APD en pourcentage du PIB par habitant. Ainsi, dans les PFR, la part des IDE est très négligeable par rapport au PIB par tête ; les infrastructures sont financées quasi intégralement par l'APD. Le Tableau 0-5 en Annexe confirme largement ces résultats pour un certain nombre de pays africains francophones.

C'est l'inverse pour les pays à revenu intermédiaire. On note également qu'au total, les investissements publics et privés dans les infrastructures dans les PFR et les PRI représentent environ la même part de revenu, alors que les besoins en matière d'infrastructures sont beaucoup plus importants dans les PFR.

Figure II-3 : part des capitaux privés et de l'aide publique au développement dans le secteur des infrastructures par rapport au revenu par habitant suivant le niveau de revenu du pays



II.3. Calcul des émissions dans les « petits pays » non couverts par les politiques climatiques

II.3.1. Présentation de la méthodologie

Pour chacune des lignes de financement de l'APD retenue nous effectuons une estimation des volumes annuels d'émissions induits par le financement. Pour cela, nous présentons ci-dessous la démarche suivie.

Soit i le pays, ou la région considérée, et j , le secteur visé.

Soit $F_{i,j}$ le financement APD total destiné à la réalisation de projets dans le secteur j pour le pays ou la région i . Ce financement représente une part $f_{i,j}$ dans l'investissement total $I_{i,j}$ des projets dans lesquels existe une part de financement de l'APD.

On considère que le secteur j dans la région i possède une intensité en capital $c_{i,j}$, et donc la capacité de production additionnelle induite par l'investissement $I_{i,j}$ est égale à

$$C_{i,j} = c_{i,j} * I_{i,j}$$

Les taux d'émissions de la production du secteur j dans le pays i sont désignés par $e_{i,j}$, et les émissions annuelles totales du projet $E_{i,j}$. Nous pouvons alors écrire l'égalité :

$$E_{i,j} = e_{i,j} * C_{i,j} = e_{i,j} * c_{i,j} * I_{i,j} = e_{i,j} * c_{i,j} * F_{i,j} / f_{i,j}$$

Nous appliquons ceci à l'ensemble des lignes de financement sélectionnées.

II.3.1.1. Volume d'émissions de GES induites par les projets financés par l'APD

On fait l'hypothèse que les projets :

dans les grands pays par la participation privée et les ressources locales. Les grands pays désignent les 10 premiers pays récepteurs de flux privés cités dans le Les PFR n'ont attiré que 11% du montant cumulé des investissements privés ; parmi eux les pays les moins avancés (PMA) ont reçu moins de 1% des fonds. Dans ces pays, l'APD reste la source principale de financement des infrastructures, représentant un total de 35 milliards de dollars sur la période contre seulement 5 milliards de dollars pour les investissements privés.

- Tableau II-1 ;

- dans les petits pays sont financés en partie par l'APD et la participation privée.

Tableau II-2 : émissions induites et potentiel de réduction par les projets ayant une part de financement APD dans les « petits pays » (Mt/an)

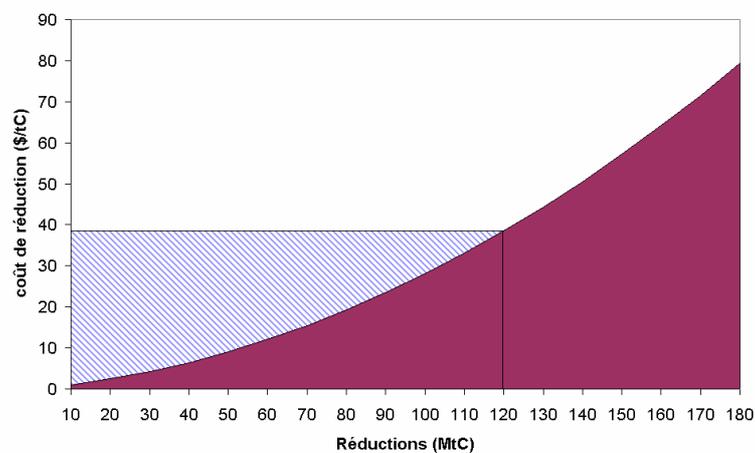
| | Electricité | Transports | Acier | Ciment | Total |
|--|-------------|------------|-------|--------|-------|
| Emissions des projets Petits pays | 1,78 | 4,44 | 0,41 | 0,41 | 7,04 |
| Potentiels de réduction annuel Petits pays | 0,89 | 2,22 | 0,025 | 0,100 | 3,235 |

Le potentiel de réduction d'émissions de GES dans les « petits pays » permettrait, en considérant que les projets financés par l'APD aient des objectifs de réduction des émissions, d'obtenir des réductions de 3,2 MtC chaque année, réductions qui se perpétueraient sur toute la durée de vie du projet. Sur 10 ans, les réductions cumulées entraînées par les projets financés par l'APD dans les « petits pays » seraient de 177MtC.

Pour évaluer le potentiel de réalisation de ces réductions dans le marché du carbone initié par le Protocole de Kyoto, nous avons recours aux courbes de coût de réductions établies par EEPA. Nous appliquons la courbe de coût marginale de réduction concernant la région *Rest of the World* (Tableau II-3) qui exclut les grands pays (Inde, Chine, Brésil...). Cette courbe s'écrit :

$CMR = 2.10^{-3} \cdot R^2 + 0,081 \cdot R$ où R désigne les réductions effectuées et CMR le coût marginal de réduction.

Tableau II-3 : courbe de coût marginal de réduction des « petits pays »



Suivant différents scénarios de prix du carbone, nous pouvons donc envisager qu'une partie seulement de ces réductions seront mises en œuvre (Tableau II-4).

Tableau II-4 : Réductions d'émissions, revenu et rente entraînés par les projets APD sous différentes hypothèses de prix du carbone

| prix du carbone (\$/tC) | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
|-------------------------------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| Réductions (MtC) | 33,7 | 53,3 | 81,8 | 103,9 | 122,6 | 139,2 |
| Revenu (M\$) | 168,5 | 533 | 1636 | 3117 | 4904 | 6960 |
| Coût total de réductions(M\$) | 72 | 216 | 636 | 1185 | 1837 | 2583 |
| Rente (M\$) | 97 | 317 | 1000 | 1932 | 3067 | 4377 |

Le revenu dégagé va de 168,5 M\$ pour un prix de 5\$/tC, avec un niveau de réduction de 33,7MtC et une rente de 97 M\$ pour 10 ans, à 7 milliards de dollars pour un prix de 50\$/tC avec un niveau de réduction de 139,2 MtC et une rente de 4,4 milliards de dollars pour 10 ans. Ceci représente donc une proportion substantielle de l'aide publique au développement à direction de ces petits pays.

En l'état actuel, il n'est pas envisageable de considérer ce potentiel de projets éligibles au MDP. Cependant, on peut imaginer que la valorisation des réductions au prix international du carbone ne concerne que la part de financement non APD. Dans ce cas, en prenant comme hypothèse que les financements APD représentent la moitié des financements de projets, on obtient un montant de crédits deux fois inférieur à celui présenté dans le Tableau II-4, ce qui reste considérable, et qui, étant donné que les projets financés dans ces secteurs d'infrastructures, ont un taux de rentabilité interne qui n'est pas très élevé comparé (entre 6 et 10%) à des projets dans d'autres secteurs d'activité, représenterait un revenu annuel conséquent permettant de consolider ces niveaux de rentabilité et permettrait donc d'attirer davantage d'investisseurs privés, d'autant que la rente se concentrerait sur la partie financée par le secteur privé.

III. Articulation entre les financements du développement et les politiques climatiques

Le MDP vise à attirer les investisseurs privés pour lesquels les investissements sont conditionnés à une minimisation des risques. Le MDP permet d'augmenter la rentabilité des projets, mais sans doute pas suffisamment pour parer aux fortes contraintes de financement dans les « petits pays ». Il ne suffirait donc pas de rendre éligibles au MDP des projets financés en partie par l'APD. Cependant, on peut

imaginer que l'APD pourrait mettre en œuvre une orientation de couverture de risques liés aux taux de change ou à l'incertitude sur la demande pour des projets présentant des technologies peu émettrices ; ceci permettrait de favoriser la venue d'investisseurs privés dans les « petits pays ».

La Conférence de Monterrey (2002) a mis l'accent sur les formes de partenariat public-privé renvoyant à des services publics industriels et commerciaux non rentables supposant une part de subvention publique à côté de l'investissement privé (les agences de coopération et les agences multilatérales développent des modalités nouvelles de financement mixte, cherchant à attirer les investisseurs privés sur une part de l'investissement, et en particulier à impliquer le secteur privé au niveau de la gestion et de la maintenance des investissements, par exemple par des contrats de type concession) et qui conduisent à des réductions d'émission. Pour promouvoir des financements permettant de prendre en compte le climat, les régimes climatiques devraient favoriser les alliances stables entre trois acteurs clé : les firmes nationales et les agences d'Etat, qui sont les seuls en mesure de mettre en œuvre les réformes et de mobiliser les institutions nécessaires pour faire évoluer les marchés ; les investisseurs privés, qu'ils soient motivés par des considérations commerciales ou par leurs propres contraintes de réductions d'émissions ont intérêt investir des technologies et des capitaux dans les marchés émergents ; et l'aide publique au développement qui peuvent fournir aux pays les moyens techniques et financiers pour mettre en œuvre des réformes de manière à favoriser l'émergence d'un contexte favorable aux investisseurs dans les PED jusqu'alors peu attractifs.

Un des rôles possibles de l'APD est également de coordonner des programmes régionaux transnationaux tels que la construction d'un pipeline de transport de gaz en Asie, projet nécessaire à une transition à grande échelle de la production électrique aujourd'hui essentiellement basée sur le charbon. Autre exemple, la coopération dans le secteur de l'eau incluant l'hydroélectricité, qui est un élément de réponse tant du point de vue des réductions d'émissions que de l'adaptation. Ce type de partenariat régional peut également permettre une diffusion technologique des pays les plus avancés vers les pays les moins avancés, les institutions internationales constituant une garantie auprès des investisseurs internationaux.

Conclusion générale

Un des principaux intérêts de l'étude menée est de permettre en tenant compte de la précédente étude financée par le GICC d'explorer tout en ensemble de projets de réductions d'émissions types dans les PED pour leur intégration dans le MDP. Nous avons avec le secteur électrique abordé les secteurs de l'offre pour des sources d'émissions ponctuelles (la méthodologie utilisée était répliquable pour les secteurs industriels). La présente étude vise les secteurs de la demande des ménages, demande déterminée par des parcs d'équipement (électroménagers, véhicules). Les sources d'émissions considérées sont alors diffuses. Les options technologiques choisies résultent de décisions décentralisées au niveau de chacun des ménages, décisions qui ne sont pas uniquement dépendantes de signaux-prix observables. Les différentes caractéristiques des projets abordés sont résumées dans le tableau récapitulatif qui suit.

On a partout l'impression que dans les secteurs diffus (habitat et transport) le MDP n'est pas adapté : il cible des crédits d'émission individuels (liés aux comportements des ménages) difficiles à mesurer et dont l'effet financier est peu déterminant alors que ce qui compte vraiment c'est l'action en amont des pouvoirs publics pour faire sauter des barrières de marché (en termes de coordination manquante ou de financement). D'où la question : plutôt que de s'embêter avec des histoires de monitoring compliquées et dont l'effet d'incitation doit s'accommoder de beaucoup d'incertitude, ne vaut-il pas mieux, dans une première phase, que le Nord aide au financement de la mise à niveau des structures (à des taux bonifiés) et ne passer au *crediting* proprement dit que dans une seconde phase.

C'est ce que montre la seconde étude de cas avec une définition plus large du projet intégrant les acteurs institutionnels en amont. Mais quoiqu'il en soit, on ne pourra pas faire abstraction d'une certaine incertitude sur les mesures d'émissions. Dans le cas où il n'y a pas d'effet rebond sur la demande, les incertitudes et erreurs sur la mesure restent limitées et négociables. On peut, en effet, accepter un certain risque sur la mesure, si on considère que les gains en carbone sont nettement supérieurs au niveau d'incertitudes et en valent la peine. Par contre, dès lors qu'il y a un effet rebond sur la demande à prendre en compte, les niveaux d'incertitudes seront si élevés que dans ce cas, la notion de projet ne veut plus rien dire.

Tableau 0-1 : Récapitulatif et conclusions tirées des différentes études de cas

| Etude de cas | Objectif du projet | Impact sur le développement | | Méthodologie utilisée | | | |
|---|--|--|---|--|---|---|---|
| | | Barrière de marché (possibilité d'un effet de levier) | Incidence sur la pauvreté | Opérateur du projet | Frontières du projet et attribution des crédits de réductions d'émissions | Détermination de la <i>baseline</i> | Evaluation de la méthode envisagée |
| Centrale électrique propre (Inde) | Pénétration de technologies moins carbonées | Contrainte en capital Distorsions tarifaires (subventions croisées) | Indirecte, via une éventuelle amélioration des résultats du secteur électrique | Investisseurs privés dans les unités de production | Crédits d'émission associés à une décision microéconomique | Choix rationnel (Taux de rentabilité interne) en l'absence d'incitation | Ne prend pas en compte les primes de risques des investisseurs étrangers selon le pays d'intervention |
| Programme de <i>Rebate</i> pour les réfrigérateurs économes en énergie (Brésil) | Amélioration de l'efficacité énergétique du parc de réfrigérateurs | Distorsions tarifaires et rationnement du crédit | Effet direct sur le revenu des ménages (économies sur les factures d'électricité) | Ménages | Crédits attribués aux fabricants participants au programme en fonction du volume des ventes d'équipements propres | Réfrigérateur de référence déterminé en tant qu'optimum social | 1) La non-intégration du système électrique fait que la <i>baseline</i> peut varier d'une région à l'autre ; 2) Faible effet d'incitation <i>et free-riding</i> en raison des contraintes financières et des distorsions tarifaires 3) une solution envisageable : différencier les <i>baselines</i> selon la catégorie des ménages, et élargir le projet (aux électriciens notamment) pour susciter des financements additionnels. Cette solution demande une forte implication des pouvoirs publics qui seraient le moteur du projet. |

| | | | | | | | |
|---|--|---|--|----------------|--|--|---|
| Diffusion technologique GNV - Inde | Diffusion technologique du Gaz Naturel Véhicule pour les voitures et les bus (compagnies publiques et privées) | Contrainte en capital principalement pour les compagnies de bus Faiblesse du réseau de distribution en GN Faible niveau de taxe sur le diesel | | Ville de Delhi | Crédits attribués en amont du projet vers la levée des barrières : financement infrastructures de distribution et programme de contrôle des émissions | Véhicule de référence : business as usual | Problème de mesure : on assume un certain risque sur la mesure, si on considère que les gains en carbone sont nettement supérieurs au niveau d'incertitude et en valent la peine du point de vue du développement. |
| Maîtrise de la demande de transport urbains passagers | Inciter au transfert modal vers des modes moins intensifs en carbone Diminuer le niveau absolu de demande finale de transport | Multiplés et non uniquement circonscrites au secteur des transports | | Non défini | Non défini | Non défini | 1) problème de mesure : les effets rebonds font que l'on doit raisonner sur l'ensemble du système transport urbain et induisent une forte incertitude dont on ne peut s'abstraire. 2) Multiplicité d'acteurs : attribution des CRE au pro-rata de la contribution de chacun impossible |

Bibliographie

Etude Brésil

Bertoldi P. et Bowie R., (1997), “European union efforts to promote more efficient private appliances”, *Proceeding of the 1997 ECEEE Summer Study*, Czech republic, 9-14 June.

IPCC, (2001), “Global, regional, and national costs and ancillary benefits of mitigation”, *Climate Change 2001- Mitigation*, Contribution of the Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Chap. 8.

Jannuzzi G. De M., Queiroz G. C. and Vendrusculo E. A. (2002), *Brazilian domestic refrigerators can be 45% more energy efficient to save Brazilian consumers significant R\$ on their electricity bill : a detailed life-cycle cost analysis for setting energy efficiency standard in Brazil*, Final Report, Climate Technology Initiative, December.

Etude GNV- Inde

Bose R., Nesamani K.S. (2000) Urban Transport, energy and environment – A case of Delhi. Final report, prepared for Institute of Transportation Studies, University of California, Davis.

Energy Information Administration (1999) International Energy Outlook 1999. U.S. Department of Energy, Washington, D.C. March. DOE/EIA-0484(99)

Murty M.N., Gulati S.C., Banerjee A. (2002) “Health Benefits from urban-air pollution abatement in the Indian sub-continent” présenté à la 12ème Conférence annuelle de l’European Association of Environmental and Resource Economists, Bilbao, Espagne.

TERI (2002a) « Key Data in transport : 1970/71 to 1998/99. Consulté sur le site du TERI: <http://www.teriin.org/urban/key.htm>

TERI (2002b). “Urban transport and climate change”. Présenté le 26 octobre 2002 lors du Side event CDM and transport lors de la CoP 8 à Delhi.

Etude Maîtrise de la demande –Delhi

Becker G. (1965) “A theory of the allocation of time”. *The Economic Journal* 75, 493-517.

- De Serpa A. (1971) "A theory of the economics of time". *The Economic Journal* 81, 828-846
- Jaccard M. (1997) "Heterogenous Capital Stock and decarbonating the atmosphere: does delay make cents?", communication personnelle
- Jara-Diaz S.R. (1998) « Time and Income in Travel Choice : towards a microeconomic activity framework ». In *Theoretical Foundations of Travel Choice Modelling*, T. Garling, T. Laitia y Westin, eds. Pergamon, 51-73.
- Kenworthy J.R., Laube F.B. (1999) "Patterns of Automobile Dependence in Cities: An International Overview of Key Physical, and Economic Dimensions with Some Implications for Urban Policy". *Transportation Research A* 33, no.7/8:691-723.
- Schafer A. (2000) Regularities in travel demand : an international perspective. *Journal of transportation and statistics*, Decembre, pp.
- Shipper L.J., Marie-Lilliu C., Lewis-Davis G. (2001) "Rapid motorization in the largest countries in Asia: Implication for Oil, Carbon dioxide and transportation." Consulté sur <http://www.iea.org/pubs/free/articles/schipper/>
- Zahavi Y. (1981) *The UMOT-Urban Interactions*, DOT-RSPA-DPB 10/7, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.

Etude Articulation MDP et APD

- Giroux P. (2003) "Le nouveau cadre conceptuel de l'Aide Publique au développement », *Liaison Energie-Francophonie* No 60, pp. 15-22.
- OECD IDS Database (2003)
- Price L., Worell E., Phylipsen D., 1999. Energy use and carbon dioxide emissions in energy-intensive industries in key developing countries. *Proceedings of the 1999 earth technologies forum*, Washington DC, 27-29 septembre 1999
- UNFCCC (2001) « Mise en œuvre du plan d'action de Buenos Aires : adoption des décisions donnat effet aux accords de Bonn », FCCC/CP/2001/L.24/Add.2, 9 novembre 2001
- Stiglitz J.E. (2002) *La grande désillusion*, collection poche, 407p.
- World Bank PPI Database (2003) "Private participation in Infrastructure projects database, <http://rru.worldbank.org/ppi/>

Valorisation

Publications

L'étude de cas brésilienne sera soumise à publication dans une revue spécialisée.

Thèses

Mathy S. (2003) Intégration des Pays en Développement dans les Politiques Climatiques : Applications aux secteurs de l'électricité et des transports en Inde, EHESS, 366p.

Communications

L'étude de cas brésilienne a fait l'objet d'une communication au premier congrès latino-américain des économistes de l'environnement et des ressources naturelles, à Carthagène (Colombie), qui s'est déroulé du 9 au 11 juillet 2003.

Publication électronique

Le rapport est disponible sur le site du CIRED à l'adresse :

http://www.centre-cired.fr/forum/article.php?id_article=96

ANNEXES

Annexe 1

Etude Brésil

How to use the CDM in the residential sector?

The case of Brazilian refrigerators

Abstract

The objective of this paper is to test whether existing methods for setting appliance standards (or baselines) could be used for applying Clean Development Mechanism (CDM) principles in the residential sector. We consider a hypothetical CDM project consisting in a rebate program where appliances supplied on the market are rebated according to carbon emission savings (as compared to baselines). The method is tested in the case of the Brazilian refrigerator market. It proves inaccurate when tariff distortions and realistic household behaviours are acknowledged. Baseline estimates are not robust and free-riding is encouraged. Some avenues likely to help overcoming these pessimistic results are suggested in conclusion.

1. Background

The Kyoto protocol sets emission limits for industrialized countries (Annex I parties) for the period [2008-2012]. While developing countries are not bound by any specific targets, they committed themselves under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) to formulate and implement domestic programs to mitigate climate change.

The Kyoto protocol also allows emission trading among Annex I parties and project-based Certified Emission Reduction Units (CERU) transfers from developing ones (non-Annex I parties) through the CDM. This mechanism has been provided to assist the latter to achieve sustainable development while reducing the commitment costs of the former¹⁶.

Despite the US dropping Kyoto, the Marrakech accords saved chances for the Kyoto protocol to be implemented¹⁷. Hence, non-Annex I parties will have the opportunity to use the CDM to raise funds for adopting more environmentally and economically sound technologies.

2. The problem

Non-Annex I emission reductions can be sold and transferred after certification according to agreed methodologies. Among them, baseline determination is particularly crucial to ensure that emission credits correspond to emission reductions that are “additional to any that would occur in the absence of the certified project activity” (Article 12 of the Kyoto Protocol).

A systematic case by case approach is likely to result in very high transaction costs; it will severely limit CDM transfers and it will reduce sustainable development investments in non-Annex I parties. As a consequence, there is a need to assess standardized methodologies for determining emission baselines that will ensure

¹⁶ Article 4.1 of the UNFCCC establishes common obligations for all the Parties to the Convention, “taking into account their common but differentiated responsibilities and their specific national and regional development priorities, objectives and circumstances”.

¹⁷ The Kyoto protocol could enter into force even if the US does not ratify it (Grubb et al., 2001). At this time, should simply Russia confirm its intention to ratify the protocol and entry into force will be secured.

environmental integrity while maintaining administrative and monitoring costs at reasonable levels (OCED/IEA 2000, Ellis et al., 2001).

Yet, at this time, standardized methods are only expected for some small-scale project activities¹⁸. To achieve CDM's goals, standardization should be extended to more critical sectors like the residential and transport ones. First, these sectors are responsible for the largest and most rapidly growing share of CO₂ emissions. Second, traditional market barriers (consumers' lack of both information and capital for investments, equipment owners not paying for running costs, etc.) are aggravated in these sectors by difficulties to coordinate heterogeneous and diffuse actors with divided responsibilities (Bertoldi, 1997). Moreover, in developing countries, these coordination efforts have to take place in contexts where administrative capacities are under pressure to ensure the supply of basic services to populations¹⁹. These features advocate for simplified methodologies to foster CDM projects in the residential and transport sectors. They also call for case studies to test selected methods and assess environmental and economic potentials of the projects.

In the residential sector, one promising approach is to determine CDM baselines using existing methods for setting minimum efficiency standards for domestic appliances (Jannuzzi, 2002). Then, CERU can be determined simply on the basis of volumes and types of purchased appliances.

¹⁸ These project activities are the following: (1) renewable energy projects with a maximum output capacity equivalent of up to 15 MW; (2) energy efficiency improvement project activities which reduce energy consumption by up to the equivalent of 15 GWh; (3) other project activities that both reduce anthropogenic emissions and emit less than 15 kilotons of carbone dioxide equivalent annually.

¹⁹ Structural decisions in the residential and transport sectors are under the control of public authorities. Therefore it is likely that CDM projects in these sectors will be led by host countries' governments (see the analysis of Stewart et al., 1999, about unilateral-CDM).

Should these methods be applied for CDM, it will give non-Annex I countries the prospect of yielding financial resources for improving energy efficiency. The earning of CDM credits will allow to rebate energy conserving equipments with a premium related to their emission performances over their lifetime. This will reduce the costs and prices of efficient equipments with the prospect to make them more attractive to consumers.

Methods of appliance benchmarking raise two questions: (1) can they provide a reasonably accurate accounting of CERU? and (2) are the resulting rebates likely to impact consumers' choices and provide a real incentive for technological improvements?

3. Objectives

The objective of this paper is to contribute to answer these two questions through a case study on Brazilian refrigerators²⁰. The hypothetical CDM project consists in a rebate program where appliances supplied on the market are rebated according to carbon emission savings (as compared to baselines).

4. Data and methods

To address the first question, we follow Jannuzzi's approach (op. cit.) to determine baseline appliances according to a cost-benefit analysis

²⁰ This appliance account for 32% of residential electricity consumption, the whole residential sector consuming more than 27% of the 305,6 TWh nation's total consumption (Eletrobras, 2000).

of 6 representative technological alternatives. Then we develop a simple model to simulate the demand for refrigerators in Brazil and compare the results with the baselines.

To answer the second question, we consider a hypothetical CDM project targeted on refrigeration appliances. The project assumes a classical marketing incentive scheme where CDM credits are rebated to purchasers of over-performing appliances²¹. Then we simulate and compare households demands with and without CDM.

The simulation horizon of the study is 2020, projected by steps of 5 years from the base year 2000. The geographical scope is the whole Brazil.

4.1. Technological hypothesis

To determine baseline and household demands, we take the following technological and economic hypotheses about refrigerator models and electricity production.

4.1.1. Refrigerator models

The refrigerators' supply is described through six efficiency levels identified by Jannuzzi et al. (2002). Purchase costs increase with the performance (Table 1). The less efficient model has the characteristics of the average one door refrigerator currently on the market (with an annual electricity consumption of 360 kWh for a volume of 330 liters). The other models integrate potential technological innovations.

Table 1. Efficiency and costs of refrigerator models

²¹ An international analysis of DSM programs showed that rebates and cash award were the most widely used incentives in Demand Side Management (DSM) programs (Nowem and Kofod, 1997).

| Description | | Energy savings* (%) | Costs* (R\$) |
|--------------------|---|--------------------------------|-------------------------|
| C0 | Current model | 0 | 0 |
| C1 | Integration of a more efficient compressor (Innovation 1) | 24,7 | 55 |
| C2 | Innovation 1+ increase of the door insulating thermal thickness-1.27 cm (Innovation 2) | 28,5 | 73 |
| C3 | Innovation 2 + increase of the wall insulating thermal thickness-1.27 cm (Innovation 3) | 42,5 | 134 |
| C4 | Innovation 3+ of the door insulating thermal thickness-2.54 cm (Innovation 4) | 45,3 | 150 |
| C5 | Innovation 4 + increase of the wall insulating thermal thickness-2.54 cm (Innovation 5) | 55,3 | 198 |

Source: Jannuzzi et al. (2002)

* : Costs and energy savings are incremental as compared to C0. Costs are converted from US\$ using an exchange rate of 1 US\$= 3 R\$.

4.1.2. Electricity costs and emission factors

Today three different electric systems supply the five Brazilian regions. The largest interconnected power transmission system, which includes the Southeast, South, and Mid-West regions, accounts for more than 70% of the Brazilian total installed capacity in 2000 (SIESE, 2003). It includes the hydroelectric power plant of Itaipu, and the only two nuclear power plants currently in operation in Brazil: Angra I, with 657 MW installed, and Angra II with 1309 MW. The second grid system connects the North and Northeast regions, accounting for almost 25% of the Brazilian total installed. Finally, the country's electric power system includes small, independent grids that are isolated in terms of electric power, largely in the northern region. These isolated systems accounted for less than 5% and are based mainly on thermal power plants (mostly diesel generators).²²

In order to estimate the value of energy and carbon emission savings during the base year's period (2000-2005), we consider the "marginal" power plant whose activity should be decreased in priority when electricity demand diminishes (Busch and Eto, 1996). In each region, energy savings are priced by the production cost of this marginal plant; and avoided emissions are obtained by the conversion of energy savings using the emission factors of marginal plants. Since base year's capital costs are sunk, the relevant marginal costs are variable ones, which, in fact, correspond to short-term production costs. Costs and emission factors vary across the three different power systems described above, depending on fuel mixes (Table 2):

- In the South/Southern/Mid-West interconnected system, we considered that the reference marginal power plant correspond to the mix of thermal power units, except nuclear plants, under operation in 2000 (SIESE, 2003). Hence, avoided production costs and avoided carbon emissions derive from this mix,

²² Over the past twenty years, diesel-powered generation has been important for Brazil's stand-alone systems. Nevertheless, it is generally agreed that this power generation alternative is inadequate, with low capacity factors and high operating costs.

namely: fuel oil fired-plants (44%), natural gas-fired plants (3%), coal fired-plants (51%), diesel generators (2%).

- In the North/Northeast interconnected system, current power generation is hydropower based at 99,1% (SIES, 2001), meaning that the marginal plant is a hydropower plant. Estimates for the average operational costs of Brazilian hydropower plants are drawn from Schaeffer and Szklo (2001). (Emission factors are nil in this case.)
- In the isolated systems, we considered the diesel generator as the marginal plant.

The same methodology relying on the determination of marginal plants is applied for the year 2020. According to the current Brazilian expansion plan (MME, 2003), we suppose a globally interconnected grid at that time (see Appendix A for more details), with a mixed structure of hydroelectricity and natural gas power plants (60% and 30% of electricity supply, respectively). From cost figures, 35 US\$/MWh and 65 US\$/MWh for the former and the latter, respectively (Schaeffer and Szklo, 2001), it appears that the future marginal plant is a natural gas-fired one. Considering the year 2020, marginal production costs include fixed capital costs because the latter costs are obviously not sunk from today's perspective.

For simplicity, electricity marginal costs and emission factors for the years between 2000 and 2020 are assumed to be the same than in 2020.

Table 2. Hypotheses on electricity costs and emission factors.

| | 2000 | | | | |
|---------------------------------------|-----------|-------|-------|-----------|----------|
| | Southeast | South | North | Northeast | Mid-West |
| Marginal production cost US\$/MWh) | 45 | 45 | 126 | 7 | 45 |
| Carbon content (tC/MWh) | 0,272 | 0,272 | 0,247 | 0,000 | 0,272 |
| | 2010 | | | | |
| | Southeast | South | North | Northeast | Mid-West |
| Marginal production cost US\$/MWh) | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 |
| Carbon content (tC/MWh) | 0,122 | 0,122 | 0,122 | 0,122 | 0,122 |

4.2. Baseline determination

The benchmark (or baseline) refrigerator is determined as the social optimal choice; it minimizes the discounted sum of the purchase cost and annual operating costs over the lifetime of the equipment (16 years). Equivalently, the social optimal choice maximizes the net value of energy savings when option C0 is considered as a benchmark to compare performances.

Hence, at a given period t , the social value VC_i^t of the model C_i may be computed as the discounted sum of its energy saving minus its incremental cost. Formally, this writes:

$$VC_i^t = -IC_i + \sum_{t'=1}^{16} \frac{p^{t+t'} E_i}{(1+\theta)^{t+t'}} \quad (1)$$

where

IC_i : is the incremental cost of the option C_i ;
 E_i : are annual electricity savings generated by option C_i ;
 $p^{t+t'}$: is the marginal cost of electricity production at the year $t+t'$, in the region under consideration;
 θ : is the Brazilian public discount rate. We will use the conventional rate of 15% historically applied by the electricity sector (Rosa et al., 1998) and also an alternative value of 10%.

Computing VC_i for each technological option and selecting the optimal choice for each region and for each period gives the regional and temporal profile of baselines.

4.3. Household demand

There is a demand for a new refrigerator either when a new household is constituted or when an existing household replaces an old equipment. Hence, refrigerator demand is driven by the increase of the number of household and by the replacement of old equipments.

Appliance ownership rates and qualitative choice may not be uniform across Brazilian households. Poor households are not fully equipped and face severe financial constraints. Middle-class households also experience financial constraints. And, finally, electricity tariffs greatly differ in Brazil according to household consumption levels.

4.3.1. Household classes

To acknowledge the above-mentioned features we subdivide, in each region, the household sector into five classes (Table 3). The class HI covers households with monthly electricity consumption under 30 kWh. The class HII covers households with monthly electricity consumption between 31 kWh and 100 kWh. The class HIII covers households with monthly electricity consumption between 101 kWh and 220 kWh. The class HIV covers households with monthly

electricity consumption above 221 kWh, but with monthly income under 20 minimum wages (round to 70 US\$). The class HV covers households with monthly electricity consumption above 221 kWh, but with monthly income above 20 minimum wages.

Each household class has a specific set of attributes, namely the rate of refrigerator ownership, the size factor (that is the volume index of the refrigerator bought by the class, as compared to the market average), the electricity tariff, and the relevant range of discount rate. It is assumed that the households of class HV are rich enough to be able to save and place money on the financial market. As a result, we suppose that their discount rate is 10%. By assumption, other households are financially constrained. We attribute to households of class HI have an 80% discount rate, which is the average lending rate observed in Brazil for the average of medium and low-income classes. For the sake of simplicity, we attribute, by interpolation, indicative figures to the intermediary classes. While ownerships, size factors and discount rates are constant attributes, tariff classes vary over time.

Table 3. Characteristics of Households classes

| Household class | Appliance ownership* | Size factor* | Discount rate* |
|-----------------|----------------------|--------------|----------------|
| HI | 50% | 0,77 | 80% |
| HII | 80% | 0,93 | 40% |
| HIII | 95% | 1,27 | 25% |
| HIV | 100% | 2,70 | 20% |
| HV | 100% | 3,90 | 10% |

*: own estimations.

4.3.2. Numbers of households

Numbers of households by region and class, in the year 2000, are directly drawn from Silva (2003) and IBGE (2001). For the subsequent periods, total regional figures are based on expected population growth rates IBGE (2001). Interclass distributions were obtained assuming a linear correlation between monthly electricity consumption and income and using assumptions of per capita income increase from the Long Term Plan 2000-2022 (MME, 2003).

Table 4. Households by region and class (in thousands)

| 2000 | | | | | | |
|-------------|-----------|-------|-------|-----------|----------|-------|
| Class | Southeast | South | North | Northeast | Mid-West | Total |
| HI | 1475 | 579 | 329 | 2515 | 312 | 5210 |
| HII | 2632 | 1643 | 553 | 4710 | 719 | 10256 |
| HIII | 5925 | 2936 | 671 | 3166 | 1181 | 13879 |
| HIV | 9925 | 2049 | 646 | 1434 | 960 | 15014 |
| HV | 1251 | 347 | 66 | 229 | 185 | 2078 |
| Total | 21207 | 7554 | 2264 | 12053 | 3358 | 46437 |
| 2010 | | | | | | |
| Class | Southeast | South | North | Northeast | Mid-West | Total |
| HI | 1435 | 564 | 384 | 2535 | 320 | 5238 |
| HII | 2629 | 1574 | 668 | 4848 | 739 | 10458 |
| HIII | 5356 | 2742 | 814 | 3904 | 1181 | 13997 |
| HIV | 10631 | 2858 | 971 | 2604 | 1335 | 18399 |
| HV | 5071 | 1211 | 386 | 900 | 619 | 8185 |
| Total | 25122 | 8949 | 3222 | 14790 | 4194 | 56277 |

4.3.3. Electricity tariffs

Base year electricity tariffs correspond to average regional tariffs in 2000 (ANEEL, 2003), 2001). Data for the year 2020 are derived from projected electricity production costs figures (see 4.1.2), assuming the same taxation and redistribution schemes (across regions, sectors, and household classes) than today (see Appendix A). Tariffs for intermediate periods are linearly interpolated.

Table 5. Electricity tariffs (US\$/MWh)

| 2000 | | | | | |
|-------|-----------|-------|-------|-----------|----------|
| Class | Southeast | South | North | Northeast | Mid-West |
| HI | 29 | 27 | 24 | 24 | 26 |
| HII | 50 | 46 | 42 | 41 | 45 |
| IIII | 76 | 70 | 62 | 58 | 68 |
| HIV | 83 | 77 | 70 | 71 | 77 |
| HV | 83 | 77 | 70 | 71 | 77 |
| 2010 | | | | | |
| Class | Southeast | South | North | Northeast | Mid-West |
| HI | 40 | 36 | 33 | 32 | 35 |
| HII | 68 | 60 | 56 | 54 | 60 |
| IIII | 102 | 90 | 83 | 79 | 89 |
| HIV | 114 | 101 | 94 | 91 | 101 |
| HV | 114 | 101 | 94 | 91 | 101 |

Table 5 shows that interclass tariff variations are much more significant than regional differences, for the household sector. Comparing 2000 and 2010 tariffs, we notice a sharp increase due to the penetration of thermal power to complement the hydroelectric system.

4.3.4. Household choices

Assuming rational choices, households buy the fridge model that minimizes their own estimation of equipment's life cycle cost: the discounted sum (using the private discount rate) of the purchase cost and the annual operating costs. When the CDM project is assumed, the purchase cost is net of the CERU rebate. To compute the rebates, we use average carbon price estimations derived from representative simulation models of carbon emission trading for the year 2010 (Spinger, 2002). This yields a value around 10 US\$/tC²³.

Following the same approach than in subsection 4.2, yields that the household of a given class h chooses, at a given period t , the model that maximizes $V^h C_i^t$, the net value of energy savings, where:

$$V^h C_i^t = -IC_i + R_i^t + \sum_{t'=1}^{16} \frac{P_{eh}^{t+t'} E_i}{(1+\theta^h)^{t+t'}} \quad (2)$$

and where:

R_i^t : is the CDM rebate corresponding to model C_i at time t (in the CDM scenario);

$p_{eh}^{t+t'}$: is the electricity tariff paid by class h 's households at the year $t+t'$, in the region under consideration;

;

θ^h : is discount rate in class h .

²³ One may argue that most models understate carbon price because they neglect transaction costs. However, we consider 10US/tC as a reasonable figure. It is in the middle range of estimates of various scenarios (emission trading with US, without US, without US but with market power from Russia). Carbon prices for year other than 2010 are derived assuming a 10% annual price increase.

with:

$$R_i^t = \sum_{t'=1}^{16} \frac{p_c^{t+t'} S_i}{(1+\theta)^{t+t'}} \quad (3)$$

where:

$p_c^{t+t'}$: is the expected carbon price at the year $t+t'$;

S_i : is the annual amount of carbon saved by option C_i .

Comparing equations (1) and (2), we see that, irrespective of the CDM rebate, there are two potential sources of divergence between households' decisions and baselines: distortions between electricity tariffs and production costs, and financial distortions resulting in private discount rates much higher than the public one.

5. Results and discussion

We apply the methodology above explained to determine baseline appliances and socially optimal models under CDM incentives. Comparing households choices, with and without CDM rebates, we also estimate CDM real impacts.

5.1. Baselines and social optimums with CDM

Estimated baselines are not uniform during the first period: we do not get the same benchmark refrigerator in all regions (table 6). This disparity stems from the heterogeneousness of Brazil's electric system: electricity costs and emission factors differ across regions. In theory, this is an undesirable feature resulting in different prices for the same refrigerator depending on the region of sale (because of different rebates). However, we can consider this problem as a minor transitional one if we acknowledge that marginal characteristics of the Brazilian electric system will soon converge.

Table 6. Baselines (or social optimum without CDM) and social optimums with CDM

| Public discount rate=15% | | | | | |
|--------------------------|-----------|-------|-------|-----------|----------|
| Period: 2000-2005 | | | | | |
| | Southeast | South | North | Northeast | Mid-West |
| Baseline model | C1 | C1 | C5 | C0 | C1 |
| Social optimum with CDM | C1 | C1 | C5 | C0 | C1 |
| Subsequent periods | | | | | |
| | Southeast | South | North | Northeast | Mid-West |
| Baseline model | C1 | C1 | C1 | C1 | C1 |

| | | | | | |
|-------------------------|----|----|----|----|----|
| Social optimum with CDM | C1 | C1 | C1 | C1 | C1 |
|-------------------------|----|----|----|----|----|

| Public discount rate=10% | Period: 2000-2005 | | | | |
|--------------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Southeast | South | North | Northeast | Mid-West |
| Baseline model | C1 | C1 | C5 | C1 | C1 |
| Social optimum with CDM | C1 | C1 | C5 | C1 | C1 |
| | Subsequent periods* | | | | |
| | Southeast | South | North | Northeast | Mid-West |
| Baseline model | C3 | C3 | C3 | C3 | C3 |
| Social optimum with CDM | C5 | C5 | C5 | C5 | C5 |

*: bold characters indicate that CDM credits shift the social optimum.

A much more cumbersome problem is that households' behaviors are very different from estimated baselines (table 7). In fact, low income classes turn themselves towards low quality refrigerators (below the baseline) while higher income classes buy systematically the over-efficient ones (over the baseline), even without any financial incitement.

The envisioned methodology leads therefore to systematic deviations between supposed baselines and real choices. This could be explained by two main factors. First, tariffs distortions between sectors (favoring industry and resulting in average residential tariffs much higher than marginal costs) and between low and high income classes encourage energy efficiency for the latter and do the opposite for the former. Second, financial constraints (expressed through much higher discount rates for low income classes) increase the cost of energy efficiency for medium and low income households. Indeed, the statement that private choices (without incentives) should coincide with baselines (determined as social optimums) presupposes the removal of market distortions.

Hence, since the latter assumption clearly doesn't hold in Brazil, we can expect a poor quality of the estimations of CDM credits resulting from the method envisioned. This will be confirmed next.

5.2. CDM real impacts

CDM impacts are estimated in two different cases: assuming the removal of market distortions, that is computing social optimum choices (table 6), and simulating household choices acknowledging realistically their economic conditions.

Table 6 shows that an impact of CDM on the social optimum is only observed for a 10% public discount rate. Under the 15% hypothesis, the CDM rebate is too low to shift the optimum²⁴. This result simply translates the low value of expected carbon prices.

Turning on simulations considering more realistically the five household classes, results suggest the absence of impact of CDM rebates (table 7 and Appendix B). Put differently, with or without CDM rebates, households make the same choices. Low income households do not move from the low efficiency refrigerators and high income households choose the higher efficiency ones, whether rebated or not, as it was said before. This is due to the two distortion factors above mentioned, worsening the effect of low carbon prices.

Table 7. Households choices in the year 2010 (with or without CDM)

| Class | Southeast | South | North | Northeast | Mid-West |
|-------|-----------|-------|-------|-----------|----------|
| HI | C0 | C0 | C0 | C0 | C0 |

²⁴ In this subsection the rebate have computed assuming a 15% public discount rate.

| | | | | | |
|------|----|----|----|----|----|
| HII | C0 | C0 | C0 | C0 | C0 |
| IIII | C1 | C1 | C1 | C1 | C1 |
| HIV | C5 | C3 | C1 | C1 | C3 |
| HV | C5 | C5 | C5 | C5 | C5 |

Since CDM doesn't impact household decisions, the credits computed by the proposed method (Table 8) are not additional. They do not correspond to emission reductions that otherwise would not occur. They correspond to misjudgments about baselines. This suggests that the proposed methodology should be rejected for it doesn't prevent against massive free-riding.

Table 8. CDM credits

| Year | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 |
|---------|------|------|------|------|------|
| In MtC | 0,2 | 0,3 | 0,8 | 1,2 | 1,5 |
| In US\$ | 0,7 | 2,1 | 8,1 | 19,5 | 39,0 |

IV. 6. Conclusion

In this paper, we test a method for applying CDM principles in the residential sector. The method determines baseline appliances as socially optimal models. We consider a hypothetical CDM project consisting in a rebate program where appliances supplied on the market are rebated according to carbon emission savings (as compared to baselines). The method is tested in the case of the Brazilian refrigerator market. It proves inaccurate when tariff distortions and

realistic household behaviors are acknowledged. Baseline estimates are not robust and free-riding is encouraged.

This negative conclusion could nevertheless be overcome if we acknowledge two points. First, we have implicitly assumed in our argument that all barriers impeding the supply of efficient appliances had disappeared; second, tariff distortions introducing biases in household's demand may not be permanent: it is not excluded that Brazilian tariff distortions will be reduced, progressively in the future, not only between sectors and regions, but also between households, in a way that prices will reflect costs.

Hence, it is possible to consider an alternative approach for CDM. In a first stage, one may consider that the role of CDM in the residential sector is not to modify household behaviours with rebates but to help upgrading appliance markets, currently characterized by a high share of inefficient models. As a result, one may argue that a uniform baseline corresponding to the efficiency level of the average model of the market (the "C0" option of this study) is acceptable, temporarily. This alternative approach focuses on CDM as a potential accelerator of market transformations. The question raised by this alternative methodology is how to estimate this acceleration effect. In which cases can CDM "save" 5, 10, or 15 years? Answering this question requires studies on appropriate DSM programs in order to analyze them and assess the conditions under which countries spontaneously allow the necessary resources to upgrade appliances markets or not.

At a second stage, at the end of the market transformation period, one could turn to the crediting methodology presented in this paper, provided that the tariff distortions are reduced. However, this requires a reassessment of the method with alternative hypotheses on electricity tariffs.

Appendix A. Hypotheses on electricity production costs and tariffs at the horizon 2020

Estimates of electricity costs and avoided carbon emissions by 2020 presented in this paper are based upon the Long Term Plan 2000-2022, conducted by the National Energy Policy Council of Brazil's Ministry of Mines and Energy (MME, 2003)²⁵.

One remarkable result of the Long Term Plan is the necessity for Brazil to increasingly rely on thermal power generation. In terms of installed capacity, the forecasts for 2022 achieved a total figure of 217 GW (not including the importation of electricity from the Itaipu bi-national hydropower plant²⁶), which can be divided into: hydropower (63%), thermal power (30%), nuclear (1%), and self-producers (6%). Another remarkable point of the plan is that the two Brazilian large electric systems are expected to be connected through transmission lines (resulting in a power generation cost convergence by 2022). All these hypotheses were used in our study. Yet, some additional assumptions were needed in order to estimate future electricity costs and tariffs:

- we assume that most of the thermal generation would be natural gas-fired (60 GW), based on combined-cycles having an operational efficiency of 44.5% (in LHV basis)²⁷. The coal-fired generation (5 GW) serves the system (in the southern of country) merely for the

²⁵ According to the Long Term Plan 2000-2022 (MME, 2003), the Brazilian electricity market will grow from 332 TWh in 2000 to 904 TWh in 2022 (or 4.7%/ year, in average). Considering the reduction in the power transmission and distribution losses from 15.0%, in 2000, to 12.1% in 2022,²⁵ the power supply in 2022 achieves 1,013 TWh.

²⁶ Electricity importations remain almost unchanged, varying from 44,3 TWh in 2000 to 37,8 TWh in 2022 (MME, 2003).

²⁷ It is expected that these plants will be used for the base-load and the peak-load demands. On average, they should guarantee a minimum annual utilization factor of 70%, in order to allow the economic feasibility of the fuel acquisition under take-or-pay clauses.

optimisation of the hydro-based generation, under base-load conditions;

- we assume the continuation of the PROINFA Program implemented in 2002 and aiming at increasing the use of renewable energy sources (biomass power generation, small scale hydro and wind power)²⁸;
- as the Long Term Plan 2000-2022 did not explicitly assess the peak and the base-load supplies, our study follows the assumptions made by La Rovere and Americano (1999).
- since PROINFA obliged the compulsory acquisition (or dispatch) of the new renewable generation, we assume that this supply will occur under base and semi-base load conditions, even with the proviso that wind power capacity factor is, in average, lower than 25%. This means also that these sources should complement the hydro generation, which is, in fact, the case for the biomass and the wind in many regions of the country.
- for the marginal and average costs estimates, we use Schaeffer and Szklo (2001)' assumptions both for time of construction, fuel prices, O&M costs and initial investments. In addition, the power transmission marginal costs were based on Coelho et al. (1994) and Scheffer et al. (2000) estimates (updated for this study).
- for the taxes and charges added to average costs to obtain tariffs, in the lack of any additional information, we assume that the existing fiscal structure of 2001 would be valid in 2020, except for the Fuel Compensation Account (that would vanish in 2013 for all energy sources) and the RGR charge (that would vanished in 2010).²⁹

²⁸ In this case, by 2022, biomass fired-thermal generation, small-scale hydro plants and wind farms will generate, together, 77,4 TWh (or round 8% of the internal power supply).

²⁹ Regarding taxes and charges applied on electricity rates in Brazil, as of today, first of all, there is the ICMS, which is a non-cumulative indirect (equivalent to the Value Added Tax - VAT); on the average, it corresponds to some 18% of the final tariff. Second, there are social

V. Appendix B. Households choices with and without CDM

The following table shows optimal choices of refrigerator models from households' perspective. Decisions are the same with and without the CDM rebate (assuming that baselines and rebates are determined with a 15% public discount rate).

Table 9. Household choices (decisions are the same with and without CDM).

| 2000 | | | | | |
|-------|-----------|-------|-------|-----------|----------|
| Class | Southeast | South | North | Northeast | Mid-West |
| HI | C0 | C0 | C0 | C0 | C0 |
| HII | C0 | C0 | C0 | C0 | C0 |
| IIII | C1 | C1 | C1 | C0 | C1 |
| HIV | C1 | C1 | C1 | C1 | C1 |
| HV | C3 | C3 | C1 | C1 | C3 |
| 2005* | | | | | |
| Class | Southeast | South | North | Northeast | Mid-West |

contributions (PIS/PASEP and COFINS), which are applied on the cost of energy (oil and electricity); these contributions taken together correspond to some 5% of the electricity tariff. Third, there are charges related to the financial compensation for the use of water resources by the hydropower plants; it correspond to some 6.75% of a reference tariff defined by the Brazilian National Electricity Agency. Fourth, there is a charge known as Fuel Account Compensation, which subsidizes the fuel consumed for serving remote communities, it consists of quotas paid by the power utilities to a fund. Finally, the last sectoral charge is the Investment Fund for R&D and Energy Efficiency that corresponds to 1% of the net revenue of the energy utilities (Filho, 2001).

| | | | | | |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| HI | C0 | C0 | C0 | C0 | C0 |
| HII | C0 | C0 | C0 | C0 | C0 |
| HIII | C1 | C1 | C1 | C1 | C1 |
| HIV | C3 | C1 | C1 | C1 | C1 |
| HV | C5 | C5 | C3 | C3 | C5 |

2010*

| Class | Southeast | South | North | Northeast | Mid-West |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| HI | C0 | C0 | C0 | C0 | C0 |
| HII | C0 | C0 | C0 | C0 | C0 |
| HIII | C1 | C1 | C1 | C1 | C1 |
| HIV | C5 | C3 | C1 | C1 | C3 |
| HV | C5 | C5 | C5 | C5 | C5 |

2015*

| Class | Southeast | South | North | Northeast | Mid-West |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| HI | C0 | C0 | C0 | C0 | C0 |
| HII | C0 | C0 | C0 | C0 | C0 |
| HIII | C1 | C1 | C1 | C1 | C1 |
| HIV | C5 | C5 | C3 | C3 | C5 |
| HV | C5 | C5 | C5 | C5 | C5 |

2020*

| Class | Southeast | South | North | Northeast | Mid-West |
|-------|-----------|-------|-----------|-----------|----------|
| HI | C0 | C0 | C0 | C0 | C0 |
| HII | C0 | C0 | C0 | C0 | C0 |
| HIII | C3 | C1 | C1 | C1 | C1 |
| HIV | C5 | C5 | C5 | C5 | C5 |
| HV | C5 | C5 | C5 | C5 | C5 |

*: bold characters indicate a change of household's choice between the current period and the previous one.

VI. Bibliography

ANEEL, (2003), *Electricity database*.

Bertoldi P. and Bowie R., (1997), “European union efforts to promote more efficient private appliances”, *Proceeding of the 1997 ECEEE Summer Study*, Czech republic, 9-14 June.

Busch, J., Eto, J., (1996), “Estimation of Avoided Costs for Electric Utility Demand-Side Planning”. *Energy Sources* 18 (4).

Coelho, S., Ieno, G., Zylbersztajn, D., (1994), *Aspectos Técnicos e Econômicos da Inserção da Cogeração de Eletricidade na Matriz Energética Brasileira*. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Ellis J., Missfeldt F., Bosi M. and Painuly J. (2001), “Possibilities for standardized baselines for JI and the CDM: background paper”, *UNEP/OECD/IEA workshop on baselines methodologies*.

Eletrobras, (2000), Plano decenal de expansão 2000-2009.

Eletrobras, (2003), Ten Year Plan 2003-2012.

Filho, G., (2001), “O impacto da carga tributária no custo da energia no Brasil”, *Revista Eletricidade Moderna*, 326 (24).

Grubb M., Hourcade J.C. and Oberthur S. (2001), *Keeping Kyoto: A study of approaches to maintaining the Kyoto Protocol on Climate Change*, Report, Climate Strategies, www.climate-strategies.org.

IBGE, (2001), Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio.

Jannuzzi G. De M., Queiroz G. C. and Vendrusculo E. A. (2002), *Brazilian domestic refrigerators can be 45% more energy efficient to*

save Brazilian consumers significant R\$ on their electricity bill : a detailed life-cycle cost analysis for setting energy efficiency standard in Brazil, Final Report, Climate Technology Initiative, December.

La Rovere, E., Americano, B., (1999), Assessment of Global Environmental Impacts of PROCEL, Greenhouse Gas Emissions Avoided by PROCEL: 1990-2020. Technical Report - PROCEL/Eletronbras.

Ministerio das Minas e Energia [MME], (2003), Plano de Longo – Matriz Energética 2000-2022.

Novem H. V., Kofod C., (1997), “Lessons learned by an international DSM database”, *Proceeding of the 1997 ECEEE Summer Study*, Czech republic, 9-14 June.

OCDE/IEA (2000), *Emission Baselines: estimating the unknown*, OCDE/IEA.

SIESE, (2003), *Boletim Anual*.

Rosa, L., Tolmasquim, M., Pires, J., (1998), A reforma do setor elétrico no Brasil e no mundo: uma visão crítica.

Schaeffer, R., Logan, J. Szklo, A. Chandler, W. Marques, J., (2000), *Developing Countries & Global Climate Change: Electric Power Options in Brazil*. Technical Report. Arlington, Virginia: Pew Center on Global Climate Change.

Schaeffer, R., Szklo, A., (2001), “Future Electric Power Technology Choices of Brazil: A Possible Conflict between Local Pollution and Global Climate Change”. *Energy Policy* 29(5).

Silva V., (2003), *Personal communication*.

Springer U. (2002), “The market for tradable GHG permits under the Kyoto protocol: a survey of model studies”, *Energy Economics*.

Stewart, R., Anderson, D., Aslam, M., Eyre, C., Jones, J., Sands, P. and Yamin, F. (1999), *The Clean Development Mechanism: Building*

international public-private partnership, UNCTAD
/GDS/GFSB/Misc.7, Geneva.

Szklo, A., Cunha, R. (2003), *Brazil's Energy Development Status*. IN: Goldemberg, J. (org.). Brazil's energy profile. Atomic Energy International Agency.

VII. Acknowledgments

The authors benefited from an unpublished preliminary work on a similar Tunisian case-study with Laurent Gilotte, Mohammed Lassoued, and Olfa Jaballi.

The “Programme de recherche GICC (Gestion et Impacts du Changement Climatique)”, CAPES, CNPQ and FAPERJ are kindly acknowledged for funding and supporting the researches underlying this paper.

Annexe 2

Etude GNV – Inde

Etat d'avancement du projet décidé par la Cour Suprême au 1^{er} Juillet 2001

| Technologie | |
|---|---|
| Décision de la Cour Suprême | Etat d'avancement au 1 ^{er} juillet 2001 |
| Le nombre de bus doit augmenter pour atteindre 10.000 au 1 ^{er} avril 2001 et ils doivent rouler au GNV | La moitié des 10.000 bus sont en service et 88% d'entre eux roulent au diesel |
| Tous les taxis et rickshaws datant d'avant 1990 doivent être remplacés par des véhicules roulant avec des carburants propres à compter du 31 mars 2000 | Tous les taxis et rickshaws ont été retirés de la circulation en temps et heure. |
| Les gouvernements locaux doivent fournir des incitations financières pour remplacer tous les taxis et rickshaws par des véhicules roulant au GNV ou avec un carburant propre à partir du 31 mars 2000. | Des incitations financières ont été accordées pour les nouveaux véhicules fonctionnant au GNV ou avec un carburant propre. 42% des rickshaws et 12% des taxis roulent au GNV. |
| Tous les bus de plus de 8 ans doivent être retirés de la circulation à moins qu'ils ne roulent au GNV ou avec un carburant propre à compter du 1 ^{er} avril 2000. Toute la flotte de bus (privée ou publique) doit être convertie au GNV. | 1.200 bus au GNV sont en circulation (1 171 bus dédiés au GNV et 29 convertis) |

Coût d'adoption de la technologie et potentiel sans regret

Nous étudions dans un premier temps, la contrainte en capital pour la mise en œuvre de ces projets individuels. Pour cela, nous pouvons écrire les fonctions objectifs de l'entité (particulier ou compagnie de bus) qui prend la décision de réalisation ou non du projet par rapport à son scénario de référence défini par le type de carburant ou de véhicule utilisé sans le projet. Les fonctions objectifs que nous considérons dans un premier temps sont la maximisation de la valeur actuelle nette du projet pour chacun par rapport au scénario de

référence. Celle-ci est constituée de la différence des bénéfices B_t et des coûts C_t du projet à chacune des périodes t ainsi que du financement de l'investissement I . La variable de contrôle est le type de technologie choisie i (soit le carburant conventionnel, soit le GNV).

$$F_{Obj} = \underset{i}{Max} VAN \left(\sum_{t=1}^N (B_t^i - C_t^i) - I_0^i \right)$$

a. projet achat voiture neuve au GNV

Le projet que nous considérons est l'achat d'un véhicule au gaz³⁰ plutôt que d'une voiture à essence : un usager décide soit d'acheter une voiture pour la première fois, soit de remplacer son ancienne voiture arrivée en fin de vie ou bien après revente de sa voiture sur le marché de l'occasion. Son choix de voiture est déterminé par un ensemble d'options qui dépend des préférences du client (puissance, climatisations, options de confort), par des considérations techniques de consommation de carburant et enfin par le prix du véhicule et enfin par le carburant utilisé. Pour financer l'achat du véhicule, les $\frac{3}{4}$ des acheteurs indiens font appel au crédit. Celui-ci est de 12% pour l'achat de voitures.

Les bénéfices du projet sont constitués des économies en carburant :

$$\Delta(p.E) = p_{GNV} \cdot E_{GNV} - p_{Conv} \cdot E_{Conv}$$

avec p ; le prix du carburant i ($i=GNV$ ou $conv$), $conv$ désigne l'essence ou le diesel et E_i consommations de carburant i ($i=conv, GNV$).

Les coûts sont constitués du surplus d'investissement initial lié au projet de GNV. D'autres éléments peuvent apparaître : les coûts d'assurance (*Ass*), les taxes routières (*Taxes*), les coûts de maintenance (*Main*), la différence de durée de vie entre un véhicule essence et un véhicule au gaz (*Life*). Nous considérons que celle-ci est la même que ce soit un modèle essence ou un modèle au gaz.

Dans le cas de l'achat d'un véhicule, l'investissement est financé dans presque la totalité des cas par crédit. Un acompte *Acc* est versé au moment de l'achat. Nous le fixons au tiers de la

³⁰ Les rares constructeurs à avoir lancé un modèle GNV sur le marché indien sont le groupe Tata indien. Depuis peu, le modèle INDICA, premier modèle entièrement indien est disponible équipé de deux réservoirs GNV (22 et 50 litres) et d'un réservoir diesel de 5 litres. Le prix de ce modèle GNV est de 25.000 Rs de plus que le modèle standard à essence (pour donner un ordre d'idée, il faut rajouter 20.000 Rs pour avoir la climatisation). Il existe également certains modèles plus « haut de gamme ».

valeur de la voiture. Le crédit apparaît dans la fonction sous forme d'annuités de remboursement $ann(I-Acc,r,T)$ à un taux d'intérêt r pendant T années.

L'actualisation se fait au taux $\rho_{privé}$ défini de manière individuelle pour chacun des agents selon leur niveau de revenu. Nous faisons l'hypothèse que les revenus élevés ont un taux d'actualisation égal à celui du marché fixé par le taux d'emprunt (12%). Pour les revenus plus bas, nous considérons des taux d'actualisation privés plus élevés, nous testons les taux d'actualisation 15 et 20% pour des revenus intermédiaires et 40% pour des revenus plus bas. Nous pourrions considérer encore des taux d'actualisation plus élevés pour les très pauvres, mais on peut également supposer que ces derniers sont trop pauvres pour s'acheter une voiture.

$$VAN = VA \left([\Delta p.E(p) + \Delta Taxes + \Delta Ass + \Delta Main + \Delta ann(I - Acc, r, T)] \right), \rho_{privé}, N) - Acc$$

Nous étudions deux catégories de produits : une voiture bas de gamme (modèle INDICA) dont le prix essence est de 320.000 Rs et un modèle haut de gamme (500.000 Rs).

Tableau 0-1 : résultats des simulations concernant le projet d'achat de voiture au gaz selon le modèle et le taux d'actualisation de l'acheteur

| Taux d'actualisation | Modèle bas de gamme | Modèle haut de gamme |
|----------------------|---------------------|----------------------|
| 4% | GNV | GNV |
| 10% | GNV | GNV |
| 15% | GNV | GNV |
| 20% | Essence | GNV |
| 40% | Essence | Essence |

L'option GNV est toujours choisie pour des taux d'actualisation faibles (inférieurs à 15%) donc pour des classes de revenu élevées. Elle n'est jamais choisie pour des taux d'actualisation élevés (supérieurs à 40%). Cependant, en général, les acheteurs de modèles haut de gamme auront un taux d'actualisation plus faible que ceux qui achètent les bas de gamme. Ainsi, les individus correspondant à la case du tableau croisant Modèle haut de gamme / 40% sont rares. Les acheteurs de modèles bas de gamme auront plus probablement un taux d'actualisation relativement élevé, ils choisiront alors le modèle essence.

D'après les résultats, de manière non surprenante, les voitures au gaz pénétreraient plus facilement au sein des ménages aisés, puisque même s'ils accordent une grande importance

aux caractères optionnels et de confort d'une voiture, la VAN de l'achat du modèle au gaz sera supérieure à l'achat d'un modèle essence.

b. projet conversion-voiture

On ne considère dans cette catégorie que la conversion de véhicules essence. Le coût d'un kit de conversion GNV, C_{kit} , est de l'ordre de 35.000Rs. En général, les particuliers ne feront pas appel au crédit pour financer cet investissement. N est la durée de vie résiduelle de la voiture au moment de la conversion. Les économies de carburant sur la durée de vie résiduelle du véhicule dans ce cas sont moindres que dans le cas de l'achat d'un véhicule neuf construit pour rouler au gaz. La fonction objectif de l'opération s'écrit :

$$VAN = VA \left(\left[\Delta (p.E)_{t=0..N} - C_{kit} \right], \rho_{privé}, N \right)$$

Tableau 0-2 : conversion ou non d'un modèle bas de gamme avec le premier prix des kits (35 000 Rs) suivant le taux d'actualisation du propriétaire du véhicule

| Durée de vie résiduelle de la voiture | Modèle bas de gamme | | | Modèle haut de gamme | | |
|---------------------------------------|---------------------|--------|--------|----------------------|--------|--------|
| | 5 ans | 10 ans | 15 ans | 5 ans | 10 ans | 15 ans |
| 4% | Non | Oui | Oui | Non | Oui | Oui |
| 10% | Non | Non | Oui | Non | Oui | Oui |
| 15% | Non | Non | Non | Non | Oui | oui |
| 20% | Non | Non | Non | Non | Non | Oui |
| 40% | Non | Non | Non | Non | Non | Non |

Note : les lignes grisées renvoient à des cas improbables. Un propriétaire de modèle bas de gamme aura un taux d'actualisation sans doute élevé.

Pour une durée de vie résiduelle courte, la conversion au GNV est peu probable, sauf pour un modèle haut de gamme et un taux d'actualisation du propriétaire faible. Pour des durées de vie résiduelles plus longues, la conversion se fera pour les propriétaires d'un modèle de voiture bas de gamme, type INDICA, uniquement pour des propriétaires ayant des taux d'actualisation inférieurs à 15%. Pour les propriétaires de modèles haut de gamme, la conversion se fait beaucoup plus facilement, sauf pour ceux qui actualisent énormément

c. projet achat-bus privé

Nous considérons maintenant le cas où une nouvelle compagnie de transport s'établit à Delhi ou décide d'augmenter la taille de sa flotte de bus. Alors, au moment de s'équiper, au lieu

d'opter pour une flotte de véhicules au diesel, elle choisit des bus au GNV neufs. Les investissements font appel au crédit. Pour les compagnies de bus le taux pratiqué est de 16%. Le paiement s'effectue avec versement d'un acompte à hauteur de 30% de la valeur du bus et des remboursements annuels fixes d'emprunt à un taux r pendant N années. La durée de vie du bus est de T années.

La fonction objectif pour la compagnie privée de bus est constituée de la maximisation de la valeur actuelle nette du projet. Les bénéfices du projets sont constitués des économies réalisées sur les dépenses d'énergie (coût du GNV inférieur au km parcouru) et les dépenses supplémentaires par le surcoût de l'investissement. Les données utilisées sont présentées dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

$$MaxVAN = VA[(\Delta E(p).p - \Delta ACCann(\Delta(I - Acc), r, N)), \rho_{compagnie}, T]$$

Tableau 0-3 : Données financières et techniques utilisées pour le calcul de la fonction objectif

| Données | Référence | GNV |
|--------------------------------------|--------------|--------------|
| Données financières | | |
| Achat neuf | 1 100 000 Rs | 1 600 000 Rs |
| Acompte | 210 000 Rs | 360 000 Rs |
| Montant de l'emprunt | 890 000Rs | 1 240 000 Rs |
| Durée de l'emprunt | 8 ans | 8 ans |
| Taux de remboursement | 16% | 16% |
| Remboursement mensuel | 16 490 Rs | 22 975 Rs |
| Taux d'actualisation de la compagnie | 12% | 12% |
| Données techniques | | |
| Consommation | 3,5 km/l | 3 km/l |
| Prix du carburant | 17,06 Rs | 12,21 Rs |
| Distance annuelle | 70 000 km | 70 000 km |
| Coûts de maintenance | | |
| Assurance | | |
| Durée de vie | 8 ans | 8 ans |

Toutes choses identiques par ailleurs, en considérant que le surcoût d'investissement n'entraîne pas une hausse de la tarification, et dans les conditions de financement actuelles décrites plus haut, l'achat d'un bus au gaz à la place d'un bus diesel pour une compagnie privée dont l'objectif premier est de rentabiliser ses investissements, n'est pas intéressant, puisque la VAN est négative quel que soit le taux d'actualisation qu'utilise l'entreprise.

Le modèle LEAP

Le scénario de référence est tiré de l'étude de R. Bose et K.S. Nesamani (2000) sur la base du modèle LEAP (Long Range Energy Alternatives Planning) développé par le Stockholm Environment Institute de Boston (SEI, 1993). Une description en est donnée en Annexe. Le modèle calcule la demande d'énergie pour des hypothèses de pénétration technologiques et de politiques en matière de transport. Pour cela, sur la base de données historique, il établit une projection de la demande de chaque mode de transport. Ainsi, la demande totale de transport est donnée par l'équation (1) ci-dessous :

$$D_t = \sum_k V_{kt}^* U_{kt} \cdot O_{kt} \quad (1)$$

$$V_{kt} = a + b \cdot X_t \quad (2)$$

où D est la demande totale de transport exprimée en pass.km pour les passagers et en t.km pour les marchandises, V est le nombre de véhicules motorisés, et V* le nombre de véhicules motorisés ajustés selon le taux de renouvellement du parc, soit le nombre de véhicules effectivement en service. U et O désignent respectivement les taux moyens d'utilisation en km/véhicule, et d'occupation en pass./véhicule ou de charge pour les camions en t./camion. X désigne le revenu par habitant utilisé pour calculer la régression concernant les deux roues, les autorickshaws et les voitures et taxis. Pour les bus et les camions, X renvoie au Produit intérieur brut de l'état de Delhi. L'indice k renvoie à chacun des modes de transport. Les coefficients de l'équation (2) sont obtenus par la méthode des moindres carrés. Les résultats de la régression, ainsi que le scénario de référence sont donnés en Annexe.

Annexe 3

Etude maîtrise de la demande transport

Delhi : Arbitrages entre localisation résidentielle et modes de transport

Les migrants aux revenus les plus faibles : invasions de terrains et rapprochement du lieu de travail

Comme on peut l'observer dans d'autres métropoles en développement, les migrants aux revenus les plus faibles ont recours à des invasions de terrain et à l'auto construction pour résoudre leur problème de logement (Dupont V., Houssay-Holzschuch M., 2001). Ce sont souvent des migrants attirés par de meilleures opportunités d'emploi dans la capitale qui s'installent sur les terrains envahis. A Delhi, les bidonvilles jouent, en outre, un rôle de premier lieu d'accueil pour les nouveaux venus. Leur choix de localisation résulte souvent des stratégies d'implantation à proximité des sources d'emplois, en particulier dans les zones industrielles et près des chantiers de construction (voir *infra* l'exemple des habitants du bidonville du Stade Nehru), et les choix résidentiels visent à réduire les déplacements quotidiens vers les lieux de travail. Selon une logique similaire, dans les noyaux villageois en cours d'urbanisation dans la périphérie métropolitaine, c'est l'attraction exercée par une offre abondante d'emplois ouvriers qui non seulement déclenche des flux d'immigration, mais, de plus, oriente l'implantation résidentielle des travailleurs migrants à proximité des zones d'emplois.

Les habitants du bidonville du stade Nehru

L'implantation et le développement du bidonville du stade Nehru étaient directement liés à l'ouverture de chantiers de construction, initialement celui du stade, puis ceux d'immeubles d'un complexe administratif, dont certains chantiers sont toujours en cours. La population du bidonville s'est ainsi renforcée par l'arrivée de nouveaux ouvriers migrants travaillant sur les chantiers proches³¹, ou ailleurs, la situation centrale du bidonville, également bien reliée par

³¹ Le secteur de la construction, au rôle fondateur pour le bidonville, reste encore déterminant pour la survie de ses habitants. Ainsi 44% des actifs enquêtés en 1995 étaient employés dans ce

les axes de transport au reste de la ville, en faisant une localisation très pratique. Actuellement, près de 40% des actifs enquêtés dans Rajiv Gandhi Camp travaillent dans un rayon de seulement 1,5 km autour du bidonville, et plus du tiers de ceux travaillant hors de leur domicile se déplacent à pied (29%) ou en bicyclette (10%) à leur lieu de travail, annulant ou minimisant ainsi les coûts de transport quotidiens.

Pour les populations à bas revenus ne pouvant se permettre des coûts de transport quotidien élevés, priorité est donnée à l'accès à des sources d'emplois relativement proches, et non aux conditions de logement. Ceci explique pourquoi de nombreuses tentatives de relogement d'habitants de bidonvilles sur des parcelles assainies et légales, mais situées loin du centre - donc souvent loin des emplois et mal desservies par les transports en commun- se sont soldées par la revente d'une large proportion des parcelles allouées et un retour vers le centre ville dans l'habitat précaire et illégal.

Tableau 4: Localisation de l'emploi, mode de transport et temps passé dans les transports pour se rendre au travail dans la zone du Nehru Stadium

| | Type d'habitat | | |
|--|---|-----------------------------|-----------|
| | Sans domicile fixe | Appartements secteur public | Tout type |
| Travail à domicile (% de travailleurs) | 4.3 | 2.9 | 4.0 |
| Lieu de travail dans la même zone géographique (% de travailleurs) | 35.1 | 20.9 | 31.6 |
| Mode de transport* | Distribution pour chaque type d'habitat | | |
| A pied | 30.2 | 13.8 | 26.1 |
| En vélo | | - | 7.6 |
| En mobylette | - | 5 | 4.5 |
| En voiture | - | 30.8 | 7.6 |
| En bus | 58.3 | 32.3 | 51.9 |
| Autre | 5 | 4.6 | 2.3 |
| Total | 100.0 | 0. | 100.0 |
| Temps du trajet, en min * | 30 | 23 | 28 |

secteur, qui en comparaison n'occupaient que 8% des actifs de la population active de Delhi selon le recensement de 1991.

Les sans-logis du vieux centre ville : stratégies de minimisation des coûts de logement et de transport

La proximité entre le lieu de couchage et le lieu de travail s'avère un élément fondamental pour comprendre la situation des sans-abris de nombreux travailleurs migrants de Old Delhi répondant à une stratégie de minimisation des coûts de transport (Dupont V., Houssay-Holzschuch M., 2001). La prolifération des commerces et ateliers industriels dans la vieille ville, ainsi que des services associés, donc d'activités économiques fortement pourvoyeuses d'emplois informels, a attiré une population flottante de travailleurs migrants masculins, en général non qualifiés, et dont l'insertion résidentielle reste très précaire. Ils sont nombreux à dormir sur les trottoirs, dans les espaces publics, ou dans des abris de nuit ouverts par la Municipalité. Venant en célibataires, la plupart de ces migrants sans logis sont d'origine rurale et retournent régulièrement dans leur village d'origine. En outre, environ la moitié d'entre eux procurent une aide financière à leur famille restée sur place. Les sans-logis d'Old Delhi font partie intégrale de la force de travail urbaine. Leurs salaires les placent dans le groupe des bas revenus, mais au dessus du seuil de pauvreté, y compris après retenue des envois d'argent à leur famille.

Ainsi, une très forte proportion des personnes sans-logis dans Old Delhi travaille dans la vieille ville même, ou dans des quartiers adjacents. 80% des actifs sans-logis se déplacent à pied à leur lieu de travail, le temps de transport moyen est 16 min. seulement par trajet, et pour 57% d'entre eux 10 min. ou moins. Le coût de transport quotidien au lieu de travail est en conséquence réduit à zéro pour la plupart des sans-logis. Il permet aussi d'éviter la fatigue de navettes quotidiennes et d'assurer un repos adéquat, autre facteur vital pour les travailleurs manuels engagés dans des activités exigeant un effort physique intense. En outre, pour les journaliers, une plus grande proximité entre le lieu de couchage et le lieu d'embauche journalière accroît leur probabilité de trouver du travail.

En résumé, les pratiques résidentielles de la majorité des sans-logis révèlent des éléments de rationalité économique qui visent à maximiser l'épargne et les envois d'argent à la famille, par la minimisation des dépenses de logement et de transport.

Accès à un logement bon marché et à la propriété dans les lotissements illégaux pour les classes de bas à moyens revenus

Les lotissements illégaux des périphéries de Delhi, résultant d'un processus d'urbanisation par l'intermédiaire d'un promoteur informel, et qui abritent essentiellement des groupes aux revenus faibles à moyens, apparaissent davantage comme des lieux de relocalisation au sein du territoire de la capitale, que comme des quartiers de réception pour les nouveaux migrants (Dupont V., Houssay-Holzschuch M., 2001). Certes, dans un contexte de périphérisation de l'offre de logement en location, la recherche de location à bon marché rend compte des choix de localisation résidentielle excentrée d'une certaine section des habitants des lotissements irréguliers, en particulier les nouveaux migrants. Toutefois, ce que révèlent les trajectoires des habitants de ces quartiers, c'est en premier lieu le désir d'accéder à une propriété abordable, désir identifié comme le moteur principal des mobilités intra-urbaines à destination des quartiers périphériques illégaux. Les contraintes économiques qui limitent fortement les options envisageables en termes de choix de quartier ne permettent pas de tenir toujours compte du lieu de travail dans les choix de localisation résidentielle.

Tableau 5 : Localisation de l'emploi, mode de transport et temps passé dans les transports pour se rendre au travail dans la zone de Mayur-Trilokpuri (périphérique, est)

| | Type d'habitat | | | | | | |
|--|---|-----------------|------------------|--------------------------------------|------------------|----------------------------------|------------|
| | Bidonville, colonie | Colonie relogée | Villages urbains | Colonies non autorisées régularisées | Appartements DDA | Logement par société coopérative | Tout types |
| Travail à domicile (% de travailleurs) | 12,9 | 2,5 | 28,9 | 10,6 | 6,9 | 6,0 | 9,5 |
| Lieu de travail dans la même zone géographique (% de travailleurs) | 77,4 | 27,8 | 63,8 | 40,9 | 20,8 | 7,5 | 34,9 |
| Mode de transport | Distribution pour chaque type d'habitat | | | | | | |
| A pied | 44,5 | 19,3 | 33,9 | 24,1 | 1,5 | - | 18,3 |
| En vélo | 33,3 | 23,9 | 30,5 | 18,1 | - | 1,6 | 18,1 |
| En mobylette | - | 1,6 | 8,5 | 16,8 | 35,8 | 19,0 | 11,8 |
| En voiture | - | - | - | 2,4 | 20,9 | 46,0 | 9,2 |
| En bus | 11,1 | 54,2 | 27,1 | 38,6 | 40,3 | 31,7 | 41,2 |
| Autre | 1,1 | 1,0 | - | - | 1,5 | 1,6 | 1,4 |
| Total | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Temps de trajet en min* | 18 | 38 | 33 | 33 | 33 | 31 | 34 |

Source : Dupont V., Houssay-Holzschuch M. (2001)

* Excluant les travailleurs à domicile.

Accession à la propriété et meilleur cadre de vie en périphérie pour les classes aisées

L'accession à la propriété se retrouve à nouveau dans les motivations de déconcentration résidentielle des classes aisées dans la périphérie métropolitaine, mais il s'agit cette fois d'une propriété dans un cadre de vie privilégié, où les considérations ayant trait à la qualité de l'environnement prennent une place importante (Dupont V., Houssay-Holzschuch M., 2001). La condition indispensable en contrepartie est de posséder son véhicule personnel, afin de rendre possible les trajets quotidiens vers des lieux de travail éloignés, ou effectuer en ville les achats de biens non disponibles dans le quartier. Le système de transport en commun desservant ses zones excentrées est en effet encore mal développé : les autobus publics ne passent que sur la route nationale principale, et ne desservent pas les différents secteurs du complexe résidentiel, quant aux systèmes d'autobus privés, ils s'avèrent peu pratiques, pas assez fréquents, et relativement chers pour des revenus moyens.

DLF Qutab Enclave, vaste complexe résidentiel au sud de Delhi

DLF Qutab Enclave est un vaste complexe résidentiel mis en oeuvre au sud du Territoire de Delhi dans le cadre d'un plan d'aménagement du gouvernement en association avec les promoteurs privés. Près de la moitié des actifs dans DLF Qutab Enclave travaillent dans Delhi même, et la moitié des élèves et étudiants doivent également se déplacer à Delhi pour leurs études. Le temps moyen de transport pour se rendre au lieu de travail est de 36 min.³², avec une forte variabilité (écart type de 25 min.) ; pour un tiers des actifs travaillant hors de leur domicile le trajet quotidien s'élève à 45 min. ou plus, et pour un quart à une heure ou plus. Toutefois, si l'on compare ces chiffres aux temps moyens de transport enregistrés dans les autres quartiers périphériques étudiés, les résidents de DLF Qutab Enclave n'apparaissent pas particulièrement handicapés par leur localisation, ce qui tient bien évidemment aussi aux moyens de transport utilisés. Ainsi 51% des personnes travaillant hors de leur domicile utilisent une voiture particulière, 20% leur moto ou scooter, 19% les autobus privés affrétés par la municipalité de DLF ou les compagnies employant les résidents, et seulement 5% les

³² Le calcul des temps moyens de transport au lieu de travail et de leur distributions exclue les personnes travaillant à leur domicile.

autobus publics alors que pour les habitants des immeubles d'habitation collective de Rohini au nord-ouest de Delhi la distribution est pratiquement inversée, avec seulement 3% des actifs utilisant la voiture, et 50% aux autobus publics. Dernier point à relever, une proportion notable (près d'un quart) des actifs résidant à DLF Qutab Enclave travaille à domicile. Ceci reflète deux caractéristiques : la présence d'employés domestiques travaillant dans des familles riches et logés dans la même maison ; et la présence de professions libérales et indépendantes opérant à partir de chez eux, ce qui peut correspondre à une stratégie de relocalisation de leur lieu de travail au lieu de résidence.

Annexe 4

Articulation politiques climatiques et modes de financement du développement

Inventaire des mécanismes actuels de l'APD

L'APD désigne l'ensemble des apports de ressources (prêts ou dons) qui sont fournis aux pays en développement et aux institutions multilatérales par des organismes officiels, y compris les collectivités locales et qui doivent être accordés :

- par le secteur public,
- dans le but de faciliter le développement économique et d'améliorer les conditions de vie,
- à des conditions financières libérales (dans le cas de prêts, l'élément de libéralité³³ doit être d'au moins 25%).

Les pays bénéficiaires doivent être inscrits parmi l'une de ces listes: PMA, PFR (dont le PNB par habitant était inférieur à 760\$ en 1998), PRITI dont le PNB était compris entre 761 et 3030\$ en 1998), les PRITS dont le PNB par habitant était compris entre 3031 et 9360\$ et les PRE dont le PNB par habitant était supérieur à 9360\$. On distingue :

Aide liée : Aide publique au développement ou aide publique servant à financer des achats de biens et services effectués en totalité dans le pays donneur.

Aide partiellement déliée : aide publique au développement ou aide publique servant à financer des achats de biens et services qui doivent être effectués soit dans le pays donneur, soit parmi un groupe restreint d'autres pays, lequel doit toutefois comprendre la quasi-totalité des pays bénéficiaires. L'aide partiellement déliée est soumise aux mêmes règles de discipline que les Crédits d'aide liée et le financement mixte.

³³ écart en pourcentage entre la valeur actualisée de l'ensemble des remboursements prévus et le montant des remboursements qui aurait résulté de l'application d'un taux de référence donné fixé à 10% dans les statistiques de l'OCDE. Par conséquent, l'élément de libéralité est de 0 pour un prêt à 10%, de 100% pour un don.

Aide non liée : Aide publique au développement servant à financer des achats de biens et services qui peuvent être effectués en totalité et librement dans la quasi totalité des pays.

Les flux en direction des PED peuvent se décomposer selon :

1. les flux publics
2. les flux privés

Les flux publics :

- Aide publique au développement
- Aide publique
- Autres apports du secteur public

a. L'Aide Publique au Développement se compose de flux bilatéraux et de flux multilatéraux.

(i) Les flux Bilatéraux : Dons et prêts

- **Dons et contribution assimilable** : les dons sont des transferts effectués en espèces ou en nature et qui ne sont assortis d'aucune obligation de remboursement. Les apports assimilables à des dons sont constitués des transactions pour lesquelles le pays donneur conserve le droit formel au remboursement mais a exprimé dans son engagement l'intention de conserver le produit du remboursement dans le pays emprunteur pour l'y utiliser au profit du pays.

Outre ces apports financiers, la rubrique englobe également :

Coopération technique : a) les subventions à des ressortissants de pays bénéficiaires de l'aide qui reçoivent un enseignement ou une formation dans les pays ou à l'étranger ; b) les paiements des consultants, conseillers et personnels analogues, les enseignements et administrateurs en mission dans les pays bénéficiaires.

Aide alimentaire : fourniture de denrées alimentaires dans le cadre de programmes bilatéraux,

Aide d'urgence : secours d'urgence, en espèces ou en nature, y compris l'aide alimentaire et l'aide aux réfugiés.

Remise de dette ou annulation de prêt. L'annulation de dettes initialement accordées à des fins militaires est comptabilisée dans les autres apports du secteur public (AASP), tandis que l'annulation d'autres dettes non issues de l'APD (principalement

des crédits à l'exportation) comptabilisée dans l'APD est incluse à la fois dans les données des pays et dans l'APD totale du CAD.

Frais administratifs

Autres types d'apports: les subventions accordées aux pays pour le développement d'infrastructures économiques, de santé, d'éducation/formation, d'eau et d'assainissement etc.

- **Prêts bilatéraux** : ce sont des transferts remboursables que les pays donateurs accordent aux pays bénéficiaires à des conditions concessionnelles.

(ii) **Les flux multilatéraux** recouvrent les concours des organismes multilatéraux, qui consacrent la totalité ou une grande partie de leurs activités au développement et aux pays bénéficiaires de l'aide : Banque Mondiale, Banques régionales de développement, les organismes des Nations Unies et certains groupements régionaux (la BEI, certaines organisations Arabes). Ces organismes sont financés par des contributions de chacun des pays membres.

b. Aide Publique : Apports qui répondraient aux critères d'inclusion dans l'APD mais dont les bénéficiaires sont les pays et territoires en transition (cf Annexe 2).

c. Autres apports du secteur public (AASP) : Apports financés par le secteur public au profit de pays figurant sur la liste des bénéficiaires de l'aide qui ne répondent pas aux critères de définition de l'aide publique au développement ou de l'aide publique, soit parce que leur objectif principal n'est pas le développement, soit parce qu'ils comportent un élément de libéralité inférieur à 25%.

Les flux privés

Crédits à l'exportation : Prêts accordés pour les besoins du commerce extérieur et qui ne sont pas matérialisés par un instrument négociable. Ces crédits peuvent être octroyés par le secteur public ou le secteur privé. Dans ce dernier cas, ils peuvent être assortis d'une garantie publique.

Apports du secteur privé : apports aux conditions du marché financés par le secteur privé (c'est à dire la variation des actifs privés à long terme détenus par les résidents du pays auteur de la notification) et dons privés (dons d'organisations non gouvernementales, nets des subventions reçues du secteur public). Les apports aux conditions du marché sont ventilés comme suit :

(i) **Investissement direct** : Investissements effectués pour acquérir ou augmenter des intérêts durables dans une entreprise d'un pays figurant sur la liste des bénéficiaires.

(ii) *Prêts bancaires internationaux* : Prêts nets aux pays figurant sur la liste des bénéficiaires de l'aide, consentis par des banques commerciales appartenant à la zone de notification à la banque des règlements internationaux, laquelle inclut la plupart des pays de l'OCDE et des centres financiers offshore, hors prêts aux banques situées dans les mêmes centres financiers offshore.

(iii) *Emprunts obligataires* : Emissions nettes d'obligations internationales par les pays figurant sur la liste des bénéficiaires de l'aide établie par le CAD.

(iv) *Investissement bilatéraux de porte feuille* et autres : englobent des prêts bancaires ainsi que les achats d'actions, d'obligations et de biens immobiliers.

Lignes de financement sélectionnées

Nous avons procédé à un certain nombre de restrictions pour mieux circonscrire le champ d'investigation de l'étude.

- le crédit à l'exportation d'origine publique est considéré comme négligeable. En 1999, le crédit à l'exportation était d'un montant 770 millions sur un total d'APD de 56,428 milliards, soit environ 1% seulement de l'APD.
- Nous reprenons le critère de l'OCDE du seuil de libéralité de 25% pour déterminer les flux d'APD pris en considération dans l'étude.
- L'aide programme, même si elle concentre une part importante de l'APD (jusqu'à 10% de l'APD bilatérale et 20 % de l'APD multilatérale) est prioritairement affectée à l'équilibrage des grands agrégats macro-économiques (déficit des finances publiques, budget, ajustement structurel). Dès lors, elle ne participe que de manière très marginale à l'investissement public.

Nous retenons les investissements opérés dans certains secteurs sélectionnés. Ces investissements couvrent :

- les autres contributions assimilables à des dons hors celles réparties au titre de la coopération technique, aide alimentaire, secours d'urgence, remises de dettes ou frais administratifs et de l'aide-programme;
- Les prêts bilatéraux uniquement affectés aux secteurs productifs ou à la construction de nouvelles infrastructures (soit dans le jargon des projets « greenfields »).

La nomenclature utilisée pour l'allocation sectorielle des différentes formes d'APD est donnée dans le Tableau 0-6. Ne sont retenus pour l'étude que les secteurs surlignés en gris.

Tableau 0-6 : Nomenclature sectorielle de l'APD

| | |
|---|--|
| I. Infrastructures sociales et services | I.1 Education I.2 Santé I.3 Programmes Population I.4 Desserte en Eau & Assainissement I.5 Gouvernement & Société Civile I.6 Autres Infrastructures Social & Services |
| II. Infrastructures économiques | II.1 Transport & Storage II.2 Communications II.3 Energie II.4 Banques & Services financiers II.5 Business & Autres services |
| III. Secteurs de production | III.1 Agriculture - Foresterie - Pêche III.2 Industrie - Mines - Construction III.3 Commerce & Tourisme |
| IV. Multisectoriel | IV.1 Protection Générale de l'Environnement IV.2 Femmes et développement IV.3 Autres multisecteurs |
| VI. Programme d'assistance générale | VI.1 Ajustement structurel (avec IBRD/IMF) VI.2 Food Aid excluding Relief Food Aid VI.3 Other General Programme & Commodity Ass. |
| VII. Action en rapport avec la dette | |
| VIII. Assistance d'urgence | VIII.1 Aide alimentaire |

| | |
|--------------------|---------------------------------------|
| | VIII.2 Aide d'urgence non alimentaire |
| X. Soutien aux ONG | |
| XI. Non spécifié | |

Nous sélectionnons dans ces lignes les secteurs de l'énergie, l'agriculture – foresterie - pêche, et le secteur de l'industrie - mines – construction. Le recueil de données relatifs à l'APD a été effectué grâce à la Base de données International Development Statistics sur le site de l'OCDE qui présente une fine désagrégation sectorielle selon les lignes de financement. Nous ne retenons pour l'étude que les financements alloués à des projets présentant un enjeu du point de vue des émissions de GES. Ils sont mentionnés en italique.

Nous considérons dans l'étude les projets permettant d'augmenter les capacités de production donc la construction de centrales électriques, d'infrastructures de transport, d'unités additionnelles de production industrielle.

Pour le secteur de l'industrie, nous ne retenons que les principaux secteurs fortement émetteurs de GES, c'est-à-dire, la production d'acier qui est le principal secteur industriel du point de vue de la consommation d'énergie (5% de la consommation d'énergie primaire mondiale selon Worell (1995) et de ciment,. Certains autres secteurs mériteraient d'être traités : la production de papier, le raffinage, la production de métaux non ferreux (aluminium) mais la disponibilité des données nous limite à ces seuls secteurs.

Tableau 0-7 : lignes de financement sélectionnées dans les montants accordés par l'APD

| Distribution d'eau et assainissement | Energie | Transports et communications | Agriculture, sylviculture et pêche | Industries manufacturières, industries d'extraction, et construction |
|--|--|---|---|---|
| Infrastructures de fourniture d'eau et d'assainissement Aménagements des bassins fluviaux (sauf les systèmes d'irrigation pour l'agriculture) Traitement des déchets Protection des ressources en eau | Production Sources conventionnelles Centrales alimentées au fuel Centrales alimentées au gaz Centrales alimentées au charbon Centrales nucléaires Centrales et barrages hydro Sources renouvelables Energie géothermique Eolienne Marémotrice Biomasse Fourniture et distribution d'électricité (lignes de transmission) Distribution de gaz | Infrastructures routières Infrastructures ferroviaires Infrastructures fluviales/maritimes Infrastructures aériennes Réseaux d'information radio/télévision | Développement agricole Ressources en eau à usage agricole (irrigation, réservoirs, structures hydrauliques, exploitation de nappes phréatiques). Produits à usage agricole Développement agricole alternatif Exploitation forestière (y compris arboricultures) conservation des sols et extensions des terres cultivables, utilisation des sols et des ressources en eau Pêche Sylviculture Développement sylvicole Reboisement | Gestion administrative et politiques industrielles Développement industriel Développement PME Cottage industries et artisanat Agro-industries Industries de la forêt Textiles Chimie Industries d'engrais Cimenteries Production d'énergie Production pharmaceutique Industries métallurgiques Industries de métaux non ferreux Ingénierie Industries d'équipement automobile Recherche et développement technique Industries manufacturières et d'extraction études géologiques et de projection Exploitation et raffinage du pétrole et des minerais, Fabrication de matériel agricole Construction |

Tableau 0-5 : Le poids déterminant de l'aide pour les pays pauvres (Giroux P., 2003)

| | Moy. 2000-01 (%PNB) | Aide Publique au développement | | | |
|--|---------------------------|--------------------------------|-------|-------------------------|------|
| | | En % FBCF | | En % Dépenses publiques | |
| | | 1995 | 2000 | 1995 | 2000 |
| 21 PMA d'Afrique Subsaharienne | | | | | |
| Bénin | 11.7 | 71.2 | 55.9 | ND | ND |
| Burkina Faso | 16.2 | 87.3 | 55.6 | ND | ND |
| Burundi | 16.7 | 300.1 | 150.2 | 94.1 | 40.0 |
| Centrafrique | 7.9 | 111.3 | 73.4 | ND | ND |
| Cap-Vert | 15.1 | ND | 79.5 | ND | ND |
| Comores | 10.9 | ND | 109 | ND | ND |
| Congo (Brazza) | 2.5 | 16.2 | 4.2 | 18.1 | 4.0 |
| Congo (RDC) | 5.3 | 37.0 | 30 | 41.8 | ND |
| Djibouti | 10.9 | ND | 84 | ND | ND |
| Guinée | 7.4 | 68.2 | 22.8 | ND | 32.6 |
| Guinée Bissau | 35.5 | ND | 196 | ND | ND |
| Guinée Eq. | 3.8 | ND | 9.4 | ND | ND |
| Madagascar | 8.2 | 87.1 | 51.5 | 54.8 | 48.7 |
| Mali | 15.5 | 95.9 | 69.3 | ND | ND |
| Mauritanie | 24.4 | 111.9 | 75.3 | ND | ND |
| Niger | 12.4 | 199.4 | 108.8 | ND | ND |
| Rwanda | 17.7 | 364.0 | 118.1 | ND | ND |
| Sao Tomé | 81.1 | ND | 209 | ND | ND |
| Sénégal | 9.5 | 89.0 | 48.9 | ND | ND |
| Tchad | 10.4 | 159.4 | 54.9 | ND | ND |
| Togo | 4.8 | 91.1 | 27.9 | ND | ND |
| Moyenne | 10.5 | - | - | - | - |
| 8 autres pays moins pauvres d'Afrique | | | | | |
| Cameroun | 4.7 | 38.4 | 26.0 | 42.2 | 31.1 |
| Egypte | 1.3 | 19.5 | 5.6 | 9.9 | ND |
| Côte-d'Ivoire | 2.7 | 89.7 | 30.4 | 45.8 | 18.0 |
| Gabon | 0.2 | 12.3 | 0.9 | ND | ND |
| Maroc | 1.5 | 7.2 | 5.2 | 4.6 | 5.9 |
| Maurice | 0.5 | 2.3 | 1.8 | 2.6 | 2.0 |
| Seychelles | 2.8 | ND | 9.7 | ND | ND |
| Tunisie | 1.5 | 1.6 | 4.2 | 1.2 | 3.6 |
| 4 PMA d'autres régions | | | | | |
| Cambodge | 12.7 | 86.8 | 83.5 | ND | ND |
| Haïti | 4.9 | 316.7 | 48.1 | ND | ND |
| Laos | 15.7 | 67.3 | 80.6 | ND | ND |
| Vanuatu | 18.4 | ND | ND | ND | ND |
| 9 autres pays moins pauvres d'autres régions | | | | | |
| Albanie | 6.3 | 41.7 | 45.6 | 24.2 | 28.6 |
| Bulgarie | 2.8 | 5.5 | 15.7 | 2.1 | 6.7 |
| Dominique | 7.5 | ND | 25.9 | ND | ND |
| Liban | 1.2 | 4.7 | 6.6 | 4.8 | 3.3 |
| Macédoine | 7.3 | 8.5 | 42.2 | ND | ND |
| Moldavie | 8.4 | 8.6 | 42.8 | 12.8 | 32.2 |
| Roumanie | 1.4 | 3.6 | 6.1 | 2.7 | 3.1 |
| Sainte-Lucie | 2.0 | | 8.1 | ND | ND |
| Vietnam | 4.9 | 15.3 | 19.8 | 16.9 | 26.1 |

Les données

La détermination des intensités carbone sectorielles dans chacune des régions nécessite de connaître à la fois la répartition géographique de la production pour les secteurs électriques, et industriels ou de la dotation en infrastructures pour les transports et des émissions sectoriels pour chacune des régions considérées.

Les données de montants de l'APD concernent la période 1990-2001.

Le secteur électrique

Données de consommation, production, capacité installée:

Le site du Department of Energy (<http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/electricity.html>) possède une base de données désagrégée selon les pays, pour les consommations annuelles, les capacités installées et la production annuelle.

Données sur les coûts d'investissement:

Nous ne disposons pas pour les montants de l'APD finançant des unités de production d'électricité additionnelles de la capacité additionnelle installée grâce à ces financements. Pour cela nous avons besoin de connaître un ordre de grandeur des coûts d'investissements dans le secteur électrique dans les différentes régions des PED et pour chacun des procédés de production utilisés. Une étude a été menée par l'Agence Internationale de l'Energie en 1998, mais les données concernent principalement les pays OCDE. Nous utilisons la base de données de la Banque Mondiale sur la participation privée dans les projets d'infrastructures (PPI Database³⁴) qui donne à la fois le montant des investissements réalisés, la capacité additionnelle, ainsi que le type d'énergie utilisée (charbon, gaz...) dans chacun des pays. Les coûts d'investissement obtenus par unité de capacité installée sont donnés en Annexe I.

AIE, 1998. Results from the OECD report on international projections of electricity generating costs. Proceedings of International Joint Power Generation Conference and exhibition, 24-26 août 1998, Baltimore, MD.

La production de ciment

Données de production, émissions selon les technologies :

³⁴ <http://rru.worldbank.org/ppi/> -

Hendricks C.A., Worell= E., de Jager D., Riemer P. Emission reduction of greenhouse gases from the cement industry

Szabo L., Hidalgo I., Ciscar J.C., Soria A., Russ P. (2003) Energy consumption and CO2 emissions from the world cement industry. Report EUR 20769 EN.

Données sur les coûts d'investissement :

<http://www.csdanet.org/English/capacityworkshops/antigua03/multiproject.pdf>

<http://eetd.lbl.gov/ea/IES/iespubs/ieupubs.html>

La production d'acier

Données sur la production :

OCDE, 2001: Statistiques du marché de l'acier

Données sur les coûts d'investissement

site de steel technology : <http://www.steel-technology.com/projects/index.html>

Les transports

Données sur la dotation en infrastructures :

Canning D., 1998. A Database of world infrastructure stocks, 1950-95

Données sur les émissions :

AIE (2003) CO2 emissions from fuel combustion. CD-ROM

Résultats sectoriels

l'énergie

Le secteur électrique contribue au niveau mondial pour 8,2GtCO₂ sur les 24GtCO₂ émises en 2001. 3,5GtCO₂ sont émises dans les pays non Annexe I, dont 2,4GtC proviennent de la combustion de charbon ou de produits du charbon.

Tableau 0-9 : émissions annuelles produites par les investissements dans le secteur de l'électricité par l'APD

| | émissions annuelles (MtCO ₂) | part des émissions du secteur des projets financés par l'APD électrique du groupe de pays |
|---|--|---|
| Pays les moins avancés | 4,55 | 21,5% |
| Autres pays à faible revenu | 191,66 | 8,9% |
| Pays à revenu intermédiaire- inférieure | 6,84 | 1,3% |
| Pays à revenu intermédiaire- supérieure | 2,03 | 0,7% |
| Total | 205,08 | 6,9% |

La totalité des projets financés par l'APD entraînent donc des émissions de plus de 200 MtCO₂ par an, ce qui représente sur la durée de vie des installations approximées à 30 ans de plus de 6 GtCO₂.

Ces émissions se concentrent davantage dans les pays à faible revenu où elles représentent respectivement 9% et 21% des émissions du secteur électrique dans les PMA et PFR.

les transports

Les émissions du secteur des transports représentaient en 2001 5,7 GtCO₂ (20% des émissions fossiles), dont 4,2 GtCO₂ proviennent du transport routier. Les émissions

des pays de l'Annexe I représentent 3,4GtCO₂ (2,9GtCO₂ pour les transports routiers), et donc les pays non Annexe I 1,5GtCO₂ (1,3GtCO₂ pour les transports routiers).

Tableau 0-10 : émissions annuelles induites par les projets de construction d'infrastructures routières financés par l'APD sur la période 1990-2001

| tableau récapitulatif | Emissions des projets financés par l'APD (MtCO ₂) | Emissions annuelles (MtCO ₂) du secteur électrique (2001) | |
|-----------------------|---|---|-----|
| Argentine | 3,99 | 20,4 | 20% |
| Brésil | 0,88 | 31,74 | 3% |
| Chine | 67,50 | 1389,8 | 5% |
| Inde | 62,97 | 554,2 | 11% |
| Mexique | 1,36 | 123,9 | 1% |
| Philippines | 6,87 | 23,5 | 29% |
| Thaïlande | 4,64 | 57,59 | 8% |
| LDC | 4,55 | 21,19 | 21% |
| OLIC | 62,75 | 213,87 | 29% |
| LMIC | 31,21 | 427,99 | 7% |
| UMIC | 15,44 | 97,12 | 16% |
| | 262,16 | 2961,29606 | |

l'industrie

En 1990, le secteur de l'industrie émettait 1,8 GtC au niveau mondial. Si l'on prend en compte la consommation d'électricité des procédés industriels, on atteint 47% des émissions de CO₂. En plus des émissions dues à la consommation d'énergie, le secteur de l'industrie entraîne des émissions résultant des procédés de production :

émissions de CO₂ résultant de la production de lime et de ciment (procédé de calcination), d'acier (production de coke et de pig-iron), d'aluminium, d'hydrogène (raffineries et industries chimiques), et d'ammoniac (fertilisants et industries chimiques)

CFC, HFC et hydrofluorocarbones (HCFC) produits par les solvants, les aérosols, les réfrigérants

CH₄ provenant de divers procédés industriels (métal et acier, raffinage, ammoniac, et hydrogène

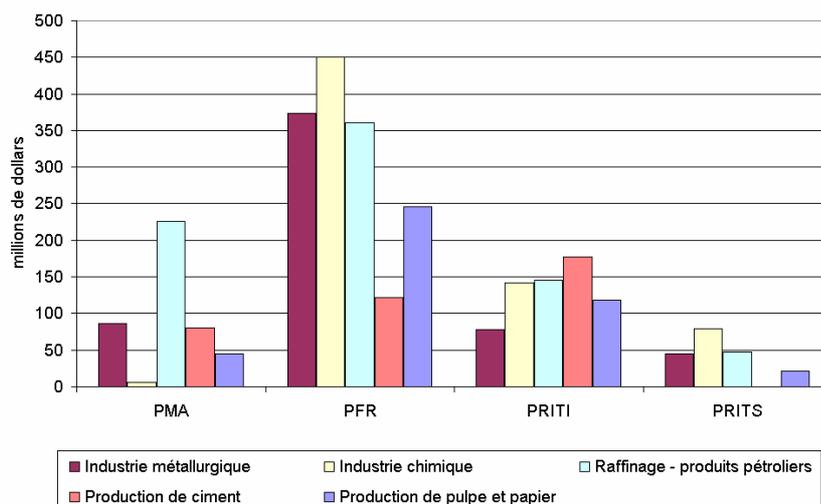
N2O provenant de l'acide nitrique et de la production de nylon ; PFC de la production d'aluminium (électrolyse) et utilisés dans les procédés de l'industrie manufacturière dans l'industrie des semi-conducteurs ; et SF6 provenant de la production de magnésium.

Le secteur industriel représente entre 25 et 30% de l'énergie utilisée dans les pays de l'OCDE. Pour les pays non Annexe I, elle représente entre 25 et 40%, et a atteint 60% en Chine en 1988.

Alors que durant les années 90, les émissions du secteur industriel dans les pays de l'Annexe I sont restées en dessous du pic observé 10 ou 15 années plus tôt, dans les pays non Annexe I, les émissions du secteur industriel continuent à croître, même si dans certains pays (Chine), les gains en efficacité énergétique sont importants.

Le secteur industriel était responsable de 50% de la consommation d'énergie primaire et 53% des émissions de CO2 associées en 1995. Le secteur industriel est extrêmement divers et recouvre l'extraction de ressources naturelles, la conversion des matériaux et la manufacture de produits finis. Cinq sous-secteurs industriels intensifs en énergie compte pour la majorité de la consommation d'énergie et des émissions de GES associées : production de fer et d'acier, industrie chimique, raffinage du pétrole, industrie du papier, et cimenteries. La Chine est depuis 1985 le plus grand producteur de ciment au monde et d'acier depuis 1996.

Graphique 0-1: Flux financiers de l'APD dans les sous-secteurs industriels fortement émetteurs de CO2 pendant la période 1990-2001



Industrie métallurgique – production d'acier

Chaque année la production d'acier rejète 1425 MtCO₂ dans l'atmosphère. La croissance de la demande de produits de la métallurgie est relativement faible dans les pays développés, par contre elle s'accroît très fortement dans les économies émergentes. L'ampleur des besoins dans les économies en développement est directement liée à leur insuffisance dans le domaine des infrastructures qui doivent être impérativement comblées si ces économies veulent poursuivre leur développement à un rythme accéléré.

Tableau 0-11 : Répartition géographique mondiale de la production d'acier brut

| | Région | Pays | Production d'acier (Mt) | APD (M\$) | Aide rapportée à la production (\$/t acier) |
|-----------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|---|
| Pays industrialisés | Europe | | 203 | | |
| | Amérique du Nord | | 117,2 | | |
| | Asie Pacifique | | 114,3 | | |
| EET | | | 105,4 | | |
| Pays en développement | Asie | | 225,4 | | |
| | | Chine | 127,2 | 298,0 | 2,3 |
| | | Inde | 26,9 | 204,9 | 7,6 |
| | | Corée | 43,1 | 0,0 | 0 |
| | | Autres | 28,2 | 41,8 | 1,5 |
| | Amérique Latine | | 56,11 | | |
| | | Mexique | 15,9 | 13,8 | 0,9 |
| | | Brésil | 27,8 | 0,1 | 0,0 |
| | | Autres | 12,41 | 3,8 | 0,3 |
| | Afrique | | 9,6 | | |
| | | Afrique du Sud | 8,4 | 12,8 | 1,5 |
| | | Autres | 1,2 | 31,5 | 26,2 |
| Moyen Orient | | 16 | 0 | 0 | |
| | | | 846,2 | | |

Source : OCDE (2001). Statistiques du marché de l'acier

La consommation d'énergie pour la production de fer et d'acier représente plus de 10% des usages industriels totaux. La majorité de la production d'acier se produit dans des aciéries intégrées qui ont des consommations d'énergie primaire spécifiques allant de 19 à 40 GJ/t d'acier. Dans des petite aciéries, la production par arc électrique est de 300-350 kWh/ t d'acier.

La majorité des émissions dans les aciéries intégrées provient de la production de fonte dans les hauts fourneaux. Un moindre quantité d'émissions vient des fourneaux à arc électrique. Il existe également de fortes différences d'émissions entre les régions à cause de différences d'efficacité des procédés de production et de combustibles utilisés, ainsi que dans la vitesse de pénétration des technologies. Les options existantes pour réduire les émissions de CO₂ sont l'amélioration de l'efficacité énergétique, les potentiels de nouveaux procédés (réduction du minerai de fer par l'hydrogène, utilisation de hauts fourneaux basée sur la combustion de charbon de bois), capture du CO₂ en sortie des hauts fourneaux, évolution de la production de l'acier primaire vers l'acier secondaire. Les potentiels techniques de réduction des émissions de CO₂ sont données pour les principaux PED producteurs d'acier dans le Tableau 0-12.

Tableau 0-12 : Identification des gains potentiels dans le secteur de l'industrie métallurgique dans les principaux pays producteurs

| Pays | Intensité énergie primaire actuelle (GJ/t) | Intensité énergie primaire BAT (GJ/t) | Potentiel technique d'économie d'énergie primaire (GJ/t) |
|---------|--|---|--|
| Brésil | 23,1 | 18,6 | 4,5 |
| Chine | 40,7 | 20,2 | 20,5 |
| Inde | 37,3 | 20,5 | 16,8 |
| Mexique | 22,6 | 13,5 | 9,1 |
| Pays | Intensité dioxyde de carbone actuelle (tC/t) | Intensité dioxyde de carbone BAT (tC/t) | Potentiel technique d'économie de dioxyde de carbone |
| Brésil | 0,36 | 0,27 | 0,09 |
| Chine | 0,96 | 0,48 | 0,48 |
| Inde | 0,98 | 0,53 | 0,45 |
| Mexique | 0,42 | 0,24 | 0,18 |

Source : Price L., Worell E., Phylipsen D., 1999. Energy use and carbon dioxide emissions in energy-intensive industries in key developing countries. Proceedings of the 1999 earth technologies forum, Washington DC, 27-29 septembre 1999

L'évaluation des coûts d'investissement s'est fait à partir de la consultation des projets menés dans le monde entier sur le. Ceci nous a permis d'évaluer un coût moyen d'investissement de 330\$/t d'acier.

| | production acier (Mt) | APD | aide rapportée à la production (\$/t acier) | Capacité de production additionnelle (Mt/an) | émissio ns CO2 (MtCO2) | taux d'émissions (tC/t acier) | gains potentiels |
|-------------------------|--------------------------|-------|---|--|------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| Pays industrialisés | | | | | | | |
| Europe | 203 | | | | | | |
| Amérique du Nord | 117,2 | | | | | | |
| Asie Pacifique | 114,3 | | | | | | |
| Economies en transition | 105,4 | | | | | | |
| PED | | | | | | | |
| Asie | 225,4 | | | | | | |
| Chine | 127,2 | 298,0 | 2,3 | 0,898 | 0,778 | 0,867 | 0,428 |
| Inde | 26,9 | 204,9 | 7,6 | 0,617 | 0,605 | 0,981 | 0,327 |
| Corée | 43,1 | 0,0 | 0 | 0 | 0,000 | | |
| Autres | 28,2 | 41,8 | 1,5 | 0,126 | 0,116 | | |
| Amérique Latine | 56,11 | | | | | | |
| Mexique | 15,9 | 13,8 | 0,9 | 0,042 | 0,018 | 0,421 | 0,010 |
| Brésil | 27,8 | 0,1 | 0,0 | 0,000 | 0,000 | 0,363 | 0,000 |
| Autres | 12,41 | 3,8 | 0,3 | 0,012 | 0,005 | | |
| Afrique | 9,6 | | | | | | |
| Afrique du Sud | 8,4 | 12,8 | 1,5 | 0,039 | 0,038 | 0,989 | 0,028 |
| Autres | 1,2 | 31,5 | 26,2 | 0,095 | 0,076 | | 0,056 |
| Moyen Orient | 16 | 0 | 0 | 0 | | | |
| Total | 846,2 | | | | 1,635 | | 0,849 |

Production de ciment

Les coûts de transport d'un tel produit sont très élevés, ce qui implique que le ciment est produit dans presque tous les pays. La production mondiale de ciment était de 1580Mt/an en 1999. Dans un scénario tendanciel, les émissions de CO₂ provenant du ciment peuvent doubler d'ici à 2020 (Gale J. et Freund P, ?).

A elle seule, la Chine produit 1/3 de la production mondiale. La production de ciment représente environ 2% de la consommation d'énergie primaire mondiale soit 148Mtep (6,2EJ) en 1992. L'industrie du ciment représente typiquement entre 1 et 6% de la consommation d'énergie commerciale dans la plupart des pays (INEDIS). Les principales émissions de GES provenant de la production de ciment concernent le CO₂ provenant de la combustion des combustibles fossiles et de la calcination du calcaire. Une moindre source d'émission est le CO₂ provenant de la consommation d'électricité produite à partir d'énergies fossiles. Environ la moitié des émissions provient des combustibles (539MtCO₂/an en 1994) et l'autre moitié de la transformation des matériaux (587MtCO₂/an en 1994). La moyenne globale d'émissions était de 0,81 kgCO₂/kg de ciment produit, mais le vrai taux d'émission varie avec le contenu en clinker du ciment entre 0,5 et 0,95.

Tableau 0-13 : Emissions de CO₂ en kg par kg de ciment produit par les procédés secs et humides pour différents combustibles et différents ratio clinker/ciment.

| Ratio clinker/ciment | Procédé et émissions liées au type de combustible utilisé | | | | | | | |
|-------------------------|---|------|----------------|----------|----------------|------|----------------|----------|
| | Procédé sec | | | | Procédé humide | | | |
| | Charbon | Fuel | Gaz naturel | Biomasse | Charbon | Fuel | Gaz naturel | Biomasse |
| 55% | 0.55 | 0.50 | 0.47 | 0.36 | 0.67 | 0.59 | 0.53 | 0.36 |
| 75% | 0.72 | 0.66 | 0.61 | 0.47 | 0.88 | 0.77 | 0.69 | 0.47 |
| 95% (Portland) | 0.89 | 0.81 | 0.75 | 0.57 | 1.09 | 0.95 | 0.90 | 0.57 |

Hypothèses: consommation d'électricité: 0.38Mje/kg de clinker; Facteur d'émission en CO₂ de la production d'électricité 0,22kg/Mje. Consommation de combustible : procédé sec : 3.35 MJ/kg de clinker ; procédé humide : 5,4MJe/kg de clinker.

Source : Hendricks C.A., et al., ?.

De loin, la plus grande partie de l'énergie consommée dans la production du ciment est le combustible pour chauffer le four, le reste étant de l'électricité. Ainsi, les opportunités les plus importantes de réduire la consommation d'énergie relève des gains en efficacité énergétique qui pourraient réduire les émissions de 20%. Utiliser un

procédé sec plutôt qu’humide permettrait des gains en émissions allant de 20 à 40%. Réduire le contenu en carbone du combustible utilisé pour l’électricité consommée (passer du charbon au gaz naturel) permettrait de réduire les émissions de 10 à 20%. Une autre manière de réduire l’énergie utilisée pour produire le clinker serait d’en remplacer une partie par d’autres matériaux. Dans un mélange de ciment, une partie du clinker est remplacé par des sous-produits industriels tels que de la cendre... Le potentiel total de réduction d’émissions de CO₂ par ce procédé est au moins de 5%, mais pourrait atteindre 20%. Des possibilités de capture et de stockage sont également à l’étude, le potentiel pourrait être de 65%.

| | Production ciment | Ratio Clinker/Ciment | Intensité primaire | Cons. Energie Primaire | Emissions de CO ₂ du procédé | Emissions de C de la cons. énergie | Emissions totales | Part mondiale |
|----------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|--|---------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Région/Pays | Mt | % | MJ/kg | PJ | Mt CO ₂ | MtCO ₂ | Mt CO ₂ | % |
| Chine | 423 | 83% | 5.0 | 2117 | 175 | 197 | 372 | 33.0 |
| Europe | 182 | | 4.1 | 749 | 73 | 56 | 129 | 11.5 |
| OCDE Pacifique | 151 | | 3.5 | 533 | 65 | 41 | 105 | 9.3 |
| Autre ASIE | 124 | | 4.9 | 613 | 56 | 179 | 105 | 9.3 |
| Moyen Orient | 111 | | 5.1 | 563 | 51 | 44 | 95 | 8.4 |
| Amérique du Nord | 88 | | 5.4 | 480 | 39 | 40 | 78 | 7.0 |
| Europe de l’Est- Russie | 101 | | 5.5 | 558 | 42 | 38 | 80 | 7.1 |
| Amerique Latine | 97 | | 4.7 | 462 | 41 | 30 | 71 | 6.3 |
| Inde | 62 | 89% | 5.0 | 309 | 28 | 30 | 60 | 5.1 |
| Afrique | 41 | | 4.9 | 201 | 18 | 15 | 33 | 2.9 |
| Total Monde | 1381 | | 4.8 | 6585 | 587 | 830 | 1126 | 100 |

Tableau 0-14 : répartition régionale de l’aide au développement accordée à la production de ciment et montant de l’aide rapportée aux niveaux de production

| | production ciment (Mt) | APD accordée à l’industrie du ciment (M\$) 1990-2001 | aide à la production (\$/t ciment) |
|-----------------|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Chine | 423 | 123 | 0,2917 |
| Inde | 62 | 305 | 4,9138 |
| Autres Asie | 124 | 114 | 0,9194 |
| Amérique Latine | 97 | 5 | 0,0480 |
| Afrique | 41 | 245 | 5,9783 |
| Moyen Orient | 111 | 0,5 | 0,0042 |

Le fort niveau d'aide accordé à l'Inde vise à améliorer l'efficacité énergétique de la production (Sathaye et Gadgil, 1999) qui est la plus intensive en carbone au monde (0,93 kg CO₂/kg ciment) suivie des Etats-Unis (0,89 kg CO₂/kg ciment) et ensuite par la Chine (0,88 kg CO₂/kg ciment) (Hendricks et al.).

Le plus fort niveau d'aide concerne l'Afrique où les capacités d'investissements dans les industries sont limitées, et les besoins très élevés. Les plus faibles niveaux concernent le Moyen-Orient principalement du fait des problèmes géopolitiques et l'Amérique Latine, où les besoins en investissements dans ce type d'industries est limité.

Tableau 0-15 : Potentiel technique de réductions d'émissions avec les Best Available Technologies en 1995

| | Production annuelle de ciment (Mt) | Emissions de CO ₂ (Mt) | Potentiel technique d'émissions de CO ₂ (Mt) | Réduction d'émissions (%) |
|---------|------------------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------|
| Chine | 28.3 | 1.4 | 1.13 | 19% |
| Inde | 475.9 | 70.8 | 44.54 | 37% |
| Brésil | 62.4 | 8.1 | 5.8 | 28% |
| Mexique | 24.0 | 2.0 | 1.5 | 24% |

Source : Price L., Worell E., Philipsen D. (1999)

Tableau 0-16 : Potentiel de gains en réductions d'émissions avec inclusion des financements de l'APD dans les projets MDP

| | émissions (MtCO ₂ /Mt ciment) | Capacité additionnelle (Mt) | Emissions GES (MtCO ₂) | gains MDP (MtCO ₂) |
|-----------------|--|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Chine | 0,88 | 0,823 | 0,724 | 0,268 |
| Inde | 0,93 | 2,031 | 1,889 | 0,529 |
| Autres Asie | 0,85 | 0,760 | 0,644 | 0,212 |
| Amérique Latine | 0,73 | 0,031 | 0,023 | 0,005 |
| Afrique | 0,80 | 1,634 | 1,315 | 0,263 |
| Moyen Orient | 0,86 | 0,003 | 0,003 | 0,001 |
| Brésil | - | | - | - |
| Mexique | - | | - | - |
| Total | | 5,282 | 4,597 | 1,278 |

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| CONDITIONS DE L'ADDITIONNALITE DEVELOPPEMENTALE DU MDP ET ROLE DE L'AIDE PUBLIQUE AU DEVELOPPEMENT | 3 |
| RESUME | 5 |
| SUMMARY | 9 |
| INTRODUCTION GENERALE | 11 |
| PREMIERE PARTIE | 15 |
| I. Comment utiliser le MDP dans le secteur résidentiel : le cas des réfrigérateurs brésiliens ? | 15 |
| I.1. Introduction | 15 |
| I.2. Méthodologie | 16 |
| I.2.1. Détermination des baselines et des remises | 17 |
| I.2.2. Simulation de la demande de réfrigérateurs | 18 |
| I.3. Résultats | 19 |
| I.3.1. Baselines et remises | 20 |
| I.3.2. Comportement des ménages | 20 |
| I.4. Conclusion | 21 |
| II. Comment définir un projet MDP visant la levée des barrières : la diffusion technologique du Gaz Naturel Véhicule à Delhi ? | 23 |
| II.1. Introduction de l'étude | 23 |
| II.2. Méthodologie | 25 |
| II.2.1. Coût en capital : coût d'adoption de la technologie et potentiel sans regret théorique | 26 |
| II.2.2. Identification des autres barrières | 29 |
| II.3. Caractérisation d'un projet MDP potentiel | 30 |
| II.3.1. Sélection de mesures | 30 |
| II.3.2. Etude du bouclage financier du projet | 32 |
| II.3.3. Résultats | 35 |
| II.4. Conclusion de l'étude | 35 |
| III. MDP et effet rebond sur la demande de service final : la maîtrise de la demande de transports urbains passagers | 37 |
| III.1. Introduction | 37 |

| | |
|--|-----------|
| III.2. Méthodologie | 38 |
| III.2.1. Formation de la demande transports urbains passagers : arbitrage entre localisation résidentielle et minimisation du temps de transport | 38 |
| III.2.2. Méthodologie : une architecture de modélisation | 40 |
| III.3. Architecture de modélisation | 41 |
| III.3.1. Le modèle d'activité - production | 41 |
| III.3.2. Le modèle d'activité et transport | 42 |
| III.4. Conclusion | 46 |
| SECONDE PARTIE | 49 |
| ARTICULATION DES POLITIQUES CLIMATIQUES ET DES MODES DE FINANCEMENT DU DEVELOPPEMENT | 49 |
| I. Introduction et justification de l'étude | 49 |
| II. Des modes de financement spécifiques du contexte | 50 |
| II.1. les données | 51 |
| II.2. L'analyse | 52 |
| II.3. Calcul des émissions dans les « petits pays » non couverts par les politiques climatiques | 56 |
| II.3.1. Présentation de la méthodologie | 56 |
| III. Articulation entre les financements du développement et les politiques climatiques | 58 |
| Conclusion générale | 61 |
| Bibliographie | 65 |
| Etude Brésil | 65 |
| Etude GNV- Inde | 65 |
| Etude Maîtrise de la demande –Delhi | 65 |
| Etude Articulation MDP et APD | 66 |
| VALORISATION | 67 |
| Publications | 67 |
| Thèses | 67 |
| Communications | 67 |
| Publication électronique | 67 |
| ANNEXE 1 | 71 |
| ETUDE BRESIL | 71 |

| | |
|---|------------|
| Abstract | 72 |
| 1. Background | 72 |
| 2. The problem | 73 |
| 3. Objectives | 75 |
| 4. Data and methods | 75 |
| 4.1. Technological hypothesis | 76 |
| 4.1.1. Refrigerator models | 76 |
| 4.1.2. Electricity costs and emission factors | 78 |
| 4.2. Baseline determination | 80 |
| 4.3. Household demand | 81 |
| 4.3.1. Household classes | 81 |
| 4.3.2. Numbers of households | 82 |
| 4.3.3. Electricity tariffs | 84 |
| 4.3.4. Household choices | 85 |
| 5. Results and discussion | 87 |
| 5.1. Baselines and social optimums with CDM | 87 |
| 5.2. CDM real impacts | 89 |
| IV. 6. Conclusion | 90 |
| Appendix A. Hypotheses on electricity production costs and tariffs at the horizon 2020 | 92 |
| V. Appendix B. Households choices with and without CDM | 94 |
| VI. Bibliography | 97 |
| VII. Acknowledgments | 99 |
| ANNEXE 2 | 100 |
| ETUDE GNV – INDE | 100 |
| Etat d’avancement du projet décidé par la Cour Suprême au 1^{er} Juillet 2001 | 100 |
| Coût d’adoption de la technologie et potentiel sans regret | 100 |
| Le modèle LEAP | 105 |
| ANNEXE 3 | 106 |

| | |
|--|------------|
| ETUDE MAITRISE DE LA DEMANDE TRANSPORT | 106 |
| Delhi : Arbitrages entre localisation résidentielle et modes de transport | 106 |
| Les migrants aux revenus les plus faibles : invasions de terrains et rapprochement du lieu de travail | 106 |
| Les habitants du bidonville du stade Nehru | 106 |
| Les sans-logis du vieux centre ville : stratégies de minimisation des coûts de logement et de transport | 108 |
| Accès à un logement bon marché et à la propriété dans les lotissements illégaux pour les classes de bas à moyens revenus | 109 |
| Accession à la propriété et meilleur cadre de vie en périphérie pour les classes aisées | 110 |
| DLF Qutab Enclave, vaste complexe résidentiel au sud de Delhi | 110 |
| ANNEXE 4 | 112 |
| ARTICULATION POLITIQUES CLIMATIQUES ET MODES DE FINANCEMENT DU DEVELOPPEMENT | 112 |
| Inventaire des mécanismes actuels de l'APD | 112 |
| Les flux publics : | 113 |
| Les flux privés | 114 |
| Les données | 120 |
| Résultats sectoriels | 122 |
| l'énergie ¹²² | |
| les transports | 122 |
| l'industrie | 123 |
| TABLE DES MATIERES | 131 |