

José Otávio BRITO¹
Jean-Paul LACLAU²
Mathilde RIOM³
Waldir QUIRINO⁴

¹ Université de São Paulo
Esalq/Usp, av. Pádua Dias 11, Caixa
Postal 530
Piracicaba SP, Cep 13 400-970
Brésil

² Université de São Paulo
Organisme d'origine :
Cirad, département des forêts, Upr 80
34398 Montpellier Cedex 5
France

³ École supérieure d'agriculture
de Purpan
75, voie du Toec, BP 57611
31076 Toulouse Cedex 3
France

⁴ Ibama, Laboratório de produtos
florestais (Lpf)
Scen trecho 2 - ED sede do Ibama
Brasilia DF, Cep 708 18-900
Brésil

Le charbon de bois au Brésil

Le charbon de bois à usage industriel représente un marché colossal au Brésil. Étant produit à partir de bois issu de plantations, son caractère renouvelable et ses avantages écologiques – émissions de CO₂ sur l'ensemble de la filière qui répondent aux exigences du protocole de Kyoto – lui confèrent un potentiel important dans le cadre de la sidérurgie mondiale. De nouveaux programmes de reboisement et l'adoption de technologies plus performantes devraient y contribuer.



Photo 1.
Vue générale de la zone de carbonisation équipée de fours traditionnels, en forme de meule, au Brésil.
Photo J. O. Brito.

José Otávio BRITO, Jean-Paul LACLAU,
Mathilde RIOM, Waldir QUIRINO

RÉSUMÉ

LE CHARBON DE BOIS AU BRÉSIL

Le Brésil est le premier producteur mondial de charbon de bois. La plupart des fours utilisés lors de la carbonisation du bois ne sont pas mécanisés et la technologie employée est encore archaïque. Au cours de l'histoire, le développement de ce secteur a été très fortement lié à celui de l'industrie sidérurgique, productrice de fonte et d'acier. Actuellement, bien que des plantations d'espèces sélectionnées d'*Eucalyptus* permettent de répondre à 78 % de la demande en bois, des essences natives de forêts naturelles sont encore utilisées. Environ 67 % de la production de charbon de bois est destinée au secteur sidérurgique, cette filière étant principalement localisée dans l'État de Minas Gerais. Pour garantir un développement durable de ce secteur, la modernisation des entreprises est nécessaire, à travers la mise en place de nouveaux programmes de reboisement et l'adoption de fourneaux plus performants. De plus, une amélioration de la qualification de la main-d'œuvre et l'amorce de démarches de certification des produits sont indispensables. Pour rémunérer les investissements nécessaires, d'autres utilisations du charbon de bois ainsi que la mise à profit de ces différents sous-produits peuvent être envisagées. Enfin, les avantages écologiques du charbon de bois, en tant qu'énergie renouvelable, et les caractères sociaux de cette production ne doivent pas être occultés lors des réflexions sur l'avenir de ce secteur. En outre, les opportunités offertes par le protocole de Kyoto confèrent à cette filière un attrait supplémentaire pour les entreprises sidérurgiques internationales.

Mots-clés : charbon, bois, *Eucalyptus*, plantation, sidérurgie, Brésil.

ABSTRACT

CHARCOAL PRODUCTION IN BRAZIL

Brazil is the world's leading charcoal producer. Most charcoal kilns used are not mechanised, and the technology is archaic. Historically, the charcoal industry's development was closely linked to the emergence of a metallurgy sector producing cast iron and steel. At present, although plantations of selected *Eucalyptus* species are meeting 78 % of the demand for wood, native species in natural forests are also being used. About 67 % of the charcoal produced is used in the metallurgy sector, which is mainly concentrated in the state of Minas Gerais. To ensure that the sector's development is sustainable, charcoal businesses need to be modernised through new reforestation programmes and more efficient furnaces. A better-qualified workforce and preparations to implement certification procedures are equally important. To boost returns on the necessary investments, other uses for the charcoal need to be considered as well as for the various by-products. The ecological advantages of charcoal as a renewable resource and the social characteristics of the sector should not be ignored in discussions regarding its future. Finally, the opportunities arising from the Kyoto Protocol add to the charcoal sector's potential value for metallurgical industries around the world.

Keywords: charcoal, wood, *Eucalyptus*, plantation, metallurgy, Brazil.

RESUMEN

EL CARBÓN VEGETAL EN BRASIL

Brasil es el primer productor mundial de carbón de leña. La mayoría de los hornos empleados en el carboneo de leña no están mecanizados y la tecnología empleada es aún arcaica. Históricamente, el desarrollo de este sector estuvo muy vinculado al de la industria siderúrgica, productora de hierro colado y acero. Actualmente, aunque las plantaciones de especies seleccionadas de eucaliptos permiten satisfacer el 78% de la demanda de leña, aún se emplean algunas especies autóctonas de bosques naturales. Aproximadamente el 67% de la producción de carbón vegetal se destina al sector siderúrgico, este sector está principalmente localizado en el Estado de Minas Gerais. Para garantizar un desarrollo sostenible de este sector, es necesario modernizar las empresas mediante el establecimiento de nuevos programas de reforestación y la adopción de hornos más eficientes. Además, es indispensable mejorar la cualificación de la mano de obra e iniciar los trámites para la certificación de los productos. Para retribuir las inversiones necesarias, se pueden estudiar otros usos del carbón vegetal así como el aprovechamiento de estos subproductos. Por último, las ventajas ecológicas del carbón vegetal como energía renovable, y el carácter social de esta producción no deben omitirse en las reflexiones sobre el futuro de este sector. Además, las oportunidades ofrecidas por el protocolo de Kioto otorgan a este sector un atractivo adicional para las empresas siderúrgicas internacionales.

Palabras clave: carbón, madera, eucalipto, plantación, siderurgia, Brasil.

Présentation

Une des caractéristiques de la production d'énergie brésilienne est la diversité de ses sources. Le bois a constitué la plus importante source d'énergie jusqu'en 1978, date à laquelle il fut supplanté par le pétrole et l'hydroélectricité (BRITO, 1997). Depuis les années 1990, les produits ligneux représentent la quatrième source d'énergie du pays, après les dérivés de la canne à sucre (figure 1).

Le Brésil est le leader mondial de la filière charbon de bois, avec une consommation estimée à plus de 7,9 millions de tonnes en 2003. Sur les routes brésiliennes circulent en permanence 45 000 tonnes de charbon de bois sur 3 000 camions (chargement moyen de 15 tonnes de charbon de bois par camion), soit l'équivalent de la production de charbon de bois annuelle française (ERAI/REGENAT, 1999). Au cours de la même année, le nombre d'emplois directs et indirects générés par cette filière dans l'État de Minas Gerais, la principale région productrice de charbon au Brésil, était estimé à près de 323 000. Ces emplois couvrent l'ensemble de la filière, de la production de charbon de bois jusqu'au secteur sidérurgique, sans oublier l'activité sylvicole (ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA, 2004).

Cet article présente brièvement l'histoire de la filière du charbon de bois au Brésil, ses principales caractéristiques actuelles ainsi que les perspectives d'avenir de ce secteur.

Répartition de la consommation

Au Brésil, la consommation annuelle de charbon de bois représente environ 7,9 millions de tonnes et le produit continue à être largement utilisé par le secteur industriel (environ 90 % du total de la consommation), notamment dans la production de fonte destinée à la préparation d'acier et d'alliages métalliques. Le secteur résidentiel représente près de 10 % de la consommation ; il s'agit des usages dits domestiques regroupant essentiellement les restaurants spécialisés dans les grillades (*churrascarias*), suivis par le secteur commercial (figure 2).

Le charbon de bois à usage industriel représente un marché colossal et concentré. Sur les 90 % du charbon de bois à usage industriel produits au Brésil, on peut distinguer trois catégories de sociétés :

- Les producteurs consommateurs : ce sont les quelques conglomérats du fer et de l'acier qui sont propriétaires des forêts. Ces groupes ne peuvent pas se permettre d'être dépendants du marché pour leur approvisionnement en charbon de bois.

- Les consommateurs non producteurs : ils sont de moindre taille, se fournissent en charbon de bois auprès des producteurs indépendants et achètent les excédents des gros producteurs consommateurs.

- Les producteurs indépendants : de petite taille, leur production dépasse rarement 500 t/mois. Les procédés de fabrication du charbon de bois ignorent généralement les préoccupations sociales et écologiques. Seul le marché compte !

Dans l'État de Minas Gerais se concentre l'industrie sidérurgique nationale, avec une consommation de 67,5 % du charbon de bois du Brésil. Aujourd'hui, cet État abrite le plus grand parc sidérurgique du monde, qui profite de cette source d'énergie (figure 3). Le chiffre d'affaires généré par le charbon de bois commercialisé pour l'industrie sidérurgique dans l'État de Minas Gerais représente près de 400 millions de dollars (ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA, 2004).



Photo 2.
Chargement des fours de type « *rabo quente* ».
Photo J. O. Brito.

Charbon de bois et développement industriel sidérurgique

L'utilisation du charbon de bois par le secteur sidérurgique est intimement liée au processus d'industrialisation du Brésil. À l'époque où les structures ferroviaires ne permettaient pas l'usage du charbon minéral importé ou produit dans d'autres régions du pays, le charbon de bois, de production facile et de coût réduit, permet de viabiliser l'implantation d'usines de petite capacité de production, compatibles avec le marché naissant de l'acier.

Au cours des années 1920, la première usine utilisant le charbon de bois comme source d'énergie fut implantée dans l'État de Minas Gerais. Dans les années 1950, avec l'installation au Brésil d'une usine consommatrice de coke de charbon minéral importé, a commencé une période de compétition entre les deux formes de combustibles réducteurs. Ce mouvement s'est accentué au cours des décennies suivantes, avec le déclin de l'utilisation du charbon de bois. Ainsi la production a baissé de moitié depuis 1990, où elle atteignait 11 millions de tonnes. Toutefois, pour diverses raisons, la concurrence du charbon minéral ne représente pas un réel danger. D'abord les plus gros consommateurs de charbon de bois en sont également les producteurs : il s'agit de grands conglomérats du fer et de l'acier, qui sont propriétaires de milliers d'hectares de forêts d'eucalyptus et entendent continuer cette exploitation rentable. Ainsi on observe une nette reprise de la consommation de charbon de bois par le secteur sidérurgique depuis 1998 (figure 4). Les principaux facteurs ayant contribué à la prise de conscience de l'intérêt du charbon de bois par les sociétés sidérurgiques sont :

- L'augmentation des cours internationaux du coke minéral. En effet, le charbon minéral produit au Brésil, dans des mines situées dans l'État

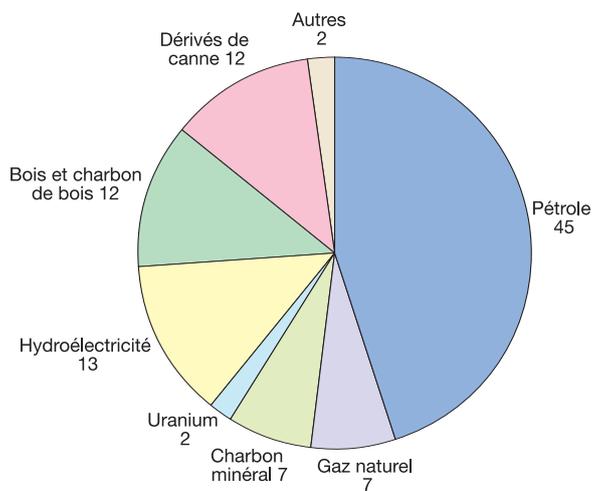


Figure 1. Répartition en pourcentage des sources d'énergies primaires au Brésil. Source : MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2001.

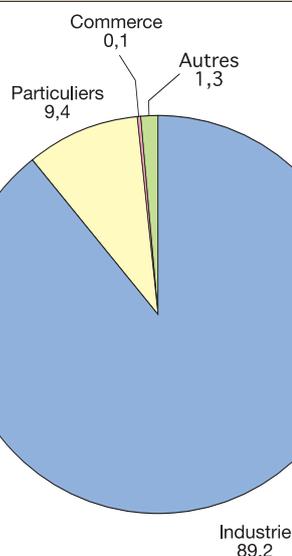


Figure 2. Répartition en pourcentage par secteur de la consommation de charbon de bois, en 2002. Source : MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, Secretaria de Energia, 2003.

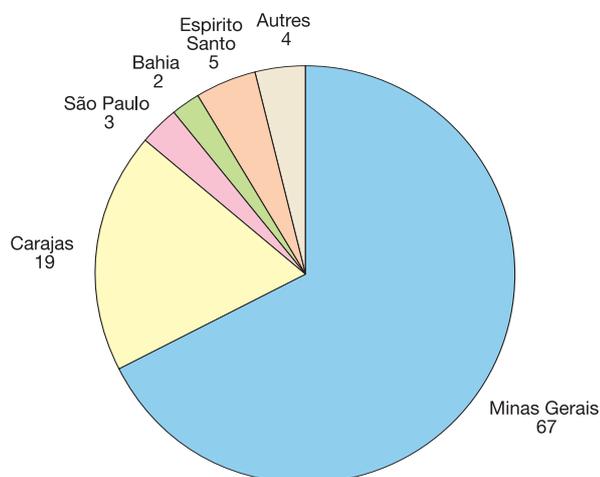


Figure 3. Répartition en pourcentage par État de la production de charbon de bois, en 2003. Source : ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA, 2004.



Photo 3.
Fours de type « *rabo quente* » en activité.
Photo J. O. Brito.

de Santa Catarina (sud du pays), est impropre à l'utilisation par la sidérurgie. Le coke minéral doit donc être importé, ce qui rend l'approvisionnement des usines sidérurgiques dépendant des oscillations du marché international.

- Les caractéristiques physico-chimiques du charbon minéral jouent en sa défaveur. Ce combustible fossile n'est pas renouvelable et est potentiellement polluant par la libération de soufre.
- Le charbon de bois est en revanche renouvelable et la quantité de CO₂ libérée dans l'atmosphère lors de son utilisation a été préalablement fixée lors de la croissance des arbres, ce qui rend son usage dans la sidérurgie particulièrement attractif face aux exigences liées au protocole de Kyoto.

La maturité atteinte par ce secteur au Brésil a contribué à la reprise récente de cette activité, avec différentes formes de coopération établies entre les entreprises et des organismes gouvernementaux, des universités ainsi que des fabricants de coopération a permis l'introduction de nombreuses innovations technologiques tout au long de la filière, depuis la préparation du sol pour la plantation des forêts jusqu'à la production du charbon de bois. Depuis septembre 2004, un projet européen de recherche, « *Ultra Low CO₂ Steelmaking* » (Ulcoss), à l'initiative des grands groupes sidérurgiques présents notamment au Brésil, a pour objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre dans ce domaine.

Les sources de bois pour la production du charbon

Le bois utilisé pour la production de charbon a deux origines au Brésil : des forêts naturelles où toutes les espèces forestières sont exploitées et des forêts (re)plantées d'eucalyptus.

Au début de l'industrie sidérurgique, le bois utilisé pour la production de charbon provenait essentiellement des forêts naturelles. Il était transformé en charbon selon la technologie de l'époque, avec de très faibles rendements, entraînant ainsi la déforestation d'une grande partie de la côte atlantique du Brésil. Cette exploitation était (et est toujours) le fait de petits producteurs indépendants. Elle résulte d'accords tacites entre les propriétaires des terres (*fazendeiros*) et les producteurs de charbon : le bois est gratuit pour ces derniers sous réserve de défricher correctement.

Cependant, d'un point de vue technique, le charbon de bois produit à partir d'espèces locales présente des variations importantes de ses propriétés physico-chimiques et mécaniques, préjudiciables à l'obtention de produits sidérurgiques standardisés. L'évolution de la technologie sidérurgique a imposé l'homogénéisation des propriétés du

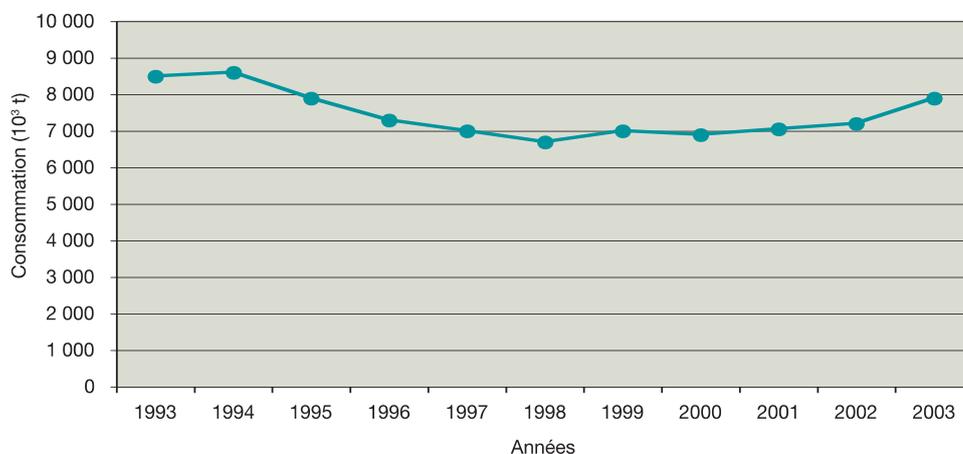


Figure 4.
Consommation de charbon de bois par le secteur sidérurgique au Brésil, entre 1993 et 2003.
Source : ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA, 2004.

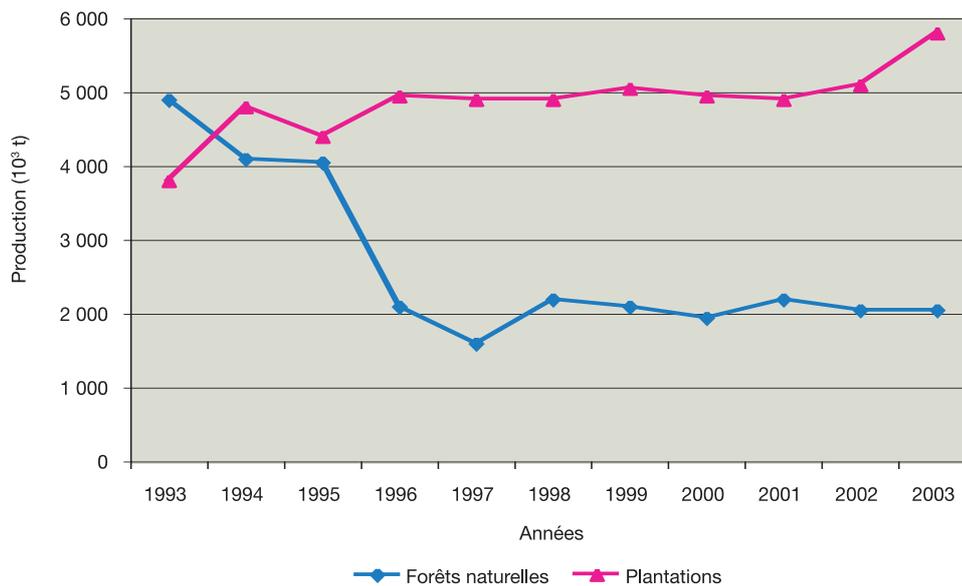


Figure 5.

Production comparative du charbon de bois issu des forêts naturelles et de celui issu de la reforestation, au Brésil, entre 1993 et 2003. Source : ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA, 2004.

bois par la plantation d'espèces sélectionnées (QUIRINO, 2005). Cette évolution avait pour objectif d'améliorer les rendements en charbon, la teneur en carbone, la densité du charbon ainsi que d'autres propriétés mécaniques requises par l'utilisation dans les hauts-fourneaux. Les premières plantations d'eucalyptus destinées à la production de charbon pour les usines sidérurgiques ont ainsi été établies dans les années 1940, dans l'État de Minas Gerais.

Cette pratique de production de charbon, à partir de forêt plantée, fut soutenue par le gouvernement fédéral, dans les années 1960, au moyen d'incitations fiscales. Dans l'État de Minas Gerais, l'accroissement de la demande dans les années 1970 est à l'origine de la mise en œuvre de programmes incitatifs qui ont favorisé le développement des techniques forestières, des méthodes de production et de caractérisation du charbon, ainsi que d'innovations dans les procédés de carbonisation.

Aujourd'hui, la participation du bois de forêts locales dans la produc-

tion de charbon est en déclin, et représente moins de 22 % du total (figure 5). Cette diminution peut s'expliquer en partie par la capitalisation croissante du secteur qui a nécessité un retour sur investissement et, par conséquent, l'adoption de matière première standardisée et de fourniture régulière. De plus, la préoccupation actuelle de conserver les forêts naturelles et de développer des sources d'énergie renouvelables accentue fortement cette tendance. Il est possible encore aujourd'hui d'utiliser légalement du bois de certaines espèces natives pour produire du charbon, sous réserve d'une gestion adaptée de la forêt. Cependant, il existe encore un déficit de fourniture de bois issu de plantations, et de nouveaux programmes de reboisement avec des espèces à croissance rapide sont nécessaires.

Aujourd'hui, l'eucalyptus est l'essence la plus largement utilisée pour la production de charbon de bois, car sa croissance rapide (cycles de 5 à 7 ans) en fait un matériel facilement renouvelable et son bois

dense contribue à garantir un charbon d'excellente qualité. Il est, de plus, mieux dimensionné pour l'enfournement que le bois extrait des forêts naturelles. Les principales espèces d'eucalyptus utilisées au Brésil pour produire du charbon de bois sont *E. saligna*, *E. citriodora*, *E. camaldulensis* et *E. urophylla*, ainsi que des hybrides entre ces espèces. Les programmes d'amélioration des principales entreprises du secteur visent à augmenter conjointement la productivité des clones plantés et la qualité du bois, pour la production d'un charbon adapté aux impératifs technologiques de la sidérurgie. Les progrès conjoints en amélioration génétique et en sylviculture depuis plusieurs décennies ont permis des gains de productivité considérables dans les plantations industrielles d'eucalyptus au Brésil. Même si les productivités restent d'environ 20 m³ par hectare et par an dans les sites les moins favorables, elles sont de l'ordre de 40 à 50 m³ dans la plupart des massifs industriels brésiliens (GONÇALVES *et al.*, 2004).

Fours de carbonisation et technologies employées

La transformation du bois en charbon, ou carbonisation, se déroule dans des fours de types variés. Au Brésil, quelques fourneaux employés par les grandes entreprises sont mécanisés, mais le modèle le plus courant (et le plus simple) est une construction en forme de meule.

Il existe deux catégories de fours :

- Le *Rabo Quente*, four de base, qui représente au moins 95 % des fours en activité (photos 1, 2 et 3). Il est construit à même le sol en quelques heures, avec des petites briques rouges (*tijolos*). En région accidentée, certains sont enterrés, ne laissant dépasser que le toit (FCTMG, 1982).

- Les fours des grands producteurs intégrés, répondant à des caractéristiques techniques différentes (photo 4). Généralement, ces fours sont suffisamment volumineux (environ 200 m³) pour permettre un remplissage mécanisé (photos 5 et 6). Toutefois, la plupart des ténors de la production de charbon de bois (> 2 500 t/mois) continuent de construire et d'utiliser des fours *Rabo Quente* mais de taille plus importante.

La technologie utilisée pour l'ensemble des fours dans les années 1970, au moment de la prise de conscience de l'intérêt des combustibles issus de la biomasse, était peu différente de celle employée lors de l'installation de la première grande usine sidérurgique dans les années 1940. Un effort considérable fut consenti dans les années 1980 pour améliorer la qualité du charbon de bois, et les usines qui y participèrent bénéficient aujourd'hui d'une avance technologique remarquable, autant dans les pratiques forestières que dans la gestion des fours de carbonisation. Mais aujourd'hui encore, chez les petits producteurs,



Photo 4.

Vue générale de la zone de carbonisation équipée de fours de type Missouri, chez la société Vallourec & Manesmann Florestal, dans l'État de Minas Gerais. Photo J.-P. Laclau.

le mode opératoire utilisé dans les fours en vue de l'obtention d'un charbon de bonne qualité reste très empirique, compte tenu de la multiplicité des facteurs à considérer et du peu de moyens de contrôle du procédé de carbonisation. De plus, les « petits et grands » producteurs de charbon de bois ne sont guère enclins à troquer leurs vieux *Rabo Quente* pour des installations complexes et coûteuses. Le *Rabo Quente* est très peu coûteux à installer (environ 60 euros) et peut être construit très vite au plus près de la source de bois, sans besoin d'électricité ni de main-d'œuvre qualifiée. Les rendements de carbonisation avec ce type de four sont par contre très variables et ne dépassent pas en général 25 % (GUIMARÃES, JARDIM, 1982). Dans le cas des fours rectangulaires utilisés par de grands producteurs industriels, avec un meilleur contrôle de la carbonisation, les rendements atteignent 35 % (Compagnie Agro-Florestal Santa Bárbara, comm. pers., 2004). La qualité du charbon de bois produit par *Rabo Quente* diffère peu de celle du charbon produit dans les fours les plus modernes. La mécanisation des phases de chargement et déchargement dans ces derniers conduit à un fractionnement supérieur du charbon, mais qui ne compromet pas son usage sidérurgique.

Les grandes entreprises sidérurgiques continuent cependant à développer les technologies permettant d'accroître la productivité du processus de carbonisation et la qualité des produits issus de forêts plantées (BENABDALLAH *et al.*, 1994). En outre, des travaux sont en cours afin d'optimiser la récupération et l'utilisation des gaz émis au cours de la carbonisation. Ces technologies existent déjà en Europe où la législation environnementale est plus stricte qu'au Brésil. Ces développements résultent des connaissances acquises empiriquement mais aussi de l'adaptation d'autres technologies, comme dans le cas de fours métalliques à utilisation semi-continue et continue. La voie choisie par la majorité des entreprises sidérurgiques est toujours fondée sur le même principe que les fours traditionnels en briques, mais en contrôlant davantage les processus, en augmentant la taille des fours et en mécanisant les opérations de remplissage et déchargement des fours. La raison fondamentale de ce choix de développement réside dans ses coûts relativement faibles en termes d'investissements initiaux en équipements et en infrastructures. À titre d'exemple, le tableau I présente les caractéristiques moyennes du charbon végétal produit au Brésil dans les fours de briques traditionnels.

Tableau I.
Principales caractéristiques du charbon de bois produit en fours de briques traditionnels au Brésil. Source : MEIRA (2002).

Caractéristiques	Valeurs moyennes
Friabilité (%)	11,9
Pouvoir calorifique supérieur (kJ/kg)	37,0
Carbone fixe (% massique sur charbon anhydre)	80,1
Matières volatiles (% massique sur charbon anhydre)	18,9
Cendres (% massique sur charbon anhydre)	1,3
Humidité pondérale (%)	5,2
Densité (kg/m ³)	214

Aspects légaux et sociaux

Tous les États pâtissent de l'insuffisance des contrôles dans la filière de production du charbon de bois, ce qui se traduit par une pression forte sur les forêts naturelles.

Parallèlement à la production de charbon destinée aux industries sidérurgiques, encadrée par les organismes officiels de contrôle, il existe de très nombreux petits producteurs qui agissent fréquemment dans l'informalité. Ces derniers n'ont pas d'autre revenu de subsistance, et n'ont souvent même pas la capacité de régulariser leur situation. En outre, les contrôles effectués lors de l'enregistrement des producteurs par les organismes officiels et les peines encourues pour manquement à la loi sont des freins à la régularisation de l'ensemble des acteurs et à l'organisation de la filière. Cette production clandestine engendre une certaine concurrence déloyale avec les producteurs officiellement reconnus, soumis au code du travail et aux impôts.

Deux grands types de structures produisent du charbon de bois au Brésil : quelques-unes qui monopolisent le secteur dans quelques régions porteuses et de très nom-

breux petits exploitants qui ne retirent de cette activité que le minimum pour vivre.

À côté des grandes entreprises sidérurgiques, qui emploient des centaines de personnes en respectant scrupuleusement la législation du travail, les petites entreprises emploient en moyenne quatre à cinq personnes, avec fréquemment la participation de toute la famille. Cette force de travail non négligeable, dans des conditions pénibles, est en général clandestine. Le niveau scolaire de nombreux employés adultes est très bas (équivalent au niveau du primaire incomplet). La qualification des travailleurs se fait souvent par la tradition familiale et par la pratique, les organismes d'appui technique de ce secteur n'atteignant pas toute la population. À titre d'exemple, plus de 60 % des producteurs de charbon végétal de l'État de São Paulo travaillent sans enregistrement officiel de leur entreprise, bien qu'il s'agisse de la région économiquement la plus développée du pays. On peut donc penser qu'une proportion du même ordre de travail informel existe dans cette filière pour l'ensemble du Brésil (PRO-CARVÃO, 2000). Du fait qu'elle n'exige que peu de qualification, cette activité est la principale source d'emplois dans beaucoup de régions isolées du Brésil.

Pour un développement durable

La modernisation de ce secteur est désormais indispensable pour son développement. Cela implique des investissements élevés dans des programmes de reboisement et la mise au point de fourneaux plus performants. Bien qu'il n'existe pas une indication précise, par l'administration, des zones pouvant être formellement reconnues comme disponibles pour cette activité, le Brésil est un pays qui dispose d'étendues agricoles considérables et qui est donc susceptible d'accroître fortement les surfaces de plantations forestières. En ce qui concerne les procédés de carbonisation, des technologies adaptées existent déjà aussi bien en Europe qu'au Brésil.

L'enjeu de cette entreprise de modernisation sera donc d'adapter les moyens existants aux préoccupations sociales du secteur. Des programmes de qualification et sensibilisation des travailleurs sont indispensables à la réussite de cette modernisation. De plus, l'image de qualité du charbon de bois, produit à partir de forêts plantées et dans de bonnes conditions de travail, doit être utilisée dans le cadre de démarches de certification du produit. Depuis 25 ans, les groupes sidérurgiques ont développé les plantations d'eucalyptus afin d'en retirer les quantités de charbon dont ils ont besoin. Aujourd'hui, ces industriels s'attachent à obtenir une certification internationale (Forest Stewardship Council, en particulier), qui facilite l'exportation de leurs produits.

En complément de l'élimination de la charge polluante émanant des fumées des actuels fours de carbonisation, l'utilisation à des fins économiques des produits de la carbonisation est l'unique solution pour rémunérer de façon adéquate les investissements en reboisement et en fours mécanisés nécessaires à la

viabilité du secteur. Les produits de carbonisation du bois peuvent trouver de nombreuses utilisations en fonction de leurs caractéristiques propres. La récupération du goudron et du liquide pyroligneux, condensés dans les fumées produites lors de la carbonisation, est déjà pratiquée par quelques producteurs (photo 7). Le développement de cette extraction dépendra de la mise en œuvre de nouvelles techniques d'obtention mais aussi de la diffusion de leur application possible, qui est bien connue en Europe par exemple. L'option d'utilisation des gaz pour la production d'électricité n'est pas encore viable, en raison des prix peu attractifs offerts par l'État pour l'acquisition de l'énergie produite.

La sidérurgie étant le principal consommateur de charbon de bois au Brésil, les perspectives pour la production de charbon sont donc liées au devenir de ce secteur, ce qui sous-entend au marché mondial de l'acier. En effet, le Brésil exporte près de 40 % de sa production d'acier brut. La possibilité pour le charbon de bois de représenter un combustible réducteur remarquable pour l'industrie sidérurgique dépend en grande partie de sa compétitivité économique face à ses concurrents combustibles fossiles. Dans le cas du coke minéral, les entreprises brésiliennes dépendent fortement de l'importation alors que, en ce qui concerne le charbon végétal, les quantités requises sont entièrement produites dans le pays.

Les entreprises sidérurgiques brésiliennes utilisent comme combustible réducteur soit du charbon végétal, soit du coke minéral. Le charbon végétal est totalement produit au Brésil et permet l'obtention d'un produit sidérurgique de meilleure qualité que celui obtenu à partir du coke minéral. Cependant, le charbon végétal peut uniquement être utilisé dans



Photo 5.
Remplissage mécanisé d'un four de type Missouri.
Photo J.-P. Laclau.



Photo 6.
Four de type Missouri rempli de bois d'eucalyptus.
Photo J.-P. Laclau.

des hauts-fourneaux de dimension petite à moyenne. Dans les plus grands hauts-fourneaux, seul le charbon minéral peut être utilisé en raison de sa meilleure résistance. Cependant, cette limitation de l'usage du charbon végétal à des hauts-fourneaux petits à moyens n'a pas empê-

ché la production sidérurgique utilisant ce combustible réducteur d'augmenter de 5,3 % par an entre 1997 et 2002, alors que la production sidérurgique à partir de charbon minéral augmentait seulement de 1,3 % par an (BACHA, BARROS, 2004).

Références bibliographiques

Or, les avantages écologiques de la production de charbon de bois, en tant que source d'énergie renouvelable avec des émissions de CO₂ équilibrées sur l'ensemble de la filière, ainsi que les caractéristiques sociales de cette production, en tant qu'employeur de main-d'œuvre peu qualifiée en milieu rural, doivent être pris en compte par les entreprises et les gouvernements. Le nouveau marché du carbone dans le cadre des Mécanismes de développement propre (Mdp) devrait inciter les entreprises à s'orienter vers ces ressources renouvelables, au détriment des énergies fossiles.

Il est clair que les fortes productions de charbon végétal au Brésil et leur utilisation industrielle représentent un potentiel important pour l'application des mécanismes liés au protocole de Kyoto. Cet aspect apparaît particulièrement dans le domaine de la production sidérurgique, en contribuant à une augmentation significative des investissements dans cette filière de groupes internationaux, en particulier européens. Les ténors de la sidérurgie se doivent de protéger leur image de marque pour maintenir leur hégémonie industrielle qui dépasse les frontières du Brésil (exemple du projet de recherche européen Ulcos). Dans ce contexte, les activités de recherche de nouvelles technologies s'intensifient fortement, avec des échanges d'experts dans les domaines de la sylviculture, de la production de charbon végétal et de la sidérurgie. Ces travaux conduiront probablement à une augmentation durable des productivités des plantations et de la qualité des produits.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA, 2004. <http://www.silviminas.com.br/anuario.htm>. Consultation réalisée le 8 novembre 2004.

BACHA C. J. C., BARROS A. L. M., 2004. Reflorestamento no Brasil : evolução recente e perspectivas para o futuro. *Scientia Forestalis*, 66 : 191-203.

BENABDALLAH B., CARRE J., KHENNAS S., VERGNET L.-F., OSSOUKAI P., 1994. Guide Biomasse Énergie. Québec, Canada, Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage du français (Groupe Bio-Énergie-Environnement), coll. Études et filières, 320 p.

BRITO J. O., 1997. Fuel wood utilization in Brazil. *Biomass and Bioenergy*, 12 (1) : 69-74.

ERAI/REGENAT, 1999. Étude de faisabilité au Brésil. São Paulo, Brésil, 14 p.

FCTMG, 1982. Manual de construção e operação de fornos de carbonização. Belo Horizonte, Brésil, Cetec, p. 11-23.

GONÇALVES J. L. M., STAPE J. L., LACLAU J.-P., SMETHURST P., GAVA J. L., 2004. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management*, 193 : 45-61.

GUIMARÃES S. T. A., JARDIM L. S. B., 1982. Aspectos econômicos da produção de carvão vegetal. Transporte, manuseio estocagem. *In* : Produção e Utilização de Carvão Vegetal. Série de Publicações Técnicas. Belo Horizonte, Brésil, Cetec, p. 125-140.

MEIRA A. M., 2002. Caracterização Sócio-Ambiental e Tecnológica do Carvão Vegetal no Município de Pedra Bela, Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais, Piracicaba, Brésil, Esalq/Usp, 98 p.

MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA, 2001. www.mme.gov.br. Consultation réalisée le 8 novembre 2004.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2003. Balanço Energético Nacional. Secretaria de Energia. Brasília, Brésil, 168 p.

PRÓ-CARVÃO, 2000. Diagnóstico Sobre a Cadeia Produtiva de Carvão Vegetal. Lenha do Estado de São Paulo. Relatório final. Sindicato do Comércio Varejista do Estado de São Paulo/Sebrae-SP, 63 p. (www.ipef.br/tecprodutos/procarvao).

QUIRINO W. F., 2005. Utilização Energética de Resíduos Vegetais. Brasília, Brésil, Ibama-Lbf, 31 p.



Photo 7.

Four de type Missouri équipé d'un système de récupération du goudron et du liquide pyrolygneux.

Photo J.-P. Laclau.