

**PROGRAMME DE RECHERCHE GICC « GESTION ET IMPACTS DU
CHANGEMENT CLIMATIQUE »**

CONVENTION MEDIAS n° 2/99

**Projet:
« Mécanisme de Développement Propre et
Politiques et Mesures Domestiques »**

Version Synthétique du Rapport Final

Février 2002

Laboratoire et responsable scientifique : Alain Karsenty, chercheur au CIRAD
(gestionnaire du contrat), 42 rue Scheffer, 75116 Paris (siège social). Adresse laboratoire : CIRAD-
ECOPOL, 45 bis Avenue de la Belle Gabrielle, 94736 Nogent-sur-Marne Cedex (

Responsable scientifique associé : Christophe de Gouvello
Chercheur associé au CIRED-EHESS, 45 bis Avenue de la Belle Gabrielle, 94736 Nogent-sur-Marne
Cedex

TABLE DES MATIERES

A - INTRODUCTION: CADRAGE SCIENTIFIQUE ET OBJECTIFS DU PROJET	3
B - RESUME DU PROJET:	4
C - MODELISATIONS UTILISEES ET METHODOLOGIES EXPERIMENTALES	6
C.1 Modélisation micro-économique d'un effet levier du MDP sur l'activité économique du pays hôte:	6
C.2 Choix méthodologique pour l'expérimentation dans les secteurs émetteurs nets: le recours au modèle MARKAL pour tester l'effet levier du MDP	14
C.3 Choix méthodologiques pour les secteurs absorbeurs nets: typologies des options d'atténuation et conventions de comptabilité	16
D - RESULTATS	20
D.1 Résultats de l'expérimentation dans le cas des secteurs émetteurs nets: le cas du secteur électrique indien	20
D.2 Résultats de l'expérimentation dans le cas des secteurs absorbeurs nets: Le cas des plantations d'eucalyptus du Congo	25
E - CONCLUSION GENERALE:	27
E.1 Perspectives de recherche à développer:	28
F - VALORISATION DES RESULTATS DE LA RECHERCHE: PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS DANS DES CONGRES DES RESULTATS DES TRAVAUX DANS LE CADRE DE CE PROJET	29
Publications scientifiques dans des revues à comité de lecture	30
Communications dans des congrès scientifiques	30
Contributions à des ouvrages et assimilés	30
Interventions dans le cadre des Conférences de Négociation Internationales sur le Changement Climatique	30
Ateliers, colloques	31
G - DISPONIBILITE DES DONNEES:	31
H - VALORISATION INTERNET	31

La version du rapport présentée ici est fortement contrainte par les limitations de taille imposées par le cahier des charges. Il existe une version plus développée du rapport dans lequel les étapes de calcul et les analyses des résultats sont plus détaillées.

A - Introduction: Cadrage scientifique et objectifs du projet

Les pays industrialisés, regroupés au sein de « l'Annexe 1 de la Convention Climat » ont pris à Kyoto des engagements quantifiés de réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre. Pour respecter leurs engagements, les pays signataires mettront en place des dispositifs nationaux contraignants ou incitatifs pour répercuter ceux-ci sur les agents émetteurs.

Les Pays en Développement ont quant à eux refusé d'assumer des objectifs de réduction de leurs émissions, de tels engagements étant perçus comme des contraintes sur leur développement futur, alors que la responsabilité historique du risque climatique incombe aux pays industrialisés. Toutefois, les experts anticipent que dans quelques décennies, les émissions de ces pays, pris globalement, atteindront un niveau équivalent à celui des pays de l'Annexe 1. Le contrôle des émissions de ces pays représente donc un enjeu majeur dès aujourd'hui pour le succès des objectifs de la Convention Climat. Et c'est bien là un enjeu essentiel qui a conduit à intégrer dans le Protocole de Kyoto un « Mécanisme de Développement Propre » destiné à aider les PEDs à contrôler la croissance de leurs émissions futures.

Mais il est également important de rappeler que le Mécanisme de Développement Propre a fait irruption très tardivement lors de la Conférence de Kyoto, alors que les Pays en Développement résistaient au principe de mécanismes de flexibilité purs n'offrant aucune garantie sur le caractère additionnel par rapport à l'aide au développement.

Il en ressort clairement qu'un projet éligible au MDP doit donc être également un projet de développement.

Se pose donc dès l'origine le problème du lien entre la problématique environnementale et celle du développement. Deux aspects du débat méritaient d'être instruits:

Dans quelle mesure une incitation sur la technologie, destinée à faire évoluer les choix des investisseurs vers des technologies plus propres et souvent plus chères, peut-elle résulter en un effet d'entraînement sur le développement? N'y a-t-il pas là au contraire des objectifs contradictoires, contradiction alimentant les scepticismes de certains grands Pays en Développement parties prenantes des négociations internationales? Le débat international, scientifique et politique, était jusqu'alors resté figé du fait de la polarisation sur des questions d'intégrité environnementale et de coûts de transactions associé au MDP. Les premières tentatives d'intégration de la dimension "développementale" se limitaient à une approche restrictive, à travers la définition de "critères de développement soutenable" sur la base desquels les pays hôtes de ces projets pourraient filtrer les projets candidats et en rejeter certains. Dans ces conceptions très statiques, le développement n'est souvent abordé qu'à travers les bénéfices secondaires (ancillary benefits) du type "conséquences sanitaires de la réduction de la pollution de l'air" et jamais sur la contribution principale des projets, à savoir leur contenu en production de biens et richesses dans le pays hôtes. Il s'agissait donc de traduire cet enjeu dans un cadre axiomatique micro-économique formel afin de transposer le débat politique dans un champ scientifique vérifiable, et construire les outils permettant de mesurer les effets contributifs .

Dès lors que le MDP prétend être un instrument de réduction des émissions dans les Pays en Développement et que les choix technologiques interviennent principalement au moment de l'accroissement des capacités de productions de biens et services – et donc des émissions -, comment définir des critères de définition de la situation de référence pour mesurer ces réductions, alors même que les contraintes de financement bloquent parfois toute perspective d'investissement endogène et son corollaire d'émissions additionnelles ? Il convenait dès lors de quitter les approches trop partielles limitées à la construction d'indicateurs écologiques purs (approche du type "benchmarking" fondée sur l'élaboration de coefficients techniques simplifiés d'émission par unité de produit) pour entrer dans les mécanismes plus intimes de la décision de l'investissement, et en ramener des catégories d'analyse moins restrictives. Dès lors un détour s'avérait nécessaire: celui de l'analyse de cas sectoriels réels afin d'instruire précisément les ressorts de la décision privée et de la régulation publique, et l'incidence sur ceux-ci de l'adjonction d'une rente environnementale additionnelle.

Pour traiter de ce deuxième aspect, nous avons choisi d'investir deux secteurs majeurs du contrôle du niveau de contribution des Pays en Développement à l'accroissement de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère:

- le secteur électrique, principal secteur émetteur (volet 1),¹
- la foresterie, principal secteur de séquestration du CO₂ rejeté dans l'atmosphère (volet 2).

B -Résumé du Projet:

Notre travail a consisté dans un premier temps à démontrer dans un cadre axiomatique micro-économique formel l'existence d'un effet de levier du Mécanisme de Développement Propre sur le développement. Pour ce faire, nous avons construit une représentation micro-économique de l'articulation entre le niveau micro-économique de la décision concernant un investissement industriel unique et l'accroissement du flux global d'investissement et de revenus suscité par l'ensemble des projets MDP au sein d'une économie nationale. Le différentiel de flux d'investissement et de revenu est fonction bien sûr de la valeur des crédits de réduction certifiés au titre du MDP, mais davantage encore de l'hypothèse d'un taux d'actualisation des investisseurs du nord plus faible que pour leurs homologues du sud (moindre coût d'accès au capital) et du gain de productivité des technologies propres transférées par rapport aux technologies de référence "locales". En prenant l'hypothèse que l'accès au capital constitue l'une des contraintes sur le développement du pays hôte, le MDP permet d'accroître à la fois le volume d'opportunités d'investissement réalisées (TRI supérieur au taux d'actualisation de l'investisseur), et le flux global d'investissement (l'accroissement de l'investissement étranger direct dans le secteur le plus sensible au signal MDP conduit à un report de capacité d'investissement local vers d'autres secteurs).

Nous avons modélisé l'impact théorique sur le TRI des projets de la rente carbone (à prix international du carbone fixé) et des politiques et mesures nationales sectorielles potentielles au vu d'analyses sectorielles empiriques. Dès lors il est devenu possible de calculer un effet de levier, mesurable de différentes manières: (i) ratio entre la valeur des crédits carbone injectés au travers des projets MDP réalisables (TRI supérieur ou égal au taux d'actualisation des investisseurs) et accroissement de l'investissement direct étranger, et (ii) ratio entre la même rente carbone et l'accroissement des revenus générés par les investissements MDP additionnels.

Un exercice de quantification poussé à été réalisé par simulation MARKAL dans le cas du secteur électrique indien. Pour ce faire une étroite collaboration a été engagée avec notre partenaire indien (Indian Institute of Management of Amhedabad), donnant lieu à: (i) un travail d'analyse des scénarios de projection de la demande d'électricité et de politiques sectorielles réalistes, (ii) de paramétrisation de l'incidence de la rente carbone et des politiques et mesures nationales pressenties dans la base de données technologique de MARKAL, puis (iii) d'exécution du programme d'optimisation de MARKAL, et enfin (iv) de calcul et d'analyse de différentes variantes l'effet de levier produit par le MDP à partir des opportunités d'investissement dans le secteur électrique sur l'économie indienne. L'exercice numérique fait ressortir selon le jeu d'hypothèses retenu un effet de levier sur les revenus variant de 1,7 à 8,7 (valeur moyenne sur l'ensemble des variantes testées = 5,2).

Un tel schéma, reproductible pour la plupart des secteurs d'activité émetteurs nets de gaz à effet de serre, n'est cependant pas applicable au cas du secteur forestier.

En effet, la foresterie occupe une place à part dans la négociation climat, et la foresterie dans le contexte de pays en développement possède elle-même un certain nombre de spécificités qui n'ont pas toujours été bien appréciées dans le débat sur les « mécanismes de flexibilité ». Certaines activités relèvent de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, d'autres de la fixation de carbone, d'autres des deux simultanément. L'élaboration d'une typologie des ces différentes activités montre qu'elles ne sont pas réductibles à la seule catégorie des puits de carbone, et que les activités de substitution (énergétique et matériaux) demandent à être évaluées en relation avec la durabilité du

¹ Afin d'alléger la diffusion des résultats, deux rapports distincts ont également été finalisés pour chacun des deux volets.

mode de gestion de la ressource dont sont issus les produits, ce qui n'est pas prévu dans la configuration actuelle du MDP.

De surcroît se pose le problème de la non permanence du stockage du carbone dans les plantations (celles-ci peuvent être détruites accidentellement).

Les activités forestières entreprises dans le cadre du MDP risquent donc d'être réduites à la portion congrue par les différentes règles qui ont « encadré » le recours aux puits de carbone. L'exclusion des activités de conservation est justifiée par les problèmes de détermination de scénarii de références crédibles et les quantités de crédits fictifs qui pourraient en découler. Quant aux autres activités, la volonté d'éviter de créditer toute fixation de carbone non directement reliée à une intervention humaine bien identifiée a été avancée pour exclure les activités de gestion forestière et l'introduction de techniques améliorées visant à la réduction des dégâts d'opération, donc la réduction des émissions de GES et le maintien des capacités de fixation de la forêt. La même démarche a été suivie en distinguant les activités de « restauration du couvert végétal » qui concerne les forêts dégradées et celles de « boisement et reboisement », seules ces dernières étant finalement éligibles au MDP. Ces choix sont visiblement marqués par les débats scientifiques et médiatiques sur le bilan carbone à long terme des forêts, la possible saturation du « puits terrestre » voire son passage de l'état de puits à celui de source de CO₂.

Le problème est que ce resserrement des activités éligibles, s'il rassure les gardiens de l'intégrité environnementale et facilitera les mesures de carbone stocké, prive les pays du Sud de leviers nécessaires pour financer les activités qui sont les plus pertinentes dans le contexte de dégradation des ressources boisées naturelles qui est le leur.

L'évolution, dans le cadre de la négociation, de la réflexion sur la comptabilité des puits de carbone dans le MDP suit la même logique. Pour résoudre le problème de la possible non permanence des puits, des crédits spécifiques, propres aux puits de carbone forestier du MDP, devraient voir le jour sans que leur équivalence avec les crédits générés par les réduction d'émission ne soit prédictible – dans le cas des crédits temporaires. Le test mené sur des plantations d'eucalyptus au Congo révèle la sensibilité des indicateurs financiers classiques (le taux de rentabilité interne) à l'adoption de deux méthodes de comptabilisation différentes de la fixation du carbone. Compte tenu des prévisions pessimistes sur le prix potentiel des crédits liés aux réduction d'émission après les décisions américaines et l'existence de vastes quantités de « hot air » russe, la valeur des « crédits temporaires » – ou toute formule apparentée – concoctée pour les puits de carbone forestiers du MDP, risque d'être assez faible. Dans ces conditions, l'effet de levier attendu du MDP pour le développement durable du secteur forestier risque d'être très modeste, en ce sens que la « rente carbone » serait trop faible pour susciter des décisions d'investissement qui n'auraient pas déjà été programmées dans une autre logique économique.

On arrive ainsi au problème de l'additionnalité. Dans plusieurs régions tropicales, la tendance lourde est à la substitution progressive des forêts naturelles, dégradées par une exploitation intensive, par des plantations d'essences à croissance rapide. Dans bien des cas, les plantations proposées au titre d'activités MDP ne seront pas additionnelles, au sens où leur réalisation serait probablement intervenue sans l'existence du mécanisme. Un enjeu central réside donc dans les méthodes employées pour élaborer les scénarii de référence et apprécier l'additionnalité des activités proposées. Nous avons voulu montrer que plusieurs options étaient envisageables, mais que l'asymétrie d'information entre les entreprises proposant et les évaluateurs, d'une part, et l'importance des coûts de transaction, d'autre part, rendait nécessaire le recours à des référentiels techniques et financiers génériques (*benchmarks*) couplés à une analyse des « barrières » spécifiques à l'activité proposée et menée dans un cadre institutionnel et géographique précis. Ce sont également les coûts de transaction élevés associés à la mise en place, au suivi et au monitoring des activités MDP – au regard de la rente carbone escomptable – qui risquent de réduire à néant l'effet de levier pour les petits projets, comme les plantations villageoises ou certaines formes d'agroforesterie, qui n'attireront pas d'investissements « carbone » privés. Seule des combinaisons d'instruments, incluant l'aide publique au développement, au travers de mécanismes financiers spécifiques, de type fonds d'investissements, peuvent donner une chance à ces activités, dont le développement est en outre handicapé par des barrières de différente nature qui demandent à être abaissées dans le même temps. L'importance des politiques et mesures influençant les pratiques et décisions économiques dans le secteur forestier est ici particulièrement sensible.

C - Modélisations utilisées et méthodologies expérimentales

C.1 Modélisation micro-économique d'un effet levier du MDP sur l'activité économique du pays hôte:

C.1.1 Principe micro-économique de l'effet de levier:

L'effet de levier que nous nous proposons d'analyser résulte de l'incitation à l'investissement dans les Pays non Annexe 1 que génèrent les crédits de réductions d'émission du MDP en direction des investisseurs des Pays de l'Annexe 1. Nous nous proposons de mettre en relation le volume et la valeur des crédits générés par le MDP avec la mesure d'un certain nombre de phénomènes résultant de la modification des paramètres de la décision d'investir que le MDP induit à travers ces crédits.

Le principe d'incitation à l'investissement additionnel de la part d'agents des pays de l'Annexe 1, dans les Pays non Annexe 1 qu'il s'agit de simuler peut être décrit formellement de la manière suivante :

Considérons la variable I correspondant au cumul des opportunités d'investissement dans un Pays non Annexe 1 donné, rangées par ordre de productivité décroissante. Selon la capacité d'investissement mobilisable et les conditions de financement, le pays progresse plus ou moins loin dans la réalisation de ce stock d'opportunités, en commençant théoriquement par les opportunités présentant les taux de rendement interne les plus élevés.

Soit $f(I)$, le revenu associé à l'investissement I . Soit $r(I) = f'(I)$, $r(I)$ est le revenu marginal de l'investissement I . $r(I)$ est aussi la tangente en tout point de $f(I)$ et indique donc en chaque point la pente de la courbe $f(I)$ (voir figure n°1).

On a : $r(I) = f'(I) > 0$ et $f''(I) < 0$ (**critère traduisant l'hypothèse de classement des opportunités d'investissement par ordre décroissant de rentabilité**)

Soit i_{optSud} le taux d'actualisation optimal du pays du Sud. Le dernier projet spontanément réalisé par le pays du Sud se caractérise par un taux de rentabilité égal au taux d'actualisation du pays du Sud² : $r(I) = i_{optSud}$.

En fait, comme le pays du Sud est soumis à des contraintes financières qui s'accroissent avec le niveau d'endettement et durcissent les conditions d'accès des agents locaux au marché des capitaux, le taux d'actualisation réel $i_{réelSud}$ est supérieur à i_{optSud} . Le niveau d'investissement effectivement atteint aujourd'hui est donc seulement $I_{réelSud} < I_{optSud}$ (investissement optimal).

Supposons que le pays adopte des mesures favorables à l'environnement global (normes sur la pollution locale, choix technologiques volontaristes dans les politiques publiques, par exemple en faveur des énergies renouvelables pour l'électrification rurale ou pour la maîtrise de l'énergie, encouragement à la préservation du couvert forestier, élimination de certaines subventions sur l'énergie polluante, etc.). Le classement des investissements selon leur rentabilité sur la courbe $f(I)$ est modifié. Celle des investissements vertueux pour l'environnement est augmentée, ce qui permet un déplacement vers la droite des investissements.

A l'inverse, certains projets qui étaient illégitimement subventionnés voient leur rentabilité régresser et les émissions associées réduites ; on fait l'hypothèse que le bilan est incitatif pour le pays du Sud, c'est-à-dire que la mesure favorable à l'environnement global fait passer plus de projets qu'elle n'en exclut. Cette hypothèse sera testée dans le cadre des simulations réalisées. Globalement on passe de la courbe $f(I)$ à $f_{mes}(I)$, et, à taux d'actualisation égal de I_{optSud} à I_{mesSud} .

Le principe du MDP est de susciter des investissements de la part des pays Annexe 1 dans les pays du Sud. Si l'on se place dans la logique des investisseurs du Nord, comme leur taux d'actualisation i_{Nord} est plus faible (capacité d'auto-financement des investissements plus importante, accès plus facile au marché des capitaux, logique industrielle autorisant dans certains cas des choix privés de plus long terme que pour les agents privés du Sud, etc.), le volume d'investissement s'accroît jusqu'à ce que la tangente s'abaisse à $r(I) = i_{Nord}$. On passe à $I_{mesNord} > I_{mesSud}$. Si on admet que les investisseurs du Nord disposent d'une technologie plus performante (transfert de technologies), donc que le revenu de l'investissement augmente à niveau d'investissement égal, on se déplace maintenant sur la courbe $f_{mes+transfert}(I)$ et le dernier investissement réalisé est $I_{mes+transf Nord} > I_{mesNord}$.

² Il s'agit d'une expression simplifiée, du fait que différents acteurs du pays du sud peuvent de fait avoir des taux d'actualisation non identiques dans différents secteurs.

Enfin, si les projets sont dotés de crédits de réduction d'émission, et c'est là le principe incitatif dont dépend la réalisation effective de la chaîne de raisonnement antérieure³, on augmente la rente de l'investissement vertueux, on passe à $f_{mes+transfert+crédit}(I)$ et à $I_{mes+transf+crédit Nord} > I_{mes+transf Nord}$

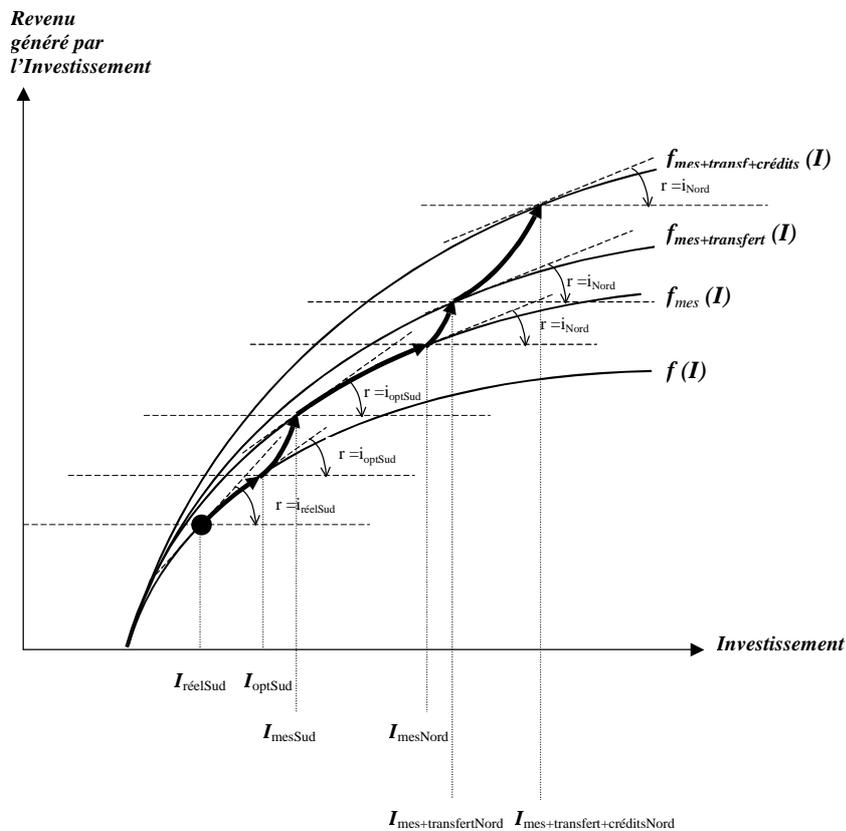
Au total, le caractère incitatif du MDP réside dans la contribution de trois types de rémunérations : la différence entre la valeur internationale du carbone et le coût d'abattement spécifique au projet, les bénéfices commerciaux privés liés à l'investissement et enfin les externalités positives d'ordre économique et sociale qui justifient l'adoption des politiques publiques. Il y a en fait synergie entre ces trois éléments :

- $f_{mes}(I_{mesSud}) - f(I_{réelsSud})$ représente le bénéfice social net des politiques adoptées par le pays hôte hors investissement MDP,
- $f_{mes+transf+crédit}(I_{mes+transf+crédit Nord}) - f_{mes+transf}(I_{mes+transf Nord})$ le revenu carbone associé aux projets MDP réalisés,
- et $f_{mes+transf}(I_{mes+transf Nord}) - f_{mes}(I_{mesSud})$ représente la rente commerciale supplémentaire générée par les projets additionnels suscités par le MDP. Ce dernier terme constitue aussi une mesure de la valeur des biens et services additionnels apportés par les projets additionnels dans l'économie du pays hôte..

Ceci marque bien la différence entre la conception courante de l'application conjointe (phase pilote AIJ) qui considère seulement la valeur totale des émissions évitées, et le MDP ; ici en effet, il est possible qu'une entreprise choisisse un projet dont le revenu carbone est moins intéressant mais dont le bénéfice commercial est supérieur, et c'est au gouvernement du pays hôte de veiller à un partage des différentes rentes qui maximise le revenu total du MDP pour le pays.

³ On raisonne ici à la marge, on considère donc le déclenchement additionnel de la chaîne de décision décrite ci-dessus par rapport au cadre de décision sans crédit.

Figure n°1 :



C.1.2 Déterminants micro-économiques et macro-économiques de l'effet levier

Notre attention se concentrera tout d'abord sur la manière dont la rentabilité d'un projet évolue (i) avec l'adoption d'un exemple représentatif d'une politique publique (une taxe sur les énergies fossiles) et (ii) par la rétribution des crédits de réduction d'émission (CRE) pour l'investisseur étranger. Dans une seconde étape, nous montrerons que les résultats obtenus au niveau d'un projet peuvent être étendus à l'ensemble du secteur, puis dans un troisième temps, nous calculerons l'effet levier, mesuré ici comme le rapport entre le revenu additionnel généré par les investissements additionnels suscités par le MDP dans l'économie indienne et la valeur des crédits de réduction d'émissions alloués à ces projets. Dans ce calcul, nous tiendrons compte de la réallocation intersectorielle entraînée par les nouveaux investissements et nous mentionnerons l'existence de bénéfices collatéraux dans d'autres secteurs.

C.1.3 Effets du MDP sur les choix microéconomiques

On considère une projection de la demande de service énergétique dans un pays hôte sur une période de N années, notée $D(t)$. Cette demande peut être satisfaite par le recours soit à une technologie intensive en carbone (type centrale à charbon), soit à une technologie sans carbone (par exemple une centrale éolienne). Pour des raisons de commodités, de clarté et de simplification des expressions littérales, les durées de vie de ces technologies sont ici supposées être égales à N années.

On note $F(t)$ (respectivement $F'(t)$) la différence entre les recettes et les dépenses courantes à la période t pour la technologie sale (respectivement pour la technologie propre). On fait l'approximation que cette différence est constante sur toute la durée de vie de l'installation.

Soit ρ le taux de rendement interne d'un projet; par définition ρ est valeur du taux d'actualisation qui annule la valeur actuelle nette (VAN) de ce projet; en posant $x=1+\rho$, on obtient par définition :

$$I = F \cdot \sum_{t=0}^{t=N} \frac{1}{(1+\rho)^t} = F \cdot \sum_{t=0}^{t=N} \frac{1}{x^t} = F \cdot \frac{x^{N+1} - 1}{x^N \cdot (x - 1)} \quad (1)$$

L'équation (1) se réécrit en posant $\phi = \phi(x, I, F)$, tel que

$$\phi(x, I, F) = x^{N+1} \cdot I - x^N \cdot I - F \cdot x^{N+1} + F = 0 \quad (2)$$

On peut aisément différencier cette équation pour chacun des trois paramètres de commande que sont le taux de rendement interne du projet ρ , la recette nette F , et l'investissement I .

L'équation (2) se réécrit : $x^N \cdot (I - F) = x^{N-1} \cdot I - \frac{F}{x}$.

Après quelques simplifications⁴, en injectant les termes des équations (4), (5) et (7) dans l'équation (3) on obtient :

$$[x^{N+1} - x^N] \cdot dI + [1 - x^{N+1}] \cdot dF + [x^{N-1} \cdot I] \cdot d\rho = 0 \quad (8)$$

L'équation (8) décrit les conditions de neutralité d'un investisseur, fonction du taux de rentabilité interne ρ ($\rho=x-1$) du projet, de l'investissement I et du revenu net annuel F .

Nous allons maintenant examiner l'évolution des conditions d'arbitrage de l'investisseur en introduisant successivement une taxe sur une technologie carbonée, puis une rémunération de crédits d'émission dans le cadre du MDP sur une technologie non émettrice.

C.1.3.1 Impact d'une taxe sur la rentabilité des technologies carbonées

Soit E_c la quantité annuelle d'énergie carbonée consommée par le projet. Dans l'hypothèse de l'augmentation dT d'une taxe sur l'énergie carbonée E_c , les dépenses de l'entrepreneur augmentent à chaque période de $E_c \cdot dT$, donc $dF = -E_c \cdot dT$.

L'équation (8) se réécrit : $-E_c \cdot (1 - x^{N+1}) \cdot dT + x^{N-1} \cdot I \cdot dx = 0$

$$\text{Soit : } \frac{dx}{dT} = \frac{E_c}{I} \cdot \frac{(1 - x^{N+1})}{x^{N-1}}$$

les variations de x en fonction de T d'après l'équation (8): $\frac{dx}{x^2} = -\frac{E_c}{I} \cdot dT$

on intègre cette équation entre le niveau de taxe initial T_0 et le niveau final T :

$$\left[\frac{1}{x} \right]_{x_0}^x = \frac{1}{x} - \frac{1}{x_0} = \frac{E_c}{I} (T - T_0), \text{ soit } \frac{1}{x} = \frac{1}{x_0} + \frac{E_c}{I} (T - T_0)$$

$$\text{donc } x(T) = \frac{1}{\frac{1}{x_0} + \frac{E_c}{I} (T - T_0)} \quad (9) \text{ avec } x_0 \text{ le taux de rentabilité interne du projet initial.}$$

Comme $x = \rho + 1$

⁴ On fait l'approximation $N \gg 1$, et donc comme $x > 1$, on a $x^N \gg 1$

$$\rho(T) = x(T) - 1 = \frac{1}{\frac{1}{\rho_0 + 1} + \frac{E_c}{I}(T - T_0)} - 1 \quad (10)$$

De manière tout à fait intuitive, l'équation (10) montre que le taux de rentabilité interne d'un projet émetteur décroît en fonction de l'intensité carbone de l'investissement mesurée par $(\frac{E_c}{I})$, et de l'augmentation de la taxe.

C.1.3.2 Impact des crédits sur l'adoption des technologies propres

On se place ici du point de vue d'un investisseur du Nord disposant d'une technologie propre et performante qu'il introduit en investissant dans un pays du Sud. On considère ici strictement qu'il se substitue à un projet qui aurait été réalisé par un investisseur national n'ayant accès qu'à la technologie maîtrisée localement.

On pose ρ' le taux de rentabilité interne du projet « propre » associé à l'investissement I' , et F' désignant les recettes nettes annuelles de ce projet considérées comme constantes sur toute la durée du projet.

On note $\rho' + 1 = x'$

On peut mener le même raisonnement que précédemment:

La quantité annuelle de carbone non émise grâce à l'utilisation de cette technologie venant substituer la technologie « sale » est égale à $E_c \cdot C$,

où C désigne le contenu massique unitaire en carbone (en tonne) de cette énergie substituée (du charbon par exemple).

La rémunération de ce projet propre au titre du MDP est égale à $E_c \cdot C \cdot V$, où V est la valeur unitaire des CRE.

Dans le contexte d'une augmentation de la valeur V des CRE de dV on obtient chaque année une augmentation des recettes de $E_c \cdot C \cdot dV$. Alors $dF' = C \cdot E_c \cdot dV$ et l'équation (8) s'écrit maintenant : $E_c \cdot C \cdot (1 - x'^{N+1})dV + x'^{N+1} \cdot I \cdot dx' = 0$

$$\text{Soit : } \frac{dx'}{dV} = \frac{E_c \cdot C}{I} \cdot \frac{(x'^{N+1} - 1)}{x'^{N+1}} \underset{N \text{ grand}}{\cong} \frac{E_c \cdot C}{I} \cdot x'^{-2} \quad (11)$$

$$\text{Donc : } \frac{dx'}{x'^2} = \frac{E_c \cdot C}{I} \cdot dV$$

$$\text{En intégrant entre 0 et V la valeur des crédits : } \left[-\frac{1}{x'} \right]_{x'_0}^{x'} = \frac{1}{x'_0} - \frac{1}{x'} = \frac{E_c \cdot C \cdot V}{I} \quad (12)$$

On peut alors calculer, connaissant ρ'_0 le taux de rendement interne du projet sans rémunération des crédits d'émission, la valeur de ce taux de rendement interne dans le cadre du MDP :

$$\frac{1}{1 + \rho'} - \frac{1}{1 + \rho'_0} = -\frac{C \cdot E_c \cdot V}{I'}$$

$$\rho'(V) = x'(V) - 1 = \frac{1}{\frac{1}{1 + \rho'_0} - \frac{C \cdot E_c \cdot V}{I'}} - 1 \quad (13)$$

où la quantité de carbone non émis par la technologie propre correspond à la quantité d'énergie carbonée utilisée par la technologie sale pour satisfaire la même demande.

Les équations (10) et (13) montrent bien que les taux de rentabilité interne des deux types de projets vont se rapprocher⁵. Plus la taxe augmente, plus x diminue et inversement plus V augmente, plus x' va augmenter ; on notera cependant la rentabilité des technologies sales est plus sensible à l'augmentation de la taxe sur l'énergie, que la technologie propre ne l'est par rapport aux variations de la valeur V du carbone (de manière réaliste entre 10 et 100 \$ la tonne de carbone). Cependant, plus l'énergie carbonée substituée est riche en carbone, plus la rémunération des crédits est intéressante pour l'investisseur du Nord.

C.1.3.3 Généralisation à un ensemble de projets

Dans cette partie nous montrons que les résultats établis précédemment à un projet peuvent s'appliquer de la même manière à un ensemble de projets « sales » ou à un ensemble de projets propres en considérant un taux de rentabilité unique applicable à l'ensemble des projets. Cette extension est rendue nécessaire pour cerner comment en fonction de l'évolution des rentabilités des projets s'effectue la nouvelle affectation entre investissements en énergie carbonée et non carbonée d'une part et investissements nationaux et internationaux d'autre part.

On montre ainsi qu'il existe un taux de rendement interne $\bar{\rho}$ pour un ensemble de K projets d'investissements $(I_k)_{k=1..K}$, (ayant pour recettes nettes annuelles constantes $(F_k)_{k=1..K}$, et pour taux de rendement interne $(\rho_k)_{k=1..K}$). Ce "projet global équivalent" est défini par un investissement global I , ayant pour solde annuel R constant sur toute la période considérée :

$$I = R \cdot \sum_{t=0}^{t=N} \frac{1}{(1 + \bar{\rho})^t} \text{ où } I = \sum_k I_k \text{ et } R = \sum_k F_k \quad (14)$$

Chacun de ces projets consomme annuellement la quantité E_{ck} . Ainsi en menant le même raisonnement que précédemment les dépenses annuelles augmentent de

$$dR = \sum_k E_{ck} \cdot dT = E_c \cdot dT$$

Ainsi pour l'ensemble des k projets, il existe un taux de rendement interne unique $\hat{\rho}$ associé à l'investissement constitué de la somme des K investissements et du revenu annuel net R constitué de la somme des K revenus annuels nets.

On peut ainsi appliquer les résultats :

- de l'équation (9) de la première partie à $\bar{\rho}$ en considérant l'ensemble des investissements nationaux dans le secteur électrique soumis à une augmentation d'une taxe sur les énergies fossiles:

$$\frac{1}{\hat{\rho}(T)+1} - \frac{1}{\hat{\rho}_0+1} = \frac{E_c}{I} \cdot (T - T_0) \quad (15)$$

Avec $\hat{\rho}_0$ niveau initial du taux de rendement interne représentatif à l'ensemble des projets et T_0 niveau de taxe initial.

- de l'équation (13) à $\bar{\rho}$ en considérant l'ensemble des investissements du MDP dans le secteur électrique :

$$\hat{\rho}'(V) = \frac{1}{\frac{1}{1 + \hat{\rho}'_0} - \frac{C \cdot E_c}{I'} \cdot V} - 1$$

Avec $\hat{\rho}'_0$ niveau initial du taux de rendement interne représentatif à l'ensemble des projets hors MDP.

⁵ En effet les TRI caractéristiques de ces technologies sont environ de 10% pour les centrales à charbon, et entre 3 et 6% pour les technologies à énergie renouvelable.

C.1.3.4 Calcul de l'effet levier

L'augmentation de la taxe sur les énergies fossiles diminue la rentabilité d'un projet « sale » et augmente relativement celle du projet MDP. Ainsi des projets réalisés au sein du MDP vont prendre la place de projets réalisés dans le scénario de référence par les investisseurs du Sud. Cette substitution entre technologies sales et technologies propres n'est pas la seule à devoir être prise en compte puisque des projets réalisés au sein du MDP, c'est-à-dire avec contribution des agents du Nord vont se substituer à des projets qui dans le scénario de référence étaient réalisés par des investisseurs du sud. Des investissements seront libérés pour se réaffecter dans d'autres secteurs d'activité. Il convient donc pour apprécier l'ordre de grandeur du mécanisme de cerner également la part d'investissements libérée par le flux d'investissements étrangers.

Avant instauration de la taxe et avant mise en place du MDP le revenu annuel R_{REF} provenant des investissements dans les secteurs énergétiques et non énergétiques s'écrit:

$$R_{REF}(T_0, V=0) = R_{REF}^{nE\ Sud} + R_{REF}^{E\ Sud}(I_{E\ Sud}, T_0) \quad (16)$$

secteur non énergétique secteur énergétique

Le raisonnement est mené à demande inchangée, ce qui d'un point de vue théorique pourrait être interprété comme résultant d'une élasticité nulle de la demande par rapport aux prix. Telle n'est pas l'interprétation économique que nous ferons ici. En effet dans le contexte des pays en développement, toute augmentation de prix est déterminée par une autorité publique (gouvernement ou agence de régulation publique nationale, régionale ou locale), est généralement impossible pour des considérations politiques ou d'équité, a fortiori pour une motivation du type environnement global. C'est pourquoi, dans la majorité des cas, le régulateur s'interdira de reporter la taxe sur le prix de vente aux consommateurs, ce qui annule tout effet de la taxe sur le niveau de la demande.

Après instauration de la taxe et mise en place du MDP, aux revenus initiaux $R_{REF}^{nE\ Sud}$ s'ajoutent:

- ▶ le revenu des investissements libérés du secteur énergétique par les apports extérieurs. Certains investissements nationaux du secteur électrique ne sont plus entrepris car leur rentabilité relativement aux autres investissements possibles a baissé. Ils se reportent sur d'autres secteurs d'activité. On fait ici l'approximation que ces investissements s'effectuent à la marge avec un taux de rendement interne uniforme égal aux taux d'intérêt en vigueur dans le pays. Une part λ des investissements nationaux initiaux est reportée dans ce secteur et génère le revenu $R_{MDP}^{AS,\rho}(\lambda.I_{E\ Sud}, T_0)$.
- ▶ les investissements provenant d'investisseurs du Nord dans le cadre du MDP viennent s'ajouter et génèrent le revenu $R_{MDP}^{E\ Nord}(I_{E\ Nord}, V)$,
- ▶ $(1-\lambda)I_{E\ Sud}$ désigne la part des investissements énergétiques qui restent orientés sur le secteur énergétique. Le nouveau TRI global, après augmentation de la taxe est la moyenne sur l'ensemble de ces projets réalisables et le revenu s'écrit $R_{MDP}^{E\ Sud}((1-\lambda).I_{E\ Sud}, T_0)$
- ▶ le recyclage du revenu de la taxe: Il n'est pas ici possible d'anticiper l'allocation sectorielle ni l'efficacité du recyclage. Nous ne prendrons donc pas celui-ci en compte dans notre calcul numérique
- ▶ les dépenses publiques évitées (ADP):difficilement quantifiable, l'ensemble des dépenses évitées résulte du fait d'une amélioration de la technologie utilisée, plus propre et donc d'une diminution globale des externalités négatives (diminution des dépenses de santé par exemple), ainsi qu'un effet positif sur la croissance.

En résumé on obtient le revenu $R_{MDP}(T, V)$ à chaque période après accroissement de la taxe de T_0 à T et instauration des crédits MDP à la valeur V :

$$\begin{aligned}
R_{MDP}(T, V) = & R_{REF}^{nE\ Sud} + R_{MDP}^{AS, \rho}(\lambda I_{E\ Sud}, T) + R_{MDP}^{E\ Sud}((1-\lambda)I_{E\ Sud}, T) + R_{MDP}^{E\ Nord}(I_{E\ Nord}, V) \\
& \text{secteur non énergétique} \qquad \qquad \qquad \text{secteur énergétique} \\
& + f \left[\frac{T \cdot E_c(T) - T_0 \cdot E_c(T_0)}{2} \right] + \frac{\Delta DP}{\text{dépenses publiques évitées}} \\
& \text{recyclage de la taxe}
\end{aligned} \tag{17}$$

La quantification de l'effet levier peut se faire par la mesure du revenu additionnel actualisé sur toute la période considérée généré par une unité de crédit exprimé en valeur monétaire, il s'écrit donc:

$$l = \frac{\sum_t \frac{R^t_2(T, V) - R^t_1(T_0, V = 0)}{(1 + \rho)^t}}{\sum_t \frac{E_c \cdot V}{(1 + \rho)^t}} \tag{18}$$

avec à chaque période

$$\begin{aligned}
R_{MDP}(T, V) - R_{REF}(T_0, V = 0) = & R_{MDP}^{AS, \rho}(\lambda I_{E\ Sud}, T_0) + \left[R_{MDP}^{E\ Sud}((1-\lambda)I_{E\ Sud}, T) - R_{REF}^{E\ Sud}(I_{E\ Sud}, T) \right] \\
& + R_{MDP}^{E\ Nord}(I_{E\ Nord}, V)
\end{aligned}$$

Le calcul effectué minore l'effet levier puisqu'il ne considère pas les effets du recyclage des revenus de la taxe ni la diminution des dépenses des dépenses publiques.

Des variantes de l'effet de levier peuvent être calculées, notamment :

- le revenu additionnel généré par une unité de crédit exprimée en tonne de CO₂ ou en tonne de carbone,
- le volume d'investissement étranger additionnel drainé par le MDP par unité de crédit exprimée en valeur monétaire, en tonne de CO₂ ou en tonne de carbone.

a) Calcul des revenus générés par les investisseurs nationaux

* Secteur électrique

Seule une partie (1-λ) des investissements indiens réalisés dans le secteur énergétique en l'absence du MDP reste dirigée vers ce secteur dans le scénario intégrant le MDP. λ varie avec le niveau T de la taxe et la valeur V des crédits. En conséquence le revenu associé à ces investissements varie également en fonction de T et de V.

Alors la différence de revenu générée par les investissements nationaux dans le secteur électrique s'écrit en reprenant la définition du taux de rendement interne :

$$\begin{aligned}
\left[R_{MDP}^{E\ Sud}((1-\lambda)I_{E\ Sud}, T) - R_{REF}^{E\ Sud}(I_{E\ Sud}, T_0) \right] &= \frac{(1-\lambda)I_{E\ Sud}}{\sum_t \frac{1}{(1 + \rho_{E\ Sud}(T))^t}} - \frac{I_{E\ Sud}}{\sum_t \frac{1}{(1 + \rho_{0ESud}(T_0))^t}} \\
&= I_{E\ Sud} \cdot \left[\frac{(1-\lambda)}{\sum_t \frac{1}{(1 + \rho_{E\ Sud}(T))^t}} - \frac{1}{\sum_t \frac{1}{(1 + \rho_{0ESud}(T_0))^t}} \right]
\end{aligned} \tag{19}$$

* Report d'investissements dans d'autres secteurs

Une part λ des investissements initiaux dans le secteur électrique $I_{E\ Sud}(T_0)$ se trouve redirigée vers d'autres secteurs d'activité. On considère un taux de rendement interne uniforme ρ_{AS} (ici pris égal à 12%) de ces investissements .

$$R_{MDP}^{AS,\rho}(\lambda.I_{E\text{ Sud}}) = \lambda \cdot \frac{I_{E\text{ Sud}}(T_0)}{\sum_t \frac{1}{1,12^t}} \quad (20)$$

b) Investissements des agents du nord au sein du MDP

Les investisseurs du nord viennent contrebalancer la part des investissements nationaux qui se trouvent redirigés vers d'autres secteurs. Ainsi, ces investisseurs viennent répondre à la part de la demande λ qui, avant politiques et mesures nationales, était satisfaite par la part d'investissement locale $I_{E\text{ Sud}}(T_0)$

La technologie du Nord est considérée comme ayant un coefficient d'efficacité énergétique supérieure à celle du Sud. On représente ce gain en efficacité énergétique à demande constante par la nécessité d'un moindre investissement. Soit σ coefficient de progrès technique par transfert technologique.

Alors pour répondre à la demande $(1-\lambda).S$, il faut que:

$$I_{E\text{ Nord}}(V) = \sigma \cdot \lambda \cdot I_{E\text{ Sud}} \quad \text{avec } \sigma \leq 1 \quad (21)$$

et:

$$R_{MDP}^{E\text{ Nord}}(I_{E\text{ Nord}}, V) = \sigma \cdot \lambda \cdot \frac{I_{E\text{ Sud}}}{\sum_t \frac{1}{(1 + \rho_{E\text{ Nord}}(V))^t}} \quad (22)$$

c) Revenu additionnel généré par le mécanisme

$$\text{Finalement, le revenu additionnel est: } R_{MDP} - R_{REF} = I_{E\text{ Sud}} \cdot \Pi \quad (23)$$

Avec:

$$\Pi = \frac{1 - \lambda}{\sum_t \left(\frac{1}{1 + \rho_{E\text{ Sud}}(T)} \right)^t} - \frac{1}{\sum_t \left(\frac{1}{1 + \rho_{0\text{ Sud}}} \right)^t} + \lambda \left[\frac{1}{\sum_t \left(\frac{1}{1,12} \right)^t} + \frac{\sigma}{\sum_t \left(\frac{1}{1 + \rho_{E\text{ Nord}}(V)} \right)^t} \right]$$

C.2 Choix méthodologique pour l'expérimentation dans les secteurs émetteurs nets: le recours au modèle MARKAL pour tester l'effet levier du MDP

Nous proposons maintenant de procéder à un essai de quantification de l'ordre de grandeur de l'effet levier que nous avons mis en évidence par les développements théoriques qui précèdent.

Pour cela, moyennant quelques ajustements méthodologiques, il nous est apparu possible de recourir au modèle MARKAL afin de simuler les volumes d'investissements, les revenus et les émissions de CO₂ générés par ceux-ci dans au moins deux configurations:

- la première, la situation de référence, c'est-à-dire en l'absence de politiques et mesures spécifiques pour le climat et en l'absence du MDP
- la seconde, incorporant à la fois les politiques et mesures nationales destinées à lutter contre les émissions et l'allocation de certificats de réductions d'émission aux projets vertueux dans le cadre du MDP.

Nous avons bien conscience de l'imperfection de ce premier essai, dont nous pointerons les limites à chaque fois que nécessaire. Mais il nous semblait essentiel, pour contribuer efficacement à éclairer le débat, de montrer qu'il est possible de passer du principe purement théorique à la mesure des ordres de grandeur sur données réelles.

C.2.1 Présentation succincte du modèle MARKAL

L'outil que nous utiliserons pour mener à bien les différentes simulations nécessaires est le modèle Markal.

Markal est un modèle spécifique de l'analyse technico économique et de l'évolution dynamique des systèmes énergétiques sur des périodes de l'ordre de 50 ans. Le nombre actuel d'utilisateurs de Markal est de 77 institutions dans 37 pays. Ces utilisateurs interagissent et se coordonnent dans le cadre d'un réseau, ETSAP (Energy Technology System Analysis Program de l'Agence Internationale de l'Energie. Le modèle Markal a fait l'objet d'un développement de plus de vingt ans et est accessible au travers de logiciels conviviaux (MUSS, Markal User Support System, ANSWER, interface compatible avec Windows...) qui permettent à des utilisateurs d'accéder à ses fonctionnalités après une formation limitée et en bénéficiant de l'acquis, notamment des bases de données techniques réunis par le réseau d'utilisateurs.

Les composants de base de Markal sont les technologies de production, d'utilisation, de transformation des vecteurs énergétiques et les technologies de limitation et de contrôle des émissions. Chaque technologie est représentée par ses performances techniques et des données de coût d'investissement, de fonctionnement et d'entretien. Un menu de toutes les technologies existantes ou futures constitue les données d'entrée du modèle. La fourniture et la demande d'énergie sont intégrées dans le modèle de manière à calculer des systèmes énergétiques cohérents. Le modèle a pour objet de sélectionner la combinaison technologique qui minimise le coût total du système énergétique pour une projection des demandes sectorielles faite *ex ante*.

Dans chaque cas, le modèle détermine la combinaison de technologies la moins coûteuse qui satisfait aux contraintes imposées et ceci jusqu'à la limite de faisabilité qui dépend des technologies introduites dans le modèle.

Dans le cas de l'Inde, Markal a été développé à l'Indian Institute of Management avec le soutien de P.R. Shukla et A. Kanudia, et prend en compte des périodes de cinq ans jusqu'en 2035 (Loulou, Shukla, Kanudia, 1995).

C.2.2 Plan de recherche

La méthodologie que nous avons élaborées pour simuler l'effet levier sur données réelles dans le cas du secteur électrique indien contient les cinq étapes suivantes :

- a) *Première étape : calage du scénario d'émissions de référence et du panier de technologies énergétiques correspondantes*
- b) *Seconde étape : simulation de l'impact des opportunités de politiques et mesures nationales*
- c) *Troisième étape : détection des gains potentiels d'efficacité par transfert de technologies correspondant à des opportunités d'investissement pour des investisseurs du Nord*
- d) *Quatrième étape : simulation de l'impact de règles d'allocation de crédits d'émissions.*
- e) *Cinquième étape : Analyse critique des résultats du point de vue du caractère incitatif et de l'efficacité du MDP*

Les résultats de ces différentes simulations sont analysées du point de vue :

- des émissions associées à chaque sélection de technologies correspondant à chacune des quatre configurations successives
- des volumes d'investissement générés pour le pays d'accueil
- du volume de crédits d'émissions générés
- du revenu additionnel généré par le second scénario en comparaison au premier
- de la mesure de l'effet levier tel que défini dans la partie formelle.

C.3 Choix méthodologiques pour les secteurs « absorbeurs » nets: typologies des options d'atténuation et conventions de comptabilité

C.3.1 Typologies des options d'atténuation possibles dans le secteur forestier

Le rapport spécial de l'IPCC⁶ désigne l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie à la fois comme des sources et des puits de gaz à effet de serre (GES), en particulier dans les pays en développement. En conséquent, les actions envisageables dans ces secteurs pour contribuer à stabiliser la concentration atmosphérique en GES relèvent de deux approches différentes : la **gestion des réservoirs de carbone** et la **réduction des émissions de GES**. Ces actions sont présentées dans le tableau suivant pour ce qui concerne le secteur forestier.

GESTION DES RESERVOIRS DE CARBONE		REDUCTION DES EMISSIONS DE GES	
Réservoirs <i>biomasse et matière organique</i> du sol		Émissions provenant de l'utilisation des terres et de la foresterie	
<p>Accroissement des stocks par introduction d'arbres : Reboisement de forêt naturelle, plantations industrielles et villageoises, vergers et cultures pérennes, agroforesterie</p>	<p>Conservation des stocks existants (éviter les émissions liées au changement d'affectation des terres) : Défense des forêts menacées de déboisement: projets «clôtures»,</p>	<p>Émissions de CO₂ liées aux déchets forestiers et agricoles : exploitation forestière à faible impact, réduction des quantités de déchets de bois de l'industrie de transformation</p> <p>Émissions énergétiques de CO₂ : meilleure efficacité énergétique lors du transport du bois, de sa combustion et de sa transformation en charbon</p>	
<p>Réservoirs produits (bois d'œuvre et papier, etc.)</p> <p>Orientation de la production vers des produits à longue durée de vie</p> <p>Allongement de la durée de vie des produits par recyclage ou traitements</p> <p>Usage et accroissement des parts de marché des produits</p>		<p>Émissions provenant d'autres secteurs grâce aux produits agricoles et forestiers</p> <p>« Substitution énergétique » de <i>biocombustibles</i> issus de sources durables (bois) aux combustibles fossiles ou issus de ressources forestières surexploitées</p> <p>« Substitution matériau » de <i>bois d'œuvre</i> aux matériaux dont la production émet beaucoup de GES (ciment, acier...)</p>	

Les projets de réduction des émissions, hors émissions liées au changement d'affectation des terres, ressemblent aux projets classiques de réduction des émissions dans le secteur énergétique ou des transports. Les projets de gestion des réservoirs de carbone visent à la fois à accroître et maintenir les stocks de carbone dans les systèmes agricoles et forestiers. Ils sont parfois appelés « puits de carbone »⁷. Les projets de conservation des réservoirs appartiennent aux deux approches, car ils permettent de réduire les émissions anthropiques attribuables au changement d'affectation des terres.

C.3.2 Conventions de comptabilité et incidence économique sur le secteur.

La forêt est un réservoir à cycle court, ce qui permet d'envisager l'absorption de CO₂ comme option d'atténuation. Mais comme pour les réservoirs fossiles, la réémission de CO₂ vers l'atmosphère est

⁶ Rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC ou IPCC) sur l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie. Mai 2000. Résumé pour décideurs disponible sur le site www.ipcc.ch.

⁷ L'IPCC (2000) donne la définition des puits suivante : « Tout processus ou mécanisme qui absorbe un GES ou un précurseur de GES présent dans l'atmosphère. Un réservoir donné peut être un puits de carbone atmosphérique, et ce durant un certain laps de temps quand il absorbe plus de carbone qu'il n'en libère. » Les puits réalisent un « piégeage » ou une « fixation » de carbone, défini comme : « processus tendant à faire augmenter la teneur en carbone d'un bassin ou d'un réservoir de carbone autre que l'atmosphère » (le terme « séquestration » est un anglicisme fréquent, mais il est absent de la traduction française du rapport spécial de l'IPCC). Il est fréquent, mais inexact, d'appeler puits de carbone les projets de conservation des réservoirs, qui ne réalisent pas d'absorption.

très rapide, voire plus, puisqu'elle ne nécessite pas d'infrastructure particulière. La réversibilité de l'absorption est le problème principal pour établir une équivalence entre réduction d'émissions et absorption lors de la distribution de crédits. Plusieurs conventions ont été proposées pour contourner le problème :

- « *Full crediting* » : les variations de stocks sont converties en crédits de réductions d'émissions. Si l'on arrive à garantir à long terme les variations dans les stocks par des mesures préventives dans la conception du projet ou par des mécanismes d'assurance (par exemple, ne créditer qu'une partie des réductions ou de l'absorption afin de constituer une « réserve »), on attribue autant de crédits de réduction d'émissions que de tC stockées à un instant donné à fixer ou en moyenne sur une période donnée.
- « *ton year crediting* » : un stockage temporaire est converti en crédits proportionnels à la durée du stockage (unité : tonne fois an). Si l'on arrive à établir l'équivalence entre une durée de stockage et une réduction d'émissions définitive, on pourra utiliser les crédits dans les engagements. Tant qu'un réservoir est en place, il continuera à bénéficier de crédits. Dans la suite, nous avons pris l'équivalence suivante : une tonne.an donne lieu à un crédit d'un quarantième de tonne de carbone (un temps d'équivalence de 40 ans, qui est une des possibilités données dans le rapport spécial de l'IPCC sur l'utilisation des terres, le changement d'affectation des sols et la foresterie, 2000). Cette option, si elle était validée, aurait le mérite de mesurer effectivement l'impact de la séquestration en termes de changement climatique. Toutefois, les opposants de cette option lui reproche une grande incertitude dans l'établissement de l'équivalence et les promoteurs ou investisseurs ont peur de voir s'effondrer la quantité de crédits qui pourraient leur être alloués.
- « *expiring credits* » : des crédits temporaires et remboursables sont attribués à la séquestration. Ils sont ajoutés à l'engagement du pays de l'Annexe B au moment de leur achat, et soustraits à leur date d'expiration. Ainsi, la forêt sert à gagner du temps sur le changement climatique pour l'innovation technologique.

Les conséquences des accords de Bonn

La 6^e CDP réunie une seconde fois à Bonn en juillet 2001 après avoir été suspendue à l'issue de la conférence de la Haye, est parvenue à un accord pour prendre en compte des puits de carbone dans les mécanismes de flexibilité. En ce qui concerne le MDP, seules les actions de **boisement et de reboisement** sont éligibles, basées sur des modifications survenues dans l'utilisation des terres. Les activités de substitution d'énergies fossiles par de la biomasse, activités dont l'éligibilité ne faisait pas problème, concernent également la foresterie. Cette inclusion partielle des puits de carbone est valable pour la première période d'engagement. Les négociations sur la deuxième période d'engagement (2013-2017) statueront sur les activités « LULUCF » éligibles au MDP pour cette deuxième période.

a) Les conséquences possibles de l'adoption d'une comptabilité basée sur les crédits temporaires

Parmi les propositions qui seront examinées par le SBSTA pour la comptabilité de la fixation du carbone dans les végétaux, la proposition colombienne de crédits temporaires semble la mieux placée. Il s'agit de constituer un système de crédits spécifique aux projets forestiers, avec l'attribution d'unités temporaires » avec une **durée de validité** spécifiée. Pour les pays de l'annexe I (et la MOC) les crédits générés par la fixation de carbone se nommeront RMU. Leurs équivalents issus de projets MDP pourraient se nommer T-RMU, mais aucune décision n'a été encore prise à ce sujet. Les T-RMU seraient inscrits dans le registre de l'entité qui les reçoit, pouvant être utilisés pour remplir des engagements, mis en réserve ou vendus. Une fois utilisés pour remplir les engagements, les T-RMU expirent après un temps égal à leur durée de validité, et doivent être remplacés par d'autres unités équivalentes (nouveaux T-RMU, CRE, ERU, RMU).

La durée de validité d'un T-RMU dépend de la durée pendant laquelle le projet garantit le maintien du stock. Le problème principal de cette proposition dépend justement de la responsabilité en cas de réduction ou disparition du stock pendant la période garantie. Pour la cohérence du système, il est vraisemblable que ce soit directement le promoteur du projet qui soit amené à fournir ces garanties.

Ce système est parallèle au système des CRE « permanents ou définitifs » issus des autres projets MDP, mais les deux types de crédits ne sont pas équivalents, car il faudrait une chaîne infinie de T-RMU pour remplacer un CRE. L'utilisation des T-RMU permet de gagner du temps sur l'acquisition

d'unités définitives, elle ne sera intéressante que si l'acquéreur prévoit que leur coût d'acquisition présent ajouté au coût futur d'acquisition d'unités définitives est inférieur au coût présent d'acquisition d'unités définitives (soit, si $C_t \text{ T-RMU} + C_{t+n} \text{ RMU} < C_t \text{ RMU}$, avec C_t = coût d'acquisition présent, C_{t+n} = coût d'acquisition futur). **Les anticipations sur le coût d'acquisition futur des crédits permanents devraient donc jouer un rôle important dans la demande de crédits temporaires.**

C'est le marché qui fixera les prix relatifs des « crédits permanents » et des « crédits temporaires ». Parmi les facteurs qui devraient influencer le prix des différentes catégories de crédit, l'offre de crédits permanents sera certainement décisive. Plus les opportunités de réalisation de réduction d'émissions seront importantes, moins intéressants apparaîtront les crédits temporaires, **surtout si les acteurs anticipent une augmentation future du coût marginal de réduction des émissions.** Le retrait américain et ses effets potentiellement dépréciateurs sur le prix de la tonne de carbone est, à cet égard, très défavorable pour la demande de crédits temporaires ; de plus, la possibilité d'un retour des USA dans le processus Kyoto dans le futur – par exemple pour la deuxième période d'engagement – et l'hypothèse d'objectifs plus contraignants, devrait conduire les acteurs à anticiper une hausse du prix des futurs crédits permanents, et donc les pousser à les acquérir le plus tôt possible sans faire le « détour » par des crédits temporaires, qu'il faudra probablement remplacer par des crédits permanents un jour ou l'autre. **En d'autres termes, compte tenu de la probabilité, à l'heure actuelle, d'un faible prix des crédits permanents et des anticipations (ou des craintes) d'un prix nettement plus élevé dans le futur, la demande de crédits temporaires risque d'être modeste,** et leur valeur insuffisante pour engendrer un « effet de levier » sur le développement de nouvelles activités. Dans ces conditions, le principal risque est que les crédits « dépréciés » liés à la fixation de carbone ne servent que très marginalement à susciter de nouvelles activités de boisement et reboisement dans les pays en développement, mais qu'ils ne constituent qu'une rente complémentaire pour des investisseurs traditionnels (par exemple les fabricants de pâte à papier) qui devront de toutes façons planter des milliers d'hectares dans les prochaines années pour approvisionner des usines surdimensionnées (notamment en Asie, mais aussi en Amérique du Sud) qui subissent un déficit de plus en plus aigu en matière première. Ce scénario conduit directement à s'interroger sur l'évaluation qui sera faite de l'additionnalité des activités entreprises dans le cadre du MDP.

C.3.2.2 « Baseline » et additionnalité

L'additionnalité est un critère indispensable pour éviter que ne se multiplient les réductions d'émission fictives et que ne baissent la valeur unitaire des crédits carbone par un processus inflationniste lié à la croissance de l'offre. La question doit être traitée avec les instruments de l'évaluation économique qui consiste à apprécier la situation la plus probable qui serait advenue à un horizon temporel donné en l'absence du projet avec la situation qu'on attend de la réalisation du projet sur le même pas de temps. D'où l'importance de se préoccuper de la dimension « économique » de l'additionnalité pour apprécier les conditions d'éligibilité des activités proposées. Peut-on toutefois traduire cette exigence par la formule « les projets rentables en eux-mêmes ne peuvent être éligibles au MDP » ? La réponse, on va le voir, ne peut être aussi tranchée.

La construction de scénarios de référence (« *baselines* ») est une étape indispensable dans l'analyse de l'éligibilité. L'additionnalité est analysée en référence au niveau des réductions d'émissions de GES ou, le cas échéant, de la quantité de carbone séquestré par un projet de « gestion des réservoirs », pour reprendre la typologie que nous proposons. La clause « *business as usual* » qui sert de base à la définition du scénario de références est parfois interprétée comme l'absence de tout projet, où la prolongation de la situation existante (et non les tendances). Cette interprétation est bien sûr discutable, dans la mesure où elle rabat le champ temporel de l'évaluation économique et conduit à comparer la situation présente et une situation future, et non deux situations futures distinctes, confusion volontaire ou involontaire bien connue dans le champ de l'évaluation économique de projet.

Dans tous les secteurs économiques la diffusion du progrès technique entraîne des ruptures dans les systèmes de production existants. Le vrai problème est moins d'apprécier la probabilité des changements dans le futur que le rythme de l'adoption des innovations. C'est là qu'interviennent les

aspects des « obstacles initiaux », qui viennent compliquer l'alternative « rentable / non-rentable » qui pourrait être le critère le plus simple (mais difficilement calculable) d'appréciation de l'additionnalité économique. Comme dans d'autres secteurs, de nombreuses activités forestières sont potentiellement rentables mais non entreprises en règle générale, du fait d'un certain nombre de problèmes, d'ailleurs souvent liés entre eux : inertie organisationnelle, goulets d'étranglement (personnel qualifié insuffisant par exemple), manque ou asymétrie d'informations, perception du risque conduisant à des taux d'actualisation privés particulièrement importants... Le retour sur investissement du changement d'attitude (coût de la recherche d'information, coût d'une réforme managériale et organisationnelle...) est souvent perçu comme insuffisant par les opérateurs concernés, là où des simulations effectuées par des analystes externes, sous-estimant fréquemment les coûts de transaction liée au changement des pratiques, concluraient à la rentabilité et à la rationalité économique du changement. Dans de nombreux cas, ces obstacles initiaux sont susceptible d'être résorbés par une **rente additionnelle** constituée par l'utilisation des crédits carbone. Les revenus supplémentaires apportés par les crédits carbone sont susceptibles de surmonter l'obstacle de taux d'actualisation élevés. L'adoption de techniques nouvelles par des opérateurs pionniers résorbe progressivement les déficits d'informations dans le secteur. Le développement de nouvelles activités entraîne la diffusion de techniques et de compétences en dehors des seules entreprises pionnières. Un phénomène de ce type peut s'observer empiriquement en ce qui concerne l'aménagement forestier au Gabon, suite à une conjonction de facteurs et surtout des facilités financières significatives apportées par l'AFD (prêts bonifiés) aux opérateurs s'engageant dans cette voie, facilités qui ont joué un rôle de levier dans cette adoption.

La rentabilité potentielle des projets mérite d'être appréciée dans un contexte où les coûts de transaction sont souvent élevés, ce qui demande de coupler l'analyse de la rentabilité future avec l'évaluation des obstacles initiaux (ou des facteurs de blocage). Malheureusement il y a peu de chances pour que cette évaluation « complète » soit possible dans la plupart des cas.

a) L'asymétrie d'information entre l'évaluateur et l'opérateur

Si l'additionnalité économique doit être prise en compte pour l'éligibilité des projets MDP, la difficulté majeure réside dans l'appréciation de la rentabilité du projet futur et dans la réalité et la pertinence des facteurs de blocage évoqués précédemment. En témoignent les difficultés rencontrées par le FFEM dans l'évaluation du « coût incrémental » pour des projets présentés par des grandes entreprises, capables de mobiliser sur une longue période une pléiade d'ingénieurs pour construire des « *business plans* » sophistiqués. Ces plans présentent souvent des profils avantageux pour les entreprises porteuses de projets « propres » dans la mesure où les coûts incrémentaux nécessitant un financement du FFEM sont élevés.

Dans le secteur forestier tropical, la fréquente opacité des comptes des entreprises de la filière bois (pour des raisons fiscales le plus souvent) et la multiplication des biens produits par les industries de transformation rend improbable la connaissance des coûts et gains marginaux liés à la réalisation d'un projet MDP spécifique. L'évaluation n'est pas impossible, mais elle requiert des durées d'expertise élevées. Le MDP court alors le risque d'être étouffé sous le poids des coûts de transaction. Dès lors, deux solutions se présentent :

- renoncer à appliquer la clause d'additionnalité économique pour ne garder que le critère de la « propreté » du projet, au risque de glisser d'une conception « avec » et « sans » projet à une conception « avant » et « après ». Le risque corollaire est celui d'une inflation des crédits carbone et de la baisse de leur valeur marchande unitaire.
- substituer à une approche au cas par cas, incertaine et coûteuse, une approche fondée sur des analyses sectorielles de référence (forme de « *benchmarking* » où les pratiques des acteurs sont considérées au côté de l'état des techniques), appuyées par des études mises à jour régulièrement pour apprécier l'évolution des pratiques effectives des opérateurs.

La seconde option réduit considérablement les coûts de transaction, mais est d'un usage politique plus délicat que la première. Là où sont face à face l'évaluateur et le promoteur du projet (option 1), ce seront peut-être les gouvernements et les institutions en charge de l'élaboration des références qui le deviendront (option 2).

b) Possibilités d'utilisation d'analyses sectorielles de référence (« benchmarking » élargi) dans le secteur forestier des pays en développement

Les activités forestières sont disparates selon les régions du monde et dépendent également du niveau d'échelle des observations. Alors que les plantations d'essences à croissance rapide pour la production de pâte à papier sont très actives en Asie du Sud-Est et en Amérique Latine, ce type d'activité est l'exception en Afrique (sauf Afrique australe et une société au Congo). Quant aux plantations de bois d'œuvre, elle sont importantes en Amérique du Sud (résineux du Chili et de l'Argentine), moins fréquents en Asie du Sud-Est (à l'exception du Teck) et peu développées en Afrique. Sur le continent africain il faut toutefois distinguer entre l'Afrique centrale (quasiment inexistantes) et les autres sous-régions (teck de Côte d'Ivoire et du Togo). Le reboisement en essences locales est, quant à lui, l'exception dans la plupart des régions de pays en développement et rien n'indique que la situation pourrait s'inverser dans l'avenir. Du point de vue de l'industrie de transformation du bois, l'hétérogénéité est également importante. Si la valorisation des déchets est plus poussée dans les régions où la pénurie de ressources conjuguée à une demande de proximité importante a conduit les industriels à faire des efforts dans ce sens, les industries installées dans les grands bassins de récolte (Amazonie, Bassin du Congo, Asie du Sud-Est) sont nettement plus « gaspilleuses ». Les disparités régionales peuvent être frappantes entre les pays au sein d'une même région (par exemple le Cameroun et la Côte d'Ivoire) et demandent une évaluation à des échelles adaptées. Pourtant la raréfaction du bois de meilleure qualité dans un certain nombre de pays pousse à l'adoption progressive de techniques de mise en valeur des chutes de bois, soit par une valorisation en bois d'œuvre (moules, bois reconstitué...) soit par la valorisation énergétique (carbonisation, cogénération, etc.).

Incontestablement, le « benchmarking » élargi proposé ici ne peut garantir une situation de « zéro réductions fictives », il permet de partir des pratiques effectives des acteurs et de prendre en compte les évolutions déjà perceptibles, en évitant des débats insolubles sur la pertinence du taux d'actualisation privé de tel ou tel opérateur tel qu'il ressort de son « business plan ». Avec cette méthode, qui consiste à définir les activités éligibles dans les différentes régions et sous-régions (voire les différents pays ou régions de pays), on n'évitera pas d'accepter au titre du MDP des projets qui auraient été entrepris même sans l'incitation du mécanisme, mais ces situations ne devraient concerner qu'une minorité d'activités (entreprises « pionnières ») dans chaque cas si les études sectorielles sont bien conduites.

D - Résultats

D.1 Résultats de l'expérimentation dans le cas des secteurs émetteurs nets: le cas du secteur électrique indien

D.1.1 Des résultats doublement significatifs

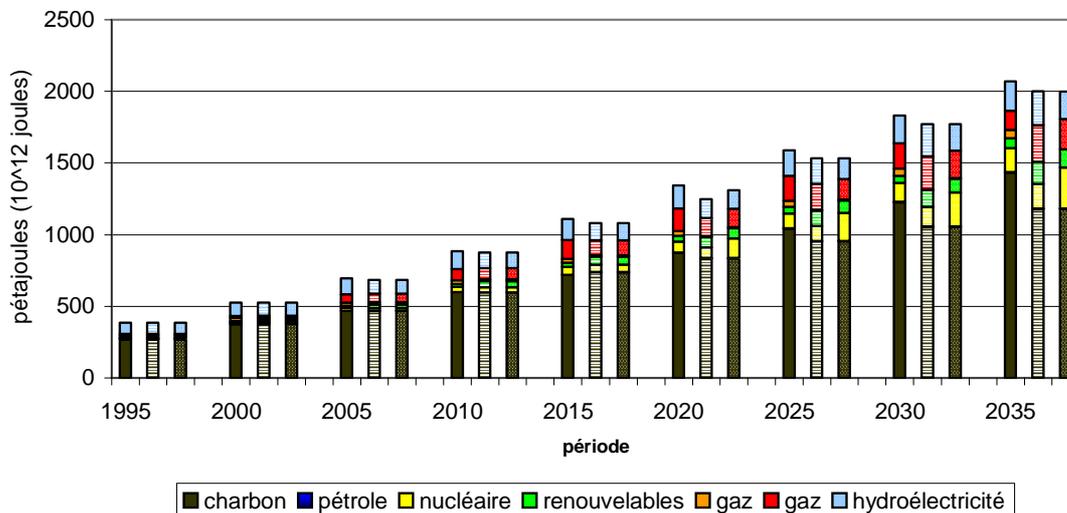
Deux scénarios MDP ont été testés. Le premier noté MDP^{nucléaire} considère l'inclusion du nucléaire dans le MDP et le second, noté MDP^{ENR}, l'exclut. Dans cette partie, nous allons étudier en parallèle les résultats de ces deux scénarios comparés au scénario de référence.

D.1.1.1 Diminution de besoins en puissance installée

L'étude montre tout d'abord dans les deux scénarios testés, une diminution de la puissance installée en production électrique nécessaire pour satisfaire à la demande (graphes 3), ceci étant dû au gain en efficacité énergétique des technologies (moins de pertes, utilisation d'un charbon de meilleure qualité, meilleure gestion des centrales thermiques, cf. Khanna M. et Zilberman D. 1999) ainsi qu'à l'utilisation de technologies plus efficaces (gaz, énergies renouvelables).

Une nouvelle distribution du mixte technologique est mise en place, avec principalement, un moindre recours au charbon qui favorise principalement les énergies renouvelables et le gaz dans le scénario sans nucléaire et le nucléaire dans le scénario avec nucléaire. A l'horizon 2035, leur part dans la totalité de la production électrique passe de 3,2% dans le scénario de référence, à 7,6% avec le MDP sans nucléaire, celle du gaz passe de 9,1% à 12,8%, car son coût d'investissement reste avantageux, tandis que la part du charbon tombe de 69% à 59%.

Dans le scénario MDP^{nucléaire}, la part du nucléaire passe de 8% à 14% et la part des renouvelables n'est que de 6%. Les potentialités réelles de l'hydroélectricité ne sont pas bien reflétées par ces résultats : en effet, sa part reste stable dans le scénario MDP^{nucléaire} et n'augmente que de deux points dans le scénario MDP^{ENR} à l'horizon 2035, alors que le potentiel disponible (20.000 MW) devrait permettre un accroissement.



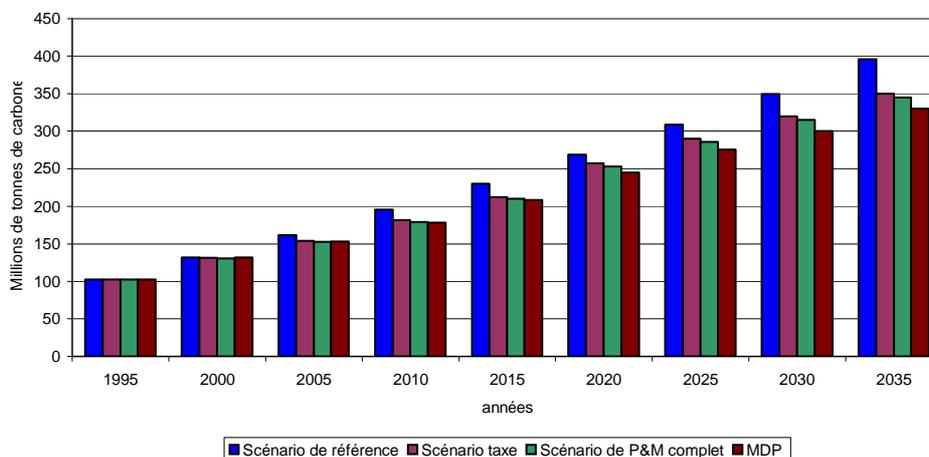
Graph 3 : production d'électricité dans les scénarios de référence et MDP:

Chaque colonne décompose le mixte énergétique en parts de production basées sur le charbon, le pétrole, le gaz, les énergies renouvelables, le nucléaire et l'hydroélectricité. Pour chaque période, la colonne de gauche se réfère au scénario de référence, la colonne du milieu (avec rayures de couleur) au scénario MDP^{ENR} sans nucléaire et la colonne de droite (en pointillés blanc sur fond coloré) au scénario testé du MDP^{nucléaire}.

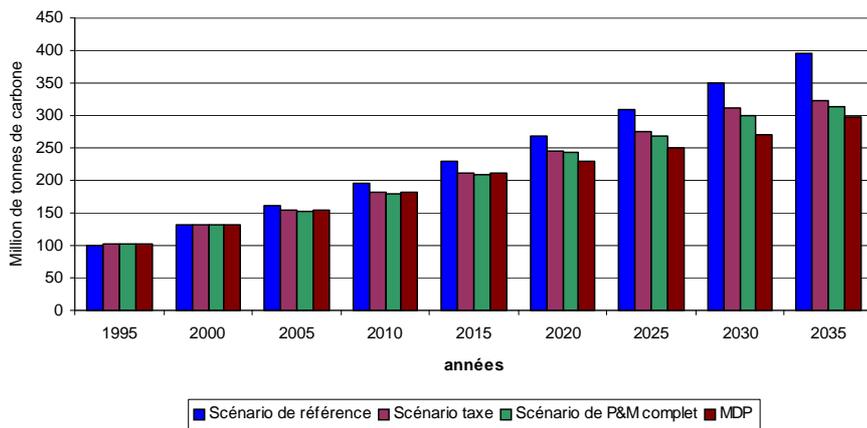
D.1.1.2 Des réductions d'émissions sectorielles significatives

Cette nouvelle distribution technologique entraîne des réductions d'émissions. Au total, substitution technologique et amélioration de l'efficacité conduisent à des réductions d'émissions de CO₂ très significatives puisque, de 3% en 2005, elles passent à 25% dans le cas d'un MDP nucléaire et 16% pour un MDP excluant le nucléaire en 2035 en raison de l'inertie des équipements. Dans les deux cas, elles proviennent environ à 70% des mesures en matière de gain d'efficacité énergétique, grâce à la taxe sur les énergies fossiles imposée aux producteurs, mais aussi de façon significative à la participation des investisseurs du Nord. Ce résultat dépend fortement du taux de taxe utilisé, plus que de la réelle pénétration des énergies renouvelables et des autres transferts technologiques dont l'effet est cependant visible à la marge.

Graphique 4 :Emissions de carbone dans les scénario de référence et MDP^{nucléaire}



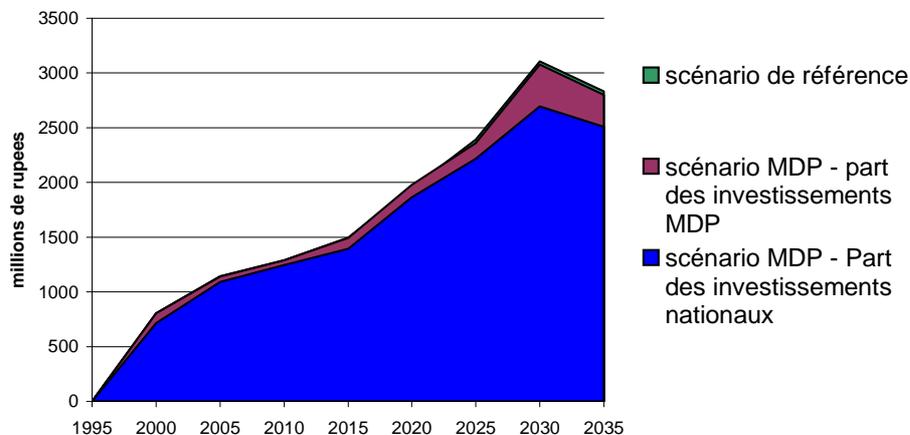
Graphique 5 :Emissions de carbone dans les scénario de référence et MDP^{ENR}



D.1.1.3 Entrée d'investissements du Nord

Un troisième résultat significatif est la participation importante des investisseurs du nord. A niveaux de demande constants entre le scénario de référence et le scénario MDP, on constate une pénétration des investisseurs du nord dont la part passe à 8% de la totalité des investissements du secteur électrique en 2035. Ce résultat est d'autant plus important que le transfert technologique s'opère principalement sur la part de production qui n'est pas liée au charbon soit environ 30% de la production électrique du scénario de référence et 40% du scénario MDP. Cette part vient remplacer des investissements qui, sans MDP auraient été effectués par des agents du pays. Ceux-ci peuvent alors se tourner vers d'autres secteurs d'activité et c'est sur l'impact de cette réallocation que se joue in fine la réalité de l'effet levier.

Graphique 6 : investissements du secteur électrique dans le scénarios de référence et dans le scénario

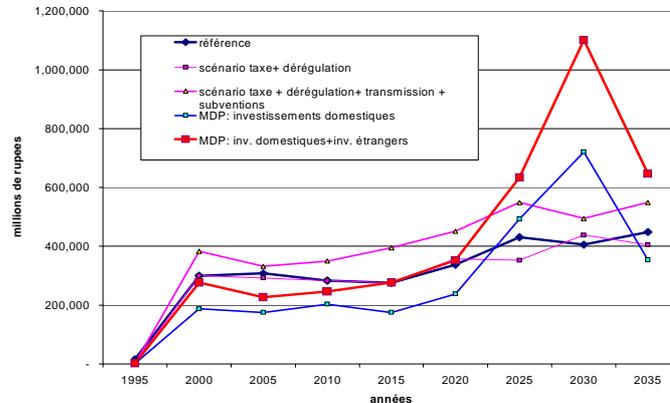


MDP^{nucléaire}. Part des investissements nationaux et du transfert technologique.

D.1.1.4 Pénétration des énergies renouvelables

Le différentiel en ce qui concerne la distribution et l'amplitude des investissements est marqué par un transfert vers les technologies plus performantes et surtout vers les énergies renouvelables qui deviennent plus compétitives. D'autre part, le coût des investissements dans les énergies renouvelables devenant moins élevé pour les investisseurs, la totalité des coûts d'investissements dans ce secteur reste globalement stable jusqu'en 2020 (courbe rouge, graphe 7). Les forts investissements dans ce domaine sont repoussés jusqu'à la fin de l'horizon temporel puisque c'est à ce moment là que les énergies renouvelables deviennent vraiment plus compétitives par rapport aux autres technologies du business-as-usual, mais aussi du fait de l'actualisation. Les deux courbes d'investissements dans le contexte du MDP représentent d'une part (en bleu) la part des investissements domestiques dans les énergies renouvelables et d'autre part les investissements totaux (en rouge). La différence entre les deux courbes correspond aux investissements étrangers. On peut alors quantifier l'impact du MDP sur les investissements domestiques dans ce secteur : on constate que jusqu'en 2020, la courbe bleue

(investissement domestiques avec MDP) est en dessous de la courbe du scénario de référence (jusqu'à 30% en-dessous en 2005), par définition composée à 100% d'investissements domestiques. Ensuite la courbe des investissements domestiques du scénario MDP dépasse celle du scénario de référence au moment d'une plus forte pénétration de ces technologies.



Graphique 7 : investissements dans les énergies renouvelables dans le scénario de référence et le scénario MDP nucléaire

D.1.1.5 Scénarios considérés pour le calcul de l'effet levier

L'évaluation de l'effet levier est bien sûr difficile, sans recourir à un cadre d'analyse macroéconomique. En l'absence d'un modèle d'équilibre général pour l'Inde, on peut cependant essayer de le cerner. Le calcul de l'indicateur Π (équation 23) permet de cerner les revenus additionnels générés à la fois par l'apport des capitaux étrangers et par l'accès à des investissements plus productifs. Le calcul du revenu actualisé sur toutes les périodes Π reste d'échelle modeste ($\Pi = 58\,600$ Millions de rupees = 1,250 Milliard de US\$) si on le compare au PIB indien actuel (377 milliards de US\$). L'effet macro-économique résultant de l'exercice que nous avons simulés est donc limité. Cette modestie n'est pas en soi surprenante, puisque dans le cadre de cet exercice, l'effet s'est focalisé sur une petite fraction du système énergétique susceptible d'être intéressée par le MDP et que les investissements étrangers restent faibles. A fortiori, l'accroissement d'investissements étrangers induits par le MDP reste faible par rapport à la formation brute de capital fixe. Il est plus significatif de calculer l'effet multiplicateur sur le revenu par unité de crédit.

D.1.1.6 Calcul de l'effet de levier

Celui-ci s'écrit (voir équation n°23):

$$l = \frac{R_{MDP} - R_{REF}}{E_c.C.V}$$

soit d'après l'équation n°23:

$$l = \frac{I_{ESud}}{E_c.C.V} \left[\frac{1-\lambda}{\sum_t \left(\frac{1}{1+\rho_{ESud}(T)} \right)^t} - \frac{1}{\sum_t \left(\frac{1}{1+\rho_{0ESud}} \right)^t} + \lambda \left[\frac{1}{\sum_t \left(\frac{1}{\rho_{AS}} \right)^t} + \frac{\sigma}{\sum_t \left(\frac{1}{1+\rho_{ENord}(V)} \right)^t} \right] \right]$$

Deux paramètres sont déterminants :

- ρ_{ESud} qui décrit les rentabilités des firmes électriques indiennes « sales »,
- et ρ_{AS} le taux de rendement interne moyen des reports d'investissements dans d'autres secteurs.

On estimait ρ_{ESud} pour les State Electricity Board (SEB) en Inde à -11.6% en 1997/98 (TEDDY, 1999), ce taux fortement négatif traduisant les faibles productivités des investissements dans ce secteur, mais

également des dysfonctionnements tels qu'un fort taux de factures impayées ou un nombre élevé d'abonnés clandestins au réseau électrique. Ce chiffre montre l'ampleur du potentiel « sans regret » actuel.

A partir de cette situation initiale, deux types de scénario de référence sont envisagés vis à vis de l'évolution de ρ_{ESud} , chacun traduisant l'espace plus ou moins important pour des potentiels « sans regret » dans les décennies à venir :

- Un premier scénario de référence fait l'hypothèse d'une stagnation de la situation des SEB,
- Le second scénario envisage une amélioration optimiste avec des taux de rentabilité augmentant de manière régulière jusqu'en 2035. Dans ce dernier cas, cela signifie que même sans recours au MDP, certaines politiques sans regret sont entreprises, laissant ainsi moins de possibilités à l'effet levier sur les politiques et mesures nationales déclenché par le MDP.

Pour ρ_{AS} , l'évaluation est bien entendu plus difficile, puisque le choix d'un taux d'actualisation de 8% en Inde aujourd'hui peut paraître trop élevé sur le long terme ; mais en même temps il minore les taux de rendement internes du secteur privé. C'est pourquoi, nous avons procédé à des tests de sensibilité allant de 6% à 12%.

D.1.1.7 Synthèse des hypothèses et résultats

La référence prise en compte ici pour le contenu en carbone correspond à la moyenne pondérée de toutes les sources émettrices dans le secteur de la production d'électricité, soit 565 tCO₂/GWh. Comme la plupart des technologies transférées prend la place de technologies au charbon, la référence aurait pu être prise égale à $E_C=960$ tCO₂/GWh, ce qui aurait augmenté le nombre de crédits carbone distribués aux investisseurs. En l'absence de connaissance précise des règles qui prévaudront après l'entrée en vigueur du MDP, la référence utilisée ici pour calculer les réductions d'émissions correspond donc à une hypothèse conservatrice.

Les investissements et revenus sont donnés en millions de Rupees. Le taux de change est fixé à 44.9 Rupees pour 1 US\$.

Tableau 1 : hypothèses

	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
$I_{E\text{Sud}}$		1.028.908	1.264.027	1.435.740	1.670.504	1.969.098	2.357.287	3.038.699
Scénario 1								
$\rho_{E\text{Sud}}(T0)$	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11
$\rho_{E\text{Sud}}(T)$	-0,11	-0,121	-0,131	-0,141	-0,151	-0,161	-0,17	-0,179
R_{REF}		3.527	4.332	4.921	5.726	6.749	8.080	10.415
Scénario 2								
$\rho_{E\text{Sud}}(T0)$	-0,11	-0,09	-0,08	-0,06	-0,04	0,02	0	0,02
$\rho_{E\text{Sud}}(T)$	-0,12	-0,11	-0,113	-0,105	-0,099	-0,092	-0,087	-0,081
R_{REF}		5.779	8.965	15.778	27.352	46.156	76.042	129.879

Tableau 2 : Synthèse pour le scénario MDP^{ENR}

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Pénétration des investisseurs du Nord et revenus associés								
$I(MDP^{ENR})$	0.11	0.05	0.03	0.05	0.03	0.06	0.11	0.11
$I_{E\text{Nord}}(MDP^{ENR})$	530	116554	59107	38765	90365	67695	146978	334257
$R_{\text{Nord}}(MDP^{ENR})$	43	9509	4822	3162	7372	5523	11991	27269
R_{AS}								
6%	36	7,894	3,111	2,645	6,056	5,101	9,564	22,639
9%	47	10,339	4,074	3,465	7,931	6,680	12,526	29,649
12%	58	12,871	5,072	4,313	9,874	8,317	15,595	36,913
Revenus des investissements indiens en fonction du scénario ($\rho_{E\text{Sud}}(T)$)								
Scénario 1								
$R_{MDP}^{E\text{Sud}}(T)$	1	2.348	2.368	2.080	1.769	1.587	1.366	1.307
Scénario 2								
$R_{MDP}^{E\text{Sud}}(T)$	1	3.127	3.823	5.435	7.138	10.181	13.327	18.746

Tableau 3 : Tests de sensibilité de l'effet levier moyenné sur toutes les périodes par rapport aux différents paramètres

ρ_{AS}	6%	9%	12%
(I) Scénario 1	6.01	6.99	8.01
(I) Scénario 2	1.69	2.67	3.69

Tableau 4 : Synthèse pour le scénario MDPNucléaire

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Pénétration des investisseurs du Nord et revenus associés								
$I(MDP^{Nucléaire})$	0.11	0.05	0.03	0.07	0.04	0.07	0.13	0.13
$I_{E\text{ Nord}}(MDP^{Nucléaire})$	530	116554	59107	49888	115423	87386	170551	403687
$R_{Nord}(MDP^{Nucléaire})$	43	9509	4822	4070	9416	7129	13914	32933
ρ_{AS}								
6%	36	7894	4003	3379	7817	5919	11551	27341
9%	47	10339	5243	4425	10238	7751	15128	35808
12%	58	12871	6527	5509	12747	9650	18835	44581
Revenus des investissements indiens en fonction du scénario ($\rho_{E\text{ Sud}}(T)$)								
Scénario 1								
$R_{MDP}^{E\text{ Sud}}(T)$	1	2.348	2.368	2.064	1.741	1.571	1.351	1.273
Scénario 2								
$R_{MDP}^{E\text{ Sud}}(T)$	1	3.127	3.823	5.392	7.025	10.076	13.185	18.265

Tableau 5 : Tests de sensibilité de l'effet levier moyen I sur toutes les périodes par rapport aux différents paramètres

ρ_{AS}	6%	9%	12%
(I) Scénario 1	6.56	7.64	8.75
(I) Scénario 2	2.23	3.30	4.41

Les effets leviers obtenus dans les deux scénarios MDP retenus concernant l'inclusion ou non du nucléaire sont sensiblement les mêmes, supérieurs d'un point dans le cas d'une inclusion du nucléaire. Ces résultats sont cependant largement dépendants des hypothèses retenues concernant les coûts de cette technologie et de leur évolution.

Bien sûr, le revenu additionnel est d'autant plus important par unité de crédit que l'on considère un fort potentiel sans regret pour le MDP et donc un scénario de référence pessimiste concernant les SEB (scénario 1) car il existe alors un fort potentiel sans regret. D'autre part, l'effet levier sera d'autant plus appréciable si le report des investissements nationaux s'effectue dans des secteurs rentables (taux de rendement interne moyen $\rho_{AS\text{ SUD}}$ de 12%).

On notera ici que l'incertitude sur le taux de rendement interne des reports d'investissements est moins importante quantitativement que l'hypothèse faite concernant l'évolution des rentabilités des SEB et sur l'existence d'un potentiel sans regret. Ces évaluations sont bien sûr très fragiles, mais l'ordre de grandeur du multiplicateur de l'effet de levier obtenu (I) paraît suffisamment significatif pour que l'on exclut pas cet effet levier des réflexions concernant le MDP et que l'on dépasse une approche purement sectorielle.

D.2 Résultats de l'expérimentation dans le cas des secteurs absorbeurs nets: Le cas des plantations d'eucalyptus du Congo

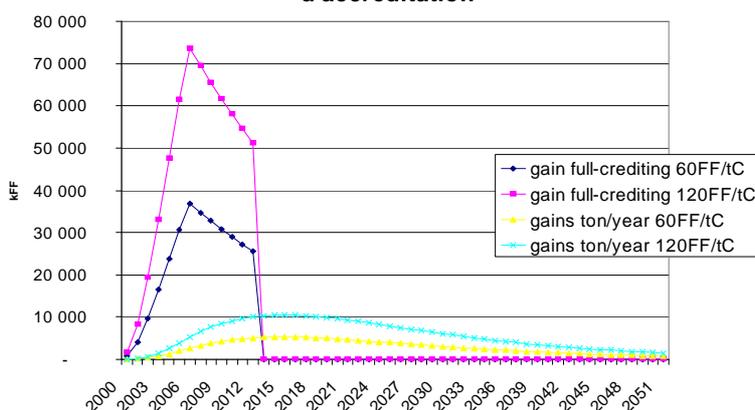
Pour étudier l'impact du choix des conventions de comptabilité sur l'économie d'un projet de séquestration de carbone, nous avons travaillé sur un exemple (fictif) de plantation d'eucalyptus sur 35 000 has de savane, construit à partir de données réelles fournies par les plantations à Pointe Noire au Congo (CIRAD, UR2PI, ECO s.a.). Nous avons représenté l'évolution dans le temps des quantités de crédits obtenus selon les conventions de *full accounting* et de *ton year* en regard de l'évolution du réservoir de carbone (biomasse aérienne et racinaire de la plantation)⁸. Nous avons ensuite attribué des

⁸ Cet exercice s'est déroulé avant que le concept d'*expiring credits* ne soit proposé au niveau international. En outre, les détails de cette proposition ne sont pas encore totalement éclaircis (crédits temporaires de la proposition colombienne ou *renting credits* de la proposition de RFF ?) et les valeurs relatives entre les deux catégories de crédits (« temporaires » et « permanents ») semblent difficilement déterminables ex ante.

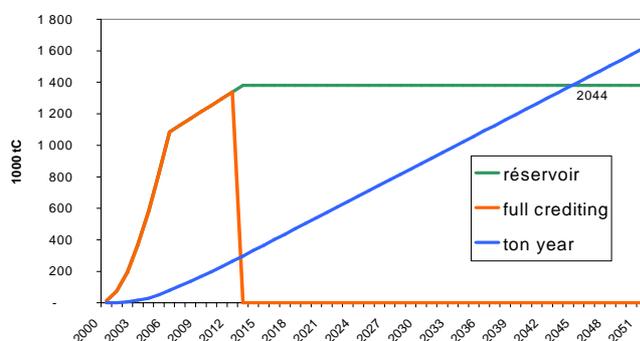
valeurs à ces crédits, de 60 et 120FF (10 et 20\$) par tonne de carbone stockée, et représenté l'évolution de cette valeur dans l'hypothèse où les crédits seraient distribués et vendus au fur et à mesure de l'accroissement de la réserve, leur valeur étant soumise à un taux d'actualisation de 10 % (taux d'actualisation commun dans le contexte de la foresterie tropicale). Nous avons ensuite représenté le cash-flow du projet avec les données financières fournies par ECO s.a. (dépenses annuelles de plantation et d'exploitation, gains liés à la vente de grumes et de bois de feu) et l'impact de la valorisation des crédits sur celui-ci et calculé leur impact sur le taux de retour sur investissement du projet. Nous aboutissons aux conclusions suivantes :

- ☞ En termes de quantités de crédits, l'accréditation *ton year* est nettement défavorable à court terme. A long terme, elle dépasse l'accréditation *full crediting* qui s'arrête dès lors que le stock atteint l'équilibre propre aux massifs artificiels exploités durablement. Tant que le réservoir est en place, le massif peut bénéficier de crédits car la mise en réserve du CO₂ dans le réservoir forestier contribue à l'atténuation des changements climatiques.
- ☞ Dès lors qu'on attribue une valeur aux crédits, valeur à laquelle on applique un taux d'actualisation de 10%, on voit très nettement chuter l'intérêt de l'accréditation *ton year*, dont l'augmentation annuelle ne compense pas les effets de l'actualisation.
- ☞ Si l'on se penche sur la représentation du cash-flow, l'intérêt économique de l'accréditation de type *full crediting* est confirmée. Par ailleurs, celle-ci présente une très forte sensibilité à la valeur du crédit, qui est au contraire mineure pour l'accréditation *ton year*.
- ☞ L'accréditation *full crediting* permet de gagner entre 3 et 6 ans sur la date de passage au point mort financier par rapport au cash-flow sans crédits, alors que l'accréditation *ton year* permet de gagner 1 à 2 ans sur celui-ci.

La valeur de la séquestration selon la convention d'accréditation



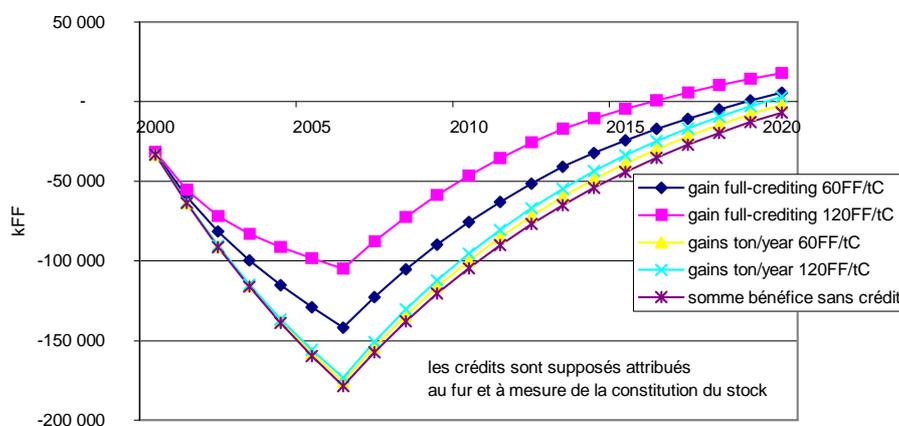
Réservoir de carbone et crédits de réduction d'émissions



Si l'on fixe la fin du projet à 20 ans, on constate les écarts suivants en termes de taux de rentabilité interne :

	Sans crédit	Crédit FA 60FF/tC	Crédit FA 120FF/tC	Crédit TY 60FF/tC	Crédit TY 120FF/tC
TRI/20 ans	2.78	3.20	3.63	3.05	3.32

Cash-flow du projet de plantation d'eucalyptus sur 35000 ha de savane



La valorisation des crédits peut donc apporter jusqu'à 0.9 points de rentabilité supplémentaire dans l'hypothèse maximale, ce qui est nettement significatif du point de vue financier dans un secteur où les taux de retour sur investissement dépassent rarement 7%. Il faut remarquer que les données utilisées proviennent d'une plantation qui fonctionne en deçà des objectifs habituels de TRI (6-7% pour les grandes firmes) : dans ce cas, la valeur apportée par les crédits ne serait pas suffisante pour dépasser le seuil critique de TRI qui détermine la décision d'investissement. Dans un autre contexte cependant, cela pourrait être différent et la perspective de valorisation de la séquestration de carbone pourrait induire des décisions d'investissement dans ce secteur.

E -Conclusion Générale:

Notre programme de recherche visait à établir qu'il est possible d'étudier le MDP non seulement en tant que mécanisme de flexibilité pour les Pays de l'Annexe 1, mais également sous l'angle de développement. On a vu en effet que le MDP peut générer un effet levier sur les ressources mobilisables pour la mise en œuvre des politiques économiques au service des priorités de développement tout en favorisant des choix technologiques moins intensifs en carbone. Le potentiel pour cet effet levier réside dans la co-existence de trois types de bénéfices engendrés par une telle articulation : le revenu des crédits d'émission, le bénéfice commercial normal des projets et la contribution de ces projets aux objectifs des politiques publiques de développement.

Notre travail a consisté dans un premier temps à démontrer dans un cadre axiomatique micro-économique formel l'existence d'un tel effet de levier. Pour ce faire, nous avons construit une représentation micro-économique de l'articulation entre le niveau micro-économique de la décision concernant un investissement industriel unique et l'accroissement du flux global d'investissement et de revenus suscité par l'ensemble des projets MDP au sein d'une économie nationale. Dès lors il est devenu possible de calculer un effet de levier, mesurable de différentes manières: (i) ratio entre la valeur des crédits carbone injectés au travers des projets MDP réalisables (TRI supérieur ou égal au taux d'actualisation des investisseurs) et accroissement de l'investissement direct étranger, et (ii) ratio entre la même rente carbone et l'accroissement des revenus générés par les investissements MDP additionnels.

L'exercice appliqué que nous avons réalisé dans le cas d'un secteur émetteur net, le secteur électrique indien, en collaboration avec l'équipe du professeur Shukla de l'Indian Institute of Management d'Ahmedabad, malgré les limites que nous avons indiquées (le modèle MARKAL utilisé ne permet pas de bouclage macroéconomique, l'exercice ne portait que sur le secteur électrique) montre que cet effet de levier est significatif et que l'intérêt économique du MDP pour le pays hôte va très au-delà d'un partage de la valeur des crédits avec les investisseurs du nord que le MDP permet d'attirer.

Il est ressorti des deux études de cas "secteur émetteur net" (versus secteur Electrique) et "secteur absorbeur net" (versus secteur Forestier)" que dans le domaine de l'énergie comme dans le domaine de la foresterie, le MDP peut donc être un instrument mis au service des politiques nationales de développement, et non pas un simple instrument de flexibilité pour les pays de l'annexe 1. Les déclinaisons des problématiques du MDP dans la foresterie et dans le secteur énergie ont plusieurs points communs, comme celle de l'effet de levier que peut générer le mécanisme en changeant les courbes de rentabilité de projets au contenu environnemental (développement « propre ») différent. La question des coûts de transaction contenu dans les structures institutionnelles (facteurs de blocage initiaux) est un autre point commun. Le MDP peut contribuer à réduire ces coûts de transaction en favorisant l'adoption de politiques et mesures favorables. Un autre facteur de réduction des coûts de transaction est l'adoption de coûts de référence (*benchmarking*) régionalisés qui permettent d'éviter les analyses de projets au cas par cas. Dans le cas de l'énergie comme de la forêt, une négociation entre gouvernements et entreprises autour des priorités nationales constitue une des voies possibles pour la réduction de ces coûts de transaction, même si dans ce cas le contenu environnemental des projets risque parfois de passer au second plan.

La principale différence entre les secteurs énergie et forêt est bien celle de la « réversibilité » potentielle des activités de création de puits. La question de la mesure physique du carbone séquestré se dissocie de la question de la comptabilité des « crédits carbone » dès lors que cette dernière tente de prendre en compte la non permanence potentielle de la séquestration du carbone. Mais si la méthode présentée comme la plus sûre pour traiter cette question de la réversibilité – la méthode tonnes-an – résout de manière élégante la non symétrie entre tonne de carbone émise et tonne de carbone séquestrée, les simulations effectuées dans le cas d'une plantation industrielle montre également la dilution de l'effet de levier résultant de l'adoption de cette méthode de comptabilité, et donc le risque de ne s'adresser qu'à des projets qui auraient été entrepris en l'absence du MDP du fait de leur rentabilité intrinsèque.

E.1 Perspectives de recherche à développer:

Cette première phase de recherche menée dans le cadre de GICC1 a fourni un matériel tant théorique, qu'empirique pour tenter de sortir de l'impasse dans laquelle le MDP semble avoir été engagé au niveau des négociations internationales : l'objectif de contribuer au développement constitue une condition sine qua non pour l'acceptation du MDP par les pays en développement, alors que les pays de l'annexe B sont réticents à aller au delà d'une pure déclaration de principe. Notre objectif était de montrer que dans tous les cas le MDP aura un effet de levier de développement sur l'économie du pays hôte du fait du transfert d'investissement.

Notre argumentation s'est fondée sur la prise en compte de l'ensemble des revenus et bénéfices générés par les projets MDP en sus de la rente carbone qui est souvent la seule considérée : des revenus commerciaux normalement associés aux investissements provenant du MDP, bénéfices sociaux et économiques associés à la création d'utilités par les projets, revenus liés à la diminution d'externalités du fait d'un recours à des technologies moins polluantes (réduction des pollution locales, réduction des dépenses de santé), recettes fiscales additionnelles.

Extension de l'exercice MARKAL de mesure de l'effet de levier du MDP sur l'économie du pays hôte et de l'effet d'incitation à adopter des politiques et mesures nationales - Elargissement à d'autres secteurs et à d'autres pays

Nous avons alors adapté cette formalisation des revenus, en vue d'entamer une évaluation numérique de l'effet levier du MDP sur l'économie du pays hôte du fait du transfert d'investissement. au niveau d'un secteur et d'un pays (i.e. le secteur électrique en Inde). Cet exercice permet également de vérifier l'effet d'amplification de cet effet de levier qui peut résulter de politiques et mesures nationales qui seraient adoptées par les pays en développement.

Pour le moment, cet exercice numérique réalisé à l'aide du modèle d'optimisation sectoriel Markal s'est concentré sur le secteur électrique d'un pays, l'Inde, avec l'appui de l'Indian Institute of Management of Ahmedabad en collaboration avec Pr. Shukla et son équipe.

Parmi les raisons venant expliquer la magnitude de l'effet levier du MDP sur le développement par l'adoption de politiques et mesures nationales sans regret à partir des investissements étrangers qui seraient induits dans le secteur électrique, on note la baisse du risque lié à l'investissement et le transfert de technologies. Bien que Markal ne soit pas un modèle d'équilibre général (il travaille notamment à demande finale future exogène), l'exercice de simulation que nous avons conçu et testé a permis à partir d'un secteur de montrer que l'ordre de grandeur de cet effet levier multiplicateur est suffisant pour être prise en compte et élargi⁹:

- ♦ **Le secteur des transports** est en plein essor en **Inde**. Il est fortement polluant et laisse la place à un développement du secteur informel du fait du manque de politique publique au niveau de la gestion des transports. Les enjeux tant au niveau urbain, qu'au niveau rural sont énormes. Les politiques et mesures nationales sans regret dans ce secteur sont nombreuses et très diversifiées. Nous nous proposons sur la base d'un recensement de ces mesures et de la recherche d'opportunités d'investissements de type MDP de conduire le même exercice que sur le secteur électrique.
- ♦ Afin de continuer également à progresser dans la compréhension de l'incidence sectorielle du MDP, nous proposons notamment de mettre l'accent sur les projets et politiques nationales visant la **maîtrise de la demande électrique** car nous disposons en effet au sein de notre équipe de plusieurs chercheurs ayant développé une expertise particulière dans ce domaine (Anna Engleryd, Franck Nadaud). Le cas du **Brésil**, pays avec lequel nous avons depuis de longues années développé des partenariats scientifiques dans les domaines énergétiques et climatiques (La COPPE), a été choisi. Cette proposition d'extension de l'étude a été présentée avec succès à l'appel d'offre GICC2 et constitue l'un des 3 axes de recherche proposés par le CIRED dans le cadre du projet intitulé: "*Conditions de l'additionnalité développementale du MDP et rôle de l'Aide Publique au Développement*".

Pour le thème de la foresterie dans le MDP

En ce qui concerne les recherches en sciences sociales, les thèmes suivants semblent les plus pertinents :

- ♦ impact des crédits spécifiques envisagés pour la foresterie dans le MDP (crédits temporaires, *renting credits*...) sur le marché du carbone et sur l'économie des projets forestiers proposés au MDP
- ♦ méthodes d'élaboration des scénarii de référence et détermination de l'additionnalité dans le contexte de la foresterie dans les pays en développement (absence d'alternative technologie propre/technologie sale, coûts de transaction importants, barrières sectorielles....)
- ♦ statut du bois-énergie dans le MDP : conséquences de la « neutralité carbone », lien avec les conditions de gestion de la ressource boisée, impact du mode de répartition des crédits carbone entre producteurs de bois et électriciens.

F - Valorisation des résultats de la Recherche: Publications et communications dans des congrès des résultats des travaux dans le cadre de ce projet

Les résultats des travaux de recherche que nous avons mené dans le cadre du projet GICC1 intitulé "Mécanisme de développement propre et politiques et mesures domestiques" (Ref: ECOPOL 99-289/JJ) ont donné lieu à de nombreuses valorisations à destination d'un public varié.

Plusieurs communications orales dans des colloques scientifiques nous ont permis de finaliser deux publications dans des revues scientifiques, l'une anglaise (Climate Policy), l'autre française (Economie du Développement).

A côté de ces valorisations au sein du milieu scientifique, nous avons également présenté les résultats de notre réflexion dans des forums connexes aux négociations internationales sur le changement climatique, à laquelle nous avons eu l'occasion de prendre une part active¹⁰

⁹ La première phase du GICC nous a permis d'acquérir le modèle MARKAL.

¹⁰ * **Sandrine Mathy** a suivi les sessions du 12 et 13 du SBSTA (Bonn, Juin 2000; Lyon, Septembre 2001) et la 6^{ème} Conférence des Parties (COP 6: La Haye, Novembre 2000) au titre du Réseau Action Climat, contribuant activement à la rédaction du Bulletin *Echos* et à la réflexion des ONGs sur les sujets ayant trait au MDP.

Publications scientifiques dans des revues à comité de lecture

- (1) Hourcade, J.Ch. ; de Gouvello, Ch. ; Mathy, S. "Le Mécanisme de Développement Propre: vers une harmonisation entre environnement et développement", in Revue d'Economie du Développement, 24 p., (à paraître en 2002).
- (2) Mathy, S. ; Hourcade, J.Ch. ; de Gouvello, Ch. "Clean Development Mechanism: a leverage for development", in **Climate Policy**, Vol.1, nb n°2, June 2001, pp 251-268.

Communications dans des congrès scientifiques

- (3) MATHY, S.; HOURCADE, J. Ch.; de GOUVELLO, Ch.: "Clean Development Mechanism from a Flexibility Mechanism to a Leverage on Development", **European Association of Environmental and Resource Economists** Tenth Annual Conference University of Crete, Department of Economics, 29/06 - 03/07/00.
- (4) MATHY, S.; de GOUVELLO, Ch.: "Mécanisme de Développement Propre : Flexibilité pour les engagements de réductions des émissions des Pays de l'Annexe1 ou levier pour le développement des Pays en Développement ", **Journées Economie de l'Environnement du PIREE – CNRS** , Strasbourg, December 1999, 29 p..
- (5) HOURCADE, J. Ch.; de GOUVELLO, Ch.; MATHY, S.: "CDM : how a flexibility Mechanism can operate a Leverage effect on Development ? ", 5 p., **Multinational Workshop to address policies for the design and operation of the Clean Development Mechanism**, organized by Resources For the Future and Centre International de Recherche pour l'Environnement et le Développement (CIRED/CNRS), Nogent sur Marne, 24-25 September 1999.
- (6) de GOUVELLO, Ch.; HOURCADE, J. Ch.: "CDM Flexible Mechanism or Leverage effect on Development?", **Conference of the European Association of Environment Natural Resources Economists (EAERE)** – Oslo 25-27 Juin 99.
- (7) BLANCO C. « Carbon offset projects in the forestry sector in Central Africa » Atelier WRI/University of Virginia, « Setting a Climate Change Research Agenda in Central Africa », Washington DC, May 18-19, 2000.
- (8) BLANCO C. « Les projets de plantations et le Mécanisme pour un développement propre - questions méthodologiques et enjeux économiques sur l'exemple du massif d'eucalyptus de Pointe Noire; spéculation complémentaire dans la filière fruitière en république du Congo », Atelier international sur la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques: De la CdP5 à la CdP6 : quel bilan? Quelles perspectives? Du 17 au 21 avril 2000, à Casablanca, organisé par l'IEPF, (Institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie)
- (9) BLAUSTEIN E., BLANCO C., BARRAL J.-P., KARSENTY A., *Projets forestiers et agricoles dans le mécanisme de développement propre : la question épineuse des puits de carbone*, <http://www.envirodev.org/actualites/climat/debats/index.htm#top>
- (10) KARSENTY A. **Baseline issues in CDM forest activities**. Workshop CIFOR-FAO-CIRAD « *Developing a Shared Research Agenda for LUCF and CDM; Research Needs and Opportunities after COP6* », mars 2001, Bogor, Indonésie.

Contributions à des ouvrages et assimilés

- (11) KARSENTY A., BLANCO C., DUFOUR T. Le potentiel des instruments de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique pour le développement durable du secteur forestier en Afrique. Publication par la FAO en mars 2002, en français et en anglais.
- (12) KARSENTY A., BLANCO C. Du bon usage des puits de carbone – MDP, forêts tropicales et développement. Texte à paraître dans un ouvrage collectif en préparation du GIP ECOFOR sur les forêts et le climat (parution prévue fin 2002).

Interventions dans le cadre des Conférences de Négociation Internationales sur le Changement Climatique

- (13) de GOUVELLO, Ch. ; MATHY, S.: "The Clean Development Mechanism : a Leverage for Development", **Side Event at COP 6**, co-organized by Resources for the Future, CIRED and ENDA-Dakar, The Hague, November, 21, 2000.

* **Christophe de Gouvello** a intégré la délégation française officielle en tant qu'expert négociateur, et a participé à ce titre aux sessions 12 et 13 du SBSTA (Bonn, Juin 2000; Lyon, Septembre 2001) et à COP 6 (La Haye, Novembre 2000), COP 6.5 (Bonn, Juillet 2001) et COP 7 (Marrakech, Novembre 2001), d'abord en charge des sujets ayant trait à l'article 4.5 de la Convention Climat (Transfert de Technologies), puis du Mécanisme de Développement Propre (article 12 du Protocole de Kyoto).

Ateliers, colloques

Dans le cadre des activités du volet « MDP et foresterie », il avait été prévu l'organisation d'un atelier sur ce thème en France durant la période du projet. Finalement, on a choisi de co-organiser un atelier international avec le CIFOR (Centre International de Recherche Forestière) à Bogor, en Indonésie, du 6 au 8 mars 2001. L'atelier était organisé conjointement entre le CIFOR, le CIRAD, la FAO et le Ministère indonésien de l'environnement. Le thème était « *Developing a Shared Research Agenda for LUCF and CDM; Research Needs and Opportunities after COP6* ». L'atelier était divisé en deux parties, la première était constitué d'introductions sur les "key issues":

- *Overview + scale issues*
- *Institutional issues*
- *Social costs +benefits*
- *Baselines*
- *Monitoring +Leakage*
- *Permanence*

Alain Karsenty a présenté l'introduction sur les *baselines* (scénario de référence) et a animé l'atelier sur les questions institutionnelles. Les résultats de cet atelier ont été publiés fin 2001.

La FAO a confié à l'équipe de recherche du CIRAD-Forêt (A. Karsenty et C. Blanco) la rédaction d'un document intitulé « **Le potentiel des instruments de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique pour le développement durable du secteur forestier en Afrique** » qui constituera le premier document d'une nouvelle série que lance la FAO sur les forêts et les changements climatiques. La parution est prévue pour le mois de mars 2002.

G - Disponibilité des données:

La phase d'expérimentation avec le modèle MARKAL a requis l'utilisation de la base de données MARKAL développée par notre partenaire indien, The Indian Institute of Management of Ahmedabad.

Les résultats des études de cas sont à la fois numériques et quantitatifs. Les résultats quantitatifs ont été générés sous Excel.

H - Valorisation Internet

Une version plus détaillée du rapport a été produite qui est également disponible.

Une présentation plus digeste sous la forme de deux études de cas séparées – l'une portant sur les secteurs émetteurs nets de GES, l'autre portant sur les secteurs absorbateurs nets de carbone – est envisageable.

Compte tenu de la nature du travail, et de l'effort de valorisation qui a été fait, une mention des résultats sur site pourrait consister à indiquer les références des publications scientifiques qui en ont été tirées.