



Chapitre 7

Durabilité du bioéthanol de canne à sucre : l'expérience brésilienne

Dans le contexte actuel, il est de plus en plus impératif que les systèmes énergétiques soient non seulement renouvelables au niveau conceptuel, mais également durables. Ainsi, comme l'a défini la Commission Brundtland dans les années 1980, les systèmes énergétiques doivent être capables de « répondre aux nécessités des générations actuelles sans mettre en jeu celles de l'avenir, tout en observant l'équilibre social et écologique, ainsi que les nécessités des plus pauvres » [United Nations (1987)]. Cependant, déterminer la durabilité d'un système énergétique n'est pas une tâche simple car il dépend non seulement de son vecteur énergétique, mais, fondamentalement, du contexte de sa production et de son utilisation. En général, il est plus simple de démontrer la non-durabilité d'un système énergétique (non-renouvelable, polluant etc.) que de garantir la durabilité de systèmes basés sur des énergies renouvelables, principalement dans le cas des bioénergies.

Bien que le débat sur la durabilité des bioénergies soit en cours et qu'il se polarise fréquemment entre des visions utilitaires et préservationnistes, la mise à profit par les sociétés humaines des flux énergétiques associés à la production végétale est pratiquée depuis des millénaires au moyen de l'agriculture dans les écosystèmes les plus divers. Cette production doit être considérée effectivement comme une alternative énergétique, qui devrait être mieux connue et promue dans les contextes où elle se révèle adéquate. C'est l'objet de ce chapitre qui présente la production de bioéthanol de canne à sucre sous le prisme de la durabilité, définie comme la possibilité pour les systèmes bioénergétiques de maintenir leur production à long terme, sans diminution sensible des ressources qui sont à son origine, comme la biodiversité, la fertilité du sol et les ressources hydriques. Ce thème se base sur une

des définitions classiques de la durabilité : « condition dans laquelle la production peut être maintenue indéfiniment sans dégrader les stocks de capital, y compris les stocks de capital naturel » [Goodland (1992)].

Après la Conférence des Nations Unies pour l'Environnement et le Développement, le Sommet de la Terre, tenu à Rio de Janeiro en 1992, la durabilité commença à être considérée sur ses trois piliers – environnemental, social et économique –, pour devenir un concept d'ample utilisation et de présence permanente dans les débats sur les perspectives de croissance des pays. Dans cette logique, le présent chapitre aborde la durabilité depuis sa perspective environnementale globale, et analyse les aspects relatifs à la viabilité économique et sociale de ce biocarburant, en se reportant toujours au cas brésilien, modèle qui, en principe, peut être reproduit dans d'autres pays disposant de terres cultivables en suffisance et de conditions édaphoclimatiques similaires. Comme thèmes appartenant à la problématique de la durabilité, on discutera aussi de l'utilisation du sol et du zonage agro-écologique pour la culture de la canne à sucre au Brésil, ainsi que les progrès et les perspectives en rapport avec la certification des biocarburants.

7.1 L'environnement et l'énergie de la canne à sucre

Comme premier point à mentionner concernant les implications environnementales de la production de bioéthanol, il est fondamental de prévoir l'existence d'une législation qui oriente les producteurs vers les meilleures pratiques et qui réprime les actions qui dégradent l'environnement. Dans ce but, il est nécessaire, pour l'implantation et l'opération d'usines de sucre et de bioéthanol au Brésil selon les termes de la Résolution Conama 237/1997, que soient accomplies correctement les trois phases des formalités d'obtention de licence environnementale, caractérisées par l'obtention des autorisations suivantes :

- a. Licence Préalable (LP) – approuve la localisation et la conception et établit les exigences de base et les conditions à observer pour les phases suivantes.
- b. Licence d'Installation (LI) – autorise l'installation et inclue les mesures de contrôle environnemental.
- c. Licence d'Opération (LO) – autorise l'opération après l'accomplissement des exigences fixées par les licences antérieures, et doit être renouvelée périodiquement.

Les documents de base pour ce processus d'obtention de licence sont l'Étude d'Impact Environnemental et le Rapport respectif d'Impact sur l'Environnement (EIA/Rima). Il est obligatoire de réaliser une audience publique pour leur présentation et la définition d'une compensation environnementale, comme par exemple la plantation d'espèces natives ou la formation d'une réserve naturelle permanente. Les exigences présentées pour l'instruction de ces études et les exigences à observer sont établies par la législation de manière progressive, en fonction de la capacité de traitement des unités agro-industrielles. Dans le cas de projets de moindre capacité (ou d'altération du processus) qui ne constituent pas une cause potentielle d'impacts environnementaux comme l'augmentation de systèmes cogénération, un Rapport Environnemental Préliminaire peut être exigé (RAP), suivant une procédure simplifiée.

On trouvera ci-après des commentaires sur les thèmes les plus importants associés aux impacts environnementaux de la canne et du bioéthanol, comme les émissions à effet global (gaz à effet de serre) et local (associées spécialement au brûlage pré-récolte de la canne), l'utilisation de l'eau et la disposition des effluents (y compris la vinasse), l'utilisation de produits phytosanitaires et de fertilisants, l'érosion et la protection de la fertilité du sol et de la biodiversité, gardant toujours en vue la réalité de l'agro-industrie brésilienne de la canne.

Emissions de gaz à impact global

En raison du rendement photosynthétique observé dans la production de la canne à sucre et du processus efficace pour sa conversion en biocarburant, l'utilisation de bioéthanol obtenu à partir de cette matière première permet de réduire dans une mesure importante, les émissions de gaz à effet de serre, en comparaison avec l'utilisation du combustible fossile (essence), pour un même effet utile final dans les véhicules.

Cette contribution à la réduction du changement climatique est probablement un des aspects les plus importants associés au bioéthanol de canne à sucre. Ce thème a été présenté en détail au paragraphe 3.5 (Productivité, émissions et bilans énergétiques), dans lequel non seulement on expose l'impact positif évident apporté par l'éthanol de canne à sucre, mais où on observe également comment les autres matières premières sont peu efficaces dans ce sens, avec les technologies employées actuellement.

Le Tableau 28 présente une synthèse du bilan de carbone, avec les émissions de gaz carbonique dans la production et l'utilisation du bioéthanol, pour les conditions typiques de cette agro-industrie, sans prendre en considération les autres gaz ni les effets de second ordre, en tenant compte de toutes les opérations de production et d'utilisation sous les conditions observées dans la région du Centre-Sud brésilien. Les valeurs présentées dans ce tableau ont été calculées en tenant compte de la composition des divers produits de la canne et des bilans de masse observés actuellement dans l'agro-industrie. Ces montants tiennent compte aussi du fait que l'on doit traiter 12,5 tonnes de canne pour obtenir mille litres de bioéthanol. Grâce aux progrès prévus, ces résultats devront encore s'améliorer.

Tableau 28 – Bilan résumé des émissions de gaz carbonique dans l'agro-industrie du bioéthanol de canne à sucre dans le Centre-Sud brésilien (kg/mille litres de bioéthanol)

Étape	Absorption de CO ₂ dans la photosynthèse	Libération de CO ₂	
		Fossile	Photosynthétique
Plantation		173	
Croissance	7.464		
Récolte et transport		88	2.852
Fabrication d'éthanol		48	3.092
Utilisation de l'éthanol			1.520
Total	7.464	309	7.464

Source : Élaboration de Luiz Augusto Horta Nogueira.

Comme on peut l'observer, le carbone libéré dans l'atmosphère correspond à la somme du carbone d'origine photosynthétique, absorbé durant la croissance de la canne et libéré ensuite en quatre étapes – dans le brûlage de la paille, dans la fermentation (conversion des sucres en bioéthanol), dans le brûlage de la bagasse dans les chaudières et dans le brûlage du bioéthanol dans les moteurs –, et du carbone d'origine fossile, qui correspond à un apport liquide dans l'atmosphère, résultat des opérations agricoles et industrielles et de la production d'intrants et d'équipements. De la sorte, seul le carbone d'origine fossile doit être pris en considération, puisque le carbone photosynthétique libéré correspond à celui qui est absorbé par la canne. Si l'on compare l'apport liquide des émissions fossiles, de l'ordre de 309 kg

de CO₂ par mille litres de bioéthanol produit, avec l'émissions estimée pour l'essence, 3.009 kg de CO₂ (y compris une augmentation de 14% dans les émissions lors de la production), et en supposant un rendement identique d'utilisation finale, il en résulte une réduction de l'ordre de 90% dans les émissions de carbone. Ces valeurs ne changent pas de manière substantielle quand on considère les effets de second ordre, associés à d'autres gaz en plus du dioxyde de carbone, comme il est déterminé au paragraphe 3.5 (mentionné plus haut). Des résultats similaires, qui renforcent les avantages environnementaux différenciés du bioéthanol de canne à sucre en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre et donc, une atténuation du changement climatique, ont été présentés dans diverses études [Concawe (2007), Esmap (2005) et IPCC (2008)].

Conformément au Communiqué Brésilien à la Convention-Cadre des Nations Unies pour le Changement du Climat, avec les chiffres de 1994, l'utilisation de l'énergie de la canne a réduit de 13% les émissions de carbone de tout le secteur énergétique. Pour les volumes de production de cette agro-industrie au Brésil, en 2003, la substitution de l'essence par l'éthanol et la production d'énergie à partir de la bagasse, ont réduit les émissions de CO₂ dans un volume équivalent de 27,5 millions et 5,7 millions de tonnes [Goldemberg et al. (2008)]. En se référant à des calculs selon des situations similaires, pour chaque 100 millions de tonnes de canne destinés à des fins énergétiques, on pourrait éviter l'émission de 12,6 millions de tonnes de CO₂, équivalents, en prenant en considération l'éthanol, la bagasse et l'excédent additionnel d'énergie électrique fournie au réseau [Unica (2007)].

Emissions de gaz d'impact local

Dans la production du bioéthanol, les émissions de polluants d'impact local qui préoccupent sont associées essentiellement au brûlage de la paille de la canne pré-récolte et aux émissions dans les cheminées des chaudières. Le brûlage de la paille augmente la productivité de la récolte, mais il est considéré comme un problème environnemental qui affecte principalement les villes situées dans les régions de culture de canne à sucre. Pour cette raison, il existe une forte disposition des organismes publics brésiliens en faveur de la restriction de cette pratique, ce qui implique, indirectement, l'élimination de la coupe manuelle qui s'avère assez difficile dans le cas de la canne sans brûlis.

Le meilleur exemple de cette situation peut être trouvé à São Paulo, où la Loi de l'État 11.241 de 2002, a fixé un chronogramme pour la récolte de la canne sans brûlis dans toutes les cultures mécanisables d'ici à 2021, afin de permettre que les aires restantes et inférieures à 150 hectares effectuent des brûlis jusqu'en 2031. En vertu de pressions exercées par les entités de protection de l'environnement et par le Ministère Public, un protocole signé entre le gouvernement de l'État de São Paulo et l'agro-industrie de la canne à sucre a anticipé ces délais, les fixant à 2014 et 2017 respectivement, avec des restrictions additionnelles pour le brûlis dans les zones d'expansion. Dans ce sens, l'autorisation pour l'entrée en opération des 56 nouvelles unités de production d'éthanol à São Paulo, à partir de 2008, a été soumise à la condition de l'adoption intégrale de la récolte de la canne sans brûlis. Les résultats de ce

processus ont été constatés clairement au moyen d'une surveillance à distance par satellite, et montrent que la récolte de canne sans brûlis a atteint 47% de la superficie de la récolte à São Paulo pour la récolte 2007/2008, évitant ainsi l'émission de 3.900 tonnes de matériaux en particules [Cetesb (2008)]. Dans d'autres états, comme Goiás et Mato Grosso, on observe des initiatives similaires, qui fixent des chronogrammes pour l'élimination des brûlis, mais les résultats n'ont pas encore été mesurés. Outre les questions environnementales, la possibilité d'utiliser l'énergie de la paille pour produire de l'énergie électrique est également un facteur d'encouragement pour l'adoption de la récolte de canne sans brûlis.

Avec l'introduction de chaudières modernes dans les usines, avec un excédent d'air moins élevé et en brûlant la bagasse sous des températures de flamme plus élevées, les teneurs en oxydes de nitrogène dans les gaz de cheminée atteignent des niveaux similaires à ceux observés dans d'autres systèmes thermiques de puissance, et ont commencé à être contrôlées par les organismes environnementaux, en vertu de la législation applicable, qui fixe des limites et des pénalités pour de telles émissions (Résolution Conama 382, de 2006). Dans ce contexte, les émissions des chaudières peuvent et ont été effectivement diminuées au moyen de systèmes conventionnels de nettoyage des gaz de cheminée, avec des résultats positifs, et pour cette raison, cela ne semble pas être un problème important dans le cas de l'agro-industrie du bioéthanol.

Utilisation de ressources hydriques et disposition d'effluents

Du point de vue des ressources hydriques, les conditions particulièrement favorables dans les pays des régions tropicales humides, comme c'est le cas du Brésil, avec un régime pluvial abondant et bien distribué, permettent à la majorité des cultures de se développer sans irrigation. Dans le cas du Brésil, on estime que les terres agricoles irriguées représentent 3,3 millions d'hectares, environ 4% de la superficie cultivée. L'écoulement moyen annuel des eaux sur le territoire brésilien est de 5.740 km³, face à une consommation estimée de 55 km³, donc inférieure à 1% des nécessités et permettant une offre annuelle de 34.000 m³ d'eau par habitant [Souza (2005a)]. Cependant, il existe des régions brésiliennes où les disponibilités annuelles sont inférieures à 1,5 m³ d'eau par habitant, ce qui caractérise une situation critique d'approvisionnement en eau. La mise en oeuvre de systèmes d'octroi et de perception pour l'utilisation de l'eau par les Comités de Bassin est en cours, selon les termes de la Loi 9.433/1997, la Loi des Eaux, qui devra encourager son utilisation plus responsable et la réduction des lancements de polluants dans les corps hydriques, selon l'application du principe « pollueur-payeur ».

Selon le climat, la culture de la canne requiert de 1.500 mm à 2.500 mm de couche d'eau distribuée de forme adéquate (une période humide et chaude pour la croissance et une période sèche pour la maturation et l'accumulation de sucre) durant le cycle végétatif. Au Brésil, l'irrigation de la canne n'est pratiquement pas utilisée dans la Région Centre-Sud, et n'est adoptée que durant les périodes plus critiques dans la région Centre-Ouest et, de manière un peu plus fréquente, dans la région Nord-Est, suivant l'idée d'« irrigation de se-

cours », après la plantation de la canne, pour garantir la germination sous des conditions de déficit hydrique, et comme « irrigation supplémentaire », faite à l'aide de différentes couches d'eau aux époques plus critiques du développement du végétal [Souza (2005a)]. L'on croit que, au fur et à mesure que les aires disposant d'une moindre disponibilité hydrique commencent à être occupées par des cultures de canne à sucre l'irrigation pourra se montrer intéressante pour maintenir la productivité agricole, et devra, dans ce cas, être effectuée dans le cadre de la législation en vigueur. Actuellement, selon les critères de Embrapa, la culture de la canne ne présente pas d'impact sur la qualité de l'eau [Rosseto (2004)].

Dans le contexte du processus industriel, outre le volume capté pour le traitement de la canne, un volume d'eau important entre dans l'usine avec la canne elle-même, puisque 70% du poids des chaumes est constitué d'eau. Ainsi, bien que l'on estime une consommation de processus de l'ordre de 21 m³ par tonne de canne traitée, le captage et le lancement d'eau sont bien inférieurs. Pour ce qui concerne les utilisations, 87% de la consommation d'eau se produit en quatre processus : lavage de canne, condensateurs à jets multiples dans l'évaporation et les opérations sous vide, le refroidissement de dômes et de condensateurs d'alcool. Avec la rationalisation de la consommation de l'eau (réutilisations et fermeture de circuits et quelques changements de processus, comme le nettoyage à sec et la réduction du lavage de la canne, en fonction de la coupe mécanisée), le captage a été réduit de manière significative. Les relevés effectués en 1997 et 2005 révélaient une réduction moyenne du captage de 5 m³ à 1,83 m³ par tonne de canne traitée, avec des espoirs d'atteindre à moyen terme 1 m³ par tonne de canne traitée [Elia Neto (2005)].

Les principaux effluents liquides observés dans la production de bioéthanol et leurs systèmes de traitement sont présentés dans le Tableau 29. Un relevé fait dans 34 usines révèle que le traitement utilisé réduit la charge organique de 98,40%, avec un solde restant de 0,199 kg DBO/t canne [Elia Neto (2005)]. La ferti-irrigation, au moyen de laquelle on applique la vinasse dans les cultures de canne à sucre, est la principale forme de disposition finale de la charge organique, avec des avantages sur les plans de l'environnement et de l'économie. Étant donné son importance, il convient d'analyser un peu plus la question de la vinasse.

La vinasse, produite à raison de 10,85 litres par litre de bioéthanol, constitue le plus important effluent liquide de l'agro-industrie de la canne. Dans sa composition, elle présente des teneurs élevées en potassium (près de 2 kg par m³) et de matière organique, mais elle est relativement pauvre en autres éléments nutritifs. Au début du Pro-alcool, la vinasse était lancée directement dans les rivières, causant de graves problèmes à l'environnement, atténués grâce à l'utilisation de bassins d'infiltration et résolu à partir de 1978, avec les systèmes de ferti-irrigation.

La zone des plantations de canne à sucre touchée par la ferti-irrigation dépend de la topographie et de la distribution des terres de l'usine – certaines usines appliquent la vinasse sur 70% de leur superficie cultivée et d'autres ont des valeurs bien moins élevées. Actuellement, on cherche à étendre cette superficie couverte par la vinasse, en vue d'augmenter la producti-

tivité agricole et de réduire l'utilisation de fertilisants chimiques, ce qui a entraîné l'utilisation de doses de moins en moins importantes, diminuant ainsi les risques de salinisation et de contamination de la nappe phréatique [Souza (2005b)]. Parmi les usines de la région de São Paulo, prédominent les systèmes de pompage et d'aspersion pour l'application de vinasse, bien que l'on emploie également des camions-citerne conventionnels pour sa distribution.

Tableau 29 – Effluents liquides de l'agro-industrie du bioéthanol

Effluent	Caractéristiques	Traitement
Eau de lavage de la canne	Moyen potentiel polluant et concentration élevée de solides	Décantation et lagunes de stabilisation pour le cas de lancement en des corps d'eau. Dans la réutilisation, le traitement consiste en décantation et correction du pH
Eaux des jets multiples et des condensateurs barométriques	Bas potentiel polluant et haute température (~ 50° C).	Réservoirs d'aspersion ou tours de refroidissement, avec recirculation ou lancement
Eaux de refroidissement de dômes et de condensateurs d'alcool	Haute température (~50° C)	Tour de refroidissement ou réservoirs d'aspersion pour retour ou lancement
Vinasse et eaux résiduelles	Grand volume et charge organique élevée	Application sur la plantation de canne, conjointement avec les eaux résiduelles

Source : Elia Neto (2005).

Des études de longue durée sur les effets de l'application de vinasse dans les plantations de canne à sucre, prenant en considération la lixiviation des éléments nutritifs et les possibilités de contamination des eaux souterraines, confirment ses bénéfices pour les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, comme l'élévation du pH, l'augmentation de la capacité d'échange cationique et de la disponibilité de certains éléments nutritifs, l'amélioration de la structuration du sol, l'augmentation de la rétention de l'eau et du développement de la microflore et de la microfaune du sol. En effet la vinasse, utilisée à des taux adéquats (inférieurs à 300 m³ par hectare) en respectant les caractéristiques des sols où elle est appliquée et la localisation des sources d'eau, non seulement fournit de l'eau et des éléments nutritifs, mais elle agit aussi comme récupératrice de la fertilité du sol, même en profondeur [Souza (2005b)]. Actuellement, la vinasse est considérée comme un fertilisant organique et est libérée pour la production de sucre « organique », dans lequel on ne peut utiliser des intrants chimiques tels que : herbicides, insecticides et engrais minéraux.

Quelques régions de l'État de São Paulo, productrices traditionnelles de canne à sucre, sont situées dans des zones vulnérables au niveau de l'environnement, comme des points de

recharge aquifères importants de São Paulo. Pour cette raison, l'utilisation intensive et fréquente de vinasse pourrait occasionner une pollution des eaux souterraines à long terme. Tenant compte de ces conditions particulières, la législation environnementale relative à l'utilisation de la vinasse a évolué. En 2005, le Secrétariat à l'Environnement de l'État de São Paulo a divulgué une norme technique sur les critères et les procédures pour l'application, la manipulation et la disposition de la vinasse en sol agricole [SMA (2005)]. Cette norme stipule principalement des mesures de protection des eaux de surface et souterraines, exigeant une imperméabilisation des réservoirs de stockage et des canaux de distribution du résidu, des locaux passibles d'application et la dose maximum de 185 kg de K_2O par hectare, calculée en fonction de la teneur de potassium présente dans la vinasse, limitant à 5% la capacité d'échange de cations du sol occupée par des ions de potassium [Bertoncini (2008)]. Cette législation est obligatoire dans l'État de São Paulo et, à l'exemple d'autres normes de nature environnementale, elle tend à être adoptée dans le reste du pays.

Indépendamment des résultats obtenus grâce à la ferti-irrigation, il subsiste un intérêt pour la mise à profit du contenu énergétique restant dans la vinasse, au moyen de sa biodigestion et de la production de biogaz. Une autre voie d'investigation est la concentration de la vinasse, par exemple, à travers la recirculation dans la fermentation, combinée avec la pré-concentration du jus, ou en utilisant des membranes, en vue de réduire son volume et de faciliter son transport à des distances plus grandes [CGEE (2005)]. Les deux alternatives n'ont pas encore atteint des indicateurs de viabilité économique motivants, comme on l'aura déjà observé au Chapitre 4, mais, avec l'évolution des processus, elles peuvent être adoptées à moyen terme, spécialement dans les contextes où la topographie et les distances rendent la ferti-irrigation plus difficile.

Comme indication importante de l'évolution de l'agro-industrie de la canne à sucre dans le traitement et la réduction de lancement de ses effluents liquides dans les corps hydriques, une étude de la Cetesb effectuée dans les 16 bassins hydrographiques de l'État São Paulo où il existe une production de bioéthanol, a estimé une décharge potentielle de 9.340 mille tonnes journalières de demande biochimique d'oxygène (DBO) associée aux usines de sucre et de bioéthanol. A cela il faut ajouter un lancement effectif de 100.000 tonnes, ce qui représente une diminution de 99% du potentiel polluant, évalué par la charge organique [Moreira (2007)]. Naturellement, ces résultats démonstratifs ont été encouragés par l'action de contrôle, mais ils indiquent qu'il existe des technologies disponibles et utilisées, capables d'atténuer de manière significative l'impact des effluents liquides sur les cours d'eau.

Malgré les résultats obtenus, en fonction de la magnitude de la superficie occupée et de la production de bioéthanol, des efforts permanents en vue de maintenir ou de réduire les impacts environnementaux de ces effluents se justifient. Dans ce sens, d'intéressantes mesures sont adoptées actuellement pour la protection des sources d'eau, en particulier avec l'abandon progressif de la culture de la canne dans les « Zones de Préservation Permanente (APP), environ 8% de la terre cultivée, ce qui rendra possible leur récupération de forme spontanée ou leur reconstitution à l'aide du reboisement, principalement dans les végéta-

tions en marge des sources et des rivières, avec des effets positifs importants sur la biodiversité [Ricci Jr. (2005a)].

Utilisation de produits phytosanitaires agricoles

Dans la production de la canne à sucre, on utilise régulièrement des produits chimiques tels que les insecticides, les fongicides, les herbicides et les agents de maturation ou de retardement de la floraison, à des niveaux qui peuvent être considérés bas en comparaison avec la moyenne observée sur d'autres cultures commerciales importantes.

Tableau 30 – Utilisation de produits phytosanitaires agricoles dans les principales cultures au Brésil
(En kg d'ingrédient actif par hectare)

Produit	Année	Culture				
		Café	Canne à Sucre	Orange	Maïs	Soja
Fongicide	1999	1,38	0,00	8,94	0,00	0,00
	2003	0,66	0,00	3,56	0,01	0,16
Insecticide	1999	0,91	0,06	1,06	0,12	0,39
	2003	0,26	0,12	0,72	0,18	0,46
Acaricide	1999	0,00	0,05	16,00	0,00	0,01
	2003	0,07	0,00	10,78	0,00	0,01
Autres produits phytosanitaires	1999	0,06	0,03	0,28	0,05	0,52
	2003	0,14	0,04	1,97	0,09	0,51

Source : Arrigoni et Almeida (2005) et Ricci Jr. (2005b).

Comme le montre le Tableau 30, les chiffres de la consommation de produits agrochimiques pour quelques-unes des principales cultures brésiliennes, d'après le Syndicat National de l'Industrie de Produits pour la Défense Agricole (Sindag), varie assez bien selon la culture. Dans le cas de la canne à sucre, la consommation de fongicides est pratiquement nulle et les insecticides sont utilisés en quantités proportionnellement moins élevées.

L'utilisation moins élevée de ces produits phytosanitaires découle des stratégies de lutte contre les maladies, principalement au moyen de la sélection de variétés résistantes, de programmes d'amélioration génétique, et surtout, au moyen de l'adoption, avec d'excellents résultats, de méthodes de contrôle des principaux ravageurs de la canne, la chenille mineuse de la canne à sucre (*Diatraea saccharalis*), espèce de papillon combattu à l'aide de la guêpe *Cotesia flavipes*, et la cigale des racines de la canne à sucre (*Mahanarva fimbriolata*), contrôlées à l'aide d'application du champignon *Metarhizium anisopliae* [Arrigoni et Almeida (2005)].



Larve de la chenille mineuse de la canne à sucre (*Diatraea saccharalis*) et son parasitoïde, la guêpe *Cotesia flavipes* [Bento (2006)].

Le contrôle biologique emploie des parasitoïdes ou des prédateurs pour contrôler des ravageurs des cultures, avec une spécificité élevée et un très faible impact environnemental. Cette méthode offre des avantages économiques par rapport à l'utilisation d'insecticides conventionnels, car elle n'opère pas d'application indiscriminée de produits chimiques, et elle maintient les ravageurs à un niveau minimum tolérable. La limitation du brûlage de la canne doit augmenter la nécessité de l'utilisation de ce type de contrôle sur la petite cigale.

En ce qui concerne la lutte contre les mauvaises herbes, la canne utilise encore d'avantage d'herbicides que le café mais moins que la citriculture et autant que le soja. Cependant, avec l'adoption progressive de la récolte de la canne sans brûlis, la partie de la paille qui reste sous le sol supprime la germination des mauvaises herbes envahissantes, conduisant ainsi à une consommation significativement plus faible d'herbicides [Urquiaga et al. (1991)]. En ce qui concerne l'utilisation de produits agrochimiques, il est important de mentionner que la Loi 7.802/89 détermine l'utilisation de la prescription agronomique, en définissant les responsabilités et les procédures d'application et d'élimination des récipients.

Emploi de fertilisants

Comme le recyclage d'éléments nutritifs est une des ses caractéristiques importantes, la culture de la canne au Brésil consomme une quantité relativement faible de fertilisants conventionnels. En effet, la ferti-irrigation au moyen de la vinasse a réduit assez bien la nécessité d'apport de potassium, et son complément avec les eaux du processus industriel et les cendres des chaudières a augmenté de manière significative l'offre d'éléments nutritifs pour

les plantations de canne à sucre, avec des bénéfices économiques et environnementaux. Si nous considérons le cycle productif typique d'une plantation de canne à sucre (canne vierge et quatre repousses), dans les conditions moyennes du Brésil, l'application de la vinasse et du tourteau de filtration, bien qu'elle ne produise pas d'effet important sur l'offre d'azote, permet de réduire la demande de phosphore (P_2O_5) de 220 kg/ha à 50 kg/ha et de potassium (P_2O) de 170 kg/ha à 80 kg/ha, en maintenant des niveaux similaires de productivité [CGEE (2005)]. À ce propos, les parties de la canne qui nous intéressent pour la production de bioéthanol sont seulement les sucres et la fibre, constitués de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Dans la mesure du possible, tous les autres éléments nutritifs retirés de la canne doivent retourner au sol.

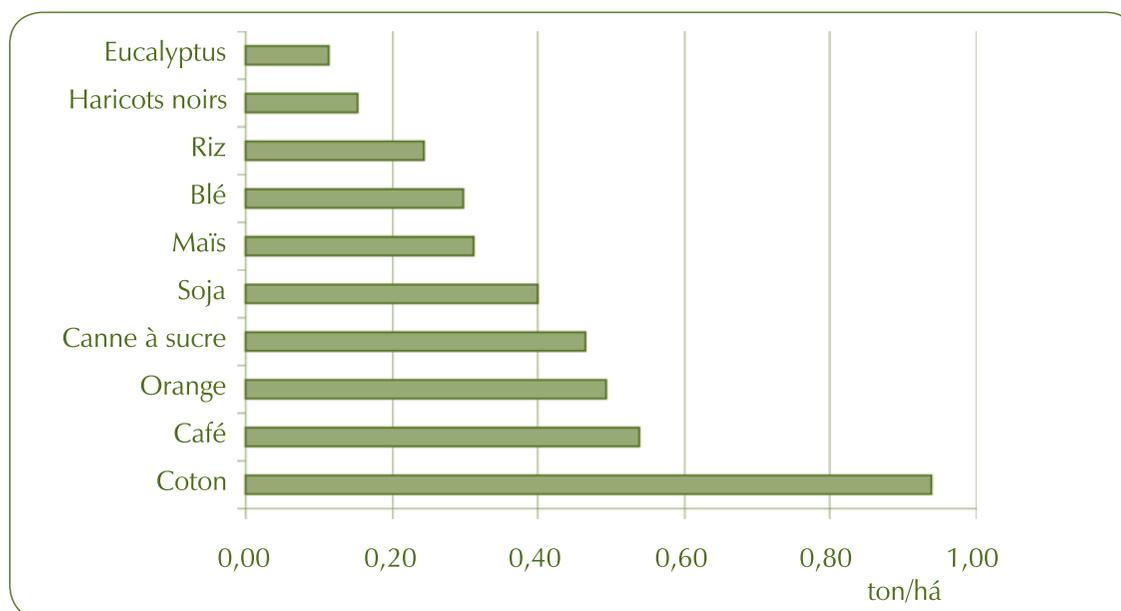
En outre (et ceci est particulièrement intéressant), il a été observé dans les plantations de canne à sucre une disponibilité d'azote bien supérieure aux apports éventuels des fertilisants, signe de l'existence de mécanismes de fixation biologique de l'azote (FBN) par des colonies de bactéries du genre *Azospirillum*, micro-organismes diazotrophiques (capables de convertir l'azote atmosphérique en des formes assimilables par d'autres organismes), vivant librement dans la région des rhizomes ou associés aux graminées telles que la canne. Des études pionnières dans ce domaine ont été élaborées ces dernières décennies par Johanna Döbereiner, grande scientifique brésilienne et chercheuse de l'Embrapa, et peuvent ouvrir des perspectives d'augmentations significatives de productivité pour l'agro-industrie de la canne à sucre [CNPAB (2008)].

Si l'on prend en considération les cultures avec des superficies plantées supérieures à un million d'hectares, la canne à sucre se situe actuellement en quatrième place pour la consommation d'engrais chimiques au Brésil, comme le montre le Graphique 24, préparé sur base de données de l'Association Nationale de Diffusion d'Engrais (Anda) et sur les relevés de l'IBGE. Ce niveau de consommation de fertilisants de la canne peut être considéré relativement bas, si on le compare avec celui d'autres pays. Sur la base des chiffres du CTC concernant la fertilisation de la canne vierge et de la repousse dans la Région Centre-Sud, qui recommande l'application de, respectivement, 290 kg et 260 kg d'une formule moyenne de $N-P_2O_5-K_2O$, on montre que les niveaux de fertilisation adoptés pour la canne en Australie sont de 30% et 54% supérieurs à ceux adoptés au Brésil [Donzelli (2005a)].

La fertilisation complémentaire aux sous-produits recyclés est importante pour assurer la production des plantations de canne à sucre dans les conditions actuelles, et sans elle, les niveaux de productivité chuteraient de manière significative. Cependant, la consommation de fertilisants représente une part importante des coûts agricoles, ce qui justifie l'adoption croissante de nouvelles technologies pour tenter de diminuer la demande d'engrais et de calcaire, en rendant son utilisation rationnelle. Dans ce sens, on peut citer des formes innovatrices de distribution de fertilisants avec une réduction des pertes par volatilisation et une augmentation de matière organique avec la récolte de la canne à sucre sans brûlis [Gaval et al. (2005)], ainsi que l'agriculture de précision qui présente un grand potentiel. Grâce à l'emploi de cartes de productivité, avec les caractéristiques physiques et chimiques du sol

(granulométrie, niveaux de macronutriments et micronutriments, acidité, densité et résistance à la pénétration), des économies significatives de fertilisants peuvent être obtenues en substituant l'application uniforme d'engrais par une application à des taux variés, en suivant les informations détaillées du sol. L'application de l'agriculture de précision à l'Usine Jales Machado, à Goianésia (GO), a révélé une réduction de 34,5% de l'application de calcaire et de 38,6% pour l'application de phosphore, ce qui représente une économie de 36% du coût correspondant à ces produits par hectare fertilisé, tout en maintenant la productivité [Soares (2006)]. Des études expérimentales dans la région de Araras, à São Paulo, ont montré que l'on peut s'attendre à des réductions de 50% de la consommation de fertilisants phosphatés et potassiques, en adoptant des taux variables d'application [Cerri (2005)] et l'on estime qu'actuellement, environ 10% des plantations de canne au Brésil utilisent déjà une forme d'agriculture de précision pour l'application de phosphore et du calcaire selon des taux variés (Molin, 2008).

Graphique 24 – Consommation de fertilisants pour les principales cultures au Brésil



Source : Donzelli (2005a).

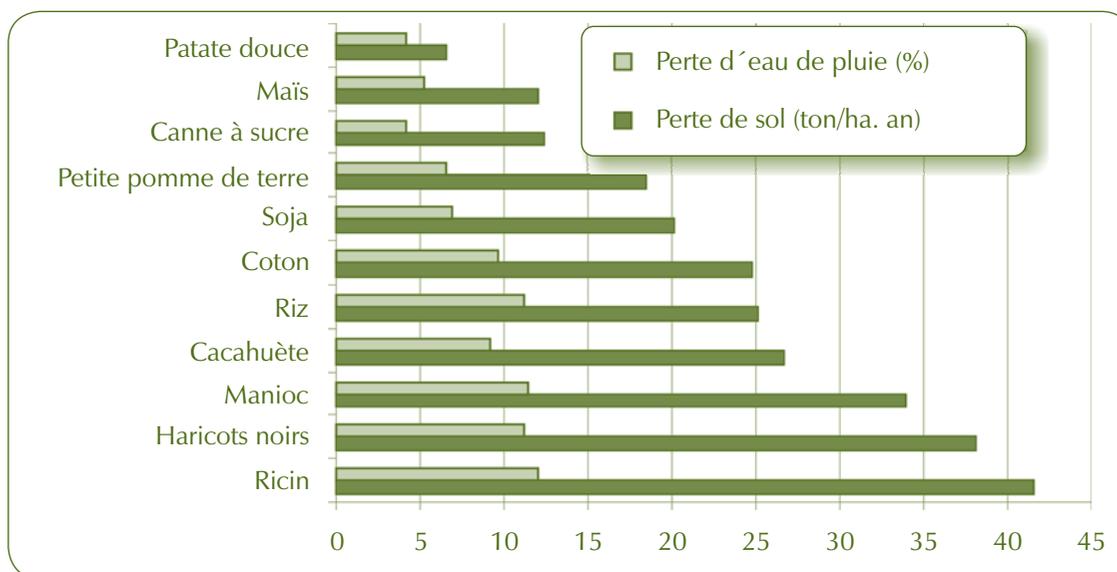
En résumé, l'utilisation de fertilisants, de grande importance pour la productivité des plantations de canne à sucre au Brésil, a été pratiquée à des taux réduits par le recyclage d'éléments nutritifs du processus industriel, et l'apport de fertilisants conventionnels tend à diminuer avec l'introduction progressive des nouvelles technologies disponibles pour la fertilisation.

Érosion et protection du sol

Provoqué fréquemment par des pratiques agricoles inadéquates, le processus d'érosion est la principale cause de la dégradation des terres agricoles et s'associe, souvent, à la perte irréversible du sol cultivable. Pour cette raison, l'utilisation productive des terres doit tenir compte du type de sol (texture, types d'horizon diagnostiqué, taux d'infiltration d'eau), de la pente, du régime de pluies et de la culture à mettre en place, et établir les espaces, les routes et les lignes de culture, afin de protéger la couche fertile du sol. Comme la culture de la canne à sucre est pratiquée depuis des siècles au Brésil (dans de nombreux cas, dans la même région), il existe des informations suffisantes à propos de son impact sur la conservation du sol [Donzelli (2005b)].

Plante semi-pérenne, caractéristique qui réduit le nombre d'opérations agricoles responsables de l'exposition du sol aux intempéries et facilitant la perte de sa couche fertile, la canne à sucre est, de l'avis de tous, une culture conservatrice, comme on peut l'observer au Graphique 25, qui fournit des données de perte superficielle de sol par an et de perte d'eau de pluie pour différentes cultures pratiquées au Brésil. Par exemple, la perte de sol qui se produit dans les plantations de canne à sucre est d'environ 62% de la valeur observée pour le soja. Du point de vue de la capacité de retenir l'eau de pluie, aspect important pour la production agricole et pour la protection du sol, la canne se révèle une des cultures les plus efficaces, comme le montre également le Graphique 25.

Graphique 25 – Pertes de sol et d'eau de pluie dans certaines cultures au Brésil



Source : Donzelli (2005b).

L'utilisation croissante de la récolte de la canne sans brûlis (commentée aux paragraphes précédents) où la paille protège le sol contre l'impact direct des gouttes de pluie et réduit la préparation du sol, devra, au cours des années à venir, améliorer d'avantage encore le niveau de conservation des sols cultivés avec la canne à sucre, représentant une réduction d'environ 50% des pertes de sol et d'eau de pluie observées [(Donzelli (2005b)].

Biodiversité

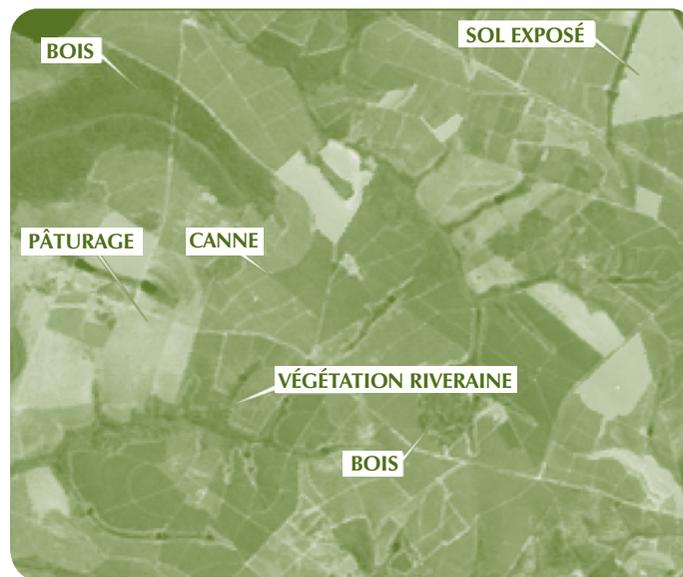
La production efficiente de bioéthanol de canne à sucre impose inévitablement, une plantation importante de canne à sucre, monoculture dont l'impact environnemental dépend des caractéristiques originales du terrain occupé et de l'adoption de pratiques qui préservent l'environnement. Ainsi, en ce qui concerne la menace contre la biodiversité préexistante, les effets de la plantation de canne à sucre sur des terrains occupés antérieurement par d'autres cultures (ou par un élevage extensif), sont à distinguer de ceux produits par une plantation sur des espaces naturels, spécialement ceux à caractère forestier. Dans le premier cas, il s'agit d'une substitution d'utilisation du sol, tandis que dans le second cas, il s'agit d'une occupation nouvelle qui peut engendrer des impacts négatifs importants.

La législation brésilienne (en particulier le Code Forestier Brésilien, Loi 4.771, de 1965, et la Loi 7.803, de 1989) stipule que, dans les propriétés agricoles, on préserve une Réserve Légale (RL) – zone située à l'intérieur d'une propriété ou d'une possession rurale, excepté celle de préservation permanente, nécessaire pour l'utilisation durable des ressources naturelles, pour la conservation et la réhabilitation des processus écologiques, pour la conservation de la biodiversité et pour l'abri et la protection de la faune et de la flore native – avec au minimum 20% de la superficie totale, selon la région (en Amazonie, il s'agit de 80%). La législation détermine également que l'on conserve, avec leur végétation originale, les Zones de Préservation Permanente (APP) – les terres au sommet des collines, les flancs et les marges des cours d'eau.

Malheureusement, l'expansion des frontières agricoles durant les dernières décennies, de manière générale, a ignoré ces dispositions. Actuellement, en raison d'une plus grande prise de conscience de l'environnement, du renforcement de l'appareil institutionnel dans ce domaine, et de la disponibilité de systèmes de surveillance avec images de satellite, comme le montre la Figure 26, ces déterminations légales sont contrôlées par les entités gouvernementales à divers niveaux, et ont été incorporées effectivement dans la pratique agricole de plusieurs usines, aussi bien celles qui existaient déjà antérieurement que celles qui se trouvent en phase d'implantation. Pour illustrer le premier cas, dans de nombreuses usines de l'État de São Paulo, on a observé durant la dernière décennie une réduction de la plantation de canne dans les zones en marge des cours d'eau (zones riveraines) et la reconstitution forestière autour des sources, de sorte que, même avec l'expansion significative des activités agricoles, on perçoit une augmentation marginale de la couverture forestière dans l'état, estimée à 3,5 millions d'hectares [Institut Forestier (2004)]. Dans les nouvelles unités, spécialement dans les zones de végétation dense, le souci d'agir de manière correcte envers l'environnement

est évident chez de nombreuses entreprises, qui cherchent depuis le début de leurs activités, à respecter la législation relative aux Zones de Préservation Permanente et aux Réserves Légales, motivées par la réduction des risques légaux et par les gains d'image associés à une attitude responsable au niveau de l'environnement.

Figure 26 – Exemple d'image de satellite utilisée dans la surveillance de la couverture végétale



Source : CTC (2008).

Bien que la culture de la canne soit moins agressive que d'autres cultures et bien qu'elle emploie largement des techniques comme le recyclage des sous-produits et le contrôle biologique des ravageurs, il est essentiel que l'agro-industrie du bioéthanol, qui se développe fortement, respecte de manière stricte la législation de l'environnement et soit dûment pénalisée en cas d'écarts éventuels. L'expérience courante dans beaucoup d'usines brésiliennes, avec de bons résultats dans le rapport agro-industrie/environnement (disponibilité actuelle de technologies agricoles et d'industries à faible impact sur l'environnement), confirment la possibilité de produire du bioéthanol de canne à sucre de forme rationnelle, puisque l'adoption de pratiques environnementales axées sur la conservation se révèle intéressante au niveau de l'économie [Smeets et al. (2006)].

Cependant, il est très important d'observer que l'application effective de la législation et la diffusion d'une attitude plus favorable à l'environnement naturel, sous tous les aspects déjà commentés, comme la biodiversité, les ressources hydriques et le sol, découlent, par dessus tout, de la présence claire et active de l'État, mettant en oeuvre et contrôlant l'application de la législation environnementale. Ceci est corroboré par une conscience de l'environnement

plus éveillée qui se manifeste par l'intermédiaire d'entités publiques et privées, prenant une position claire en faveur du développement responsable de la bioénergie dans le pays, chaque fois qu'elle apparaît comme une des rares alternatives capables effectivement d'altérer le *status quo* énergétique global préoccupant [FBDS (2005)].

Autres aspects environnementaux

Récemment, deux nouvelles questions environnementales relatives à la production de bioéthanol de canne à sucre ont été présentées : l'émission de gaz à effet de serre associée au changement du modèle d'utilisation du sol, avec la perte de sa couverture végétale lors de la mise en place des plantations de cannes à sucre, et le processus indirect de déboisement causé par l'occupation des terres de pâturages par la canne, qui provoque le transfert des troupeaux vers les frontières de l'agro-élevage, où seraient formées de nouvelles zones d'élevage. Ce sont bien sûr des thèmes complexes, encore en discussion mais on peut déjà avancer, en ce qui les concerne, quelques informations importantes.

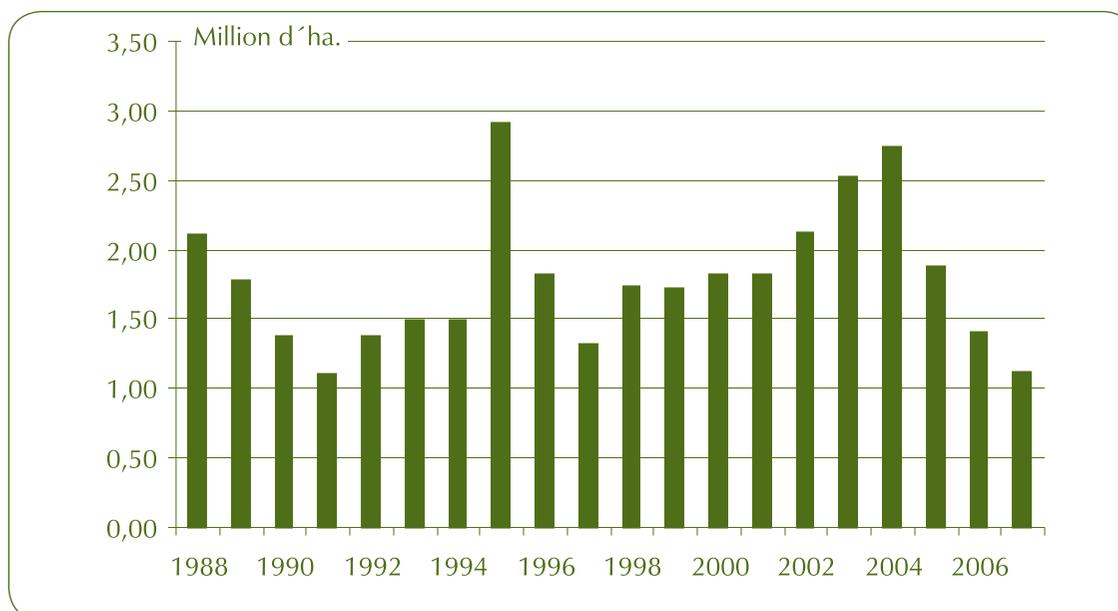
L'impact du changement de l'utilisation de la terre déterminé par la production de matière première pour biocarburants sur les émissions de gaz à effet de serre, a été abordé dans quelques études. Selon le type de végétation antérieure dans la zone utilisée pour la production de biocarburant, la perturbation provoquée par le changement d'utilisation du sol pourrait libérer dans l'atmosphère une quantité de carbone « emprisonnée » auparavant dans la végétation et dans le sol, suffisamment élevée pour mettre en jeu son bénéfice environnemental. Cependant, il existe encore une grande incertitude quant à la magnitude de cet effet, car les teneurs de carbone dans le sol en des conditions d'équilibre dépendent, entre autres facteurs, de la culture, du type de sol, des caractéristiques du climat local. Les taux de libération et l'accumulation de carbone, postérieurs à la plantation régulière de la canne à sucre, dépendent également de nombreux facteurs. Les évaluations de ce type d'impact présentent le bioéthanol produit à base de canne à sucre dans les terrains à végétation dense du Brésil, comme une alternative de moindre impact parmi les biocarburants étudiés [Fargione (2008)], mais ce sont là des résultats préliminaires. C'est une question qui mérite une attention particulière et d'avantage d'études sont encore nécessaires pour estimer de manière consistante la part réelle de ces émissions dans le cycle de vie des biocarburants.

En outre, dans le cas du bioéthanol au Brésil, il est peu probable que l'on puisse associer des pertes de couverture forestière à la production de bioéthanol, puisque l'expansion des plantations de canne à sucre s'est produite en premier lieu dans des zones occupées précédemment par des pâturages de basse productivité ou des cultures annuelles destinées en grande partie à l'exportation, comme le soja. Dans ce cas, le système racinaire et la biomasse sur le sol sont, en général, de moindre magnitude que dans le cas de la canne. Un autre aspect dont il faut tenir compte est l'effet de l'augmentation de la récolte de canne sans brûlis, dans laquelle une plus grande quantité de paille, et donc de carbone, est incorporée au sol [Macedo (2008)].

L'autre question concernant le déboisement induit indirectement par l'expansion de la culture de la canne à sucre, comporte un argument difficile à soutenir, car il existe peu d'indices de cette causalité, qui mérite cependant d'être commentée. Les forêts tropicales sur toute la planète subissent une énorme pression en raison de l'utilisation, rationnelle ou non, de leurs ressources en bois et de la possibilité d'ouvrir l'espace à de nouveaux fronts d'occupation d'agro-élevage. Au Brésil, pays doté de grandes étendues couvertes de forêts primaires, le processus de déboisement est séculaire et obtenir sa réduction effective est encore un des principaux défis pour les efforts croissants du gouvernement en vue d'ordonner le processus d'occupation de l'Amazonie, grâce à la définition de zones de protection, l'augmentation du contrôle, la coordination de l'activité de divers organismes et l'utilisation de technologie moderne (comme la surveillance à distance).

La perte de couverture forestière en Amazonie brésilienne a atteint une moyenne annuelle de 1,8 million d'hectares entre 2000 et 2006 et a diminué dernièrement, comme le montre le Graphique 26 pour l'Amazonie Légale, sur base des résultats du suivi par images de satellites, bien que ce n'est qu'au cours des prochaines années qu'il sera possible de confirmer si les taux de déboisement ont été réellement freinés [Inpe (2008)]. On estime que près de 7% de la couverture originale de la forêt amazonienne a disparu, principalement pour l'exploitation du bois, la production de charbon végétal pour la sidérurgie, ce qui a entraîné l'apparition de terrains occupés par des systèmes extensifs d'élevage de cheptel bovin pour l'abattage, et les plantations de soja [ISA (2008)].

Graphique 26 – Déboisement annuel en Amazonie brésilienne



Source : Inpe (2008).

La zone déboisée en Amazonie brésilienne durant la dernière décennie (1998–2007) est de 19 millions d'hectares, une superficie plus de dix fois supérieure à l'expansion observée des plantations de canne pour la production de bioéthanol durant la même période. La production de bioéthanol n'implique pas le déboisement, dont la problématique complexe impose l'ordonnancement de l'expansion des activités agricoles et d'élevage, dans la région amazonienne, et le renforcement des mesures de contrôle et d'exécution légale. Le Brésil, ainsi que divers autres pays situés dans la région tropicale humide de la planète, possède des terres disponibles pour une expansion significative de la production agricole, et peut produire de façon durable des ressources alimentaires et bioénergétiques, sans devoir abandonner son patrimoine forestier, comme on en discutera avec plus de détails dans le prochain paragraphe.

7.2 Utilisation du sol

Un thème récurrent dans la discussion des perspectives pour le bioéthanol est la question de l'utilisation des terres agricoles, par rapport à leur disponibilité et à l'éventuel impact sur la disponibilité en produits alimentaires. Ce paragraphe analyse ces aspects du point de vue de la production du bioéthanol de canne à sucre au Brésil, en évaluant l'évolution de l'utilisation des terres agricoles au cours des dernières décennies. En outre, on présente les perspectives de la division en zones agro-écologiques et on termine par une vision du potentiel estimé pour l'expansion de la culture de la canne à sucre dans le pays.

Au chapitre suivant, on analysera les liens importants entre la production bioénergétique et la sécurité alimentaire, sous une perspective globale, en prenant en considération non seulement le Brésil, et en y incluant d'autres combustibles.

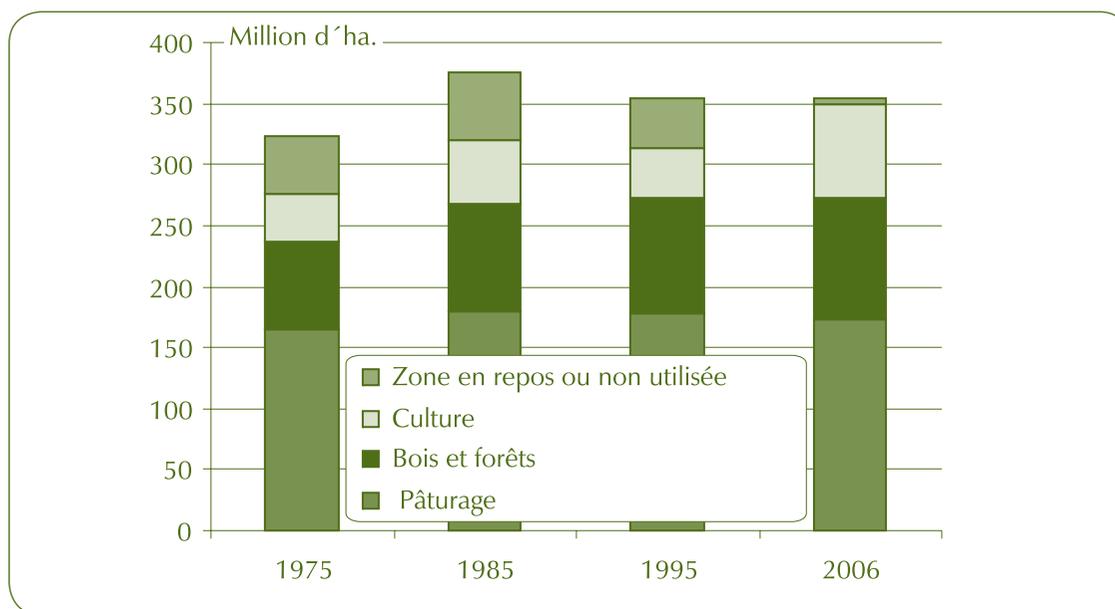
Evolution de l'utilisation de terres agricoles au Brésil

Le Brésil possède une superficie totale de 851,4 millions d'hectares, couverte en grande partie par des forêts tropicales. Sur la base des résultats du Recensement de l'Agriculture et de l'Élevage de 2006, l'extension des propriétés rurales brésiliennes – qui exclut les zones protégées, les cours d'eau et les aires ne convenant pas à l'agriculture, et inclut les réserves légales de formations naturelles – totalise 354,8 millions d'hectares (42% de la superficie totale du pays), consacrés aux pâturages naturels et plantés, à la sylviculture, aux forêts primaires et aux cultures pérennes et annuelles. L'évolution des divers types d'utilisation du sol ces 30 dernières années peut être observée au Graphique 27, dans lequel se distinguent la variation relativement faible de la superficie totale des propriétés et l'expansion significative des terres cultivées au cours de la dernière décennie.

Entre 1995 et 2006, l'agriculture brésilienne a connu une croissance de 83,5% et occupe désormais 76,7 millions d'hectares, environ 9% de la superficie du pays. Une telle croissance a été obtenue essentiellement par l'occupation de terres non utilisées ou en repos et dans

une moindre mesure, par l'occupation des pâturages, qui ont été réduits de 5,4 millions d'hectares, et représentent maintenant environ 20% du territoire brésilien. Ce processus de croissance de l'agriculture dans la zone des pâturages s'est produit de façon systématique depuis les années 1970, de sorte que le rapport entre la surface de pâturages et celle des cultures est passé de 4,5, en 1970 à 2,2, en 2006.

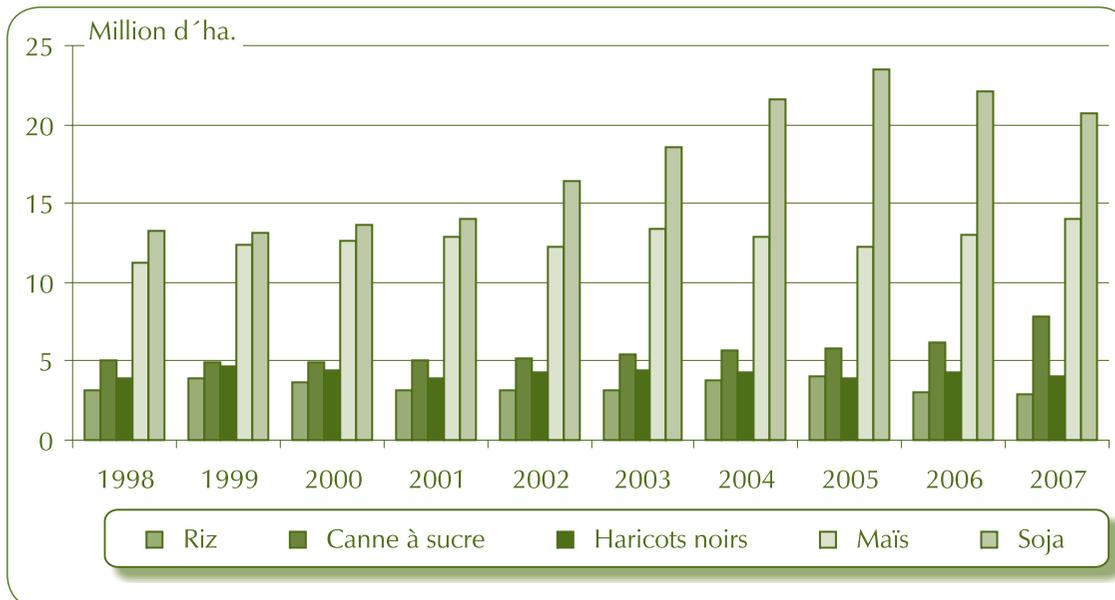
Graphique 27 – Utilisation de la terre dans les propriétés rurales au Brésil



Source : IBGE (2007).

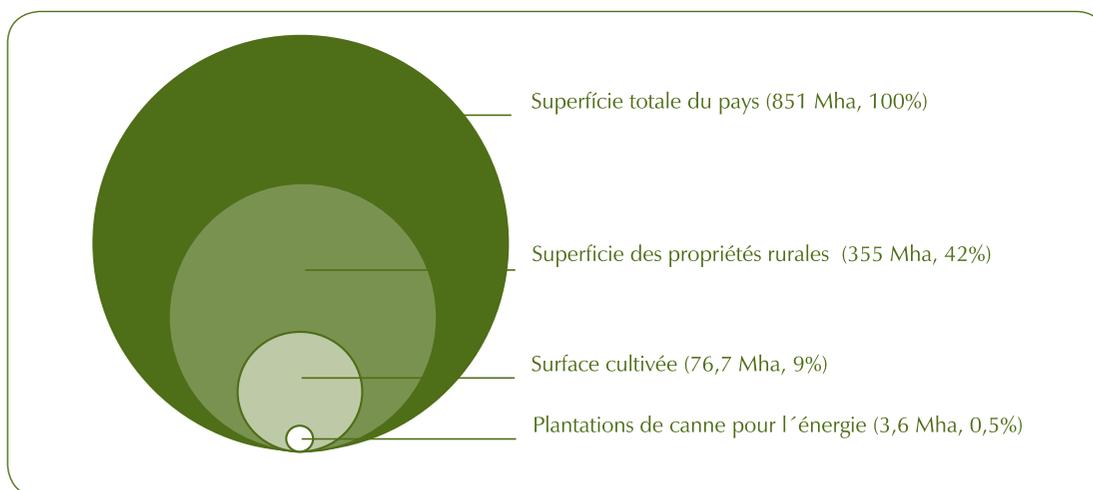
En 2007, la culture de la canne au Brésil occupe 7,8 millions d'hectares, environ un tiers de la superficie occupée par le soja, et la moitié de la superficie des cultures de maïs, comme le montre le Graphique 28. Approximativement la moitié de la canne produite se destine à la fabrication de bioéthanol. Ainsi, les plantations de canne à sucre destinées à la production de combustibles au Brésil correspondent à 5% de la superficie cultivée, 1% de la superficie des propriétés agricoles, 2,3% des superficies destinées aux pâturages et 0,5% de la superficie du pays. Fort de ces chiffres, elles contribuent aussi bien à l'extension territoriale du pays qu'au bon rendement de la canne dans le captage d'énergie solaire, car n'importe quelle autre matière première, avec les technologies actuelles, demanderait une étendue plus grande de surfaces cultivées. Une représentation de l'importance relative de la superficie consacrée à la canne à sucre à des fins énergétiques, comparée aux superficies totales et agricoles du pays, est donnée à la figure 29.

Graphique 28 – Evolution de la superficie utilisée par les principales cultures au Brésil



Source : IBGE (2007).

Graphique 29 – Utilisation des terres au Brésil



Source : IBGE (2007).

La croissance significative de la superficie plantée de canne observée dans le Centre-Ouest, entre 1998 et 2007, confirme la tendance de l'agro-industrie de s'étendre dans les régions

proches des zones productrices traditionnelles présentant une topographie et des conditions édaphoclimatiques adéquates. Bien qu'il faille encore résoudre les carences d'infrastructure, spécialement de transport, cette région est en voie de constituer un nouvel axe important pour l'agro-industrie de la canne à sucre au Brésil. Dans cette région, l'expansion de la canne à sucre s'est produite, essentiellement, par la substitution de pâturages et, éventuellement, de champs de soja, qui avaient substitué les régions à la végétation dense naturelle il y a quelques décennies.

Zonage agroécologique

Dans le but d'organiser et d'optimiser l'expansion de l'agro-industrie de la canne au Brésil, un Zonage Agroécologique de la Canne à Sucre (ZAE-Canne) a été développé en 2008, sous la coordination du Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de l'Approvisionnement (MAPA), dont les premiers résultats devront être disponibles cette année encore. Il s'agit d'une étude d'envergure, conduite par l'Embrapa Sols et impliquant des dizaines d'institutions et de chercheurs, dont le but est de définir, à titre indicatif, les zones aptes et les régions pour lesquelles on ne recommande pas cette culture sur une grande échelle. Le zonage doit être utilisé comme instrument pour l'orientation des politiques de financement, d'investissements en infrastructure et de perfectionnement du niveau fiscal. Il peut servir également à d'éventuelles certifications socio-environnementales qui pourraient être établies à l'avenir [Strapasson (2008)].

En ce qui concerne les zones agricoles et d'élevage dans lesquelles la canne n'est pas encore cultivée, mais qui offrent un potentiel apparent, le zonage agroécologique croise les informations des cartes du sol, du climat, des zones de préservation environnementale, géomorphologiques et topographiques. Il identifie également l'utilisation de la terre actuelle, il examine la législation environnementale fédérale et de l'état et les données agronomiques de la canne à sucre, comme les températures idéales pour sa croissance, les types de sol où elle s'adapte le mieux, les nécessités hydriques, etc. Pour cela, on définit et on classe les zones dotées d'un potentiel plus important, où on peut planter la canne, et les zones où cette culture n'est pas possible ou non recommandée. Comme condition, il a été établi un palier minimum de productivité, déterminé par la moyenne nationale de 70 tonnes par hectare de canne.

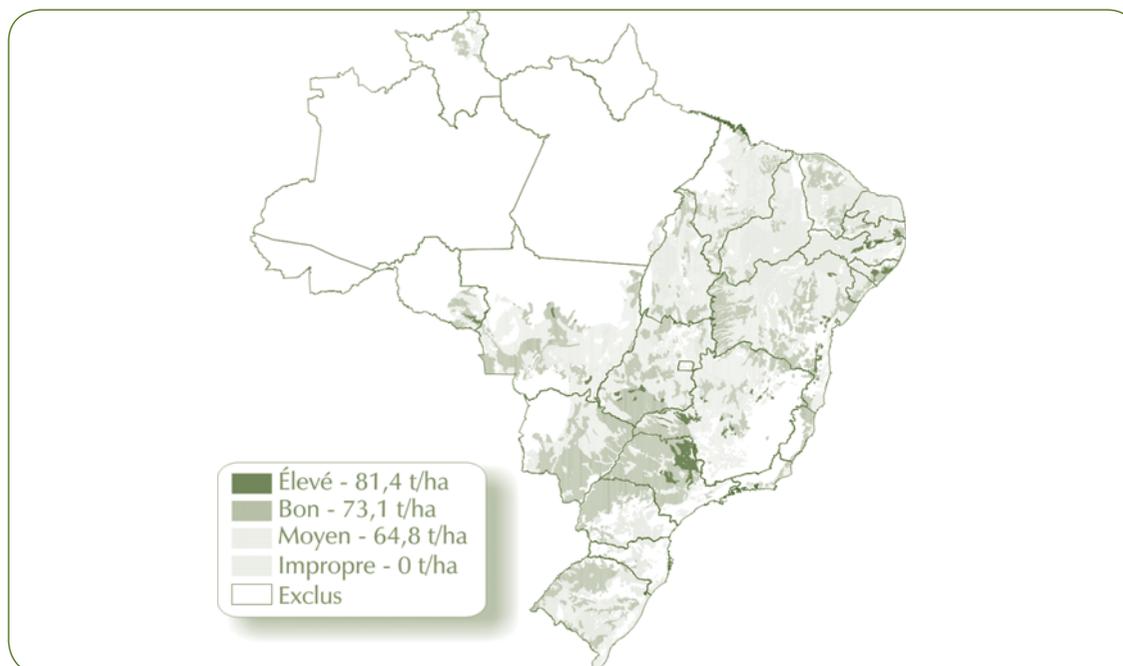
Potentiel d'expansion de la culture de la canne à sucre au Brésil

Moins détaillée que le zonage agroécologique (en cours de développement par le Mapa), mais avec un objectif similaire d'examiner de manière prospective les possibilités et les impacts de la production de grandes quantités de bioéthanol en vue d'une substitution partielle de l'essence à l'échelle globale, l'étude développée par le Centre de Gestion et d'études stratégiques (CGEE) avec le Noyau Interdisciplinaire de Planification Énergétique (Nipe) de l'Université de Campinas, a réalisé un relevé des zones ayant un potentiel pour la production de canne, à l'aide de cartes des sols et de cartes climatiques. Ces cartes prennent en considération les disponibilités hydriques et les déclivités des terrains (moins de 12°, pour faciliter la

récolte mécanisée), les zones protégées ou de préservation, comme le « Pantanal » et la Forêt Amazonienne, et les zones de réserves forestières et indigènes [CGEE (2005)]. Les résultats de cette étude sont illustrés par les Figures 27 et 28 avec les zones classées selon leur aptitude à la culture de la canne, respectivement sans irrigation et en tenant compte de l'irrigation de secours, dénommée ainsi du fait qu'elle n'est utilisée que dans les plantations de canne à sucre en croissance, où l'augmentation de la production est un objectif secondaire, et où on applique des couches d'eau inférieures à 200 mm, dans les périodes de déficit hydrique plus critique (l'équivalent d'un apport en eau de moins de 2.000 m³/ha.an).

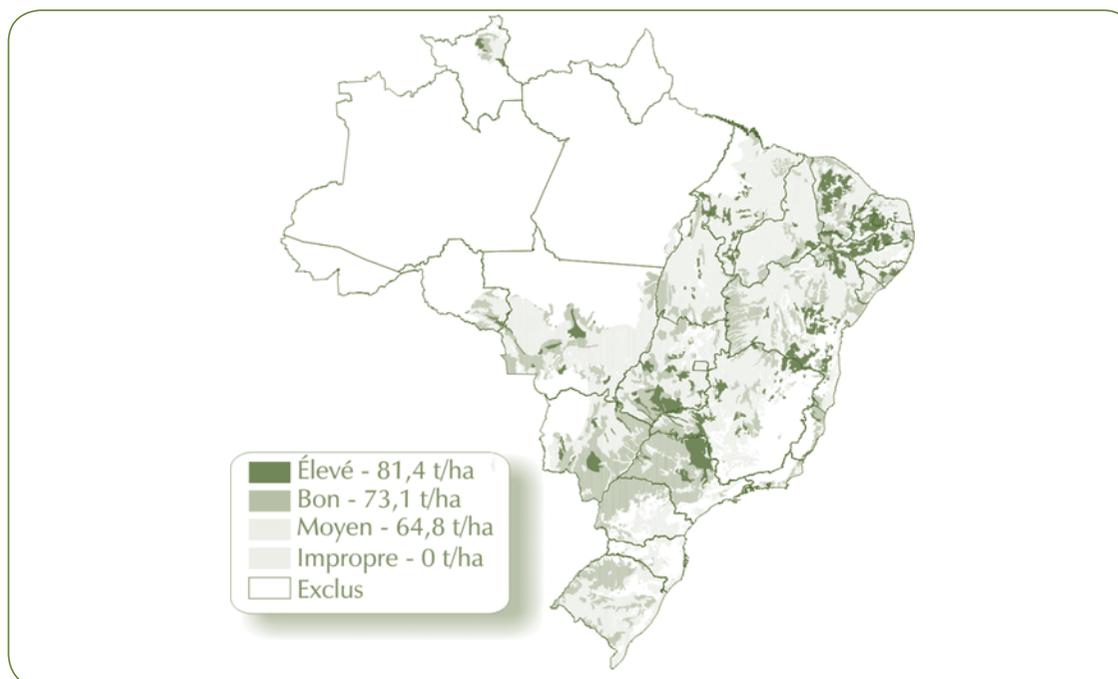
Dans la carte de potentiel pour la plantation de canne sans irrigation (Figure 27), il est possible d'indiquer qu'une grande partie des régions comportant des zones au potentiel élevé et moyen, équivalentes à 121,8 millions d'hectares (33,7% du total), sont situées dans le Centre-Sud du Brésil. Ces régions, sans restrictions importantes de sols ou de climat, offrent un relief plat ou légèrement ondulé. D'autre part, quand on considère l'utilisation de l'irrigation de sauvetage, sur la carte présentée à la Figure 28, les zones au potentiel élevé et moyen passent à 135,9 millions d'hectares (37,6% du total), et on perçoit, dans ce cas, un changement significatif du potentiel de production de la région semi-aride du nord-est [CGEE (2005)].

Figure 27 – Potentiel pour la culture de la canne sans irrigation



Source : CGEE (2005).

Figure 28 – Potentiel pour la culture de la canne avec irrigation de secours



Source : CGEE (2005).

Une synthèse de ces résultats est présentée au Tableau 31. Soulignons que, dans cette classification de productivité attendue, la valeur définie de 65 t/ha pour un faible potentiel est la moyenne mondiale de productivité de la culture de la canne, et pour cette raison, on peut également prendre en compte pour des fins d'expansion de cette culture, une superficie supplémentaire de 167,5 Mha (46,4 %) du total.

Tableau 31 – Potentiel pour la production de canne à sucre au Brésil

Potentiel	Productivité attendue (t/ha)	Superficie avec un potentiel d'utilisation			
		Sans irrigation		Avec irrigation	
		Million d'ha	%	Million d'ha	%
Élevé	> 80	7,90	2,2	37,92	10,5
Moyen	>73	113,90	31,5	98,02	27,1
Bas	> 65	149,22	41,3	167,65	46,4
Impropre	< 65	90,60	25,1	58,00	16,0
Total	–	361,62	100,0	361,59	100,0

Source : CGEE (2005).

Ainsi, l'expansion de l'agro-industrie du bioéthanol, dans des scénarios de croissance significative, basée sur des conditions de respect des zones protégées et assurant une productivité suffisante, ne rencontre pas, dans le cas brésilien, de restrictions significatives en terme de disponibilité de terres. Dans cette logique, les estimations présentées ci-après aident à renforcer l'argument développé ci-dessus.

A titre d'exemple des potentialités existantes, en considérant les chiffres globaux de la récolte 2007/2008, le Brésil a produit environ 22 milliards de litres de bioéthanol sur 3,6 millions d'hectares. Sur la base de cette donnée empirique et afin de promouvoir dans les conditions actuelles l'addition de 10% d'alcool anhydre à toute l'essence consommée dans le monde (1,3 milliard de mètres cubes), il faudrait 136,5 milliards de litres de bioéthanol, dont la production, dans les conditions brésiliennes, demanderait 23 millions d'hectares, superficie équivalente à celle occupée actuellement par le soja dans le pays. Sous des conditions similaires de productivité et d'efficacité énergétique, cette production pourrait être distribuée à diverses régions tropicales humides de la planète situées en Amérique Latine et dans les Caraïbes, en Afrique et en Asie, où l'on pratique traditionnellement la culture de la canne à sucre, comme commenté au Chapitre 3 et illustré par la Figure 29. La production de biocarburants à base d'autres matières premières ou d'autres formules technologiques quelconques actuellement disponibles exigerait des superficies cultivées bien supérieures.

Figure 29 – Zones de culture de canne à sucre



Source : Adapté de Tetti (2005).

Dans une vision prospective et sur la base de scénarios considérant la production en *clusters* (groupage d'unités de production d'éthanol), l'existence d'une logistique suffisante et les nécessités de terres pour d'autres cultures agricoles permanentes et temporaires à l'horizon de 2025, l'étude du CGEE indique une disponibilité effective de 80 millions d'hectares de

terres pour l'expansion de la culture de la canne à sucre au Brésil. En termes de demande, cette même étude a estimé à 205 milliards de litres le volume de bioéthanol nécessaire pour substituer 10% de la consommation mondiale d'essence projetée pour 2025. Supposant deux niveaux de mélange de bioéthanol dans l'essence consommée globalement (5% et 10%) et deux scénarios technologiques (l'actuel et l'amélioré), on a estimé les exigences de superficie pour approvisionner les marchés brésilien et global de sucre et de bioéthanol, en tenant compte encore du fait que 20% de la superficie doit être conservée comme réserve environnementale, avec les résultats résumés dans le Tableau 32 [CGEE (2005)].

Tableau 32 – Demande de superficies pour la production de bioéthanol visant le marché global en 2025

Scénario	Consommation globale d'éthanol (Mm ³ /an)	Technologie	Cultures de canne (Mha) pour :				Superficie totale requise	Utilisation de la terre disponible
			Production de sucre : interne et exportation	Production de bioéthanol				
				Marché interne	Exportation			
E5	102,5	Actuelle	4,5	8,5	19,0	32	40	
		Améliorée	4,0	6,0	15,0	25	31	
E10	205,0	Actuelle	4,5	8,5	38,0	51	64	
		Améliorée	4,0	6,0	30,0	40	50	

Source : CGEE (2005).

Les gains de productivité dans l'agro-industrie de la canne à sucre, dont l'obtention doit être poursuivie, et l'introduction de technologies innovatrices pour la production de bio-carburant, pourront réduire la superficie requise dans les cultures énergétiques, dans une proportion importante. Dans le Tableau 32, la dernière ligne présente les superficies requises pour répondre en 2025 à la demande interne et associée à l'exportation de sucre (4 Mha), compte tenu de l'évolution de la technologie, et aussi pour produire suffisamment de bioéthanol pour approvisionner le marché interne (6 Mha) et promouvoir le mélange de 10% de bioéthanol dans la consommation globale d'essence (30 Mha, avec une nécessité totale 40 Mha), incluant la superficie à réserver pour la protection de l'environnement (8 Mha). Cette superficie représente la moitié des superficies disponibles au Brésil pour la production bio-énergétique, montrant qu'effectivement, la disponibilité de terres en conditions adéquates ne paraît pas être un élément limitateur pour la promotion rationnelle de la production de bioéthanol pour la consommation interne et l'exportation dans les régions de production [CGEE (2005)].

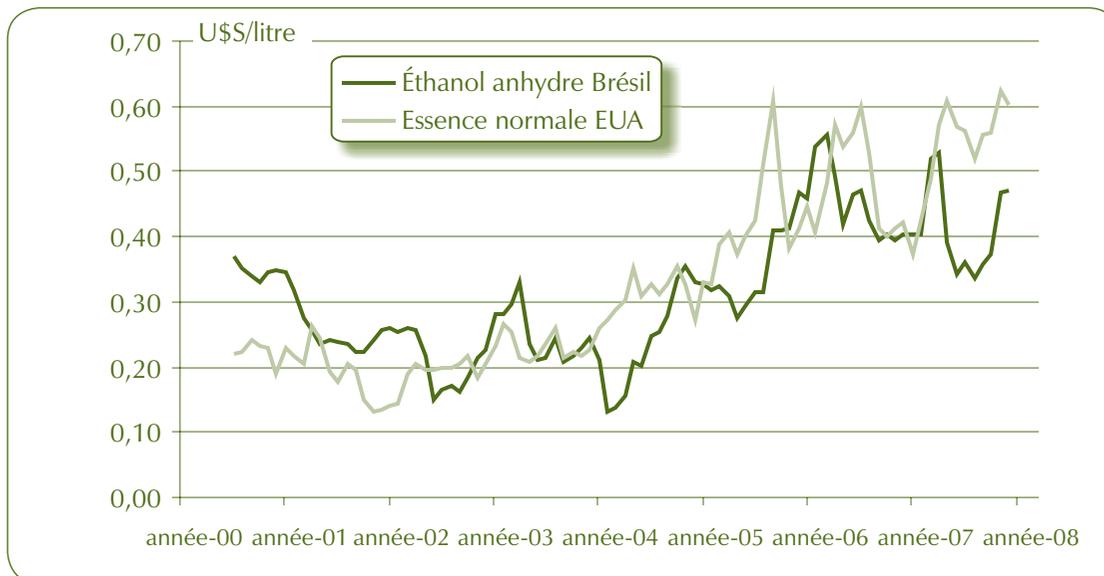
7.3 Viabilité économique du bioéthanol de canne à sucre

Il est fondamental, pour la durabilité de la production de bioéthanol, que les coûts de sa production (incluant toute l'activité agro-industrielle et les coûts associés aux investissements dans la mise en place des plantations de canne et des unités industrielles) soient couverts par les résultats économiques de cette agro-industrie. Quelques aspects économiques ont été commentés aux chapitres précédents, comme les mécanismes de formation de prix, la compétitivité du bioéthanol face à la production de sucre, l'importance économique du secteur du sucre et de l'alcool et les tendances sur une réduction soutenue des coûts au cours des dernières décennies. On reprend ci-après l'analyse économique du bioéthanol, en présentant les aspects de la compétitivité face au pétrole, la structure de coûts du bioéthanol au Brésil et les perspectives d'évolution du prix de ce biocarburant au cours des années à venir. Il est important de reconnaître, ces dernières années, que l'on a assisté à une volatilité significative des prix et des taux de change, ce qui rend une analyse économique difficile. Cependant, pour les conclusions générales recherchées, les résultats présentés ci-après sont suffisamment représentatifs.

Le faible coût de production du bioéthanol de canne à sucre au Brésil est un fait bien connu. Selon diverses sources, on estime qu'en incluant tous les intrants et les facteurs de production, son coût se situe entre 0,25 US\$/litre et 0,30 US\$/litre, ce que équivalerait à un prix du pétrole situé entre 36 US\$/baril et 43 US\$/baril. Cette équivalence se base d'un côté sur un prix de l'essence 10% plus élevé que la valeur du pétrole brut en volume, et de l'autre côté, sur la substitution de l'essence par le bioéthanol anhydre sur une base paritaire en termes volumétriques (cette dernière supposition est consistante, spécialement quand on considère un taux de mélange du bioéthanol dans l'essence inférieur à 10% - E10). Dans de telles conditions, la viabilité de l'utilisation du bioéthanol en substitution à l'essence semble évidente, mais une confirmation plus décisive de l'avantage de ce biocarburant s'impose lorsqu'on compare les prix hors taxes dans les unités de production.

Le Graphique 30 montre comment ont évolué les prix payés aux producteurs de bioéthanol de canne à sucre et ceux de l'essence, sans frets et sans taxes, se référant respectivement au prix du bioéthanol anhydre dans l'Etat de São Paulo donné par le Centre d'Etudes Avancées en Economie Appliquée (Cepea), de l'Ecole Supérieure d'Agriculture Luiz de Queiroz de l'Université de São Paulo, et le prix libre (*spot*) de l'essence normale sur la côte du Golfe du Mexique (U.S. Gulf Coast Conventional Gasoline Regular Spot Price FOB), indiqué par l'Energy Information Administration des EUA (EIA, 2008). Le Cepea suit régulièrement les prix des négociations du bioéthanol anhydre et hydraté dans quatre états brésiliens (São Paulo, Alagoas, Pernambuco et Mato Grosso), constituant ainsi une des sources d'information les plus fiables du marché.

Graphique 30 – Evolution des prix payés au producteur, sans taxes, d'essence aux EUA et de bioéthanol de canne à sucre au Brésil



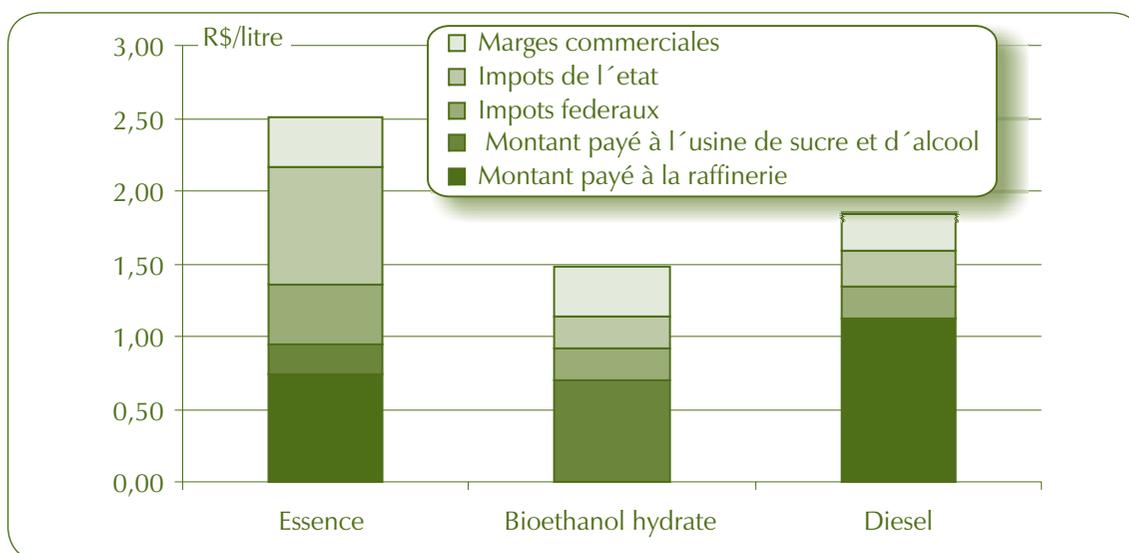
Sources : Chiffres empruntés au Cepea (2008) et EIA (2008).

L'adoption de la monnaie nord-américaine permet de comparer les prix aux EUA et au Brésil, mais elle doit être considérée avec prudence, en raison de la dévaluation significative de cette devise à partir de 2005, avec une chute de près de 30% en deux ans, qui tend à surestimer la valeur du bioéthanol produit au Brésil. De toute manière, comme on peut le constater sur les courbes des dernières années, le bioéthanol de canne à sucre a commencé à présenter des prix substantiellement plus attractifs que ceux de l'essence, au niveau du producteur, sans tenir compte ni des taxes ni des subsides quelconques. En peu de mots, ceci signifie que, dans ces conditions, l'addition de bioéthanol anhydre permet de réduire le prix moyen du combustible placé sur le marché.

Dans les conditions brésiliennes, le niveau des taxes fédérales et des états est différencié entre les divers combustibles, en raison des implications économiques et des applications typiques de chacun d'entre eux, privilégiant l'huile diesel et les biocarburants. Ainsi, sur l'essence, s'applique un niveau plus élevé de taxes en comparaison avec le bioéthanol hydraté, le gaz naturel pour véhicules et l'huile diesel. Il existe une variation raisonnable des taux d'impôts des états (Impôt sur la Circulation des Marchandises et Services – ICMS), mais, en présentant comme valeurs de référence la situation à Rio de Janeiro en mars 2008, on peut affirmer que les impôts, les frets et les marges de commercialisation qui s'appliquent sur les prix des producteurs, pour l'essence, le bioéthanol hydraté et le diesel augmentent leur prix, respectivement, de 239%, 112% et 63%, comme le montre le Graphique 31. On observe sur ce

graphique que le montant payé au producteur d'essence se réfère à un volume de 0,75 litre, étant donné que le produit livré au consommateur contient 25% d'éthanol anhydre.

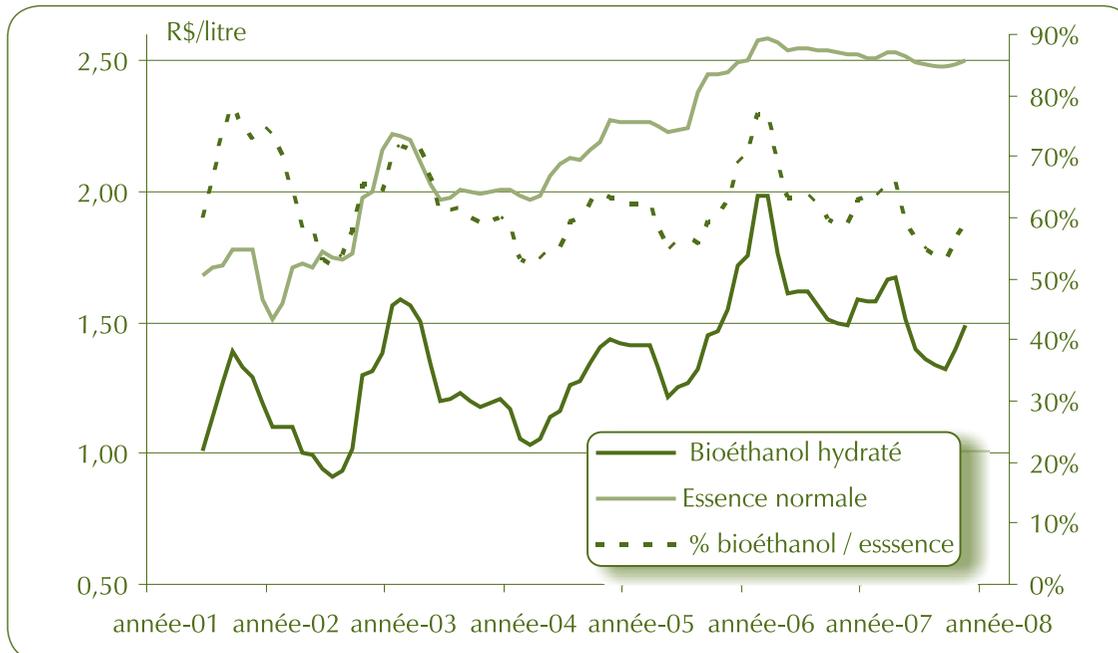
Graphique 31 – Structure des prix de l'essence normale, du bioéthanol hydraté et de l'huile diesel à Rio de Janeiro en mars 2008



Sources : Montants calculés sur base de l'ANP (2007), Cepea (2008) et Petrobras (2008).

Une autre forme pour évaluer l'attrait du bioéthanol face aux combustibles conventionnels est de comparer le prix moyen de vente au consommateur du bioéthanol hydraté avec le prix pratiqué pour l'essence normale. Dans cette logique, on peut utiliser les relevés de prix des combustibles, disponibles régulièrement auprès de l'Agence nationale du pétrole, du gaz naturel et des biocarburants, appliqués sur un large échantillonnage qui couvre tout le territoire brésilien [ANP (2007)]. En observant les séries de prix, on constate que le bioéthanol hydraté présente une bonne compétitivité à l'égard de l'essence (évaluée en coût par kilomètre parcouru) en fonction de son prix plus bas, au niveau des producteurs, et aussi à l'égard du tarif fiscal favorable, commenté au paragraphe précédent. En particulier, concernant le cas des véhicules *flexible fuel*, qui permettent à l'utilisateur d'opter pour le combustible qu'il va utiliser au moment de faire le plein, le bioéthanol est adopté, en général, jusqu'à une limite de 70% du prix de l'essence. Dans ce contexte, on observe que durant la majeure partie des dernières années, utiliser le bioéthanol au lieu de l'essence est devenu plus intéressant, excepté durant de rares et courtes périodes de quelques semaines, comme le montre le Graphique 32. Dans ce graphique, on peut observer également le modèle approximativement régulier de variation des prix, qui montent en fin de récolte et baissent au début de celle-ci, vers le milieu du premier semestre.

Graphique 32 – Evolution des prix moyens au consommateur du bioéthanol hydraté et de l'essence normale et du rapport entre ces prix au Brésil



Source : Elaboré sur base de l'ANP (2007).

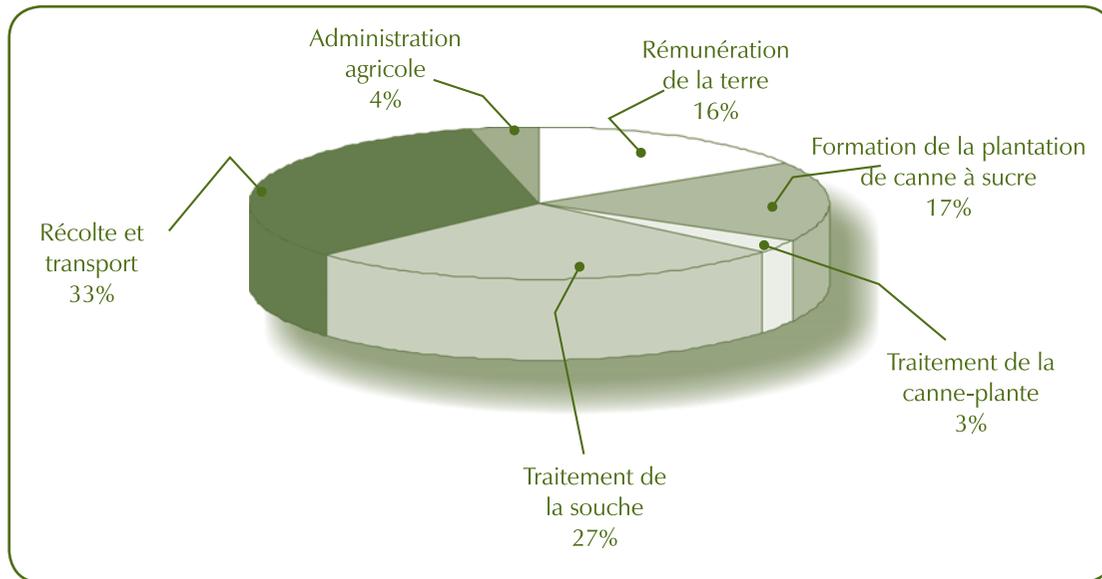
Les données antérieures se rapportent aux montants pratiqués effectivement sur les marchés des combustibles, signalant de façon claire la compétitivité du bioéthanol pour les consommateurs. Cependant, il est également intéressant d'évaluer les coûts de production de ce biocarburant et de vérifier si les prix ont rémunéré de manière adéquate les producteurs. Pendant longtemps, au Brésil, les coûts de l'agro-industrie du sucre et de l'alcool étaient vérifiés par un audit du gouvernement fédéral, qui définissait tous les prix le long de la chaîne de production et de commercialisation. Cependant, à partir de la récolte de 1998, commença le processus de libération de cette agro-industrie, conclu en 2002, comme expliqué en détail dans le chapitre précédent. Actuellement, les agents économiques décident leurs prix librement, sur base de stratégies de la logique de marché, en tenant compte des stocks et des perspectives d'évolution des marchés du sucre et des combustibles. Dans ce contexte compétitif, estimer les coûts est une tâche généralement complexe, car, outre la grande diversité des situations, avec différentes productivités et technologies utilisées, le principal composant du coût du bioéthanol est la matière première, qui peut être produite par la société qui la traite sur des terrains loués ou cultivés par des producteurs indépendants. La difficulté de connaître les coûts de production de manière sûre n'est pas seulement la caractéristique du marché du bioéthanol : de façon analogue, les coûts de production détaillés pour le pétrole et le gaz naturel sont peu disponibles.

Dans l'étude réalisée par le Nipe/Unicamp, on a estimé pour la région Centre-Sud, en 2005, un coût moyen de R\$ 33,16 par tonne de canne rendue dans la cour de l'usine, et broyé comme le montre le Graphique 33 [CGEE (2005)]. Dans cette même étude, on estime un coût de R\$ 24,59 par tonne de canne à Goiás, spécialement à cause du coût plus faible de la terre.

L'Association Rurale des Fournisseurs et des Planteurs de Canne du Moyen Sorocabana (Assocana) a fait une évaluation plus récente des coûts de production de la canne à sucre, en tenant compte d'un cycle de cinq coupes en six ans et en incluant les activités d'implantation de la culture de canne à sucre, la préparation du sol, la mise en terre des boutures, la récolte et le transport, et en prenant en considération tous les facteurs de production (intrants, équipements, terre, main-d'oeuvre) [Assocana (2008)]. Cette étude estime pour avril 2008 un coût moyen de R\$ 2.513,50 par hectare, pour chaque coupe, ce qui donne comme coût moyen de la canne R\$ 35,00. Considérant un prix de la matière première entre R\$ 26,00 et R\$ 35,00, un taux de change de R\$ 2,00 par US\$ et une productivité industrielle de 85 litres de bioéthanol par tonne de canne traitée, il en résulte que la contribution de la matière première au coût du bioéthanol est de US\$ 0,153 à US\$ 0,206 par litre. Ces chiffres semblent être représentatifs des coûts moyens actuels dans la Région Centre-Sud brésilienne et se situent bien au-dessus des US\$ 0,12 par litre que l'on indiquait habituellement comme étant la part de matière première présente dans le coût du bioéthanol à la fin des années 1990, bien qu'il faille observer que ce prix a été assez inflationné ces dernières années en fonction de l'augmentation des coûts des équipements, des fertilisants et des produits agrochimiques, entre autres. Du point de vue des applications alternatives de cette matière première, la valeur de la tonne de canne va dépendre naturellement des prix du sucre, qui ont atteint des niveaux de US\$ 0,27 par litre de bioéthanol équivalent au milieu de l'année dernière.

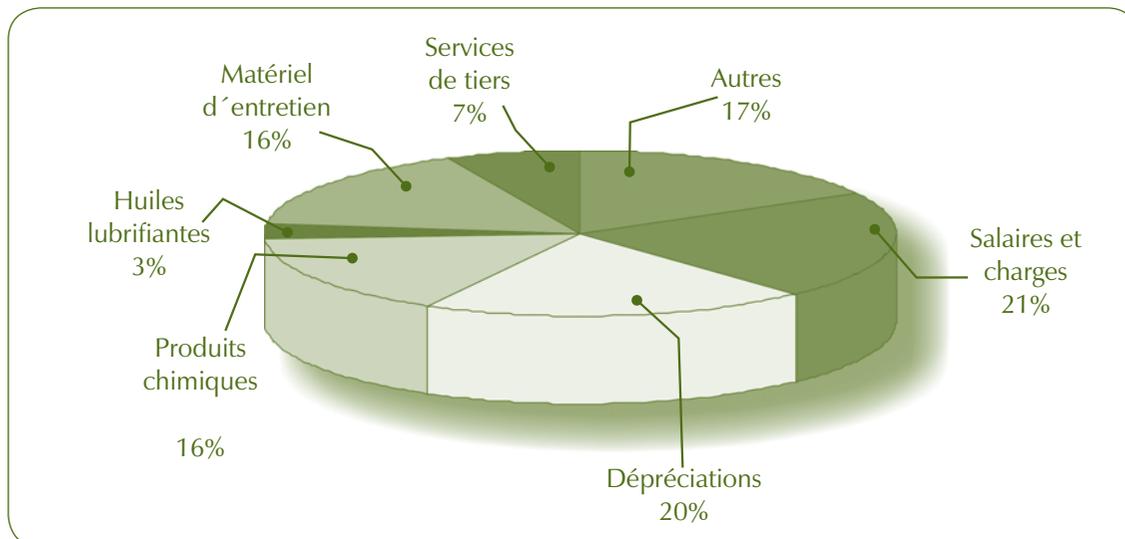
Les coûts relatifs à l'investissement industriel, à l'opération et à la manutention de l'unité de traitement de la canne et la production de bioéthanol ont également augmenté ces dernières années, spécialement à cause des augmentations des prix des équipements et des matériels. L'étude réalisée par le Nipe/Unicamp a estimé qu'une usine d'une capacité annuelle de traitement de deux millions de tonnes de canne à sucre pourrait coûter près de US\$ 97 millions. Cela correspond à des coûts de capital de US\$ 0,13, estimés pour un taux interne de rémunération de 12% et un rapport dette/capital de 50%, avec 8% de taux d'intérêt et une production de 40 kWh d'énergie électrique excédente par tonne de canne traitée, commercialisés à US\$ 57 par MWh. Pour cette unité, on a estimé les coûts d'opération et de manutention (y compris la dépréciation) de US\$ 0,07 par litre de bioéthanol produit, avec la structure présentée au Graphique 34 [CGEE (2005) et Almeida et al. (2007)].

Graphique 33 – Structure des coûts de production de la canne à sucre dans le Centre-Sud en 2005



Source : CGEE (2005).

Graphique 34 – Structure du coût d'opération et de maintenance d'une distillerie autonome pour la production de bioéthanol de canne à sucre au Centre-Sud en 2005



Source : CGEE (2005).

Dans ce contexte, en considérant tous les facteurs – matière première, opération, manutention et investissement –, le coût du bioéthanol de canne à sucre se situe entre US\$ 0,353 et US\$ 0,406 par litre de bioéthanol, valeurs correspondantes au pétrole entre US\$ 50 et US\$ 57 le baril équivalent.

Il est probable que, dans les usines en phase d'implantation dans les nouvelles zones productrices, les coûts du bioéthanol soient inférieurs, compte tenu de la localisation de ces usines, avec une plus forte densité des plantations de canne à sucre (coûts de transport plus bas) et du fait qu'elles se consacrent uniquement à la production de biocarburant, réduisant ainsi les coûts de la matière première et les investissements. D'un côté, considérant les usines plus anciennes et déjà complètement amorties, le bioéthanol devra présenter des coûts d'ordre financier plus faible ; de même, les niveaux plus élevés de production d'énergie électrique sur la base de la bagasse tendent d'une manière générale à améliorer les indicateurs de cette agro-industrie. Une autre remarque importante concerne l'impact du taux de change adopté, car la valorisation significative de la monnaie brésilienne ces dernières années a fait croître la valeur des produits de l'agro-industrie du sucre et de l'alcool, quand on les évalue en devises.

Considérant les possibilités de continuité dans le processus d'augmentation de la productivité agricole et industrielle, présentées précédemment, il est raisonnable d'espérer que les coûts de production du bioéthanol de canne à sucre demeurent stables ou se réduisent en termes relatifs, tandis que, du côté des combustibles fossiles, les scénarios attendus sont le maintien des prix élevés, sans perspectives de réduction aux niveaux pratiqués il y a quelques décennies [IEA (2007)]. Donc, du point de vue économique, la production de bioéthanol de canne à sucre se révèle durable, avec des prix et des coûts effectivement viables, sans nécessité de subsides pour soutenir la compétition avec les combustibles conventionnels.

7.4 Création d'emplois et de revenu dans l'agro-industrie du bioéthanol

Le rapport important entre la production de bioéthanol de canne à sucre et la demande de main-d'oeuvre est un thème central sur la bioénergie au Brésil et certainement déterminant pour sa viabilité sociale. L'agro-industrie de la canne à sucre est créatrice d'emplois : sur base du Rapport Annuel d'Informations Sociales (Rais), du Ministère du Travail et de l'Emploi, et de l'Enquête Nationale par Échantillonnage de Domiciles (PNAD), réalisée périodiquement par l'IBGE, on estime qu'en 2005, 982.000 travailleurs étaient engagés directement et formellement dans la production du sucre et de l'alcool [Moraes (2005)]. D'après une étude basée sur la Matrice Intrans-Produit de l'économie brésilienne, en 1997, pour chaque emploi direct dans ce secteur, il existe 1,43 emploi indirect et 2,75 emplois induits [Guilhoto (2001)], ce qui permet d'estimer pour 2005 un total de 4,1 millions de personnes dépendant, d'une

manière ou d'une autre, de l'activité de l'agro-industrie de la canne, au cas où ces rapports demeurent inchangés. Ces emplois se répartissent de manière importante dans une bonne partie du territoire brésilien et couvrent une gamme de compétences et de formations, mais, dans leur majeure partie, ce sont des emplois de basse qualification.

Avec l'évolution des technologies employées, on observe une croissance plus lente des besoins en personnel, ainsi qu'une élévation de la formation requise et une augmentation de la qualité du travail exécuté. Cette dynamique a motivé de nombreuses études dans le contexte de l'économie et de la sociologie rurales, qui donnent une vision complète des processus en cours et de leurs implications. Les prochains paragraphes aborderont les questions associées à la création d'emplois et de revenu dans le contexte de la production de bioéthanol. Initialement, on reverra les données relatives des niveaux d'emplois et leur évolution récente, pour discuter ensuite leurs perspectives, spécialement celles associées à l'expansion de la mécanisation de la récolte de la canne.

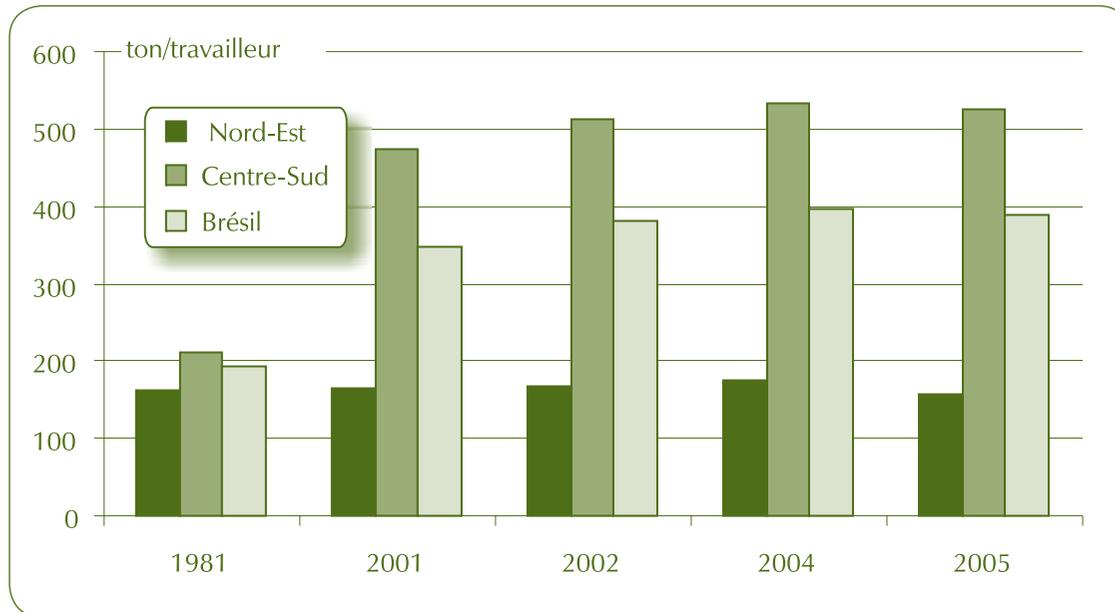
Dans le total des emplois directs et formels de l'agro-industrie du sucre et de l'alcool, qui s'est développée de manière significative ces dernières années, comme le montre le Tableau 33, où 63% se rapportent au Centre-Sud où l'on produit plus de 85% de la canne brésilienne, ce qui signifie une augmentation de la productivité du travail dans cette région. Dans ce contexte, le nombre de travailleurs par unité de production dans la région Nord-Est est de trois à quatre fois plus élevé que celui observé dans la région Centre-Sud [Macedo (2005)]. En effet, en mettant en rapport les données de production de canne [Mapa (2007)] avec le nombre de personnes employées dans le secteur [Moraes (2007)], on obtient la productivité par travailleur, indiquée par le Graphique 35. Ce graphique démontre de façon évidente le gain de productivité significatif dans l'agro-industrie dans la Région Centre-Sud, avec des niveaux supérieurs à 500 tonnes de canne par travailleur, tandis qu'aucune altération n'est constatée pour la région Nord-Est.

Tableau 33 – Emplois directs formels par activité et région du secteur du sucre et de l'alcool

Activité	Région	Année			
		2000	2002	2004	2005
Production de canne	Nord Nord-Est	81.191	86.329	104.820	100.494
	Centre Sud	275.795	281.291	283.820	314.174
	Brésil	356.986	367.620	388.121	414.668
Production de sucre	Nord Nord-Est	143.303	174.934	211.864	232.120
	Centre Sud	74.421	126.939	193.626	207.453
	Brésil	217.724	301.873	405.490	439.573
Production de bioéthanol	Nord Nord-Est	25.730	28.244	26.342	31.829
	Centre Sud	42.408	66.856	80.815	96.534
	Brésil	68.138	95.100	107.157	128.363
Toutes productions	Brésil	642.848	764.593	900.768	982.604

Source : Moraes (2005).

Graphique 35 – Productivité moyenne des travailleurs de l’agro-industrie de la canne à sucre au Brésil



Source : Moraes (2005).

La plantation de la canne, les opérations culturales et, principalement, sa récolte, représentent les besoins les plus importants en personnel temporaire dans une usine de sucre et de bioéthanol, correspondant à environ 70% de la main-d’œuvre engagée, avec des niveaux d’emplois distincts pour les périodes de récolte et entre deux récoltes. Pour une unité agro-industrielle moderne, qui traite annuellement deux millions de tonnes de canne, environ 2.500 personnes sont nécessaires, nombre qui peut varier assez bien en fonction du degré technique de l’usine et du niveau de mécanisation [Macedo (2005)]. Dans l’étude réalisée par le Nipe/Unicamp, considérant des groupes de 15 usines productrices de bioéthanol, d’une capacité de broyage également de deux millions de tonnes de canne chacune, on estime une création totale de 22.000 emplois [CGEE (2005)].

Le rapport entre les niveaux d’emploi durant la récolte et entre deux récoltes est dénommé coefficient de saisonnalité et permet de vérifier la variabilité de la demande de personnel au cours de l’année. La saisonnalité des emplois dans l’agro-industrie de la canne se réduit suite à l’extension des récoltes et à l’augmentation de la mécanisation. Les valeurs, à São Paulo, sont passées de 2,2 en 1980, à 1,8 à la fin des années 1980, et ont atteint 1,3 au milieu des années 1990 [Macedo (2005)]. A titre de référence, le coefficient de saisonnalité du riz est 7, celui des haricots noirs se situe entre 3 et 4,5, celui de l’orange est de 7,8, celui du soja oscille entre 3,5 et 12 et celui du coton atteint 40, ce qui signifie que l’emploi dans ces cultures au cours du temps est bien plus inégal que dans le cas de la canne [Leite (1990)].

Outre le nombre de postes de travail offerts, leur qualité est également importante. Dans ce sens, il est intéressant de réviser le travail de Balsadi (2007) sur l'évolution de la qualité de l'emploi dans l'agriculture brésilienne entre 2001 et 2004, pour les principales cultures et les différents types de rapports de travail. Sur base des données détaillées du PNAD, on a adopté comme variables le niveau éducatif des employés, le degré de formalité de l'emploi, le rendement reçu au travail principal et les aides reçues par les employés, pour définir les indices quantitatifs et établir une évaluation objective de la qualité des emplois. Ses conclusions indiquent des améliorations importantes dans divers indicateurs socio-économiques pour les travailleurs dans la culture de la canne à sucre au Brésil ces dernières années :

- Augmentation du niveau de titularisation de l'emploi, avec un pourcentage élevé de travailleurs titulaires d'une carte de travail signée (ce qui donne accès à la pension et à d'autres droits, comme le paiement d'heures supplémentaires et l'assistance médicale), ce qui fait de la culture de la canne à sucre une des activités dotées du meilleur niveau de titularisation en milieu rural ;
- Gains réels de salaires entre 1992 et 2005, de 34,5% pour les employés permanents avec résidence urbaine, de 17,6% pour les permanents ruraux, de 47,6% pour les temporaires urbains et de 37,2% pour les temporaires ruraux ; et
- Augmentation et diversification des bénéfices reçus par les travailleurs, comme les aides pour le transport et l'alimentation dans toutes les catégories, outre l'aide au logement pour les résidents ruraux et l'aide-santé pour les employés permanents résidant en ville.

Dans cette étude, on montre encore comme faits positifs la réduction significative du travail infantile (participation de 0,8% à peine en 2004, en comparaison avec 1993, dans le Pernambuco où 25% des coupeurs de canne étaient âgés de 7 à 17 ans) et l'augmentation de la scolarité des employés. D'autres chercheurs ont exposé des conclusions similaires, renforçant le rôle de l'organisation des travailleurs, des conventions collectives de travail et de la législation travailliste, comme composants importants dans l'obtention de ces progrès. C'est le cas particulier de la Région Centre-Sud où le niveau moyen de scolarité des travailleurs dans la production de canne et dans l'industrie du bioéthanol, en 2005, était supérieur à cinq et à neuf ans, respectivement. Dans les mêmes conditions, le salaire moyen en 2005 était de US\$ 280,00 et US\$ 509,00, respectivement, pour la production de canne et de bioéthanol [Moraes (2007)].

Malgré les améliorations obtenues, il existe encore des situations difficiles, principalement pour les employés temporaires occupés à la récolte annuelle de la canne à sucre où les conditions de travail sont bien plus ardues que dans l'industrie et où le système de paiement adopté est fonction du volume de canne coupée. D'aucuns mettent en question ce système, affirmant qu'il cause des situations de fatigue extrême pour les coupeurs de canne [Alves (2006)]. Cependant, ce thème est objet de controverse. La fin du paiement par production ne

fait pas l'unanimité des syndicats, et une partie des travailleurs est en faveur de son maintien. Comme représentant des usines, l'Unica s'est montrée opposée à la fin de ce système de rémunération, bien qu'elle déclare chercher, avec les usines, à garantir l'accomplissement effectif des normes en vigueur visant le paiement correct des coupeurs, conformément aux dispositions des conventions collectives de travail [Moraes (2007)].

Dans ce contexte de valorisation accrue du travailleur, l'agro-industrie de la canne traverse une transition importante, conséquence des gains de productivité agro-industrielle, associés aux innovations mécaniques, physiques, chimiques et biologiques, qui permettent d'augmenter la production tout en maintenant la demande d'intrants et de ressources. Parmi ces innovations, citons la mécanisation croissante de la récolte, découlant à son tour de la nécessité d'éliminer progressivement le brûlis au cours des prochaines années, et de réduire les coûts de la récolte, entre autres facteurs. On estime que, pour la saison 2006/2007, la récolte mécanisée a été adoptée dans 40% des plantations de canne à sucre dans le Centre-Sud, suivant une tendance croissante, en fonction de laquelle plus de 400 récolteuses mécaniques sont vendues chaque année, chacune d'elles exécutant le travail de 80 à 100 coupeurs de canne [CGEE (2007)]. Tôt ou tard, ce modèle de production de canne sera reproduit dans d'autres régions de Brésil, avec un impact évident sur le niveau d'emploi. Pendant la période 2000–2005, face à une augmentation de 28,8% dans la production de canne, l'expansion du nombre d'emplois a été de 18%. On estime qu'à partir de 2020, il n'existera pratiquement plus de coupe manuelle de canne dans l'État de São Paulo, et l'on prévoit également que, entre 2006 et 2020, l'effectif des employés de l'agro-industrie de la canne à sucre dans cet état passera de 260.000 à 146.000 travailleurs, même avec une augmentation 20.000 emplois dans l'industrie [Moraes (2007)].

Pour affronter ces nouveaux temps, deux lignes d'action, en rapport direct avec les travailleurs, peuvent être mises en oeuvre : d'une part, en offrant et en stimulant des activités économiques alternatives pour les travailleurs potentiellement démis dans leurs lieux d'origine, et d'autre part, en renforçant la préparation de ressources humaines pour l'agro-industrie. Dans les deux cas, il ne s'agit pas de tâches triviales, mais il importe de les traiter comme priorité. L'élévation des exigences de formation de personnel par les usines brésiliennes, dans tous les domaines et aux divers niveaux de responsabilité, a déjà motivé un grand effort en vue de répondre à cette demande croissante de main-d'oeuvre spécialisée, en particulier au moyen de cours de niveau moyen et supérieur orientés spécifiquement vers la production de canne et de bioéthanol. Une troisième possibilité serait de réduire le rythme de la perte d'emplois pour les coupeurs de canne, par exemple, en adoptant des technologies intermédiaires comme l'Unité Mobile d'Aide à la Récolte (Unimac), qui ne remplace qu'en partie la main-d'oeuvre, représentant d'avantage de sécurité et de confort pour les coupeurs de canne sans brûlis et avec récupération de la paille [Alves (2007)].

Il convient d'observer que, même avec des réductions significatives de la demande de main-d'oeuvre, le bioéthanol de canne à sucre sera toujours générateur d'emplois. Dans les conditions actuelles et par unité d'énergie produite, la production du bioéthanol, comparée à celle

du charbon minéral, de l'hydroélectricité et du pétrole, requiert respectivement, 38, 50 et 152 fois plus de travail humain [Goldemberg (2002)]. Par exemple, alors que chaque véhicule utilisant comme combustible des dérivés du pétrole requiert un homme-an de travail pour assurer sa consommation, Leal (2005) montre que l'introduction de 24% de bioéthanol comme additif à l'essence élève cette demande de personnel à six hommes-an et, si on utilise le bioéthanol hydraté pur, ce même véhicule aura besoin de 22 travailleurs pour produire son biocarburant.

La création d'opportunités de travail et la perspective de leur distribution parmi les travailleurs de la valeur ajoutée dans la chaîne productive sont deux des caractéristiques les plus importantes de la bioénergie et, en particulier, du bioéthanol de canne à sucre, et constitue un différentiel important entre cette technologie énergétique et ses celles provenant d'autres cultures. Même si l'on adoptait des technologies de haute productivité et de moindre impact sur la demande de main-d'oeuvre, tendance apparemment inexorable, la production de bioéthanol demeurera une grande créatrice d'emplois, avec une qualité toujours meilleure et avec une élévation des exigences de formation et de rémunération moyenne. En outre, il est important de reconnaître le rôle notable de l'activité agro-industrielle comme créatrice de revenu et comme levier de l'activité économique locale et régionale, avec des bénéfices indirects significatifs. On ne peut considérer en aucune manière les activités exténuantes et de basse productivité comme inhérentes à la bioénergie. La réduction progressive de la récolte manuelle de la canne doit être vue comme un progrès souhaitable et dans le sens d'une plus grande durabilité dans cette agro-industrie.

L'éthanol de canne à sucre et la question des propriétés de terres

Un aspect lié au rôle du bioéthanol dans la création d'emplois et de revenu en milieu rural est en rapport avec la concentration des propriétés de terres associée à l'expansion de sa production. De manière générale, ce thème s'insère dans un des principaux défis pour le développement harmonieux de l'économie brésilienne : la compatibilité des demandes sociales pour l'accès à la terre, avec la mise en oeuvre d'une base productive efficiente et compétitive en milieu rural. Dans le cas de l'agro-industrie du sucre et de l'alcool, cette question gagne une densité accrue en raison des superficies occupées et du niveau de verticalisation existant, sur lequel pèse l'existence de milliers de fournisseurs de canne et de locataires des terres. En effet, la production de canne et de bioéthanol présente une économie d'échelle significative, qui se développe grâce à l'adoption progressive des technologies plus productives et à la dilution correspondante des coûts fixes en raison d'un plus grand volume de produit. Dans ces conditions, dans les unités de plus grande capacité, on constate une réduction effective des coûts, justifiant le processus de concentration progressive des propriétés, dans le cadre de la législation agraire.

Cette tendance est aggravée par le faible attrait d'une grande partie des activités d'agriculture et d'élevage et par le vide économique de certaines régions, où la culture de la canne à sucre devient une des rares alternatives viables, si l'on considère seulement les cultures tradition-

nelles. Comme dans les autres aspects commentés aux paragraphes précédents, il incombe à l'État de jouer un rôle décisif, pour stimuler non seulement la production bioénergétique, mais aussi celle d'autres biens d'agriculture et d'élevage, préservant ainsi l'efficience économique et les petits entrepreneurs ruraux. Il ne semble pas qu'il y ait ici un conflit insoluble, surtout face à l'ample disponibilité de terres et aux perspectives des marchés agricoles, y compris des alternatives innovatrices de culture et d'élevage, qui permettent un gain de valeur par unité de production plus important que dans la production bioénergétique.

Cependant, pour préserver l'agriculture familiale et son modèle de production agricole, il a été suggéré d'encourager la production de biocarburants de manière décentralisée et à des échelles qui permettent l'insertion du petit agriculteur en tant que producteur de biocarburant, associée à l'implantation de pratiques agroécologiques et à une éventuelle réduction de déplacements entre les zones productrices et les centres consommateurs. Ces possibilités doivent encore démontrer leur viabilité, étant donné que l'on présuppose des modèles productifs assez différents de ceux pratiqués actuellement. L'expérience réduite des micro et minidistilleries de bioéthanol, pour la production de 1.000 à 5.000 litres par jour (valeurs typiques), respectivement, ne permet pas d'assurer qu'elles constituent une alternative à promouvoir, et elle requiert une vision innovante de la technologie de production du bioéthanol de canne à sucre. A ce titre, un point important est la nécessité d'associer la production de bioéthanol à d'autres activités d'agriculture et d'élevage, de manière à compenser les activités la basse productivité, caractéristique inhérente à ces unités, avec des systèmes d'extraction, de fermentation et de distillation nécessairement simplifiés, permettant une productivité de 40 litres de bioéthanol par tonne de canne traitée, soit environ la moitié du rendement constaté dans les usines de plus grande taille [Horta Nogueira (2006)]. Une possibilité à exploiter pour améliorer cette situation serait l'association de la production de bioéthanol avec l'élevage bovin, qui pourrait valoriser la bagasse disponible durant la récolte, comme élément volumineux dans l'alimentation du bétail destiné à l'abattoir. De toute manière, dans l'analyse de systèmes efficaces, la production de bioéthanol de canne à sucre s'est révélé plus adéquate, jusqu'ici, à des échelles industrielles, et probablement, pour les coopératives de producteurs associées aux usines conventionnelles, c'est une alternative plus consistante que celle des petites usines productrices.

Toujours à propos de la concentration économique et de ses implications, il est nécessaire de constater que l'agro-industrie du bioéthanol, telle que pratiquée au Brésil, pourra être considérée comme facteur relatif de concentration, si on la compare à d'autres activités agricoles et d'élevage, bien que, comparée aux activités de nature énergétique, parmi lesquelles on peut la classer également, elle se présente comme une industrie hautement décentralisée, avec des milliers de fournisseurs et avec les groupes industriels plus importants qui ne parviennent pas à contrôler 10% de la capacité totale de production. En effet, la décentralisation est une caractéristique incontournable de la bioénergie, qui a besoin de larges espaces pour capter l'énergie solaire.

Effets induits en d'autres secteurs de l'économie

L'articulation globale de l'agro-industrie du bioéthanol avec d'autres secteurs économiques, en amont et en aval de la production et du traitement de la canne à sucre, distribue les bénéfices obtenus dans ce secteur d'une façon assez intéressante. Un relevé dans ce sens, utilisant un modèle élargi de matrices intrant-produit, montre comment toute l'économie nationale tend à se développer en fonction de la croissance de la production du bioéthanol [CGEE (2005)]. Sans parler, bien sûr, des secteurs producteurs de canne à sucre et d'éthanol, et en comptant les effets indirects et induits, les secteurs de produits chimiques divers (qui incluent les fertilisants), le raffinage de pétrole, le commerce, la logistique et les locations d'immeubles, seront les plus touchés.

Tableau 34 – Impacts directs, indirects et induits pour le traitement d'un million de tonnes de canne à sucre pour la production d'alcool

Secteur	Valeur de production (R\$ million)	Valeur ajoutée (R\$ million)	Emplois
Canne à sucre	44,5	20,8	1.467
Produit de l'agriculture et de l'élevage	14,3	8,1	697
Sucre	8,0	2,7	31
Alcool	97,8	38,9	211
Electricité	6,8	7,3	37
Extraction minérale	0,3	0,2	4
Sidérurgie, exploitation minière et métallurgie	7,1	2,1	48
Machines, véhicules et pièces	9,3	4,2	51
Pétrole et gaz	29,5	12,1	12
Secteur chimique	13,9	4,7	41
Aliments	15,4	3,1	93
Construction civile	1,3	0,8	23
Produit de la transformation	16,8	5,7	287
Commerce et services	81,3	53,0	2.679
Familles	–	7,3	–
Total	346,3	171,0	5.683

Source : Scaramucci et Cunha (2008).

Utilisant une matrice ajustée pour 2002 et considérant les résultats obtenus comme indicatifs, on estime dans cette étude que, pour mettre en production une unité d'une capacité annuelle d'un million de mètres cubes de bioéthanol, on réunirait R\$ 119 millions par an

du aux investissements. Durant l'opération, environ R\$ 1,46 milliard serait produit annuellement, en comptant les effets directs, indirects et induits [CGEE (2005)]. Dans une extension de cette étude, pour les conditions observées dans le Centre-Sud brésilien, on estime que le traitement d'un million de tonnes de canne destinée à la production de bioéthanol correspond à une augmentation de R\$ 171 millions dans la production économique et à la création de 5.683 emplois, considérant en parallèle les effets directs, indirects et induits comme le montre le Tableau 34.

7.5 Certification et durabilité de l'agro-industrie du bioéthanol

Pour assurer l'observation des critères de durabilité dans la production de bioéthanol et de biodiesel, il a été proposé, principalement par des pays industrialisés, des systèmes de certification pour garantir explicitement que les biocarburants soient produits et distribués de manière suffisamment durable, et peuvent donc être utilisés à des fins environnementales.

L'établissement de critères et de modèles de durabilité largement acceptés rencontre comme difficulté principale la complexité inhérente de systèmes bioénergétiques, avec leur gamme de matières premières, de technologies, et de contextes de production. Il convient de noter encore que les systèmes de certification pour biocarburants, sur des bases volontaires ou obligatoires, ne disposent pas encore d'un ensemble de normes légales pour leur soutien, bien que ces systèmes puissent être un jour utilisés dans le contexte des engagements d'atténuation du changement climatique, de la protection de la biodiversité et des traités commerciaux.

La certification est typiquement une exigence imposée par les consommateurs aux producteurs. De cette manière, la conception de systèmes de certification impose un traitement objectif et soigné des aspects de durabilité, et leur mise en oeuvre implique nécessairement l'existence d'agents de contrôle indépendants, qui garantissent l'équilibre et l'exemption indispensables. Il existe un risque, non négligeable, que des systèmes de certification mal conçus servent comme barrières commerciales additionnelles et agissent comme mesures protectionnistes, restreignant l'espace des alternatives effectivement durables, et privilégiant les bioénergies inefficaces. Une autre préoccupation du côté des producteurs est le coût des systèmes de certification, qui peut rendre non viable la production sur une petite échelle.

On trouvera ci-après les principaux efforts actuellement en cours pour évaluer et éventuellement pour certifier la durabilité des biocarburants (GBEP, 2007) :

- En janvier 2007, la Commission Européenne a établi comme objectif (non-obligatoire) l'introduction, d'ici à 2020, d'une teneur de 10% de biocarburants (éthanol et biodiesel) dans les combustibles utilisés pour le transport dans chaque pays membre, et un système d'évaluation de la durabilité, actuellement en développement, sera rendu obligatoire.

- En plus de l'exigence d'une teneur de 5% de combustible d'origine renouvelable dans tout combustible pour automobile vendu au Royaume-Uni en 2010, comme défini dans la Renewable Transport Fuel Obligation (RTFO), les producteurs de biocarburant devront faire un rapport sur le bilan de gaz à effet de serre et l'impact environnemental de leurs produits (The House of Commons, 2008).
- En Hollande, c'est en 2006 que commença le développement de critères de durabilité pour la bioénergie, avec des activités en cours pour tester ces critères en des projets-pilote et définir les systèmes de surveillance et de certification. Un exercice global sur les indicateurs possibles présente un jugement favorable au bioéthanol produit au Brésil, en particulier dans l'État de São Paulo [Smeets et al. (2006)].
- En Allemagne, on a révisé récemment la législation d'encouragement aux biocarburants, y compris les exigences obligatoires d'observation des critères de durabilité, sur base de la matière première, de la protection de l'habitat naturel et de la réduction des émissions de gaz à effet de serre.
- Dans le cadre du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (Unep), une discussion est en cours au sujet de la définition de critères de durabilité pour les biocarburants, en suggérant d'adopter des objectifs concrets et des instruments pour leur mise en oeuvre. Dans ce sens, l'Unep travaille en étroite collaboration avec des institutions gouvernementales, des entités privées et des représentants de la société civile, dont notamment le Global Bioenergy Partnership et la Roundtable on Sustainable Biofuels, commentés plus loin [Unep (2008)].
- L'Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO) développe actuellement le projet « Sécurité Alimentaire et Bioénergie » (Bioenergy and Food Security), dans le but d'établir un ensemble analytique de données pour l'évaluation des impacts sur l'approvisionnement en aliments déterminés par l'expansion de la production de bioénergie, considérant les systèmes basés sur les produits alimentaires et ceux dénommés systèmes bioénergétiques de seconde génération [BFS/FAO (2008)].
- La FAO et l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel, (Unido) préparent un projet pour le Fonds Global pour l'Environnement (Global Environment Facility – GEF), en vue d'orienter les pays quant aux conditions environnementales et socio-économiques pour la production, la conversion et l'utilisation durables de biocarburants.
- La Table Ronde sur les Biocarburants Durables (Roundtable on Sustainable Biofuels – RSB), dirigée par le Centre d'Énergie de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne, en Suisse, est une initiative internationale qui réunit des agriculteurs, des entreprises, des organisations non gouvernementales, des spécialistes, des agences

internationales et de gouvernements intéressés à garantir la durabilité de la production et de la conversion des biocarburants. Dans ce sens, elle promeut une série de réunions, de téléconférences et de débats cherchant à construire un consensus autour des principes et des critères dans la production de biocarburants durables. Les principes retenus pour l'évaluation de la durabilité dans la production des biocarburants sont disponibles pour analyse [Frie et al. (2006) et EPFL (2008)].

- Le groupe de travail international IEA Task 40, dans le cadre de l'Accord de Bioénergie de l'Agence Internationale de l'Énergie, développe des activités centrées sur le commerce international de biomasse et de bioénergie, leurs implications et leurs perspectives, en travaillant spécifiquement au développement de systèmes de certification, de standardisation et de terminologie pour la promotion du commerce international de vecteurs bioénergétiques sur des bases durables, fournissant une analyse et des informations importantes sur les efforts en cours dans ce domaine [IEA Bioenergy (2008)].
- Les gouvernements du Brésil, des États-Unis et de l'Union Européenne, principaux producteurs mondiaux de biocarburants et membres du Forum International des Biocarburants (International Biofuels Forum – IBF), ont divulgué en février 2008 le Livre blanc sur les spécifications de biocarburants compatibles internationalement, avec une analyse des spécifications actuelles, conduite par un groupe international de spécialistes dans le but de faciliter l'expansion du commerce de ces produits. Les efforts initiaux vont dans le sens de développer des procédures, des systèmes et des matériels de référence pour les tests de qualité en bioéthanol et biodiesel, et même pour permettre, au moyen de méthodes analytiques, de déterminer si un combustible provient de sources renouvelables [NIST (2008)].

Le secteur privé dans le domaine des combustibles, spécialement en Europe, considère la durabilité comme un facteur important dans le développement de la bioénergie, et quelques entreprises développent des procédures propres qui garantissent l'acquisition de produits durables. Cependant, la majeure partie des entreprises intéressées à acquérir et à vendre des biocarburants durables cherche à s'impliquer dans les processus avec une participation d'avantage diversifiée, vue comme plus légitime par les consommateurs. Comme exemple, BP, DuPont, Petrobras et d'autres grandes entreprises participent à la Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB). Dans le domaine d'autres produits d'origine agricole, des systèmes de certification des aspects de durabilité analogues ont été implantés également, comme par exemple pour le bois, le soja et l'huile de palme.

Comme dernière initiative à citer, destinée à garantir les modèles de durabilité dans la production de bioéthanol, le Protocole Agro-Environnemental, signé en 2006 par le gouvernement de l'État de São Paulo et l'Unica, a mis en oeuvre le Programme Bioéthanol Vert pour encourager les bonnes pratiques du secteur du sucre et de l'alcool au moyen d'un certificat de conformité, et pour déterminer un protocole standard à suivre par les producteurs. En phase

de mise en opération et en application sur une large échelle dans tout l'état, l'instrument couvre quelques-uns des principaux points de réduction d'impacts de la culture, comme l'anticipation des délais d'élimination du brûlage de la paille de la canne, la protection des sources et des forêts restantes, le contrôle des érosions et de la gestion adéquate des emballages d'agrototoxiques [Lucon (2008)].

Les systèmes de certification de la durabilité avec ce profil, s'ils sont conçus de manière adéquate et bien mis en oeuvre, pourront servir comme instruments effectifs pour que la production des biocarburants se développe à un niveau souhaitable de rationalité, démontrant ainsi que le bioéthanol de canne à sucre peut atteindre ce niveau, de manière compétitive.

