

Impact potentiel du mécanisme de développement propre dans l'avenir des cultures pérennes : état des négociations internationales et analyse prospective à travers l'exemple de la filière de production du caoutchouc naturel

Oléagineux, Corps Gras, Lipides. Volume 8, Numéro 6, 599-610, Novembre - Décembre 2001, Dossier : L'avenir des cultures pérennes

Auteur(s) : Olivier HAMEL, Jean-Marie ESCHBACH, Cirad forêt, TA 10/C, Campus international de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5, France.

Résumé : A l'époque de la mise en œuvre des grands programmes de développement des cultures pérennes, les situations politiques, économiques et structurelles étaient fondamentalement différentes de celles qui existent aujourd'hui. Ces programmes répondaient principalement à une préoccupation de développement économique des États en privilégiant l'entrée des cultures de rente agro-forestières. Sans être au centre des préoccupations, les populations locales devaient bénéficier, par contrecoup, des retombées de la santé économique des planteurs et des firmes utilisatrices. À cette époque, la forêt était perçue comme un espace infini, un bien inépuisable ; les marchés étaient en pleine expansion et disposaient de mécanismes de régulation ; les capitaux privés bénéficiaient de conditions avantageuses et l'aide publique au développement progressait. Durant les 25 dernières années, et singulièrement dans les 10 dernières, tout a changé : - l'espace est fini et la forêt tropicale est réputée en voie de disparition ; - la libéralisation du commerce et des capitaux ainsi que les politiques de stabilisation macro-économique sont devenues les credo des institutions financières internationales ; - les marchés sont volatiles et dérégulés, les États se sont désengagés ; - l'aide publique au développement s'est effondrée (passant de 32 \$/hab. en 1990 à 19 \$ aujourd'hui) ; - enfin de nouvelles préoccupations environnementales fortes (RIO 1992) encadrées par des engagements conventionnels sont apparues. Dans un tel contexte, les cultures pérennes sont à la croisée des chemins car les nombreuses plantations des années 70-80 doivent être replantées. Ce qui sous-entend des investissements lourds qui, dans la nouvelle approche économique, reposent essentiellement sur les épaules des petits planteurs, sans que la prise de risque soit partagée par l'État. Cette conjoncture défavorable introduit de graves incertitudes sur le renouvellement de ces spéculations, qui pourraient entraîner des désordres écologiques et sociaux importants si des mécanismes de soutien n'étaient pas mis en œuvre. À un moment où la notion de « développement durable et propre » s'impose et où la protection des ressources naturelles (et des fonctions de production de services associés) devient un objectif prioritaire au même titre que la lutte contre la pauvreté, cette situation est paradoxale. L'objet de cette présentation est donc à la fois : - d'alerter les pays du Sud sur une absence de prise en considération des problématiques des cultures pérennes dans le cadre des discussions portant sur les « puits » de carbone et sur la mise en œuvre du mécanisme de développement propre (MDP) ; - d'analyser dans quelle mesure la valorisation du carbone (non émis ou séquestré), induite par le protocole de Kyoto et les mécanismes de flexibilité, est de nature à modifier les logiques économiques et les stratégies de développement des cultures pérennes.

Summary : For several years now, most policies have tended to speak of "clean" and "sustainable" development. Of all the international agreements, only the International Convention on Climate Change, with its Kyoto Protocol, attempts to bring in original financial mechanisms based on market dynamics allowing the additional costs of such an approach to be covered. On the eve of COP 7, this paper

describes the current state of the negotiations relative to procedures for implementing the Clean Development Mechanism (CDM); then, taking an example from tree crops, it goes on to analyse the application of eligibility criteria to natural rubber cultivation, taking into account the carbon balance of the natural rubber commodity chain in relation to synthetic rubber production. The potential impact of utilizing carbon (be it sequestered or not emitted) in the economic strategy of the natural rubber commodity chain is then discussed. Lastly, lessons are also drawn for the other tree crops.

Keywords : carbon, Kyoto, rubber, valorisation, heveaculture.

ARTICLE

Convention cadre sur les changements climatiques, instruments juridiques et mécanisme de développement propre

Repères historiques et bref rappel sur la Convention cadre

La naissance d'une prise de conscience environnementale internationale correspond à la déclaration de Stockholm de 1972, effectuée lors de la première Conférence des Nations unies sur l'environnement. Elle fut suivie de deux conférences mondiales sur le climat en 1979 et 1990 avec, dans l'intervalle, la création en 1988 du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC). La dernière conférence marque le début des négociations en vue d'une Convention cadre sur les changements climatiques.

En 1992, le texte de la Convention cadre est approuvé à New York puis soumis à la signature lors du « Sommet de la Terre » à Rio. Elle est entrée en vigueur en mars 1994, après réception du cinquantième instrument de ratification ; mais, depuis lors, 186 pays ont ratifié cette Convention.

Son objectif ultime est de « stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique ».

Toutes les parties acceptent un certain nombre d'engagements peu (ou non) contraignants, parmi lesquels ils doivent :

- réaliser des inventaires nationaux des émissions de GES par les sources et des absorptions par les « puits » ;
- établir des programmes nationaux de lutte contre le changement climatique.

Les pays figurant à l'Annexe 1 de la Convention (pays industrialisés et pays en transition vers une économie de marché) s'engagent à prendre des mesures visant à ramener leurs émissions de GES au niveau de 1990 d'ici l'an 2000, et les pays figurant à l'Annexe 2 de la Convention (pays riches) s'engagent à fournir aux pays en développement des ressources financières nouvelles et additionnelles et faciliteront les transferts de technologie.

La Convention crée une Conférence des parties (COP) qui est l'organe suprême de la Convention.

Rappel du protocole de Kyoto

Le protocole de Kyoto a été adopté (décembre 1997) lors de la troisième Conférence des parties (COP 3). Il est actuellement signé par 86 pays et ratifié par 40 et devrait entrer en vigueur avant le sommet de « Rio + 10 » qui se tiendra à Johannesburg en septembre 2002. Il faut pour cela qu'il soit ratifié par 55 pays signataires de la Convention cadre, dont des pays de l'Annexe 1 qui doivent représenter 55 % des émissions de CO₂ de l'année 1990.

Ce protocole établit des engagements ayant force d'obligation pour les pays de l'Annexe 1, mais non pour les pays du Sud, afin que les premiers réduisent leurs émissions globales de gaz à effet de serre de 5 % (au moins) sous les niveaux de 1990, durant la première période d'engagement allant de 2008 à 2012.

Afin de faciliter la réalisation de ces engagements par les pays signataires, des mécanismes dits de *flexibilité* ont été prévus, à savoir :

- « Commerce de permis d'émissions et de certificats de réductions d'émissions » : achat de droits d'émission au niveau national entre les pays de l'Annexe 1 (*article 17*), ce qui revient à créer un marché mondial de crédits carbone ;
- « Mise en œuvre conjointe » (MOC) : échange de réductions d'émissions fondées sur des projets exécutés entre pays de l'Annexe 1 (*article 6*) ;
- « Mécanisme de développement propre » (MDP) : financement de réductions d'émissions par les pays de l'Annexe 1 au niveau des pays hors Annexe 1 du protocole (*article 12*).

Pour tous ces mécanismes, les principes, les modalités, les règles et les directives sont progressivement élaborés par les Conférences des parties (COP). Les dernières en date (COP 6 bis et COP 7) ont débouché sur les accords de Bonn puis de Marrakech (novembre 2001), qui ont permis de clarifier les modalités de prise en compte des « puits » de carbone avec le souci du maintien de « l'intégrité environnementale » du protocole. D'une manière générale :

- les émissions de six gaz retenus par le protocole de Kyoto dans les domaines de l'agriculture et des forêts, de même que les réductions d'émissions de GES, grâce à la substitution de combustibles fossiles par de la biomasse, seront comptabilisées comme pour les autres secteurs de l'économie ;
- les séquestrations de gaz carbonique ne seront que partiellement comptabilisées, afin de ne pas trop donner d'importance aux « puits », au détriment des mesures spécifiques de réduction de consommation d'énergie ;
- l'*article 3.3* limite la prise en compte des variations nettes pendant la période d'engagement (2008-2012) aux boisements, déboisements et reboisements effectués depuis 1990. Les accords de Bonn définissent ces termes ;
- l'*article 3.4* traite des variations des émissions par les sources et des variations de l'absorption par les « puits » pour les terres agricoles, le changement d'affectation des terres et la forêt naturelle. Pour la première période d'engagement, les accords de Bonn et de Marrakech plafonnent les crédits d'émission susceptibles d'être attribués à chaque pays de l'Annexe 1 pour la gestion de ses forêts et pour la gestion des forêts dans le cadre du mécanisme de mise en œuvre conjointe (MOC), selon un barème annexé aux accords¹.

Enfin, les accords de Marrakech ont également porté sur un consensus touchant l'épineux problème des « sanctions » applicables aux pays qui ne respecteraient pas leurs engagements. Ces derniers ne pourront avoir accès aux mécanismes de flexibilité et le débit d'émission sera reporté sur la période d'engagement suivante, tout en étant assorti d'une pénalité proportionnelle.

Mécanisme de développement propre (MDP)

Parmi les mécanismes de flexibilité, le mécanisme de développement propre (MDP) est celui qui intéresse directement les pays en développement (PED).

Le MDP s'apparente à la formule de mise en œuvre conjointe (MOC) des objectifs de réduction des gaz à effet de serre dans la mesure où il donne lieu à des transferts de fonds et/ou de technologies entre pays ou entre une firme et un pays. La référence explicite au développement différencie fondamentalement le MDP de la MOC, cette dernière étant, dans le protocole de Kyoto, conçue simplement comme un moyen pour les pays de l'Annexe 1 (ou les firmes) de réaliser à moindre coût leurs engagements de réduction d'émission.

Le MDP permet aux États ou aux entités privées des pays industrialisés d'obtenir des certificats de réduction d'émission (CRE) et de les comptabiliser comme contribution à leurs objectifs de réduction d'émission, en finançant des projets de réduction d'émission dans les PED.

De manière théorique, on peut considérer qu'il existe trois types de projets en concurrence :

- les projets « énergétiques », qui ont principalement pour objet la réduction de la consommation de combustible fossile ou la diminution des émissions de GES par des transferts de technologies ;
- les projets labellisés improprement « puits de carbone », qui couvrent en particulier les projets de boisement et reboisement (cultures pérennes ?) mais qui pourraient, à terme, intégrer des projets de gestion de forêts naturelles, dans le cadre de programmes de restauration ou d'exploitation à faible impact écologique, et des projets de gestion de terres cultivées et de pâturages (agro-foresterie) ;
- les projets de « substitution », qui prolongent les précédents en ayant pour objectifs de produire et/ou d'utiliser des produits de base ou des matériaux, en substitution à d'autres produits industriels, dont le processus production/transformation présente un bilan d'émission de carbone défavorable (latex d'hévéa, matériaux de bois de construction, etc.).

Les premiers sont coûteux par tonne de carbone dont l'émission est évitée dans les pays industrialisés ou dans les PED, mais conduisent à des réductions pérennes car ils induisent des changements irréversibles dans les conditions de production. Ces dernières caractéristiques leur confèrent un statut de projet de référence.

Les deuxièmes sont bien moins coûteux par tonne de carbone stockée tant dans les pays industrialisés que dans les PED, mais n'offrent pas les mêmes garanties de pérennité du fait d'une exploitation programmée qui entre dans les objectifs de l'aménagement, des risques de destruction involontaire (feu) ou de dépérissement naturel, ou encore d'une élimination par substitution en faveur d'un autre type d'occupation des sols.

Les troisièmes sont complexes à analyser parce qu'ils impliquent une comparaison de filières industrielles à matières premières différentes (l'une renouvelable et l'autre fossile), et dont les produits à usages similaires peuvent avoir des cycles de vie variables, et parce que l'on ignore si les

économies d'émissions doivent être portées au crédit des filières productrices ou des pays consommateurs.

Accords de Bonn (COP 6 bis, juillet 2001) et de Marrakech (COP 7, novembre 2001) au titre du mécanisme de développement propre (MDP)

À l'issue des dernières conférences des parties (COP 6 bis et COP 7), les avancées suivantes sur les modalités d'application ont été enregistrées :

- il est admis que c'est le pays d'accueil du Sud qui devra confirmer si une activité de projet exécutée au titre du MDP contribue ou non à l'instauration d'un développement durable ;

- le financement public d'activités de projets exécutés au titre du MDP par les pays du Nord (Annexe 1) ne doit pas conduire à un détournement de l'aide publique au développement ;

- les membres du conseil exécutif du MDP ont été élus au cours de la conférence de Marrakech. Ce conseil exécutif devra définir, pour la COP 8, des modalités et procédures simplifiées pour les activités de petits projets exécutées au titre du MDP :

- . projet visant à mettre en valeur des sources d'énergie renouvelables dont la puissance maximale ne dépasse pas l'équivalent de 15 MW ;

- . projet visant à améliorer l'efficacité énergétique, avec pour effet de réduire la consommation d'énergie dans une proportion équivalant à 15 GW/h/an, au maximum ;

- . projet qui, à la fois, réduise les émissions anthropiques par les sources et émette directement moins de 15 kt d'équivalent CO₂ par an ;

- il est d'ores et déjà acquis que les « boisements et reboisements » seront les seuls projets liés à « l'utilisation des terres, au changement d'affectation des terres et à la foresterie » admis au bénéfice du MDP pour la première période d'engagement. La COP 8 définira les modalités qui concernent le caractère non permanent des absorptions, l'additionalité, les « fuites », les incertitudes, les conséquences socio-économiques et environnementales (y compris les conséquences sur la diversité biologique et les écosystèmes naturels). Cependant, le recours des pays de l'Annexe 1 pour ces activités ne doit pas dépasser 1 % de leurs émissions de l'année de référence (1990) multiplié par cinq² ;

- l'admission des autres activités de projets concernant l'utilisation des terres (gestion des terres cultivées, gestion des pâturages), le changement d'affectation des terres et la foresterie (forêt naturelle), exécutés au titre du MDP pour les périodes d'engagement suivantes, seront arrêtés ultérieurement.

D'une manière générale, il faut souligner ici l'absence de prise en compte des originalités des cultures pérennes dans toutes ces négociations : absence due à la monopolisation du débat par les pays du Nord ou à l'absence de motivation des pays du Sud, alors que ces cultures sont typiquement des spéculations du Sud ; absence due au caractère hybride de ces spéculations qui sont à la fois « agricoles » et « forestières ». En conséquence, on recherche en vain des définitions qui pourraient englober ces cultures et on en est réduit à spéculer sur des interprétations de définitions existantes, susceptibles de permettre une éligibilité de ces plantations au MDP dès la première période d'engagement.

Cependant, les débats continuent au sein de l'IPCC (International Panel on Climate Change). Les définitions adoptées dans le cadre des accords de Bonn peuvent encore être modifiées au cours des prochaines Conférences des parties et le processus de décision à l'échelle internationale est encore ouvert. S'ils visent à la réalisation simultanée d'objectifs environnementaux (séquestration du carbone, réhabilitation de zones dégradées, biodiversité) et de développement durable dans les pays du Sud, la réalisation de « puits de carbone » peut constituer un puissant levier pour orienter un certain nombre d'investissements, publics ou privés, vers des projets agro-forestiers (hévéas, palmiers à huile, cocotiers ; cacaoyers, café sous ombrage d'essences forestières, etc.) ou de gestion intégrée et durable des écosystèmes forestiers. Mais cela nécessite que les pays du Sud signataires du Protocole se mobilisent pour qu'il en soit ainsi.

Problématique d'approche

La problématique générale concerne les incertitudes fortes qui pèsent encore sur la mise en œuvre effective du MDP et qui portent sur :

- la nature et la mise en cohérence des grands types de projet susceptibles d'être éligibles ;
- les clauses d'éligibilité destinées à éviter les utilisations abusives du MDP ;
- les modes et les modalités d'intervention et de coordination ;
- les méthodes de mesure et de contrôle aboutissant à la certification.

La brève présentation des grands types de projets montre que les divergences de cohérence portent sur la durabilité et la notion de risque de réversibilité des projets « puits de carbone », en regard principalement des projets énergétiques réputés irréversibles. Elles portent aussi sur la nature des projets qui, pour certains, sont focalisés sur une *technique*, et pour d'autres, sur des *filières complètes de production* qui, en amont, sont susceptibles de mettre en scène des systèmes cultureux de production modulables, passent par des filières de transformation industrielle (\pm émettrice de CO₂) et se terminent, en aval, par des produits consommables à cycle de vie variable (bois énergie, bois d'œuvre, pâte à papier) dont certains se substituent à des matériaux de synthèse issus de matière première fossile (matériaux de construction, caoutchouc).

Cette « non-équivalence » pose des problèmes *methodologiques* pour la mise en œuvre des projets forestiers et agro-forestiers bénéficiant d'investissements privés et parfois aussi *politiques* en regard des règles de l'OMC, si certaines filières sont éligibles au MDP.

Le protocole de Kyoto et ses modalités de mise en œuvre prévoit un certain nombre de garde-fous pour éviter une utilisation abusive du MDP qui menacerait l'intégrité environnementale du protocole. Les deux principales clauses restrictives sont « l'additionnalité » (*additionality*) et les effets de « pertes associées » (*leakage*).

La *clause d'« additionnalité »* est simple dans son principe mais risque d'être difficile à apprécier concrètement. Les projets ne peuvent prétendre recevoir des fonds dans le cadre du MDP que si leurs promoteurs sont en mesure de chiffrer la proportion additionnelle de gaz à effet de serre stockée ou épargnée par rapport à l'absence de projet. De même, un projet de plantation forestière ou de culture pérenne ne peut être éligible que si sa rentabilité n'est pas assurée sans les aides financières du MDP. L'intention est donc d'éviter de financer des actions qui auraient été entreprises de toutes manières, sans subventions liées au MDP.

La *clause de « déperdition »* vise, quant à elle, à éviter que les projets de séquestration du carbone entraînent un simple déplacement des émissions de gaz à effet de serre dans d'autres lieux géographiques, en compensation.

Ces conditions d'éligibilité impliquent la détermination d'un « scénario de référence », qui correspond au scénario le plus probable en l'absence de projet, ainsi que l'évaluation des risques de réversibilité des projets candidats à l'éligibilité afin de pondérer leur « additionalité ».

* Les systèmes de plantation actuellement en vigueur ne sont probablement pas éligibles, car leur existence même suppose qu'ils n'ont pas besoin de subvention du MDP pour se développer. Cependant, des systèmes de production en déclin pour des raisons économiques pourraient être éligibles si les filières qui en découlent sont plus économes en émission de CO₂ que leur concurrent et préservent mieux l'environnement. Mais d'une manière générale, les scénarios labellissables MDP devront proposer des variétés végétales, des techniques culturales ou des systèmes de production dont le bilan net d'émission de CO₂ est inférieur aux systèmes en vigueur (si ceux-ci sont pris comme scénario de référence) et dont le coût de diffusion n'est pas rentable en regard des systèmes concurrents. Dans tous les cas de figure, les projets éligibles devront induire une meilleure préservation de l'environnement.

* Les étapes pour aboutir à l'attribution des Certificats de réduction d'émission (CRE) passent par la détermination d'un scénario de référence le plus plausible possible dans la cohérence du pays considéré ou, mieux, dans la cohérence d'une sous-région dont les pays se caractériseraient par des conditions écologiques, économiques et sociales équivalentes. Elles passent ensuite par l'évaluation de l'« additionalité » que procure le scénario éligible par rapport au scénario de référence.

. Si les scénarios éligibles ne sont que l'adoption (définitive) de nouvelles techniques dans le cadre d'un système de production déjà établi et qu'ils ne prennent en compte les éventuelles modifications induites ni dans l'écosystème de plantation proprement dit ni dans les produits finaux d'exploitation, le calcul de l'« additionalité » se limitera à l'économie de CO₂ engendrée par la mise en œuvre des nouvelles techniques, sans qu'il soit nécessaire de procéder à une évaluation globale du système de production.

. Si les scénarios éligibles, du fait des nouvelles techniques employées, se proposent, au contraire des précédents, d'enregistrer les modifications significatives induites dans l'écosystème de plantation ou les produits d'exploitation, le calcul de l'« additionalité » passe par les évaluations des bilans de carbone, à la fois dans le scénario de référence et dans les scénarios éligibles dans les limites du système de production, mais à partir du chaînon modifié.

. Si les scénarios dont l'éligibilité est souhaitée proposent en regard du scénario de référence soit des changements d'occupation du sol (donc des spéculations différentes), soit des matières premières renouvelables en substitution des produits de base fossiles ou miniers du scénario de référence, le calcul de l'« additionalité » est plus complexe. Il nécessite une évaluation du bilan de carbone de chaque scénario (de référence et éligible) à travers sa chaîne de production et de transformation, en intégrant sa propre temporalité et son coût énergétique.

* Le stade de la certification implique que l'on soit capable de mesurer et de contrôler les bilans de carbone sur une période donnée à l'échelle d'un peuplement, d'une concession ou d'un massif en associant, selon les scénarios adoptés, les filières de transformation des produits. Cela demande des évaluations toujours complexes, d'une part, sur l'état des écosystèmes initial (au plus loin, celui de

1990) et final ³ et, d'autre part, sur les flux de carbone des processus agronomiques et industriels. Ainsi, dans le cadre d'une plantation, la mise en œuvre des techniques culturales ou sylvicoles, la mobilisation et l'exportation de la ressource puis la transformation des produits entraînent une émission de CO₂ par l'impact au niveau des sols, la consommation d'énergie fossile ou la production de déchets. Tout cela doit être pris en compte dans le bilan net de séquestration de carbone d'une filière, mais les Certificats de réduction d'émission (CRE) se réfèrent à l'« additionalité » du bilan d'un scénario éligible par rapport à celle du scénario de référence.

* Enfin, pour répondre à l'absence de pérennité (et donc à la réversibilité) induite par toute exploitation de fin de cycle d'une plantation, le bilan de séquestration de carbone doit être calculé à l'issue d'une rotation complète allant de la phase de plantation (et donc de transformation de l'écosystème initial) à la phase qui précède une éventuelle replantation et qui correspond à l'exploitation/élimination de la biomasse ligneuse du premier cycle (33 ans pour l'hévéa), en intégrant le bilan des « coûts » en carbone de la transformation et de l'utilisation des produits ligneux. En général, ce bilan global pourra être ramené à une émission/séquestration moyenne par an, de façon à être ajusté à la durée de la période d'engagement pour obtenir des CRE (5 ans). Cela ne couvrira pas tous les risques de réversibilité mais pondérera les accroissements annuels de la biomasse par un escompte des produits d'exploitation de fin de cycle et de ses émissions potentielles de CO₂, tout en permettant des ajustements modérés d'une période d'engagement à l'autre.

Simulation et prospective à travers l'exemple de l'hévéaculture

Pour une production mondiale d'élastomère de 17,6 millions de tonnes en 2000, la production de caoutchouc naturel représente 6,8 millions de tonnes (39 %) et couvre 9 millions d'hectares dont 7 millions de plantations villageoises (80 %). La filière hévéa traverse depuis trois ans une zone de turbulences avec, pour conséquences, une chute des cours et des stocks et la reconversion des vieilles plantations par d'autres spéculations. Du fait du coût relativement faible de la production synthétique industrielle et malgré les qualités spécifiques du caoutchouc naturel, on s'interroge sur la pérennité de la filière dans le cadre d'une concurrence économique classique.

En dehors des cas de figure où les plantations d'hévéa remplacent des forêts naturelles primaires ou secondaires en équilibre, les avantages comparatifs de cette filière sont avérés, tant d'un point de vue environnemental que du point de vue du développement durable villageois. Mais, en l'état actuel des négociations (voir la définition en annexe des boisements et des reboisements), les scénarios qui suivent ne sont pas éligibles dans le cadre de la première période d'engagement 2008-2012. Cependant, pour évaluer l'intérêt d'une mobilisation des pays du Sud en regard de l'impact économique, social et environnemental d'une éligibilité au MDP de scénarios équivalents, il faut commencer par définir, pour la filière du caoutchouc naturel, le(s) scénario(s) de référence et analyser l'« additionalité » technique et économique des scénarios candidats.

Quel scénario de référence, quels scénarios éligibles ?

Le critère d'« additionalité » impose que l'on soit en mesure de chiffrer la proportion additionnelle de GES stockés ou épargnés par rapport à l'absence de projet MDP sachant que les opérations qui, de toutes façons, auraient été entreprises sans subventions du MDP, ne sauraient en bénéficier.

Dans cette approche, le scénario de référence peut donc être le scénario pessimiste de l'évolution de la filière de l'hévéaculture poussée dans sa logique extrême. Cette filière affronte deux courants qui lui sont contraires : l'un, en amont, correspond à la forte concurrence des spéculations agro-industrielles

qui peuvent offrir des rentabilités plus élevées que les plantations d'hévéa ; l'autre, en aval, se rapporte à la concurrence des élastomères synthétiques qui offrent des avantages comparatifs non négligeables tant dans la souplesse des procédés de fabrication de produits finis que dans les coûts et la qualité de ceux-ci.

Ce scénario pessimiste pour l'hévéaculture permet d'imaginer que, en l'absence de subvention liée au MDP, il y aura disparition progressive du caoutchouc naturel au profit des synthétiques, ce qui se traduit à la fois par l'arrêt de nouvelles plantations et le remplacement des plantations d'hévéa existantes par d'autres spéculations (notamment agro-industrielles du type palmier à huile).

Dans la définition des scénarios de référence et des scénarios éligibles au MDP, nous avons donc ici deux niveaux d'appréhension à évaluer : d'une part, celui des changements d'occupation des sols, qui se rapproche des projets « puits de carbone », et, d'autre part, celui des filières de production des élastomères, qui se classe dans les projets de « substitution ».

*** Niveau du changement d'occupation des sols**

Si on se limite à la « dimension » des écosystèmes, le scénario de référence doit donc correspondre soit à l'écosystème préexistant à toute nouvelle plantation d'hévéa, soit à l'écosystème qui est amené à succéder aux actuelles plantations d'hévéa.

Dans le premier cas de figure, si on exclut les forêts primaires et secondaires, l'écosystème de référence pourrait être une forêt fortement dégradée (si cette dégradation est antérieure à 1990) ou une occupation agricole des terres (éventuellement une autre culture pérenne). Dans le second cas de figure, le cas le plus probable est le remplacement de l'hévéa par une autre culture pérenne (le palmier à huile, par exemple) mais cela pourrait être aussi en fonction des localisations des cultures annuelles ou, à l'inverse, un retour à un écosystème forestier.

Ainsi, dans le cas où le scénario éligible au MDP est la plantation d'hévéa, la détermination de l'« additionalité » passe, dans le premier cas, par l'évaluation de la biomasse de carbone de l'écosystème préexistant qui sera rejetée dans l'atmosphère à la plantation des hévéas et par l'évaluation du bilan net du flux de carbone induit dans le système de production entre la plantation proprement dite et l'exploitation de celle-ci. Dans le second cas, cette détermination passe par l'émission de CO₂ qui sera engendrée par l'exploitation finale de la plantation d'hévéa et par l'évaluation du bilan net du flux de carbone de l'écosystème qui succédera à la plantation d'hévéa. Dans tous les cas, l'intégration du carbone séquestré dans le latex exporté périodiquement du massif s'impose. L'opportunité de pousser l'évaluation jusqu'à la production du caoutchouc sec est intéressante car elle nous permet de comparer le bilan net de carbone de la filière des élastomères naturels avec ceux des élastomères synthétiques bruts, mais nous changeons alors de dimension.

*** Niveau filières de production des élastomères**

Si, avec des matières premières différentes, on aboutit à des produits industriels d'utilisation comparable, il est pertinent, dans la logique du protocole de Kyoto, d'attribuer les économies d'émissions de carbone à la filière de production la plus économe.

Ainsi, le scénario éligible au MDP serait, dans notre premier cas de figure, non plus la seule plantation d'hévéa mais la filière de production d'élastomère brut naturel (cis-polyisoprène) et le scénario de référence serait la filière de production de l'un des élastomères synthétiques.

À ce stade, une brève analyse du marché des caoutchoucs s'impose, afin notamment de préciser quel est, parmi les productions d'élastomères synthétiques, le scénario de référence qui doit être choisi pour évaluer l'« additionalité ».

Les débouchés du caoutchouc naturel ont été dans le passé progressivement érodés par la mise sur le marché de molécules d'élastomères synthétiques qui correspondaient mieux aux qualités mécaniques recherchées pour certaines utilisations. Le caoutchouc naturel présente cependant des qualités techniques et mécaniques qui lui permettent de disposer d'un marché à peu près stable, bien que sa transformation industrielle implique des procédés lourds, peu attractifs en regard de la relative souplesse des caoutchoucs synthétiques. Ces créneaux porteurs sont pour l'instant bien établis, mais il est possible que d'autres élastomères synthétiques viennent le concurrencer à terme.

Inversement, les technologues ne semblent guère enclins à penser qu'il sera possible de produire des molécules approchant les élastomères synthétiques à partir du cis-polyisoprène, dans des conditions économiques et à un coût énergétique tels que l'on puisse envisager une concurrence vis-à-vis de certains élastomères. Cependant, chaque élastomère est plus ou moins adapté à une utilisation potentielle donnée, mais dans des marges de qualité parfois étroites ; tout dépend du prix que les utilisateurs sont prêts à mettre pour bénéficier de la marge supplémentaire ou de la hauteur des avantages économiques liés aux procédés industriels de ces filières.

Ainsi, que l'élastomère naturel ne soit plus attractif du fait d'un coût d'opportunité favorable à d'autres spéculations agro-industrielles, et que cela entraîne une récupération des créneaux commerciaux par des synthétiques, ou que le caoutchouc naturel puisse concurrencer certains synthétiques en cas de subvention MDP, dans tous les cas, le scénario de référence est le système de production de l'élastomère synthétique *dont les coûts « carbone » de synthèse seront à mettre au crédit de l'élastomère naturel*. En l'état des molécules synthétiques existantes, il paraît logique de prendre le système de production du « polyisoprène » comme base d'analyse du scénario de référence, car cette molécule est la plus proche de la molécule du caoutchouc naturel (cis-polyisoprène). Cependant, on utilisera aussi le styrène butadiène (SBR) comme référence, car son prix de marché est sensiblement équivalent à celui du caoutchouc naturel.

En tout état de cause, l'impact du MDP en faveur de la filière hévéa dépend de l'importance du déséquilibre du bilan de carbone en faveur de la production de l'élastomère naturel et de la valorisation, induite par le marché des CRE, de la tonne de carbone séquestré ou évité.

Évaluation du bilan de carbone d'une plantation d'hévéa (projet « puits de carbone »)

Dans la perspective d'un projet « puits de carbone », le bilan carbone d'une plantation d'hévéa de productivité moyenne est évalué ci-après, tant au niveau de la biomasse ligneuse que de la production de latex. Cette évaluation est faite sur le cycle complet d'une rotation de 33 ans.

*** Bilan carbone de la biomasse ligneuse d'une plantation d'hévéas dans le cadre d'une rotation de 33 ans**

Pour cette évaluation, nous prendrons le scénario le plus réaliste (scénario moyen) qui reprend des données récentes obtenues au Cambodge (Fauvet, 1996) et en Malaisie (Lofty, 1995). Les ratios permettant d'obtenir les allocations en matière sèche des différents organes de l'arbre sont tirés notamment des études de Polinière et Van Brandt (Viet Nam, 1967). Cela correspond à une productivité ligneuse de 7 m³/ha/an.

Le *tableau 1* présente la répartition de la biomasse en fonction de valorisations potentielles à partir desquelles les quantités de carbone séquestrées, évitées ou émises ont été calculées.

- La ligne I « biomasse globale » évalue le carbone fixé sur pied à 33 ans (avant exploitation). Cela correspond donc aux quantités de carbone qui seraient libérées après exploitation si les produits ligneux étaient abandonnés en totalité sur la plantation⁴.

- Les lignes IV, V, et VI présentent le bilan de carbone des produits ligneux par compartiment, en fonction de leur valorisation potentielle. Ces valorisations intègrent soit la transformation des produits sciabiles⁵ (en charpente légère, ameublement, emballage, parquet, lambris, moulures, ustensiles ménagers, aménagement intérieur, tournerie, décoration, etc.), qui évite la libération de carbone⁶ dans l'atmosphère durant une période qui correspond au cycle de vie de chacun de ses produits, soit la récupération des déchets en scierie⁷ (trituration et utilisation énergétique) ou en plantation pour une valorisation énergétique⁸ en substitution à des produits d'origine fossile.

- La ligne VII présente les émissions de carbone pour les déchets d'exploitation (racines, écorces, etc.) qui sont abandonnés en plantation⁹.

Le *tableau 2* présente de manière synthétique le bilan d'émission ou de séquestration par hectare en fonction de la valorisation de la biomasse.

Ainsi, peut-on retenir en première approximation qu'un hectare de plantation d'hévéa de 33 ans (saignée à partir de cinq ans) n'est susceptible d'avoir un bilan de carbone positif (hors latex) que si la valorisation ligneuse est poussée jusqu'à l'utilisation énergétique des grosses branches (+ 17 t de carbone séquestré = IV + V + VI + VII), soit pour une tonne de matière sèche, 0,12 tonne de carbone stocké/évité.

À ce stade, qui n'intègre pas la production de latex, on peut estimer que ce bilan pourrait être significativement amélioré en sélectionnant des clones susceptibles de produire des longueurs de fût plus importantes. Une exploitation plus tardive serait aussi de nature à améliorer la valorisation de la biomasse.

*** Intégration de la production de caoutchouc sec¹⁰ dans le bilan carbone**

Dans notre simulation, nous avons pris une plantation dont la productivité moyenne de caoutchouc sec est à 1 t/ha, de la cinquième année jusqu'à la trente-troisième année. La production cumulée sur 33 ans est donc de 28 t de caoutchouc sec par hectare, soit 24,6 t de C. À la quantité de carbone fixé dans le caoutchouc sec, il faut retrancher le carbone émis par la consommation énergétique des systèmes de production équivalent aux intrants chimiques divers, à la transformation du latex en caoutchouc sec et au transport du caoutchouc d'Asie en Europe ou aux États-Unis. Cette consommation est estimée à 16 GJ¹¹, soit 0,36 TEP, par tonne de caoutchouc (Rahaman 1994, IRRDB 1999), que l'on peut arrondir à 0,5 TEP pour tenir compte plus complètement des coûts cultureux de production (Irca 1981). Si l'on considère que le caoutchouc renferme autant de carbone que le pétrole, pour produire 1 tonne de caoutchouc sec, on consomme 0,5 tonne équivalent pétrole (TEP)¹², soit 1 tonne de caoutchouc sec pour 0,44 tonne de carbone réellement séquestré.

Ainsi, la production de caoutchouc naturel intégrée dans son système de production présente un bilan de carbone réellement fixé de 12,3 tonnes sur un cycle de 33 ans pour le scénario étudié (sans prendre en compte la durée du cycle de vie des produits manufacturés).

*** Bilan carbone global d'une plantation d'hévéa**

Si l'on intègre la production de biomasse ligneuse et son éventuelle valorisation ainsi que la production de latex et sa transformation en caoutchouc sec, le bilan global de carbone de la plantation d'hévéas s'établit comme indiqué dans le *tableau 3*.

En toute rigueur, les émissions de carbone rejetées dans l'atmosphère à l'occasion de la destruction de l'écosystème préexistant à la plantation d'hévéas devront être prises en compte dans le bilan final.

Bilan carbone au niveau des filières de production des élastomères (projet de « substitution »)

La détermination de ce bilan passe par l'évaluation de l'« additionalité » technique du scénario de la filière de production de l'élastomère naturel (cis-polyisoprène) en regard des filières de production des élastomères synthétiques.

* Si la qualité du caoutchouc naturel permettait de se substituer au caoutchouc synthétique SBR¹³, dont la consommation énergétique de fabrication s'élève à 130 GJ/t, soit 3 TEP (Irca 1981, Rahaman 1994, IRRDB 1999), le caoutchouc naturel entraînerait une économie d'émission de l'ordre de 3 t de carbone¹⁴, soit 1 tonne de caoutchouc naturel pour 3 t d'émission évitée de carbone.

Pour une plantation d'hévéas, dont la production correspond à 1 t/ha/an de caoutchouc sec, l'évitement de carbone serait alors de 84 t de carbone sur une rotation de 33 ans.

* Si le polyisoprène¹⁵, dont la consommation énergétique de synthèse s'élève à l'équivalent de 5 TEP/t, reprenait les créneaux commerciaux abandonnés par le caoutchouc naturel ou si, inversement, ce dernier parvenait à conquérir des parts de marché actuellement prises par le polyisoprène, l'utilisation de l'élastomère naturel entraînerait une économie d'émission de l'ordre de 4,8 t de carbone par tonne, soit 1 t de caoutchouc naturel pour 4,8 t d'émission de carbone évitée.

Pour une plantation d'hévéas, dont la production correspond à 1 t/ha/an de caoutchouc sec, l'évitement de carbone serait alors de 134,4 t de carbone sur une rotation de 33 ans.

Ainsi, pour une filière de production d'élastomère naturel brut sur 33 ans, qui n'intègre ni la transformation de l'écosystème initial avant hévéa, ni la respiration hétérotrophe de la litière et du sol, le *tableau 4* propose une première approche des bilans globaux nets de carbone. Ce tableau reprend comme témoin le bilan de la seule plantation d'hévéas, puis intègre les scénarios de référence correspondant soit à l'élastomère synthétique SBR, soit au polyisoprène.

Ce bilan net de carbone sur 33 ans peut être ramené à la tonne de caoutchouc sec produit. Alors que, au niveau du témoin, le bilan de carbone sur l'ensemble de la plantation ne peut être positif que si les reliquats d'exploitation sont valorisés au maximum, l'introduction des scénarios de référence des élastomères synthétiques rend le bilan constamment positif. L'optimisation du bilan de carbone en fonction de la valorisation de la biomasse ligneuse dépend étroitement du rapport productivité latex/productivité ligneuse, qui caractérise à la fois les potentialités génétiques des clones d'hévéa et l'intensité des saignées.

*** Impact de la valorisation du carbone sur le marché du caoutchouc sec**

Le prix du caoutchouc naturel rendu usines des pays industrialisés semble varier de 3 000 F à 9 000 F la tonne. Le prix actuel tourne autour de 5 000 à 6 000 F la tonne.

La valeur des certificats de réduction d'émission (CRE) n'est pas fixée (d'autant qu'elle suivra probablement la loi du marché), mais il est cependant possible de tester l'impact de la valorisation de la tonne de carbone séquestré (ou non émis) en fonction des valeurs généralement citées. Les prix de la tonne de carbone sont extrêmement variables dans les publications. Les plus pessimistes, en référence aux crédits « carbone » potentiellement cessibles par la Russie (*hot air*)¹⁶, avancent le chiffre de 5 \$ la tonne. Considérant que la Russie n'a pas intérêt à brader ces crédits potentiels à ce prix et que ceux-ci sont de toutes façons non renouvelables, nous prendrons les valeurs détaillées ci-après pour évaluer l'impact de la valorisation du carbone.

- Le Costa Rica, *via* des sociétés « certificateurs » du type SGS forestry et EcoSecurities, a émis sur sa forêt des certificats garantissant, pour un montant minimum de 10 \$, un accroissement d'une tonne de carbone par an sur une aire de forêt donnée en empêchant l'exploitation de celle-ci. Certains pays d'Europe du Nord en ont d'ores et déjà acquis (200 000 pour la Norvège).

- La Banque mondiale tablait, il y a quelque temps, sur une valorisation de 20 \$/t.

- Le gouvernement français avait annoncé, début janvier 2001, l'application d'une écotaxe, à partir de 2001, de 150 F/t de carbone rejeté dans l'atmosphère, écotaxe qui devait passer à 500 F/t au démarrage de la première période des engagements de réduction de Kyoto en 2008 (l'application de cette écotaxe a finalement été reportée à une date ultérieure).

Ainsi, les simulations qui suivent sont-elles faites en adoptant des valeurs de 75 F (10 \$), 150 F (20 \$) et 500 F (75 \$) par tonne de carbone séquestré ou évité.

Une première approche de l'évaluation de l'impact de la valorisation du carbone séquestré à travers la filière de production de caoutchouc naturel peut donc être calculée, à l'aide du *tableau 5*, en fonction du prix de la tonne de caoutchouc naturel, qui a été fixé ici à 5 000 F (voir *tableau 6*).

La valorisation optimale des déchets de plantation est d'autant plus nécessaire, dans le bilan de carbone final, que la productivité ligneuse est élevée. En cas de valorisation maximum de la biomasse ligneuse, les clones à productivité ligneuse élevée renforcent l'impact. Des études de sensibilité plus fines devront pouvoir être réalisées pour mesurer l'influence du rapport des productivités latex sur celles des biomasses ligneuses, mais aussi sur les coûts énergétiques de récupération des déchets d'exploitation en plantation et l'évitement d'émission de CO₂ en fonction du type de valorisation adoptée (bois énergie industrielle, bois énergie domestique, autres, etc.). Enfin, l'impact de la revalorisation du caoutchouc naturel par la valorisation du carbone, séquestré ou non émis, dépend étroitement du prix du marché du caoutchouc naturel (susceptible de varier de 1 à 3). Plus le prix est bas, plus l'impact est proportionnellement fort.

Dans les limites de validation définies plus haut, l'impact de la valorisation du carbone sur la plantation d'hévéas seule est faible. Si cette plantation avait une productivité ligneuse de 20 m³/ha/an avec 1,5 t de caoutchouc sec par an et que la valorisation de la biomasse était optimisée, l'impact par tonne de caoutchouc sec passerait à 127 F (2,5 %), 255 F (5,1 %) et 850 F (17 %) respectivement, en fonction de

la valorisation financière de la tonne de carbone séquestré. Cela marque les limites supérieures des projets « puits de carbone ».

Inversement, le projet de « substitution », avec notamment l'élastomère « polyisoprène » en référence, valorise de manière très significative la production de l'élastomère naturel (et donc la filière de production du caoutchouc naturel), puisque l'impact est multiplié par 5,4 pour une valorisation maximum de la biomasse. Appliqué sur une plantation d'hévéas de 20 m³/ha/an avec 1,5 t de caoutchouc sec/an, ce dernier impact s'accroît de 13 %, avec une valorisation de la tonne de caoutchouc sec de 9,1, 18,3 et 61 % en fonction de la valorisation de la tonne de carbone.

*** Impact financier de la valorisation du carbone rapporté à l'hectare d'hévéa**

Il est intéressant d'analyser l'impact financier par hectare, lorsque le scénario de référence n'est pas validé mais que la valorisation maximum de la biomasse ligneuse est réalisée (projet « puits de carbone ») et lorsque le scénario de référence relatif au polyisoprène est admis en fonction des intensités de valorisation de la biomasse ligneuse. Ces valorisations par hectare représentent le revenu susceptible d'être dégagé par les producteurs de base, revenu qui est indépendant du prix du marché du caoutchouc.

Le *tableau 7* correspond aux cinq scénarios suivants :

1. Bilan de carbone dans la biomasse ligneuse et le caoutchouc naturel sec, lorsque la biomasse ligneuse est valorisée au maximum (c'est le seul scénario qui soit susceptible de présenter un bilan positif, lorsque l'économie d'émission de carbone du caoutchouc naturel en regard du synthétique n'est pas prise en compte).
2. Bilan de carbone en prenant en compte l'apport du caoutchouc naturel en regard du scénario synthétique de référence, lorsqu'il n'y a aucune valorisation de la biomasse ligneuse.
3. Bilan de carbone en prenant en compte l'apport du caoutchouc naturel en regard du scénario synthétique de référence, lorsque la valorisation de la biomasse ligneuse s'arrête au sciage.
4. Bilan de carbone en prenant en compte l'apport du caoutchouc naturel en regard du scénario synthétique de référence, lorsque la valorisation de la biomasse ligneuse prend le sciage et les déchets de scierie en compte.
5. Bilan de carbone à travers une valorisation maximum de la biomasse ligneuse, mais avec prise en compte de l'économie d'émission de carbone du caoutchouc naturel en regard du synthétique (scénario de référence avec substitution au polyisoprène).

Ces avantages financiers sont réels, mais il est difficile de dire ici s'ils seront décisifs et de nature à modifier le comportement des petits planteurs. Il faudrait faire ici une analyse comparative avec d'autres spéculations agro-industrielles, ce qui n'a pas été fait.

Il est apparu intéressant de refaire les mêmes calculs en prenant une plantation d'hévéas qui bénéficierait de productivités supérieures (scénario Top), tant au niveau de la biomasse ligneuse (20 m³/ha/an) que du caoutchouc sec (1,5 t de cs/ha/an à partir de la 5^e année). Le *tableau 8* compare les impacts respectifs selon que les rendements obtenus sont moyens ou élevés.

Il apparaît clairement que plus la biomasse ligneuse est importante plus il y a nécessité de la valoriser au maximum. Si le scénario de référence du polyisoprène est admis, il faut au minimum que les

grumes susceptibles d'être sciées le soient et que les déchets en scierie soient également valorisés pour que la « rente » carbone atteigne le niveau des plantations à rendement moyen. Hors références aux élastomères synthétiques, la « rente » carbone n'existe que si la valorisation est poussée jusqu'à la récupération des petits bois (à des fins énergétiques) après l'exploitation. Dans ce cas, la « rente » potentielle au niveau des plantations à haut rendement devient significative.

*** Impact de la valorisation du carbone sur le taux de rentabilité interne (TIR) d'une exploitation moyenne fictive**

Pour évaluer cet impact nous avons pris en compte une exploitation avec les caractéristiques suivantes :

- rotation 33 ans ;
- saignée à partir de la sixième année et jusqu'à 33 ans avec une productivité moyenne de 1 t/ha/an ;
- productivité ligneuse moyenne de 7 m³/ha/an ;
- prix FOB de la tonne de caoutchouc sec à 5 000 F la tonne ;
- marge dégagée par la vente des produits ligneux à l'issue de la rotation de 33 ans : 5 000 F/ha.

Structuration du prix de revient moyen par hectare

- . Préparation du terrain 1 400 FF
- . Plantation et entretien de l'année 1 2 100 FF
- . Entretien année 2 940 FF
- . Entretien année 3 600 FF
- . Entretien année 4 510 FF
- . Entretien année 5 300 FF
- . Coûts d'exploitation (charges fixes et charges variables) de l'année 6 à l'année 33 3 360 FF
- . Prix de revient moyen de l'usinage pour obtenir une tonne de caoutchouc sec 1 080 FF

Soit un prix de revient moyen hors actualisation de 130 000 FF/ha, ce qui correspond à 286 450 FF pour un taux d'actualisation de 5 % et à 407 500 FF pour un taux de 7 %.

Structuration des recettes

- . Celles-ci commenceront donc dès la sixième année et jusqu'à l'âge de 33 ans à raison de 5 000 FF/t de caoutchouc sec, soit 5 000 FF/ha dans notre exploitation moyenne.
- . L'exploitation de la biomasse ligneuse bord de plantation dégagera une marge que nous avons volontairement limitée à 5 000 FF/ha.
- . Enfin l'impact de la valorisation de carbone sera testé pour 75 FF, 150 FF et 500 FF la tonne de carbone.

Taux interne de rentabilité (TIR) et bénéfices actualisés (BA) par hectare de plantation

. Sans valorisation du carbone, le taux interne de rentabilité (TIR) de notre exploitation moyenne s'élève à 7,14 %. Le bénéfice actualisé serait donc de 2 110 FF pour un taux d'actualisation de 5 % et de 100 FF pour un taux d'actualisation de 7 % (*tableau 9*).

Il apparaît clairement ici que l'impact de la valorisation du carbone est de nature, dans le contexte actuel, à relever de façon très significative la rentabilité de ces exploitations, si les scénarios proposés sont déclarés éligibles au MDP et si le surcoût en carbone de l'élastomère synthétique de référence est mis au crédit de l'élastomère naturel.

Enseignements généraux susceptibles d'intéresser les autres cultures pérennes

Tout en ayant à l'esprit que l'hévéa est probablement l'une des espèces les plus favorables à une application du MDP par la qualité de ses produits (bois et latex), par son potentiel d'amélioration et par l'évolution économique et industrielle de la filière, on peut essayer de tirer des enseignements généraux intéressant globalement les cultures pérennes.

Enseignements liés aux scénarii éligibles

Il y a tout d'abord le préalable que les subventions « labellisées MDP » ne viendront pas appuyer des opérations qui, de toutes façons, auraient été entreprises sans elles. Ce critère est évidemment important puisqu'il ne s'agit pas de reproduire des opérations déjà rentables en leur accordant, de surcroît, des subventions sans qu'il y ait une quelconque « additionalité » en regard des systèmes de production existants.

Cela touche particulièrement les spéculations agro-industrielles comme le cacao ou le café qui n'ont pas de concurrents directs. *A priori*, dans la logique du marché, l'offre est régulée par la demande et on voit mal une surproduction confortée par une subvention, même si cette dernière a une vocation « noble ». Parmi les spéculations dont les produits finaux subissent une concurrence industrielle issue d'une autre matière première, il faut analyser, au cas par cas, afin de déterminer si cette spéculation est mise en danger par les autres produits et si sa valeur ajoutée environnementale est réelle. Ainsi, une filière en tant que telle ne peut pas prétendre émarger au MDP au seul prétexte qu'elle séquestre du carbone ; il est clair que la présence de stocks de carbone n'est pas, à elle seule, « labellisable MDP ».

Cependant, la notion de rentabilité des filières mérite un approfondissement. En effet, si en condition normale une spéculation est rentable, il y a des contextes particuliers liés à la localisation géographique et au transport (problèmes d'accessibilité et donc d'infrastructures, éloignement des marchés, etc.) qui rendent ces opérations non rentables dans le contexte économique actuel. Dans ces cas particuliers, les subventions MDP pourraient permettre de couvrir le handicap naturel, mais le maniement de cet outil est alors très délicat et nécessite la mise en œuvre de modalités spécifiques à un niveau national, régional ou global.

Lorsque des plantations, dans la globalité de leur système de production, sont agréées, la nature de l'écosystème préexistant aux plantations (dont les sols), la valorisation des produits ligneux en fin de rotation et la production de produits potentiellement substituables à des produits manufacturés moins « propres » sont les éléments majeurs qui détermineront le véritable impact de la valorisation du carbone.

D'autres possibilités, de dimension plus modeste, sont possibles. Ainsi, à l'intérieur de chaque système de production, des techniques culturales qui ne seraient pas diffusables dans le système actuel, car non rentables, mais qui amélioreraient le bilan net de carbone (diminution des émissions de CO₂ ou augmentation de la séquestration de carbone), qui auraient un impact positif sur la biodiversité ou encore qui impliqueraient des transferts de technologie Nord/Sud sont susceptibles d'être éligibles à la hauteur des économies engendrées par ces techniques.

Les cultures du cacao et du café sous ombrage « forestier », par exemple, en prenant comme scénario de référence les plantations « intensives » plein soleil, devraient être éligibles. On pourrait également imaginer que les variétés de cocotiers de type « grand » ou de palmiers à huile à grand développement qui sont concurrencées par des variétés à croissance réduite, pour des raisons évidentes, pourraient être éligibles. Sous réserve que la « durabilité sociale » du maintien des grandes variétés soit confirmée et qu'en fin de rotation les produits ligneux puissent être effectivement valorisés si l'on veut optimiser l'« additionalité » (difficile pour les palmiers). Des systèmes de production économes en intrants divers (engrais, pesticides, herbicides), dont la fabrication nécessite une consommation en énergie fossile importante et qui peuvent induire des « pollutions » diverses au niveau des sols et des nappes phréatiques, pourraient être éligibles puisque leur application entraînerait une baisse de production qui, *a priori*, condamne leur mise en œuvre.

Des systèmes de production qui, en limitant les travaux du sol (en particulier au moment de l'installation de la plantation) et en associant des plantes de couverture, permettraient de limiter les émissions et d'accroître le stockage du carbone dans le sol devraient être également éligibles au MDP. Enfin, des programmes d'amélioration de la productivité du matériel végétal ou de création de matériels végétaux améliorés, pour des aspects qui touchent l'accroissement de la séquestration de carbone, pourraient sans doute être éligibles (sous réserve de validation).

Ces innovations qui touchent la mise en œuvre d'une technique insérée dans un système de production devraient être éligibles au MDP mais ne sont pas de nature à bouleverser le bilan économique de ces filières.

Autres difficultés à surmonter

Dans tous les cas de figure, deux difficultés doivent être surmontées. La première est d'ordre institutionnel et structurel et concerne les modalités de mise en œuvre tandis que la seconde est d'ordre scientifique et technique.

*** Modalités de mise en œuvre**

Il y a en théorie deux modes possibles :

- l'un direct, *bilatéral*, entre l'identité privée d'un pays industrialisé ou un pays lui-même et le projet (public ou privé) du pays hôte ;

- l'autre, *multilatéral*, faisant appel à un fonds central d'investissement couplé à un système d'assurance qui prendrait en compte les risques de réversibilité et qui pourrait fonctionner comme un fonds fiduciaire approvisionné financièrement par des groupes industriels ou des États, qui gère un portefeuille de projets (bourse de projets) alimenté par les pays en développement (PED), et qui serait susceptible de délivrer à terme des CRE.

Dans les deux cas, il est très probable ou souhaitable que l'« offre MDP » d'un pays soit coordonnée par les autorités nationales de ce pays, car les implications au niveau de l'aménagement du territoire sont de la compétence du pays et car la « durabilité » des opérations sera garantie par le pays. Par ailleurs, pour que les petits producteurs puissent participer à ce marché « carbone », l'implication et la coordination de l'État semblent obligatoires. Sans mécanismes de coordination et dans la stricte logique du MDP, les investissements rechercheront légitimement une maximisation du stockage de carbone (dividende unique), ce qui se fera au détriment de projets moins efficaces (peut-être) que les précédents sur le seul critère de la réduction des émissions ou de la séquestration du carbone mais plus efficaces sur le créneau d'un développement durable et plus compatibles avec les objectifs de développement du pays.

Cette logique risque donc de déboucher sur des contradictions en regard des objectifs de la convention « biodiversité » et des politiques nationales. Aussi, afin de contrer cette propension naturelle vers le dividende unique carbone, semble-t-il nécessaire de mener une réflexion sur des mécanismes institutionnels et financiers équitables qui optimiseraient les projets à dividendes multiples et qui permettraient que la « rente carbone » puisse effectivement profiter aux producteurs de base.

*** *Évaluation des stocks et des flux en fonction des écosystèmes et des itinéraires techniques***

L'attribution de certificats de réductions d'émission (CER) exige que l'on soit capable de mesurer cette réduction, correspondant à l'« additionalité », durant une période donnée.

Cela nécessite des méthodologies appropriées qui intéressent la séquestration au niveau de la biomasse aérienne et souterraine, le stockage de carbone au niveau du sol, la maîtrise des coûts carbone des techniques culturales employées (dont l'exploitation et le transport) ainsi que les coûts carbone des process industriels de fabrication des produits. Cette séquestration devant être évaluée durant une période de temps déterminée, il s'agit pour l'écosystème de mesurer des flux de CO₂ qui intègrent les échanges gazeux au niveau des végétaux (photosynthèse et respiration), mais aussi des sols (respiration hétérotrophe). Cela suppose ensuite une intégration spatiale de toutes ces données d'un niveau local à l'échelle d'un massif, ce qui pose des problèmes scientifiques complexes. Globalement, ces évaluations sont donc au départ lourdes et demandent, pour passer au stade opérationnel, que la recherche établisse des modèles synthétiques qui permettront le contrôle puis la certification. Ces modèles synthétiques sont établis à partir de modélisations croisées de la croissance (dendrométrie) et du fonctionnement (physiologie) des plantations, en intégrant les composantes « litière et sol », et adoptent une approche dite des « fluctuations turbulentes » (*eddy correlation*) qui permet d'obtenir un signal intégré des échanges gazeux entre l'atmosphère et la canopée des plantations à l'échelle de la parcelle qui prend en compte la variabilité spatiale des échanges. Le Cirad s'est lancé dans ce type de recherche depuis quelques années et dispose de deux stations opérationnelles, l'une sur des plantations d'eucalyptus au Congo et l'autre sur des plantations de cocotiers au Vanuatu en association avec les structures locales de recherche.

Encadré

Définitions visées par le protocole de Kyoto relatives aux activités liées à l'utilisation des terres, au changement d'affectation des terres et à la foresterie

Pour les activités liées à l'utilisation des terres, au changement d'affectation des terres et à la foresterie visées aux paragraphes 3 et 4 de l'article 3¹⁷, les définitions ci-après s'appliquent :

a) on entend par « *forêt* » une terre d'une superficie minimale comprise entre 0,05 et 1,0 hectare, portant des arbres dont le houppier couvre plus de 10 à 30 % de la surface (ou ayant une densité de peuplement équivalente) et qui peuvent atteindre à maturité une hauteur minimale de 2 à 5 mètres. Une forêt peut être constituée soit de formations denses dont les divers étages et le sous-bois couvrent une forte proportion du sol, soit de formations claires. Les jeunes peuplements naturels et toutes les plantations composées d'arbres dont le houppier ne couvre pas encore 10 à 30 % de la superficie ou qui n'atteignent pas encore une hauteur de 2 à 5 mètres sont classés dans la catégorie des forêts, de même que les espaces faisant normalement partie des terres forestières qui sont temporairement déboisés par suite d'une intervention humaine, telle que l'abattage ou de phénomènes naturels, mais qui devraient redevenir des forêts ;

b) on entend par « *boisement* » la conversion anthropique directe en terres forestières de terres qui n'avaient pas porté de forêts pendant au moins 50 ans par plantation, ensemencement et/ou promotion par l'homme d'un ensemencement naturel ;

c) on entend par « *reboisement* » la conversion anthropique directe de terres non forestières en terres forestières par plantation, ensemencement et/ou promotion par l'homme d'un ensemencement naturel sur des terrains qui avaient précédemment porté des forêts mais qui ont été convertis en terres non forestières. Pour la première période d'engagement, les activités de reboisement seront limitées aux seuls reboisements qui ne portaient pas de forêts à la date du 31 décembre 1989 ;

d) on entend par « *déboisement* » la conversion anthropique directe des terres forestières en terres non forestières ;

e) on entend par « *restauration du couvert végétal* » les activités humaines directes visant à accroître les stocks de carbone par la plantation d'une végétation couvrant une superficie minimale de 0,05 hectare et ne répondant pas aux définitions du boisement et du reboisement qui précèdent ;

f) on entend par « *gestion des forêts* » un ensemble d'opérations effectuées pour administrer et exploiter les forêts de manière à ce qu'elles remplissent durablement certaines fonctions écologiques (y compris la préservation de la diversité biologique), économiques et sociales pertinentes ;

g) on entend par « *gestion des terres cultivées* » un ensemble d'opérations effectuées sur des terres où l'on pratique l'agriculture et sur des terres qui font l'objet d'un gel ou ne sont temporairement pas utilisées pour la production de cultures ;

h) on entend par « *gestion des pâturages* » un ensemble d'opérations qui visent à agir sur le volume et les caractéristiques de la production (fourrage et bétail).

Notes :

¹ Pour la France, le plafond est fixé à 880 000 t de carbone par an.

² Pour la France, le recours est, suivant ce principe, limité à 1 500 000 t de carbone par an.

³ Ainsi, toute destruction de forêt n'offre aucune chance de présenter un bilan positif, même si les plantations de substitution sont hautement productives. Cependant, des dégradations ou des destructions de forêt intervenues avant 1990, qui bénéficieraient d'une restauration par une régénération assistée ou par des plantations effectuées après 1990, peuvent présenter un bilan positif, si l'on est capable de fournir une évaluation fiable en carbone de l'état initial. Mais l'éligibilité au MDP n'est pas acquise pour la première période d'engagement.

⁴ 1 m³ de bois permet de stocker 0,3 t de C.

⁵ Les longueurs de fûts des clones étudiés par Polinière et Van Brandt n'étaient que de 4 m ; nous avons considéré ici que l'amélioration génétique avait entraîné un accroissement des fûts allant jusqu'à 6 m.

⁶ Compte tenu des créneaux d'utilisation les plus courants du bois d'hévéa, qui ne couvrent pas le bâtiment, on considérera que 1 m³ de bois transformé stocke 0,27 t de C, sur une durée moyenne de 20 ans.

⁷ La valorisation des déchets de scieries permet d'éviter ou de stocker, en estimation grossière, 0,22 t de C par m³ de sous-produit valorisé.

⁸ L'utilisation supplémentaire de 1 m³ de bois en chaufferie en lieu et place de combustibles d'origine fossile permet d'éviter l'émission de 0,08 t de C (en utilisation villageoise, il faut compter 0,03 t de C).

⁹ 1 m³ de matière ligneuse abandonnée en plantation libère en se décomposant 0,3 t de C.

¹⁰ Latex frais x 0,375 = caoutchouc sec ; caoutchouc sec x 0,88 = carbone ; carbone x 3,70 = CO₂.

¹¹ 3,6 GJ = 0,082 tonne équivalent pétrole (TEP), soit 1 GJ = 0,022777 TEP.

¹² La quantité de carbone présent dans le caoutchouc est sensiblement équivalente à la quantité de carbone présent dans le pétrole 0,88.

¹³ Le styrène butadiène (SBR) est intéressant car le prix du marché est sensiblement équivalent à celui du caoutchouc naturel.

¹⁴ + 3 TEP d'économie pour la substitution au caoutchouc synthétique ; - 0,5 TEP de consommation pour la production du caoutchouc naturel et 1 t de caoutchouc naturel, soit 3 t de carbone non émis.

¹⁵ Caoutchouc synthétique dont la molécule est la plus proche du caoutchouc naturel (cis-polyisoprène).

¹⁶ La référence des émissions est 1990, alors que l'écroulement économique de l'ex-URSS, et donc l'écroulement des émissions industrielles de CO₂, est postérieure à cette période, ce qui permettra à la Russie de mettre sur le marché « carbone » des crédits en quantité très importante.

¹⁷ Dans la présente annexe, le mot « article » désigne un article du protocole de Kyoto, sauf indication contraire.

CONCLUSION

Le mécanisme de développement propre est un mécanisme en construction dont les modalités d'application sont encore ouvertes. Il est susceptible de constituer un levier intéressant pour orienter des investissements publics ou privés vers des projets du type « cultures pérennes » qui prendraient en compte des options environnementales propres tout en satisfaisant au concept de développement durable. Si le développement économique est généralement compatible avec une gestion durable des systèmes et des ressources naturelles, la compétitivité économique et la gestion durable le sont, en revanche, beaucoup moins, car les contraintes d'une gestion durable peuvent diminuer la rentabilité à court terme de l'opérateur. Ainsi, le mécanisme de développement propre est-il d'abord susceptible de couvrir, à partir de la valorisation du carbone, le surcoût du passage d'une durabilité faible à une durabilité forte ; mais il peut aussi, dans certains cas comme celui de la filière de l'hévéaculture, avoir un impact encore plus fort et être de nature à relancer la dynamique économique de la filière du caoutchouc naturel.

Pour qu'il en soit ainsi, encore faut-il que les pays du Sud s'impliquent réellement dans les négociations actuelles et que chaque spéculation puisse faire l'objet d'une étude appropriée pour évaluer les termes de l'éligibilité au MDP dans les contextes nationaux et sous-régionaux afin que les opportunités puissent être dégagées.

REFERENCES

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (1992). *Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (1997). *Le protocole de Kyoto*.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2001). *Les accords de Bonn*.

RIEDACKER A (2000). *La Convention cadre sur le climat et le protocole de Kyoto ; conséquences pour l'agriculture, les forêts et les changements d'utilisation des terres*. Mission interministérielle de l'effet de serre, Paris.

HAMEL O, KARSENTY A (1999). *Cycle de carbone et application du mécanisme de développement propre à la foresterie tropicale, aux plantations et cultures pérennes*. Note FFEM/Cirad ; 10 p.

POLINIÈRE JP, VAN BRANDT H (1967). Production en matière sèche et autres caractères végétatifs de greffes d'hévéa en fonction de leur âge. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, 12 ; 13 p.

Irca (1981). *Économie d'énergie : caoutchouc naturel et synthétique*. Note interne.

FAUVET G, GÉRARD J (1996). *Étude de préféabilité sur la valorisation des bois d'hévéa au Cambodge*. Cirad-forêt ; 7.

WYCHERLEY PR (1976). Tapping and partition. *Journal of Rubber Research Institute of Malaysia*, 24 : Part 4 ; 5 p.

WHITE L (1989). Natural rubber - a green product for the future. *Rubber Developments*, 42 ; 4 p.

RAHAMAN WA (1994). Natural rubber as a green commodity. *Rubber Developments*, 47 ; 4 p.

LOTFY N, RAMLI, RAHAMAN WA (1995). Peninsular Malaysia. *RRIM Planter's Bulletin* ; 12 p.

LALANI Samarappuli (1996). *Environmental Notes*. RRI Sri Lanka ; 6 p.

CHOMITZ KM (1998). *The permanence and duration in carbon offsets based on sequestration*. World Bank Development Research Group.

KELLY C (1999). *Developping the rule for determining baselines and additionality for the clean development mechanism: recommandations to the UNFCCC*. Center for Clean Development Mecanism, Washington.

JONES KP (1999). *Rubber and the environment*. International Rubber Research and Development Board ; 9 p.

PALM CA (TSBF), WOOMER PL (Univ. Nairobi), ALEGRE J (Icraf), CASTILLA C. (Embrapa) *et al.* (1999). *Carbon sequestration and trace gas emissions in slash-and-burn and alternative land-uses in the humid tropics*. ASB Climate Change Working Group, Final report, October 1999 ; 5 p.

SIVAKUMARAN S, KHEONG YF, HASSAN J, RAHMAN WA (Malaysian Rubber Board) (2000). *Carbon sequestration in rubber: implications and economic models to fund continued cultivation*. Indonesian Rubber Conference and International Rubber Research Development Board Symposium, Bogor, septembre 2000 ; 27 p.

Illustrations



■ Photo. *Élaiculteur* (crédit photo : Jérôme Sainte Beuve).



Photo. *Plantation d'hévéas et hévéaculteurs (crédit photo : Jérôme Sainte-Beuve).*



Photo. *Évaluation des échanges énergétiques et gazeux (CO_2 , H_2O) entre l'atmosphère et la canopée d'une plantation de cocotiers au Vanuatu, par la méthode dite des « fluctuations turbulentes ».*

Tableau 1. Répartition de la biomasse dans l'arbre et séquestration du carbone en fonction de la valorisation.

Plantation âgée de 33 ans et saignée à 5 ans Productivité : 7 m ³ /ha/an	Volume (m ³ /ha)	Poids matière sèche (t/ha)	Carbone (t/ha)
I. Biomasse globale	228	148	68 ^A
II. Biomasse tronc + branches (hors écorce) (II = 80% de I)	183	120	55
III. Grumes sciabiles ⁵ L = 6 m ; Ø = 0,30 m	103	67	
IV. Sciages (IV = 32 % de III)	33	21,5	8,9 ^B
V. Déchets de scierie valorisés (V = 68 % de III)	70	45,5	15,1 ^C
VI. Déchets plantation valorisés bois énergie (VI = II-III)	80	52	6,4 ^B
VII. Déchets non valorisables (VII = 20 % de I = I-II)	45	29	13,5 ^D

Tableau 2. Émission ou séquestration de carbone par hectare en fonction de l'intensité de la valorisation de la biomasse ligneuse.

Pour 1 ha de 33 ans 7 m ³ /ha/an 4,5 t/ha/an	Aucune valorisation de biomasse	Valorisation sciage uniquement	Sciage + valorisation déchets scierie	Sciage + valorisation déchets scierie et plantation
Emission (-) ou stockage de C (+)	- 68 t	- 49 t	- 13 t	+ 17 t

Tableau 3. Bilan de C par hectare au niveau de la seule plantation d'hévéas et de ses produits puis bilan de C rapporté à la tonne de caoutchouc sec produite.

Pour 1 ha de 33 ans 1 tcs/ha/an 4,5 t ms/ha/an	Aucune valorisation de biomasse	Valorisation sciage uniquement	Valorisation sciage + déchets scierie	Sciage + valorisation déchets scierie + déchets plantation
Bilan net simple de C par hectare	-55,7 t	- 36,7 t	- 0,7 t	+ 29,3 t
Bilan C/tonne de caoutchouc sec	- 2 t	- 1,3 t	0	+ 1 t

cs = caoutchouc sec ; ms = matière sèche.

Tableau 4. Bilan global de carbone pour une filière de production de caoutchouc naturel intégrant la production ligneuse et le latex par hectare de plantation d'hévéas sur 33 ans.

Pour 1 ha caractérisé par 1 tcs/ha/an 4,5 t ms/ha/an	Aucune valorisation de biomasse	Valorisation sciage uniquement	Sciage + valorisation déchets scierie	Sciage + valorisation déchets scierie + déchets plantation
Témoin : bilan net simple	- 55,7 t	- 36,7 t	- 0,7 t	+ 29,3 t
Substitution théorique au SBR	+ 16 t	+ 35 t	+ 71 t	+ 101 t
Substitution au polyisoprène	+ 66,4 t	+ 85,4 t	+ 121,4 t	+ 151,4 t

cs = caoutchouc sec ; ms = matière sèche.

Tableau 5. Bilan moyen global de carbone rapporté à la tonne de caoutchouc sec produite.

Par tonne de cs 1 t cs/ha/an 4,5 t ms/ha/an	Aucune valorisation de biomasse	Valorisation sciage uniquement	Sciage + valorisation déchets scierie	Sciage + valorisation déchets scierie et plantation
Témoin simple hévéa	- 2 t	- 1,3 t	0	+ 1 t
Substitution théorique au SBR	+ 0,6 t	+ 1,2 t	+ 2,5 t	+ 3,6 t
Substitution au polyisoprène	+ 2,4 t	+ 3 t	+ 4,3 t	+ 5,4 t

cs = caoutchouc sec ; ms = matière sèche.

Tableau 6. Révalorisation de la tonne de caoutchouc sec en fonction de l'utilisation de la biomasse brute, de la valorisation du carbone séquestré ou épargné et de l'éventuelle concurrence avec des élastomères synthétiques.

Intensité de la valorisation de la biomasse	Aucune valorisation de biomasse			Valorisation sciage uniquement			Sciage + valorisation déchets scierie			Sciage + valorisation déchets scierie + déchets plantation		
	75 F/t de C	150 F/t de C	500 F/t de C	75 F/t de C	150 F/t de C	500 F/t de C	75 F/t de C	150 F/t de C	500 F/t de C	75 F/t de C	150 F/t de C	500 F/t de C
Valorisation de la tonne de C												
Valorisation de la tonne cs Témoin hévéas										75 F 1,5 %	150 F 3 %	500 F 10 %
Substitution théorique au SBR Valorisation tonne cs	45 F 0,9 %	90 F 1,8 %	300 F 6 %	94 F 1,9 %	187 F 3,7 %	625 F 12,5 %	187 F 3,7 %	375 F 7,5 %	1 250 F 25 %	270 F 5,4 %	540 F 10,8 %	1 800 F 36 %
Substitution au polyisoprène Valorisation tonne cs	180 F 3,6 %	360 F 7,2 %	1 200 F 24 %	229 F 4,6 %	457 F 9,1 %	1 525 F 30,5 %	322 F 6,4 %	645 F 12,9 %	2 150 F 13 %	405 F 8,1 %	810 F 16,2 %	2 700 F 54 %

cs = caoutchouc sec.

Tableau 7. Impact financier de la valorisation du carbone « séquestré » par ha d'hévéas en fonction de la valorisation de la biomasse ligneuse et de la référence au polyisoprène.

Plantation : 7 m ² /ha/an et 1 t/ha/an de caoutchouc sec		1 Puits de C	2 Substitution	3 Substitution	4 Substitution	5 Substitution
Bilan net C/ha		17 + 12,3 = 29,3 t	- 68 + 134 = + 66 t	- 49 + 134 = + 85 t	- 13 + 134 = + 121 t	17 + 134,4 = + 151,4 t
Valorisation à 75 F/t	sur 33 ans par an	2 200 F 65 F	4 980 F 150 F	6 400 F 195 F	9 105 F 275 F	11 355 F 345 F
Valorisation à 150 F/t	sur 33 ans par an	4 395 F 130 F	9 960 F 300 F	12 810 F 390 F	18 210 F 550 F	22 710 F 690 F
Valorisation à 500 F/t	sur 33 ans par an	14 650 F 445 F	33 200 F 1 005 F	42 700 F 1 295 F	60 700 F 1 840 F	75 700 F 2 295 F

Note : Les chiffres 1 à 5 renvoient aux scénarios décrits dans le texte.

Tableau 8. Comparaison de l'impact financier par hectare selon la qualité des plantations d'hévéas, en fonction de la valorisation de la biomasse ligneuse et la référence au polyisoprène.

Types de plantation Top = 20 m ² /ha/an & 1,5 t cs/an Moy. = 7 m ² /ha/an & 1 t cs/an		1		2		3		4		5	
		Puits de C		Substitution		Substitution		Substitution		Substitution	
		Top	Moy.	Top	Moy.	Top	Moy.	Top	Moy.	Top	Moy.
Bilan net C/ha/33 ans		71,5 t	29,3 t	- 3 t	+ 66 t	+ 74 t	+ 85 t	+ 165 t	+ 121 t	+ 255 t	+ 151,4 t
Valo. 75 F/t de C	par an	160 F	65 F		150 F	170 F	195 F	375 F	275 F	580 F	345 F
Valo. 150 F/t de C	par an	325 F	130 F		300 F	335 F	390 F	750 F	550 F	690 F	690 F
Valo. 500 F/t de C	par an	1 085 F	445 F		1 005 F	1 120 F	1 295 F	2 500 F	1 840 F	3 865 F	2 295 F

cs = caoutchouc sec ; Top = scénario Top ; Moy. = moyenne ; Valo. = valorisation.

Note : Les chiffres 1 à 5 renvoient aux scénarios décrits dans le texte.

Tableau 9. Évolution du TIR en fonction de la valorisation de la tonne de carbone séquestrée dans le cadre des différents scénarios envisagés.

Scénarios sur plantation de 7 m ² /ha/an de biomasse et de 1t/ha/an de caoutchouc sec	75 F/t de C		150 F/t de C		500 F/t de C	
	TIR	BA 7 %	TIR	BA 7 %	TIR	BA 7 %
Scénario 1	7,87 % 2 890 F	686 F	8,55 % 3 660 F	1 250 F	11,47 % 7 290 F	3 940 F
Scénario 2	8,74 % 3 870 F	1 412 F	10,20 % 5 630 F	2 710 F	15,78 % 13 850 F	8 810 F
Scénario 3	9,17 % 4 370 F	1 780 F	10,98 % 6 640 F	3 460 F	17,65 % 17 210 F	11 300 F
Scénario 4	9,96 % 5 330 F	2 490 F	12,38 % 8 550 F	4 880 F	20,77 % 23 570 F	16 020 F
Scénario 5	10,59 % 6 126 F	3 080 F	13,47 % 10 140 F	6 050 F	24,03 % 48 080 F	31 930 F

TIR = taux interne de rentabilité ; BA = bénéfice net actualisé.