

Éditions-Diffusion Charles Léopold Mayer
38, rue Saint Sabin
75011 Paris
tel/fax : 01 48 06 48 86
diffusion@eclm.fr
www.eclm.fr

Les versions électroniques et imprimées des documents sont librement diffusables,
à condition de ne pas altérer le contenu et la mise en forme.
Il n'y a pas de droit d'usage commercial sans autorisation expresse des ECLM.

L'utilisation industrielle d'une biomasse La canne à sucre au Brésil et en Inde

La Fondation pour le Progrès de l'Homme (FPH) est une fondation de droit suisse, créée en 1982 et présidée par Pierre Calame. Son action et sa réflexion sont centrées sur les liens entre l'accumulation des savoirs et le progrès de l'humanité dans sept domaines : environnement et avenir de la planète, rencontre des cultures, innovation et changement social, rapports entre État et Société, agricultures paysannes, lutte contre l'exclusion sociale, construction de la paix. Avec des partenaires d'origines très diverses (associations, administrations, entreprises, chercheurs, journalistes...), la FPH anime un débat sur les conditions de production et de mobilisation des connaissances au service de ceux qui y ont le moins accès. Elle suscite des rencontres et des programmes de travail en commun, propose un système normalisé d'échange d'informations, soutient des travaux de capitalisation d'expérience et publie ou copublie des ouvrages ou des dossiers.

© FPH1994

SÉRIE DOSSIERS POUR UN DÉBAT

Diffusion : Interfaces-VPC, 52 rue Madame 75006 PARIS (France)

(Voir en fin d'ouvrage la liste des "Dossiers pour un débat" déjà parus.)

Maîtrise sociale des technologies

L'utilisation industrielle d'une biomasse

La canne à sucre au Brésil et en Inde*

Pierre AUDINET

*C.R.B.C.***

*C.I.R.E.D.****

Préface de Ignacy Sachs

Directeur du C.R.B.C.

Directeur d'études à l'E.H.E.S.S.

Paris

avril 1994

* Document préparé à la demande et avec le soutien de la Fondation pour le progrès de l'homme.

** Centre de recherche sur le Brésil contemporain (E.H.E.S.S., École des hautes études en sciences sociales). Adresse : 54, bd. Raspail - F-75006 Paris.
Tél. : 49 54 20 85/Fax : 45 44 93 11

*** Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (C.N.R.S./E.H.E.S.S.). Adresse : 19, rue Amélie - F-75007 Paris.
Tél. : 40 62 63 74/Fax : 45 51 76 92

SOMMAIRE

PRÉFACE	7
INTRODUCTION	11
BRÉSIL ET INDE : CONTRASTES ET SIMILITUDES	13
1. PROBLÈMES ET ENJEUX DE L'INDUSTRIE DE VALORISATION DE LA CANNE À SUCRE.....	15
L'économie	15
La société	22
L'environnement.....	24
2. TRAJECTOIRES TECHNOLOGIQUES : UNE COMBINAISON DE STRATÉGIES D'ACTEURS DISTINCTS.....	35
Les politiques publiques.....	35
Le jeu des entreprises	43
Les consommateurs	48
3. PERSPECTIVES.....	49
Un potentiel technique considérable	49
Réévaluer la contribution nationale d'un secteur en danger	51
Un effort nécessaire de refonte des systèmes d'incitations	55
CONCLUSION.....	58
RÉFÉRENCES	61
EXECUTIVE SUMMARY	65
ANNEXES	69
Annexe 1. La technique : un potentiel considérable de valorisation de la biomasse de la canne à sucre	69
La canne à sucre : une source de biomasse aux nombreuses utilisations	69
La valorisation agro-industrielle de la canne à sucre et l'environnement : des techniques disponibles pour limiter les atteintes à l'environnement	73
Annexe 2. Tableaux	74
Notes	79

PRÉFACE

Ignacy Sachs

Directeur

Centre de recherche sur le Brésil contemporain
(École des hautes études en sciences sociales)

Le vingtième siècle passera à l'histoire comme le siècle de l'explosion urbaine en particulier dans les pays du Sud où l'on dénombrait un milliard de citoyens en 1980, ce chiffre devant doubler à l'horizon 2000 et doubler une seconde fois jusqu'à 2025 selon les projections des Nations Unies. Deux forces se conjuguent dans ce phénomène. L'attraction des villes et particulièrement des grandes métropoles ; la répulsion des campagnes dont la modernisation, si elle se fait par le biais de la grande mécanisation, entraîne une polarisation sociale qui marginalise une partie des producteurs potentiels et les force à l'exode rural.

Un modèle différent de modernisation entre-t-il en ligne de compte pour des grands pays comme le Brésil ou l'Inde ? Nous le pensons. En effet, la seconde révolution verte fondée sur les progrès récents de la biotechnologie et des sciences agronomiques permet d'envisager une agriculture hautement productive, régénératrice des sols, faisant usage de peu d'engrais chimiques et d'insecticides et donc écologiquement prudente. Qui plus est, une telle agriculture peut être pratiquée à l'échelle de l'exploitation familiale. Il faut s'attendre aussi à ce que l'application des biotechnologies à des fins de valorisation industrielle et énergétique de la biomasse agricole et forestière se traduise par l'élargissement de l'éventail des produits obtenus à partir de la biomasse dans des conditions économiquement et écologiquement avantageuses.

En réalité, il s'agit d'adapter aux conditions agro-climatiques de chaque région des systèmes intégrés de production d'aliments et d'énergie combinant les cinq usages de la biomasse en tant que : aliment humain, ration animale, bioénergie, engrais vert et matière première industrielle. De tels systèmes doivent être conçus à l'image d'écosystèmes naturels, les déchets d'un module de production servant au module voisin. L'interface eau-terre peut y jouer un rôle important à travers l'insertion d'un module de pisciculture dans la ferme paysanne. La question centrale est de savoir

si les pays intéressés seront en mesure d'assurer l'accès à ces techniques aux petits producteurs ruraux. Rien n'est joué d'avance et même la boîte de Pandore des biotechniques est pour le moment exploitée essentiellement contre les intérêts des petits producteurs dans les pays du Sud.

La tâche est difficile mais l'enjeu est de taille. L'agriculture constitue de loin le gisement d'emplois le plus important à condition que nous parvenions à revitaliser la petite exploitation familiale. Les limites potentielles du rendement agricole sont loin d'être atteintes. Les spécialistes estiment que pour les céréales cette limite est de 13 tonnes par hectare en zones tempérées, plus en pays tropicaux alors que la moyenne actuelle des rendements dans le monde est de 2 tonnes et demi. Le tout est d'éviter l'usage excessif de l'énergie fossile et de produits chimiques nuisibles, ce que la seconde révolution verte s'efforce précisément de réaliser.

C'est pourquoi les expériences techniques ne suffisent pas. Il faut mettre au point un ensemble de politiques publiques dans le domaine du foncier, du crédit, de l'éducation, de l'extension rurale, de commercialisation et de promotion à cette fin du système coopératif. Dans le Sud, le programme le plus ambitieux à cette date est réalisé par le Brésil où plusieurs millions de voitures roulent à l'éthanol. Le programme "Pro-alcool" est souvent critiqué pour ses coûts élevés par rapport au prix actuel du pétrole. Chemin faisant, on oublie qu'une nouvelle flambée des cours du pétrole ne saurait être exclue une fois pour toutes. La performance du programme éthanol brésilien pourrait être encore améliorée à travers un effort systématique de meilleure utilisation de tous les sous-produits. Le "Pro-alcool" pourrait alors devenir le "Pro-canne à sucre".

La transformation industrielle de la biomasse demande la création de nombreuses "raffineries agricoles" dans les campagnes et par là peut contribuer à la création de nombreux emplois ruraux non-agricoles dont l'importance dans la stratégie de développement des pays du Sud est évidente. Les pays industrialisés appelés à mettre en friche une partie de leurs terres à cause de la surproduction de denrées alimentaires peuvent aussi trouver leur compte dans la valorisation énergétique et industrielle de la biomasse. D'une façon générale, chaque fois qu'une tonne de pétrole est substituée par la biomasse, un multiplicateur d'emploi en amont est actionné dans l'agriculture et dans l'industrie de transformation. De surcroît, l'avenir des industries de transformation de biomasse va dépendre de la conservation des forêts, des eaux et des sols, ce qui induira des occupations rurales additionnelles se traduisant par une meilleure utilisation du potentiel de main-d'œuvre des exploitations familiales ou par la création d'emplois nouveaux.

Dans cette perspective générale, le texte de Pierre Audinet montre à quel point les systèmes techniques sont relatifs à l'évolution des systèmes écologiques et sociaux avec lesquels ils interagissent. L'utilisation d'une biomasse agricole ne déroge point à la règle que ce soit en Inde ou au

Brésil. Les potentiels techniques mis en œuvre dépendent fortement des choix publics propres à chaque société.

Une civilisation industrielle de la biomasse pourrait prendre la relève des grandes civilisations du végétal du passé. Cette perspective est particulièrement intéressante pour les pays tropicaux aux conditions climatiques assurant une haute productivité primaire de biomasse. De nombreux obstacles institutionnels, politiques et économiques cependant s'y opposent. Et la seconde révolution verte nécessite une bonne gestion au plan social pour apporter tous les fruits qu'elle promet. Le texte qui suit nous offre quelques pistes de réflexion pour mieux saisir la portée et les limites d'une telle option.

INTRODUCTION

L'usage d'une biomasse, matière première renouvelable, constitue le premier pas d'une stratégie technologique cherchant à desserrer la contrainte environnementale. La question de sa valorisation a pris une importance croissante depuis deux décennies à la fois dans les préoccupations énergétiques et agricoles à long terme, celles d'environnement local et global et dans les choix de développement micro et macro-économiques. Le Brésil et l'Inde¹ ont ainsi mené des politiques longues de développement centrées sur la valorisation d'une biomasse : la canne à sucre. A présent, la situation permet de faire le point sur des options stratégiques dépassant la simple succession d'expériences ponctuelles. Dans ce cadre, la valorisation de la biomasse de la canne à sucre offre un exemple d'industrialisation décentralisée où les essais pratiques et les potentiels d'internalisation des coûts de développement externes sont relativement nombreux. Les deux principaux pays qui illustrent ce travail sont théoriquement en retard technologique. Ils sont cependant les plus importants intervenants mondiaux dans le secteur étudié en termes de productions finales et partiellement, de technologies.

Malgré l'ampleur des investissements, ces choix présentent des résultats mitigés. Un certain nombre de données incontournables demeurent des enjeux d'importance pour ces pays (première partie).

L'introduction d'innovations dans une industrie est orientée par la disponibilité et l'organisation des facteurs de production, par la capacité d'accès à l'information de l'entreprise et par un système d'incitations. Ce dernier est le produit social des marchés des produits et ressources auxquels les firmes participent et des régulations mises en œuvre par des institutions cherchant à modifier le comportement des entreprises. Des stratégies distinctes, complémentaires ou opposées peuvent conduire à des irréversibilités des configurations technologiques ainsi créées. Suivant les contextes nationaux, la nature de ces irréversibilités varie (seconde partie).

La maîtrise de ces technologies est indispensable à la cohésion d'une société dans son ensemble. Les perspectives à donner à une stratégie industrielle reposant sur la biomasse feront l'objet d'une brève approche dans la troisième partie.

La modeste ambition de ce texte est de tenter de poser l'essentiel des enjeux qui caractérisent la question de la valorisation industrielle de la biomasse dans des pays du Sud. Ces résultats sont les fruits de recherches

poursuivies en Inde et au Brésil entre 1991 et 1993, en particulier dans deux États dominants les productions nationales de canne à sucre dans ces pays : celui du *Maharashtra* à l'Ouest de l'Inde (région de Bombay) et l'État de *São Paulo*, considéré comme l'épicentre industriel du Brésil, situé au sud-est du pays. Ce texte ne prétend à une quelconque exhaustivité, qui demeurerait hors de propos et de moyens dans un domaine aussi complexe que celui qui nous intéresse dans ce texte.

BRÉSIL ET INDE : CONTRASTES ET SIMILITUDES

Tableau 0

Brésil et Inde. Quelques données générales

<i>Indicateurs</i>	<i>Brésil</i>	<i>Inde</i>	<i>(France)</i>
superficie émergée (millions d'hectares)	845,7	328,7	(55,0)
population (estimations en millions ; 1991)	151,6	862,7	(57,0)
espérance de vie à la naissance (années ; 1990)	65,6	59,1	(76,4)
taux annuel de croissance démographique (prévision 1991-2000 ; %)	1,5	1,8	(0,4)
taux de croissance de la population urbaine (% ; 1960-91/1991-2000)	4,2/2,5	3,6/3,9	(1,3/0,7)
population rurale (% du total ; 1991)	25	73	(26)
densité de population (par 1000 ha ; 1991)	179	2909	(1036)
terres arables (% de la superficie émergée ; 1989)	7,9	55,6	(32,5)
ressources en eau intérieures renouvelables par habitant (milliers de m ³ /an ; 1990)	34,5	2,2	(3,0)
indicateur de développement humain (0 à 1 ; 1990)	0,730	0,309	(0,971)
PIB total (milliards de US \$; 1990)	414,1	254,5	(1191,0)
PIB en parité de pouvoir d'achat par habitant (US \$ ajusté ; 1990)	4718	1072	(17405)
croissance annuelle du PNB (% ; 1980-90)	2,7	5,4	(2,2)
croissance annuelle du PNB par habitant (% ; 1980-90)	0,6	3,2	(1,7)
taux annuel d'inflation moyen (1980-90)	284,4	7,9	(6,1)
rapport exportations/importations	139	76	(90)
investissement intérieur brut (% du PIB ; 1990)	22	23	(22)
production agricole (% du PIB)	10	31	(4)
main-d'œuvre dans l'agriculture (% de la population active ; 1989-91)	28	62	(7)
rapport du revenu des 20 % les plus riches/20 % les plus pauvres (1985-89)	26,1	5,1	(nd)
consommation d'énergie commerciale par habitant (kg équivalent pétrole ; 1990)	915	231	(3845)
énergie commerciale consommée (kg équivalent pétrole par 100 US \$ de PIB ; 1990)	33	77	(18)
nombre de scientifiques et de techniciens en R & D (pour 10 000 habitants)*	2,5	1,3	(83)

*source pour l'Inde (donnée 1985) et le Brésil (donnée 1980), chiffres de l'UNESCO cités par Lall (1992) p. 175.

nd : non disponible.

(Les chiffres pour la France sont donnés pour mémoire et non à des fins de comparaison.)

Source : PNUD, 1993.

Il paraissait indispensable de commencer ce texte par ce tableau comparatif avant d'avancer plus loin dans la discussion. L'intérêt pour le Brésil et l'Inde tient à leur propre nature. Terres de contrastes, la variété de situations distinctes et de potentiels dont ces pays font preuve est du plus haut intérêt pour l'observateur tentant de comprendre la nature des phénomènes à l'œuvre dans les processus de changements économiques et sociaux.

1. PROBLÈMES ET ENJEUX DE L'INDUSTRIE DE VALORISATION DE LA CANNE À SUCRE

Depuis l'antiquité, la canne à sucre est valorisée à des fins principalement alimentaires. Les potentiels de transformation de cette plante sont extrêmement nombreux (voir annexe 1). En laboratoire, sans compter les expériences sur d'autres produits de la canne, quelques 10 000 dérivés du saccharose ont pu être mis au point avec des finalités très diverses (industries pharmaceutique, alimentaire, papetière ou de production d'énergie). En ce sens, le tableau 2 ne donne qu'un aperçu des quantités de sous-produits potentiellement utilisables ou recyclables des deux filières de transformation de la canne en sucre ou en éthanol. Quelques exemples: 1 t de mélasse peut servir de matière première à 250-300 l d'éthanol, la combustion de 1t de bagasse produit 15 kg de cendres (industrie du verre), 1 t de canne broyée pour produire du sucre donne 30-40 kg résiduels de boues de filtration (engrais), etc. L'écart entre les réalisations effectives et les potentiels théoriques de transformation de la canne issus d'expériences de laboratoire reste important à la lumière des résultats actuels.

Après plusieurs décennies d'investissements dans la valorisation industrielle de la biomasse de la canne à sucre, que constate-t-on? Des progrès notables, des problèmes latents, des situations de crise. Trois angles d'approche nous permettent d'appréhender une réalité complexe: l'économie, la société, l'environnement.

L'économie

Le poids d'un secteur

Depuis plusieurs siècles le Brésil et l'Inde sont de grands producteurs de canne à sucre. Au niveau international, ces deux pays occupent les deux premiers rangs parmi les plus importantes nations productrices de sucre blanc (données 1991-92)². Ils représentent à eux seuls plus de 30% de la production mondiale de sucre blanc de canne et plus de 20% de la production mondiale totale de sucre blanc (canne et betterave).

Le tableau suivant montre l'étendue des productions nationales tout en soulignant les similarités (cf. aussi graphique 1) et les différences des choix stratégiques de chacun des deux pays.

Tableau 1

Données générales comparatives pour l'année 1989-90

	Inde	(I)	Brésil	(II)
production de canne ¹	222,6	(35,5)	260,6	(26,4)
canne broyée pour la production directe d'éthanol ²	0	(0)	60,9*	(41,5*)
production de bagasse ¹	67,7	(10,8)	61,2	(6,2*)
production de sucre ¹	10,9	(3,9)	8,0*	(1,3)
production d'éthanol ³	0,93	(0,24)	11,71*	(0,88)
durée de la saison (jours)	158	(200)	nd	(257)
nb sucreries	380	(101)	193	(27)
nb distilleries	200	(38)	449	(31**)
terres cultivées en canne ²	1,5***	(1,7)	1,3	(16,4)

*1988-89/** dont 183 (22) sont annexes des sucreries/***1984-85.

¹Mt/²% du total des terres agricoles/³Gl³.

(I): État du Maharashtra/(II): État de l'Alagoas (nord-est du Brésil).

nd: non disponible.

Sources: NFSCF, 1991; NFSCF, 1989; IBGE, 1990; VSI, 1991; ASPLANA, 1990; ASSUCAL, 1990.

Dans ce tableau apparaissent clairement les options alimentaire pour l'Inde et énergétique pour le Brésil. En 1990, au Brésil, la canne est cultivée sur un peu plus de 4 Mha⁴. Elle sert spécialement à la production d'éthanol et satisfait 17,3 % de la consommation énergétique de carburants liquides par le secteur des transports au Brésil⁵. La production de sucre stagne entre 1980 et 1992 à 8 Mt/an en moyenne⁶. Elle laisse place au développement de la production d'éthanol (graphiques 1 et 4). En Inde, la canne occupe 3,4 Mha (1990). Elle produit des sucres dont le sucre blanc ne représente qu'un peu plus de la moitié de la production totale⁷. Le peu d'éthanol produit est absorbé par l'industrie ou consommé en boisson. Au Brésil prévalent en moyenne (1993) des capacités de l'ordre de 6 000 tonnes de canne broyée par jour (TCD)⁸. En Inde, ce chiffre est proche de 2 000 TCD⁹. Au Brésil, au début des années quatre-vingt, le débat sur les potentiels de petites unités de production avait montré leur viabilité technico-économique¹⁰. Mais à cette époque, sous la pression des associations de grands producteurs les financements se sont dirigés davantage vers l'expansion des capacités de grandes unités de production. La nouvelle définition des directions du programme éthanol considérait les micro et minidistilleries comme étant encore dans une phase de développement

technologique. Aucune réalisation d'envergure pour la mise en œuvre de petites unités de production n'a donc véritablement vu le jour.

La production de sucre blanc en Inde, celle d'éthanol au Brésil représentent respectivement 1,2% (1988-89) et 1,7% (1991) de leurs PIB. Les pouvoirs publics tiennent forcément compte d'industries de ce poids. Ceci est d'autant plus vrai quand on réalise que l'éthanol brésilien a évité 18 G\$ d'importations pétrolières entre 1975 et 1992¹¹ et que de son côté, le sucre indien garantit l'autosuffisance nationale pour cette denrée depuis les années 30¹².

Malheureusement, pour atteindre ces résultats, l'État brésilien est contraint de déboursier plus de 770 M\$/an (en 1986) de subventions pour combler la différence entre le coût de production de l'éthanol et le prix d'achat du pétrole. Quant à l'Inde, à titre d'exemple, les pouvoirs publics de l'État du Maharashtra ont investi près de 200 M\$ (\$ 1991) dans ce secteur¹³. En 1991, sur 101 unités de production installées dans cet État, 28 ont le statut de "sick industry"¹⁴. Malgré cela, 36 nouvelles sucreries ont déjà reçu l'accord de New Delhi pour s'installer au Maharashtra, 130 sont en attente d'un permis de construire et de nombreuses usines existantes souhaitent étendre leur capacité. Les industriels de la canne forment en Inde comme au Brésil, un puissant lobby qui permet de diriger une part considérable des fonds publics vers leurs activités (irrigation¹⁵, etc.).

La faiblesse des gains de productivité

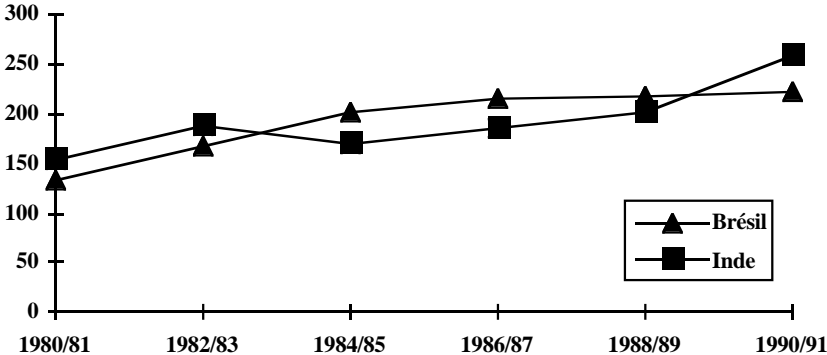
La productivité de la canne par hectare peut être considérée comme un bon indicateur du niveau d'efficacité du secteur. En effet, les gains de productivité de la partie industrielle du secteur portent une grande partie de leurs fruits en amont, au niveau de la production de canne. Et inversement, le coût de la culture de la canne à sucre intervient pour pratiquement deux tiers du coût de production final de l'éthanol ou du sucre.

La productivité de canne à l'hectare a cru sensiblement dans les dernières décennies. +2,3%/an entre 1951 et 1990 en Inde pour atteindre une moyenne nationale de 65,4 t/ha/an (1990). Au Maharashtra, la productivité moyenne entre 1980 et 1990 est de 89,7 t/ha/an. Cette croissance de la productivité s'est ralentie dans la décennie 80, reflétant les limites du potentiel d'extension de la production de canne. En Inde la croissance régulière de la productivité est le produit d'un soutien politique public aux investisseurs privés du secteur plus ancien qu'au Brésil. Dans ce dernier, la situation est différente, une nette amélioration de la productivité agricole de la canne a commencé à prendre place à partir du milieu des années 70 et s'est ensuite ralentie dans les années 80 (+0,4%/an entre 1986 et 1991 dans l'État de São Paulo¹⁶). Pour l'ensemble du Brésil, en moyenne en 1985/86, la productivité par hectare (cultivé) a atteint 53,9t/ha contre un maximum de rendement présenté par les membres de la Copersucar

dans l'État de São Paulo de 75,2 t/ha (cultivé) pour la même saison. Dans la partie industrielle de la transformation de la canne, la productivité a cru sensiblement depuis le début du Programme éthanol au Brésil. Mesurée en litres d'éthanol par hectare, le rendement industriel de l'éthanol s'est élevé au taux de 2% par an entre 1975 et 1990¹⁷ et il a plus que doublé dans la région de São Paulo.

Graphique 1

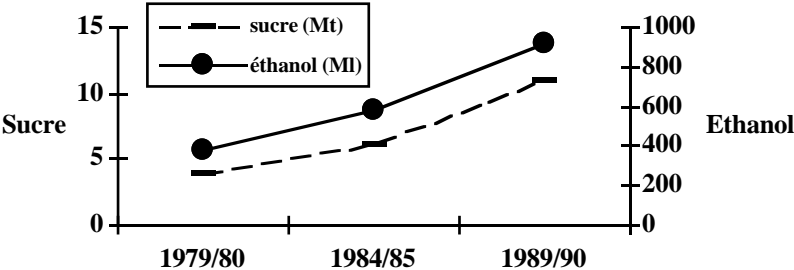
BRESIL/INDE
Production de canne à sucre
 (Mt/saison)



Source : NFCSF, 1991 ; COPERSUCAR, 1992.

Graphique 2

INDE
Production de sucre blanc et d'éthanol
 1979/80-1989/90



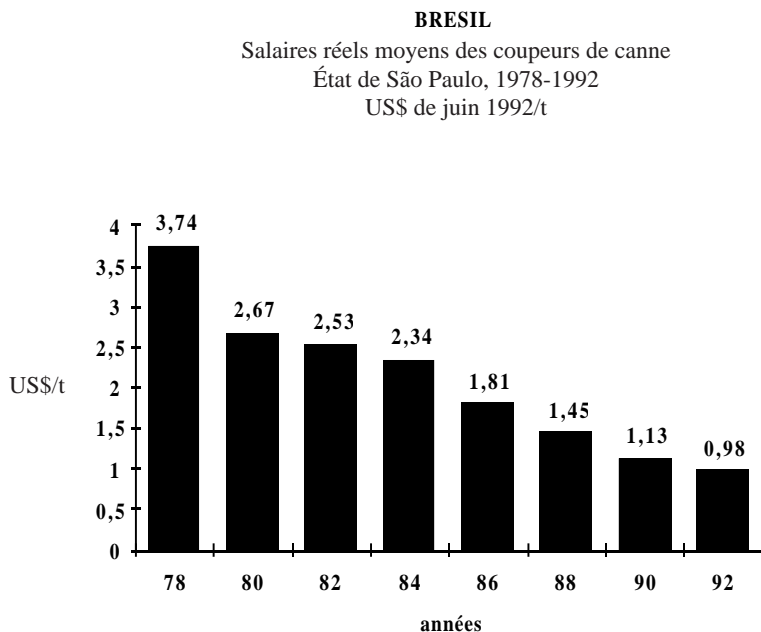
Source : NFCSF, 1989 et 1991.

Ces améliorations de la productivité semblent confirmées par des baisses de coût de production qui signifieraient qu'un progrès technologique a pris place. Ainsi, au Brésil, le coût de production de l'éthanol a baissé régulièrement au taux de 2,3%/an depuis le début du Programme éthanol.

Si on examine les prévisions de diffusion technologiques d'il y a dix ans, on s'aperçoit que les investissements des entreprises du secteur pendant la période passée se sont dirigés vers des innovations techniques mineures : raffinements dans les méthodes de gestion, améliorations des méthodes de lavage de la canne, de broyage ou de génération de vapeur¹⁸. Seules quelques unités de production ont investi significativement, les autres se sont contentées de changements à la marge. Aucune révolution technologique n'a eu lieu (ex. : changement d'un système de production à vapeur par un système électrique). Les rendements énergétiques par exemple, demeurent notoirement faibles.

Au Brésil, les baisses de coût de production sont en fait davantage le produit d'une importante contraction des salaires réels comme le montre le graphique 3.

Graphique 3



Source : données de Instituto de Economia Agricola e Coordenadoria de Assistencia Tecnica Integral.

Les contraintes de la diversification

Dans les années 80, l'évolution à la baisse des prix sur les marchés internationaux des produits principaux de la canne (sucre), ou des concurrents (pétrole) conduit les industriels à limiter les stratégies de diversification entamées à la fin des années 70¹⁹ devenues pourtant indispensables à la prise en compte de dimensions nouvelles (environnement). Les potentiels techniques de diversification sont considérables (tableau 2).

Tableau 2

Rendements industriels moyens par filière

filère	qté./t de canne	principaux sous-produits	qté./t de canne
sucre	90-120 kg	mélasse bagasse	30-45 kg 30-150 kg
éthanol	60-80 l	vinasse bagasse	900-1 000 l 30-250 kg

Le choix de diversification de la production pourrait même aboutir à des changements dans l'échelle d'importance des produits en termes de valeurs ajoutées.

Des limites de plusieurs natures restreignent les capacités de diversification de l'industrie.

Un premier élément tient à la nature agricole de la biomasse. Les fluctuations annuelles et de moyen terme de la production de biomasse sont importantes. Elles peuvent dépasser 30% en plus ou en moins par an et considérablement affecter sa disponibilité. Cette dernière est une des principales variables de l'évaluation de la viabilité des investissements industriels dans ce secteur. La portée des fluctuations de la disponibilité modifie en retour les anticipations de l'ensemble des acteurs en relation avec le secteur. Il est difficile d'empêcher les planteurs de canne de réagir aux aléas climatiques qu'ils subissent en augmentant leurs surfaces cultivées en canne pour répondre à une période de bons rendements ou inversement. Or la canne plantée ne commence à être productive qu'après 12 mois. Cette contrainte force les pouvoirs publics à mettre en œuvre des moyens d'absorber d'éventuelles déficiences de l'offre pour stabiliser les effets des anticipations des demandeurs. Les coûts induits par cette contrainte (stockage) peuvent invalider partiellement une stratégie de développement reposant sur la biomasse.

A partir d'une disponibilité donnée en biomasse, des arbitrages entre productions sont nécessaires pour viabiliser les investissements dans de

nouvelles unités de production annexes aux capacités existantes. La mise en production de nouvelles unités implique l'addition de capacités de gestion supplémentaires. Or, au niveau des raffineries de canne, situées pour la plupart en milieu rural, la main-d'œuvre qualifiée n'est pas toujours disponible pour à la fois gérer une production techniquement plus sophistiquée et commercialiser ses résultats sur des marchés souvent éloignés et plus concurrentiels que les marchés usuels fortement réglementés (sucre, mélasse).

Ensuite, l'accès à la technologie par les raffineurs de canne se trouve quelquefois entravé par des limites tenant à la nature des stratégies des producteurs de technologies. En Inde par exemple, où la production d'alcool est utilisée essentiellement comme matière première servant à la fabrication d'alcool de bouche et dans une moindre mesure à une large gamme de produits chimiques, la question des droits de propriété intellectuelle sur certains brevets peut apparaître comme un frein supplémentaire à l'innovation. Ex. : la production par les raffineries indiennes de canne de composants chimiques pharmaceutiques entraîne une forte réaction des pouvoirs publics des États-Unis qui dénoncent régulièrement le piratage de brevets par l'Inde²⁰.

Les stratégies de diversification se heurtent également aux difficultés de financement des investissements rencontrées d'une manière générale par les pays du Sud à partir des années 80. Exemple 1 : la fragilisation des balances des paiements limite les possibilités d'emprunts additionnelles de ces pays sur les marchés internationaux. Les flux financiers publics vers le secteur privé sont discontinus à partir de 1980 au Brésil pour les investissements de capacités productives d'éthanol. Ils s'arrêtent ensuite en 1985/86. L'aide publique multilatérale aux pays du Sud est dorénavant dirigée davantage vers des programmes de rationalisation des systèmes productifs existants plutôt que vers leur expansion. L'exemple 2 reflète ces difficultés : en dépit d'une législation favorisant la participation du secteur privé dans la capacité de génération électrique depuis 1991, en Inde, rares sont les industriels intéressés par investir dans des projets privés de cogénération, en partie par manque de disponibilité de financements dans un contexte de fort endettement des concessionnaires publics d'électricité susceptibles de soutenir ces investissements²¹. Le risque doit être partagé entre différents acteurs pour garantir l'émergence d'investissements conséquents dans des projets qui ne présentent pas toujours des temps de retour suffisamment courts pour attirer les investisseurs.

Enfin, il existe des choix publics limitatifs qui privilégient un produit final principal autour duquel les choix de valorisation de sous-produits s'articulent au détriment d'autres options. Nous reviendrons ultérieurement sur l'évolution de ces choix.

Malgré tout, plusieurs expériences font état de succès mitigés mais montrent que les raffineurs de canne à sucre peuvent, dans certaines condi-

tions, se lancer à la conquête de nouveaux marchés (électricité, exploitation de l'éthanol comme matière première de l'industrie chimique ou pharmaceutique, papier, etc.).

La société

La canne à sucre malgré les potentialités dont elle est techniquement porteuse, est utilisée à des fins et avec des moyens dont les définitions sont des produits sociaux. La mise en œuvre de ces techniques ne peut à elle seule résoudre des déficits internes dont l'origine est culturelle et politique. Pour donner un exemple, au Brésil, on constate une socialisation des pertes que l'évolution des salaires des coupeurs de canne traduit clairement (graphique 3). Ce phénomène n'est pas nouveau et fait figure de constante du style de développement de ce pays. Sans s'étendre à présent sur les raisons des difficultés actuelles sur lesquelles nous reviendrons dans la seconde partie de ce texte, nous mentionnons dans les lignes qui suivent une série de faits structurant les enjeux pour les acteurs de ce système économique.

Des disparités régionales accrues

Suite aux investissements publics et privés dans l'industrie de raffinage de la canne à sucre réalisés dans les cinq dernières décennies, on constate une confirmation de la puissance économique des États récepteurs de ces fonds. Ainsi, entre les États du sud-est et les États du nord-est au Brésil et les États du sud (en particulier sud-ouest) et ceux du nord en Inde, les différences de productivité se sont sensiblement accrues au cours des 20 dernières années.

Plus localement, deux effets sont à noter. Dans le voisinage immédiat des zones de culture de la canne à sucre, le tissu industriel s'est affermi et une part notable de la population a pu bénéficier des apports de l'extension de cette industrie. Cet effet d'entraînement positif est cependant très localisé. Dans la périphérie de ces micro-régions devenues économiquement plus aisées, la situation n'est pas la même. D'un côté peu d'investisseurs se dirigent vers ces régions plus pauvres (manque d'infrastructures, éloignement des centres de consommation, insuffisante qualité des terres, etc.). D'un autre côté, les importants besoins en main-d'œuvre de l'industrie de la canne à sucre sont souvent satisfaits par des migrations saisonnières de paysans en provenance des régions pauvres. Ils finissent par perdre leurs terres d'origine qu'ils ont beaucoup de difficultés à maintenir en culture et par grossir les rangs des bidonvilles des villes moyennes de l'intérieur des États de São Paulo ou du Maharashtra. Dans une certaine mesure, et tant que la différence entre les coûts de la mécanisation de la cueillette et ceux de la main-d'œuvre reste positive, les industriels de la canne à sucre ont intérêt à maintenir, autant que faire ce peut, un différen-

tiel maximal de richesse entre les régions productrices et les régions voisines qui leur servent de réservoirs de main-d'œuvre.

L'importance de l'emploi rural

Le poids du nombre d'emplois que l'implantation de cette industrie rurale a contribué à créer constitue l'objet d'une attention particulière de la part des pouvoirs publics et des industriels, au moins dans leur discours officiel. Ainsi, au Brésil, le programme éthanol représente environ 720 000 emplois directs et 200 000 emplois indirects dans les campagnes à la fin des années 90. En Inde, les ordres de grandeur sont identiques²².

Pour les ouvriers employés dans le secteur (ouvriers agricoles ou industriels), l'existence de syndicats puissants relativement à d'autres secteurs agro-industriels a permis de maintenir des rémunérations qui figurent parmi les meilleures de l'agro-industrie. Les conditions de travail des ouvriers agricoles de la canne demeurent cependant extrêmement pénibles et malgré un avantage relatif par rapport aux autres agro-industries, les rémunérations sont basses²³.

Le développement d'une industrialisation rurale a aussi été le catalyseur d'une extension de l'emploi non-agricole que l'on peut considérer aussi comme un secteur résiduel absorbant, entre autres, les paysans sans terres issus de la concentration des terres et reflétant plus largement la possibilité d'une présence de sous-emploi dans les régions de culture de la canne²⁴.

On dénote une préoccupation récente des pouvoirs publics et des industriels de trouver un équilibre pour limiter le recours à une main-d'œuvre temporaire en stabilisant les apports saisonniers dans des emplois annuels. A terme cependant, il ne faut pas négliger la tendance à l'augmentation de l'intensité capitalistique de l'industrie qui conduit nécessairement à une contraction de la main-d'œuvre utilisée.

Une terre, une structure de production : concentration des terres et modes exclusifs de gestion des facteurs de production

La présence d'une monoculture destinée à une transformation industrielle modèlent fortement le paysage rural dans lequel elle s'inscrit. Des irréversibilités relatives sont à noter. Elles vont dans le même sens dans les deux pays et tiennent en particulier à une caractéristique intrinsèque de la canne à sucre : la teneur en sucre de la plante décroît avec le temps après la coupe. Le décalage temporaire entre la coupe et le broyage doit par conséquent être minimisé pour améliorer les rendements industriels. Les contraintes que cette caractéristique impose, ainsi que les politiques de soutien au développement industriel du secteur incitent à une intégration accrue entre les parties agricole et industrielle des activités de valorisation de la canne²⁵. Au Brésil, l'accroissement des capacités de production qui

en résulte a forcé à une concentration des terres déjà considérable dans les campagnes brésiliennes. Les petits producteurs agricoles proches d'une raffinerie de canne ont soit été obligés de se transformer en fournisseurs exclusifs de canne pour la raffinerie, ou bien ils ont été contraints de lui vendre leurs terres. Aux yeux des acteurs industriels, le calcul économique fait apparaître des gains issus d'économies d'échelles dues à un approvisionnement à partir d'une superficie cultivée en canne gérée uniformément²⁶. En Inde, où la densité démographique et la taille des propriétés foncières est très petite²⁷ comparativement au Brésil, un raisonnement identique conduit quelquefois les petits propriétaires fonciers situés à proximité des raffineries de canne à perdre leur terre. Plus souvent, ils perdent la maîtrise de leur calendrier cultural, pris en charge par la raffinerie.

La concurrence entre utilisateurs pour l'accès à ces ressources peut conduire à des situations de crise. Au Brésil ou en Inde, le conflit entre la canne à sucre et les cultures vivrières n'a toujours pas été résolu, malgré des tentatives de cultures de rotation, intercalées ou mixtes dans les deux cas.

Dans ce contexte, la base économique de reproduction de petites unités agricoles ou de petites implantations agro-industrielles est remise en question. La possibilité d'une coexistence d'unités de tailles différentes voire de tailles similaires mais de mode de propriété des facteurs de production distincts, commercialisant leurs produits finals sur des marchés communs est pratiquement exclue. La capacité d'une catégorie sociale à mobiliser la main-d'œuvre disponible et à accéder à l'information et à la technologie est déterminante. Même si l'intégration planteurs-industrie prend des formes différentes d'organisation des facteurs de production (coopératives/complexes privés) suivant les régions, la tendance est à l'augmentation des échelles de production. Dans les deux régions considérées, l'importance des tailles des marchés de l'éthanol et du sucre entraîne la création d'une barrière à l'entrée pour des unités de production plus petites dont les coûts moyens pourraient se révéler trop élevés.

L'environnement

Comme nous l'avons mentionné dès le début de ce texte, l'usage d'une biomasse constitue le premier pas d'une stratégie technologique cherchant à desserrer la contrainte environnementale. Cependant, la mise en œuvre des technologies de transformation industrielle de la canne à sucre ne se fait pas sans difficultés. Ainsi, des pollutions apparaissent aux niveaux locaux et globaux. En retour, les enjeux d'environnement vont modifier les conditions structurelles d'émergence de l'innovation. Ils influencent la disponibilité en facteurs de production et l'échelle d'importance de certains produits finals dans les stratégies de politiques industrielles publiques.

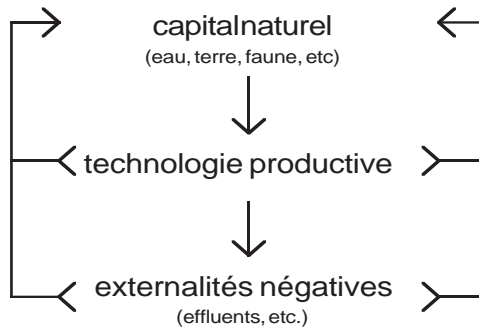
Nous avons divisé ce paragraphe en trois parties. La première traite des questions d'environnement de la production et de la relation de cette der-

nière avec le capital naturel. La seconde s'intéresse davantage à la pollution atmosphérique à la fois de la production et de la consommation de produits finaux. La troisième aborde la question des enjeux globaux et de l'insertion de la canne à sucre à ce niveau.

Une pression croissante sur le capital naturel

L'augmentation des activités anthropiques dans le temps conduit à une pression croissante sur la consommation de ressources naturelles. Suivant les régions, les écosystèmes et la nature des pressions qui les affectent, les enjeux sont de natures distinctes. La production et la transformation de canne à sucre ont des impacts sur l'eau, la terre et l'atmosphère. Le schéma suivant permet de comprendre que la production conçue comme une combinaison de technologies, est en interaction avec le capital naturel dont la disponibilité et la qualité déterminent les choix technologiques :

Schéma simplifié de l'interrelation capital naturel/technologie



Ce schéma simpliste ne présente qu'une partie de la réalité, celle qui incombe à l'internalisation directe par les entreprises des externalités négatives de leur production, sous forme d'innovations. Pour ce faire, les entreprises devraient être parfaitement informées des coûts que représentent - pour elles - les externalités négatives. Or cette transparence des coûts est absente de la réalité. L'essentiel des innovations ont en fait une origine indirecte. Elles sont réalisées sous l'impulsion de politiques publiques. Enfin, un facteur essentiel est le temps. Ce schéma n'apporte donc qu'une vision atemporelle de la réalité.

Un premier ensemble de facteurs causals entraîne un déplacement des choix possibles de produits finaux en modifiant la disponibilité en capital naturel. Ensuite, les pollutions issues des capacités de production existantes dégradent la qualité du capital naturel. En retour, les raffineries de canne sont contraintes de mettre en œuvre des techniques réduisant les

consommations de capital naturel pour pouvoir garantir la pérennité des systèmes de production.

Le Brésil et l'Inde sont confrontés à des problèmes similaires à des degrés différents. On assiste à présent à des tensions sur l'accès aux facteurs terre et eau au Brésil comme en Inde, dans les régions de forte extension des superficies cultivées en canne où le recours à l'irrigation²⁸ a été systématique. Dans ces régions, l'érosion élimine des terres cultivables et le coût de réhabilitation limite l'extension des superficies cultivées en canne. En Inde, la pression démographique conjuguée à l'excès d'irrigation²⁹ conduit à une tension plus forte encore. La terre y est un bien rare et plusieurs scientifiques s'opposent à un usage des terres à des fins exclusivement énergétiques, comme c'est le cas au Brésil.

L'eau est un autre élément essentiel de la valorisation de la canne à sucre. D'un côté, les raffineries en consomment des quantités considérables et requièrent en outre un bon niveau de qualité. D'un autre côté, la culture de la canne à sucre emploie des quantités importantes de produits agro-toxiques (herbicides dispersés par voie aérienne, pesticides, engrais) qui contribuent à l'apparition de phénomènes d'eutrophisation des eaux de surface dans les régions de culture intensive. Et au stade industriel, les effluents des raffineries ont un large potentiel pollueur.

Comme le montre le tableau suivant, la consommation d'eau dans les raffineries de canne a sensiblement diminué pendant les dernières années.

Tableau 3

BRÉSIL
Consommation d'eau dans la fabrication de sucre et d'éthanol
Innovation 1980-92

finalité	SUCRE (quantités d'eau en m ³ /TCH ¹)			
	1980	1992		
	quantité ²	quantité ²	recyclage possible	pertes (%)
lavage	5-10	1-5	oui	-
broyage	0,40	0,40	oui	50
chaudières	0,55-0,65	0,55-0,65	oui	20
chaulage	0,13	0,13	partiellement	-
filtration	0,34	0,34	oui	-
évaporation	4-6	4-6	oui	3
concentration	8,16-10,16	8,16-10,16	oui	3
essorage	0,01	0,01	oui	-
divers (entretien, etc.)	0,11	0,11	non	100
TOTAL ²	19-28	15-23		

ÉTHANOL (m ³ /1000 l d'éthanol produit)			
finalité	1980 et 1992	1992	
	quantité ²	recyclage possible	pertes (%)
dilution de la mélasse	10	non	-
refroidissement des cuves	60	oui	3
refroidissement des condensateurs	80	oui	3
TOTAL ²	150		

¹ TCH: tonnes de canne broyées par heure.

² Les quantités d'eau totales correspondent à la consommation initiale, *i.e.* sans comptabiliser le recyclage en cours de procès.

Source : Copersucar documents internes et interviews avec les ingénieurs de la Copersucar.

Au Brésil, cette réduction de la consommation d'eau est le produit d'investissements dans des capacités de traitement des eaux usées des raffineries et dans des méthodes limitant les apports d'eaux nécessaires. En Inde, l'eau est un facteur rare depuis plus longtemps qu'au Brésil. La consommation résultant de cette contrainte est par conséquent réduite, comparativement aux niveaux brésiliens³⁰ et ce, dans un contexte peu innovateur. Peu de raffineries de canne indiennes ont mis en place les capacités de traitement de l'eau ou les automatismes permettant d'en optimiser la consommation que l'on rencontre au Brésil.

Outre l'érosion et la salinisation des sols, la canne à sucre partage les traits d'autres monocultures. On dénote ainsi dans les surfaces plantées en canne des phénomènes de compactage des sols dus au passage d'engins lourds et des pertes de biodiversité. Leur évaluation écologique et économique reste délicate, tant pour des raisons de manque de moyens à mettre en œuvre pour leur réalisation, qu'à cause de difficultés méthodologiques intrinsèques.

Des progrès sont à espérer dans les consommations d'autres intrants que l'eau. Ainsi, l'apport de la fertirrigation³¹ et des boues de filtration permet de limiter d'environ 30 % l'usage de solution N-P-K chimique d'engrais³² et de réduire considérablement le rejet non contrôlé d'effluents très polluants. Le passage d'une technique de fermentation séquentielle à la fermentation continue pour la production d'éthanol a aussi permis de réduire la production de vinasses de 15 à 10 l par litre d'éthanol produit.

Le problème des effluents tient aussi aux échelles de production et aux coûts de traitement des effluents. L'exemple des papeteries de bagasse annexes aux usines de sucre en Inde montre que pour les petites unités implantées, le coût de recyclage des intrants chimiques (utilisés pour le

blanchiment de la pulpe notamment) est trop élevé pour qu'elles investissent dans une telle infrastructure. Il est alors plus intéressant économiquement pour la raffinerie de canne de se libérer (en toute illégalité) de cette quantité résiduelle potentiellement polluante au détriment de l'environnement local. Plus généralement, cette difficulté pose la question des conditions de viabilité de raffineries de canne de petites tailles en termes d'environnement. Des solutions innovantes devront être trouvées pour garantir la pérennité de petits systèmes industriels. On peut penser entre autre à l'élaboration de nouvelles méthodes d'épuration des rejets industriels. Plusieurs questions demeurent cependant sans réponse. Face aux défis scientifiques et techniques que pose l'émergence d'innovations dans ce domaine, on doit se pencher avec attention sur les conditions institutionnelles de diffusion de nouvelles technologies et de leur transmission aux industriels in fine, c'est-à-dire des conditions générales d'un réel processus d'innovation Quel est le coût de systèmes alternatifs de dépollution voire de production "propre" s'ils existent? Comment partage-t-on le risque d'investissement dans ces petites unités de production et dans les projets de dépollution?

Des pollutions atmosphériques locales en diminution

Les pollutions atmosphériques sont aussi bien issues de la transformation industrielle de la canne à sucre que de la consommation finale des produits de la transformation.

Des émissions importantes de polluants résultent de la pratique consistant à mettre le feu dans les champs de canne avant de récolter pour faciliter la coupe (encadré 1).

Au niveau de la transformation industrielle de la canne, d'importantes quantités des particules sont relâchées dans l'atmosphère et recouvrent le sol de tout le périmètre des raffineries. Elles proviennent de la combustion inachevée de la bagasse et sont l'image de gisements potentiels d'économies d'énergie. La production et la manutention de dérivés chimiques de l'éthanol ou du sucre ne sont cependant pas non plus sans danger. Elles requièrent des qualifications et un contrôle dont les petites unités de production décentralisées peuvent parfois manquer³³.

Encadré 1

Les incendies de la canne à sucre pré-récolte Une trajectoire technologique difficilement réversible

Cette méthode est pratiquée dans la majorité des pays producteurs de canne. L'Inde fait partiellement exception. L'ensemble de la plante y est utilisé. Les feuilles et pointes servent de source d'alimentation aux bœufs de traits utilisés pour le transport de la canne. Mettre le feu aux champs de canne avant la récolte a pour objectifs de diminuer les coûts de la cueillette, d'offrir de meilleures conditions de travail aux coupeurs et de faciliter la mécanisation de la coupe. C'est une technique ancienne, aujourd'hui étendue aux grandes superficies de culture de la canne à sucre. Pendant longtemps considérée d'impact négligeable, cette méthode fait depuis le milieu des années quatre-vingt l'objet d'une remise en question dont l'acceptation est relative à la baisse progressive du coût de la mécanisation de la cueillette. Le débat entre entrepreneurs, écologistes et syndicats prend place dans un climat de controverse à partir des constats suivants : une forte croissance de la production d'éthanol de canne depuis 1975 et de la productivité de l'éthanol ; une baisse des salaires réels des coupeurs de canne sur la même période. Ces derniers ne bénéficient pas des améliorations de productivité auxquelles les incendies de canne ont aussi contribué.

Peu d'études ont montré les effets polluants des incendies de canne à sucre sur l'atmosphère³⁴ (l'effet le plus étudié est celui de l'érosion des sols induite notamment par le manque de couverture végétale dû aux incendies et qui affecte directement la productivité de la canne et donc les intérêts des industriels). Les principales émissions atmosphériques de la combustion de matière sèche (0,5 kg/m²) sont : le carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO₂ ; élément causant les pluies acides) et l'ozone (O₃). La productivité des végétaux diminue avec la croissance de la quantité d'ozone présente dans l'atmosphère. On estime que les quantités de CO et de NOx (oxydes d'azote) produites par les incendies sont respectivement de 1 680 kg/ha et 33,5 kg/ha. Les mesures effectuées dans l'État de São Paulo ont révélé en particulier une forte augmentation de la concentration d'ozone dans l'atmosphère au moment des incendies, atteignant jusqu'à 169 µg/m³, dépassant ainsi les valeurs limites fixées par l'Organisation mondiale de la santé. Plusieurs millions de tonnes de CO et de particules sont alors rejetés localement dans l'atmosphère. Mais les concentrations de SO₂, CO, NOx et de particules ne dépassent cependant pas les valeurs limites. Une loi interdit les incendies à moins d'un kilomètre d'un périmètre urbain (décret d'État 28895 de 1988). En dépit de plus de 100 procès-verbaux dressés contre les raffineries de canne responsables, la pratique continue.

Le dilemme emploi-environnement est important et la plupart des acteurs s'accordent à penser qu'une interdiction brutale des incendies provoquerait un exode rural des coupeurs qui gonflerait les bidonvilles des métropoles des régions de culture et conduirait à un transfert des sources de pollution vers les villes. Du point de vue des raffineries de canne à sucre, le coût de la mécanisation est encore trop élevé pour y recourir. En réalité, les raffineries de canne n'ont pas encore suffisamment investi en équipements pour pouvoir mécaniser toute leur cueillette.

Des normes plus strictes et une capacité de contrôle renforcée peuvent stimuler l'innovation technologique et la réduction des coûts de la mécanisation de la cueillette qui à terme, permettraient d'éliminer la nécessité des incendies. Le problème de la réaffectation de la main-d'œuvre se pose alors à l'échelle de la société et implique des collaborations entre États, municipalités, centres de recherches, raffineries de canne, planteurs, etc.

Une partie de la pollution atmosphérique provient aussi du transport soit de la canne vers les raffineries, soit des produits finis vers les consommateurs. A première vue, cette dimension est plus accentuée au Brésil qu'en Inde. En Inde, le transport de la matière première est en grande partie réalisé par une énergie animale, les marchés des produits finis sont souvent situés à des distances plus courtes qu'au Brésil et le recours au transport ferroviaire y est courant.

La manipulation de produits finis est aussi une source de pollution potentielle. Dans ce cadre, l'éthanol, produit dégradable, possède des avantages indéniables comparativement aux carburants d'origine pétrolière. Les risques de pollution en cas d'accident lors de son transport sont moins importants que dans le cas du déversement de dérivés pétroliers dans un cours d'eau ou sur terre.

En abordant la question des pollutions de la consommation des produits de la canne, on pense davantage à des utilisations finales énergétiques qu'alimentaires. Le cas du Brésil est à ce titre exemplaire puisqu'il est le seul pays à avoir utilisé à une échelle aussi large des carburants produits de la biomasse. Il demeure cependant difficile de mesurer la contribution des biocarburants dans la pollution atmosphérique, principalement urbaine. Les potentiels théoriques de réduction de la pollution sont considérables. L'usage de l'éthanol en mélange avec l'essence permet d'éliminer le plomb et ses émissions tout en augmentant l'indice d'octane. Les émissions d'oxyde de carbone (CO), d'oxydes d'azote (NO_x), de dioxyde de soufre (SO₂) et d'hydrocarbures (HC) de la combustion d'éthanol sont sensiblement plus faibles que celles issues d'un usage moteur de l'essence. La principale différence avec les combustibles liquides conventionnels est la présence élevée d'aldéhydes dans les émissions d'éthanol (moins de 5 fois plus que dans les émissions de moteurs à essence), un polluant dont les effets à long terme sont mal connus et qui provoque à court terme une irritation des muqueuses³⁵. Dans la pratique, on constate une baisse sensible depuis 1980 des niveaux d'émissions des moteurs de véhicules neufs tant sur les véhicules à éthanol que sur ceux fonctionnant à essence. L'innovation n'a donc pas été une exclusivité réservée aux véhicules à éthanol. On note même que les efforts d'innovation ont porté sur le rattrapage des avantages de l'éthanol par les moteurs à essence en termes d'émissions, comme le montre le tableau suivant : les ratios se rapprochent de l'unité avec le temps. Les moteurs à éthanol demeurent cependant légèrement moins polluants que leurs équivalents à essence : peu de ratios dépassent l'unité. Les chiffres suivants comparent différentes générations de moteurs à éthanol avec leurs équivalents plus anciens ou avec des moteurs à essence de même génération.

Tableau 4

BRÉSIL
Ratios d'émissions de différentes générations de moteurs¹

années de référence	moteurs de référence	ratios gaz d'échappement				ratios vapeurs de combustible
		CO	HC	NOx	Aldéhydes	
1980-86	éthanol 86/essence 80	0,3	0,3	1,0	nd	nd
1986	éthanol 86/gasohol 86	0,6	0,7	0,8	4,0	0,4
1986-90	éthanol 90/éthanol 86	0,6	0,8	1,0	0,7	0,2
1990	éthanol 90/gasohol 90	0,8	0,9	0,9	2,8	0,7
1990-92	éthanol 92/éthanol 90	0,4	0,5	0,4	0,3	0,7
1992	éthanol 92/gasohol 92	0,7	1,2	0,8	3,0	0,9

¹Calculs réalisés à partir des données du Tableau 6.
nd : non disponible.

Doit-on conclure que l'introduction de l'usage d'éthanol carburant a suscité l'innovation technologique dans l'ensemble de la filière automobile? Ce serait peut être trop anticiper sur les arbitrages stratégiques des constructeurs automobiles. L'État a joué un rôle important dans ce progrès technologique comme nous le verrons dans la seconde partie du texte.

Mesurer la participation relative de l'éthanol dans la pollution atmosphérique demande une connaissance approfondie des niveaux de pollutions de la flotte en circulation. Or au Brésil, d'une part le contrôle des véhicules en circulation est pratiquement nul³⁶. D'autre part, dans les années 80, le parc automobile a peu augmenté et l'âge moyen des véhicules s'est allongé avec les difficultés économiques.

Le tableau suivant montre clairement l'évolution des différentes phases d'innovation dans les raffineries de canne au Brésil. Il établit un lien clair entre innovations et implantations de mesures de politiques publiques responsabilisant les acteurs industriels privés.

Avant d'entamer la seconde partie, il reste un autre niveau auquel une stratégie industrielle de valorisation de la biomasse peut apporter son concours et que nous abordons à présent.

Tableau 5

BRÉSIL**Trajectoires technologiques liées à la prise en compte de l'environnement et impacts sur l'environnement des activités productives de l'industrie de la canne**

Phase	1	2	3
Principales caractéristiques	- expansion de la production sans considérations pour les impacts sur l'env. - pas de responsabilité sociale de la part des raffineries de canne	- expansion ralentie par l'env. économique - responsabilité sociale faible	- émergence de contraintes physiques (ex. : disponibilité et qualité de l'eau et de la terre) - responsabilité sociale accrue
Incitations	nulles	- ensemble de mesures de contrôle (ex. : définition de normes d'émission)	- ajout d'incitation (ex. : dégrèvement d'impôts sur les terres allouées à la reforestation, etc.) - renforcement de l'application des lois et restrictions sur l'usage des sols - prêts à taux bonifiés pour les projets de contrôle de la pollution (ex. : unités de traitement des eaux)
Innovations techniques dans le domaine du contrôle de la pollution	nulles	- technologies de fin de procès (filtres, etc.) - recyclage des effluents très polluants	- tentative de reconception d'ensemble des processus productifs
Impacts	- forte pollution de l'eau et de l'air - risques d'accident	- réduction des rejets d'effluents très polluants (principalement, utilisation des vinasses comme engrais ; baisse de la consommation d'engrais chimiques de 30 % approx.)	- consommation d'eau réduite (90 % est maintenant réutilisé) - l'efficacité accrue des chaudières permet l'économie de 8 % de la bagasse - impacts de long terme sur l'env. (ex. : érosion des sols, altération des paysages, de la biodiversité et de l'activité des sols) - des problèmes en suspend (ex. : pollution atmosphérique due aux incendies de canne)

Biomasse et changement climatique global

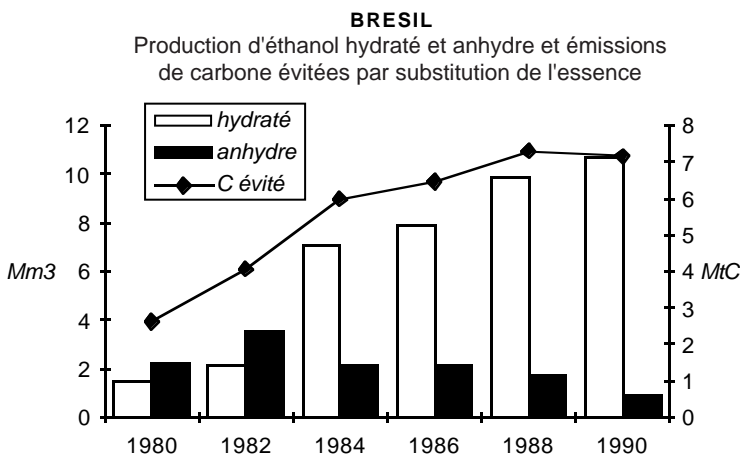
La problématique récente de l'effet de serre vient renforcer l'intérêt d'une stratégie industrielle à finalité énergétique reposant sur la biomasse. Le CO₂ est le principal gaz à effet de serre. Son origine se trouve principalement dans les émissions de la combustion des combustibles fossiles. Dans le cas de combustibles d'origine végétale comme l'éthanol de canne, la quantité de carbone relâchée dans l'atmosphère lors de leur combustion est compensée par le carbone accumulé par la plante lors de sa croissance. L'utilisation de végétaux pour produire des combustibles en substitution à des combustibles fossiles permet ainsi d'éviter de libérer du carbone qui sous forme fossile, dans le pétrole, avait été stocké depuis des millions d'années.

Dans le cas de la canne à sucre, il existe deux modalités principales de produire des combustibles se substituant aux combustibles fossiles.

La première consiste à produire de l'énergie (électricité et vapeur) en brûlant directement la partie cellulosique de la canne après extraction du jus : la cogénération. La seconde a pour objectif de fournir un carburant liquide de substitution à l'essence : l'éthanol. Le bilan énergétique de la production d'éthanol par fermentation des sucres est largement positif. Le ratio production d'énergie renouvelable/consommation d'énergie non renouvelable est environ de 8 pour 1³⁷. Environ 5,4 kg C/t de canne³⁸ sont émis par la consommation de combustibles fossiles pour la production d'éthanol (sous forme d'engrais, de diesel pour le transport, etc.).

Comme nous l'avons déjà indiqué, le rôle précis que joue l'éthanol dans les niveaux effectifs de pollution est difficile à évaluer. Pour simplifier, il est possible d'estimer que la quantité évitée d'émissions de carbone s'élève à 5,86 Mtc/an en moyenne entre 1980 et 1990 au Brésil grâce au recours à l'éthanol carburant (voir graphique suivant).

Graphique 4



Source : voir tableau 7 en annexe

Le graphique ci-dessus montre qu'en dépit des remises en question actuelles de la proportion d'éthanol hydraté dans le pool de carburants du Brésil, son rôle d'éviction d'émissions carbonées est trivial. Il a permis de compenser la baisse de la part d'éthanol anhydre utilisé en mélange avec l'essence.

Il reste encore bien des questions stratégiques à résoudre. En fonction des différentes configurations écologiques et institutionnelles (au sens large) propres à chaque région, il s'agit de déterminer quels sont les gisements les plus appropriés d'économies d'énergies. Dans la recherche d'une moindre consommation d'énergie fossile, la substitution de carburants est une voie possible. La substitution de matières premières en est une autre. Dans ce sens, dans le cas de l'Inde, où les choix d'utilisation des terres à des fins de production de carburant sont contraints comme il a été vu précédemment, on pourrait comparer les bilans énergétiques et carbonés de la production d'éthanol carburant avec ceux d'une utilisation industrielle de l'éthanol de canne comme substitut à l'éthanol produit à partir du pétrole (pour la filière éthylène par exemple) et dont le contenu énergétique est plus élevé que celui de l'éthanol de canne. En outre, l'évaluation des impacts sur l'environnement de différentes productions finales devraient faire l'objet de comparaisons entre elles³⁹, en incorporant les impacts à tous les niveaux du cycle de vie des produits (approche en termes d'éco-bilans).

Dans la seconde partie de ce texte, nous chercherons à comprendre les raisons de l'articulation des différentes phases des innovations mises en œuvre par les industriels. Nous examinerons le cheminement des acteurs du système : comment ont-ils été conduits aux choix dont découlent les résultats que nous venons d'étudier ? Par quels intermédiaires ?

2. TRAJECTOIRES TECHNOLOGIQUES : UNE COMBINAISON DE STRATÉGIES D'ACTEURS DISTINCTS

Les politiques publiques

Une configuration internationale favorable à la diversification

L'évolution des marchés internationaux du pétrole et du sucre est une référence importante des acteurs de la filière industrielle de valorisation de la canne à sucre (dans la suite du texte, nous employons l'expression de "système canne" pour faire référence à l'ensemble des raffineries industrielles de canne).

La fixation de niveaux de production dans les pays membres de l'OPEP, les tensions sur les échanges suite à des guerres, la demande des principaux importateurs (Amérique du Nord, Europe) et la création de stocks, affectent les fluctuations de la production mondiale de pétrole et son prix. Entre 1980 et 1993, la principale rupture a été celle du contre-choc pétrolier de 1986, où la forte baisse du prix du pétrole a remis en cause la viabilité économique des programmes de promotion de l'éthanol de canne. Le contexte pétrolier international montre que ce sont maintenant les consommateurs qui dominent le jeu suite à la forte baisse de leur demande. Quant aux producteurs, nombreux d'entre eux sont fortement endettés et demeurent très dépendants des exportations de pétrole. A plus long terme, la demande augmentera nécessairement sous l'effet de la croissance démographique et viendra remettre en question l'équilibre actuel autour d'un prix bas. L'objectif des acteurs de la filière pétrole est de stabiliser le prix du pétrole autour de 15 \$/baril pour pouvoir assurer les besoins d'exploration nécessaire afin de répondre à la demande sans créer de fortes tensions sur l'approvisionnement⁴⁰. Pour l'éthanol, seuls d'importants progrès de productivité pourront permettre à terme une amélioration de la compétitivité prix de l'éthanol proportionnellement aux produits pétroliers.

Les prix du marché international du sucre ont eux aussi fortement baissé depuis 1980, même s'ils demeurent l'objet de fortes fluctuations (hausses relatives importantes en 1993 par exemple). Les pays exportateurs comme le Mexique ou le Brésil ont accru leur compétitivité prix depuis la fin des années 80 suite à des politiques de libéralisation de leur exportations. Le sucre produit par Cuba et qui était troqué avec les pays de l'ex-bloc communiste est maintenant commercialisé sur le marché international. La tendance à la surproduction internationale s'accroît d'autant

plus que la consommation s'oriente davantage vers des édulcorants de substitution issus en particulier du maïs (aux États-Unis par exemple). Les prix du sucre de canne sur le marché international vont probablement être amenés à baisser encore dans les prochaines années de la décennie 90.

Un autre marché de référence est celui de la chimie de base. Sur ce marché, les prix ont fortement baissé depuis quelques années, sous la pression d'une forte concurrence internationale et de la tendance à la baisse des prix du pétrole.

En réponse à ces mouvements, les acteurs du "système canne" ont élaboré plusieurs stratégies. Nous examinons ci-après comment les politiques publiques nationales concourent à construire les tendances des marchés internationaux et leur rôle dans les stratégies industrielles des acteurs du "système canne".

Les politiques nationales

Depuis plus de 50 ans, le contexte général d'évolution du "système canne" a changé. Pour être bref, on dira seulement que depuis les années 50, les politiques publiques avaient des objectifs généraux d'indépendance nationale destinés, en ce qui concerne le cadre de ce texte, à garantir la sécurité alimentaire et énergétique. A celles-ci correspondait la mise en œuvre de politiques de substitution aux importations destinées à promouvoir la construction d'une capacité industrielle nationale répondant aux besoins de sécurité alimentaire ou énergétique nationaux. Le coût de telles politiques en termes d'endettement, conjugué à une baisse des revenus provenant des marchés internationaux et un accroissement des conditionnalités imposées par les bailleurs de fonds des pays industrialisés ont contraint le Brésil, l'Inde et de nombreux pays du Sud à changer radicalement leurs politiques publiques. Libéralisation des économies, augmentation des revenus d'exportation, ouverture des économies aux investissements étrangers directs sont les maîtres mots des nouvelles directions. Dans un pays comme l'Inde, la contradiction avec les principes directeurs définis par Gandhi avant l'Indépendance (1948) est évidente. La politique de libéralisation de l'économie conduit à remettre implicitement en question la garantie d'accès des populations pauvres à une denrée essentielle, le sucre, ou des objectifs plus larges recherchant un équilibre entre développement rural/développement urbain.

Revenons sur les objectifs initiaux et les moyens mis en œuvre dans ces deux pays pour le développement du "système canne".

Les objectifs publics initiaux.

Au Brésil comme en Inde, les soutiens accordés au développement de l'industrie de transformation de la canne à sucre avaient les objectifs initiaux suivants :

- améliorer la balance des paiements et la sécurité énergétique - Brésil, ou alimentaire - Inde ;
 - stimuler les industries nationales de biens de capital ;
 - réduire les disparités économiques régionales en stimulant une industrialisation décentralisée dans des régions pauvres ;
 - réduire les différences de revenus en créant des emplois pour le travail non qualifié en zone rurale ;
- (l'environnement ne figurait pas dans les priorités initiales).

Les outils économiques de régulation et de soutien au "système canne".

Poursuivant les objectifs publics initiaux énoncés ci-dessus, les deux pays considérés ont mis en place une série de mesures destinées à orienter les choix productifs du "système canne". Le premier type de mesures a eu pour but de réguler les prix de vente des produits finaux du "système canne" sur les marchés principaux (sucre et/ou éthanol) et secondaires (papier, produits chimiques, énergie). Le second type de mesures visait à orienter l'expansion du secteur par addition de nouvelles capacités de production (par l'expansion des capacités existantes ou par la construction de nouvelles unités de production). Il serait trop long de passer en revue dans ce texte l'ensemble des outils mis en œuvre. Contentons nous de rappeler qu'ils concernent les prix des produits, les quantités produites et les conditions de financement des capacités productives.

Les prix du sucre et de l'éthanol sont (en partie) fixés par les pouvoirs publics. Ceci revient à utiliser les bénéfices réalisés par les ventes d'un produit pour subventionner la production d'un autre⁴¹. Du côté des consommateurs, c'est le moyen de maintenir un niveau de prix suffisamment bas pour permettre l'accès au produit concerné à une tranche large de la population (cas du sucre en Inde). Une des méthodes consiste à estimer un prix de revient moyen de l'éthanol (par exemple) à partir d'un recensement des coûts de production des unités de production et à définir un prix de vente de l'éthanol avec une marge de bénéfice fixée par les pouvoirs publics⁴². Cette politique a l'inconvénient de freiner l'innovation dans l'industrie de valorisation de la canne. A priori, elle donne l'avantage aux firmes ayant les plus bas coûts (les plus innovatrices) et devrait par conséquent inciter celles ayant des coûts de production élevés à innover. Mais dans le même temps, au niveau de l'industrie dans son ensemble, elle incite à maintenir en opération des unités de production inefficentes pour maintenir un différentiel maximal de coût qui tire vers le haut le résultat du calcul du coût moyen de production sur lequel se fonde les pouvoirs publics dans la définition de leur prix de rémunération de l'alcool.

Une politique de quotas de production est aussi pratiquée dans les deux pays de façon à remplir les objectifs de sécurité d'approvisionnement des marchés (énergétique, alimentaire, etc.). Ces quotas sont redéfinis à

chaque saison. Ils contraignent les producteurs à un certain niveau de production et dirigent cette production vers des marchés régulés par l'État. Le reste de la production peut être vendu sur des marchés libres (internationaux ou locaux).

Enfin, l'État soutient et oriente l'extension du secteur par des soutiens à l'expansion de la capacité productive. Les objectifs sont d'orienter la localisation géographique des capacités supplémentaires de production et de contrôler les quantités produites finales en fonction de critères tels que : disponibilité des matières premières (canne à sucre, eau), niveau de la demande effective, etc. Pour ce faire, l'État définit un certain nombre de règles concernant l'établissement de ces nouvelles unités de production. Une politique de crédit à conditions préférentielles et des exemptions d'impôts sur les ventes de certains produits, voire sur certains équipements viennent ensuite compléter l'ensemble. C'est ainsi que l'effort de diversification de l'industrie est soutenu (construction de papeteries fonctionnant à partir de bagasse en Inde, etc.).

L'encadré 2 montre dans le cas du Brésil comment l'articulation des différents outils de régulation du "système canne" peut mettre en question dans le temps une variable aussi essentielle que la sécurité énergétique.

Le premier des objectifs initiaux a été en grande partie atteint dans les deux pays. Cependant, l'exemple de l'encadré 2 montre que des externalités coûteuses peuvent apparaître (nécessitant des stockages de précaution, un coût de transformation des capacités de production énergétique pour répondre aux substitutions que ces produits entraînent⁴³, etc.).

Encadré 2

Brésil - La sécurité énergétique en péril

Au Brésil, la décennie 80 a été le théâtre d'une remise en question de la politique de crédit subventionné (taux d'intérêt négatif) et du développement d'une instabilité considérable des politiques économiques et fiscales. Le secteur de la canne à sucre opère dès 1982-83 dans des conditions financières délicates et sans garantie sur les options stratégiques (notamment énergétiques) des pouvoirs publics.

Jusqu'en 1980, l'objectif public est d'utiliser l'alcool (anhydre) en mélange dans l'essence (maximum 20%) pour les véhicules légers. Après le second choc pétrolier, le programme s'élargit vers l'approvisionnement en combustible de véhicules fonctionnant à l'alcool pur. Le gouvernement finance dans des conditions très favorables l'installation de nouvelles distilleries indépendantes pour satisfaire cet objectif. Des dégrèvements fiscaux sur les prix de l'alcool carburant et ceux des véhicules à alcool permettent l'émergence d'une demande pour ces produits meilleurs marché. Le contre-choc pétrolier de 1986 vient remettre en question cette trajectoire et les moyens mis en œuvre pour sa poursuite. Le gouvernement arrête tout d'abord le financement de la construction de nouvelles capacités de production tout en conservant les incitations à l'usage de l'alcool, sans pour autant maintenir des taux de rémunération stimulant pour le secteur. En effet, à partir de 1985, la politique de prix de l'énergie élaborée par le gouvernement Sarney (1985-90) vise à limiter l'inflation par les prix. À terme, les prix de l'énergie se trouvent sous-estimés par rapport à l'évolution de l'inflation. La production de canne stagne à partir de 1985, celle de sucre reprend et en 1989, la pénurie d'alcool apparaît. La crédibilité du programme éthanol est fortement remise en question depuis. En 1990, le gouvernement Collor, dans sa politique d'ouverture de l'économie modifie le rôle de l'État dans les marchés du sucre et de l'éthanol à commencer par l'extinction de l'Institut du sucre et de l'éthanol (IAA). Le gouvernement intervient encore dans la détermination de plusieurs paramètres : volume de la production et besoin d'importation et d'exportation d'éthanol et de sucre ; allant jusqu'à définir les volumes d'exportation par régions. La commercialisation est privatisée. Elle respecte cependant les procédures du Département du commerce extérieur comme tout autre produit exportable. L'unique différence est que l'acheteur n'est plus l'IAA et les traders peuvent s'approvisionner directement auprès des usines. Les prix de vente du sucre et de l'éthanol brésiliens à l'exportation sont dès lors fixés par les marchés internationaux. La tentation pour les producteurs de ne pas respecter les quotas de production est forte quand les prix internationaux augmentent sensiblement comme c'est le cas du sucre en 1993. Le risque d'avoir à faire face à une nouvelle pénurie nationale d'éthanol, résultant d'un déplacement de la production vers le sucre existe dans un contexte où les superficies cultivées en canne n'augmentent pas proportionnellement à la demande d'éthanol qui reprend après les pénuries de 1990. Le problème de la stabilisation par le gouvernement de l'offre d'éthanol est délicat. La question de la production privée d'une ressource stratégique est posée.

L'action publique en faveur de la R & D pour le "système canne".

La R & D publique a pour vocation de créer des techniques pour améliorer la productivité des unités de production existantes et dont la promotion fait partie des lignes de définition des politiques industrielles nationales. Compte tenu de l'importance de la partie agronomique dans le coût final de production de l'éthanol ou du sucre, la partie essentielle de la R & D publique s'attache à développer de nouvelles variétés de canne à sucre. Mais il est difficile pour une entreprise privée de financer de la R & D à partir du développement de technologies non appropriables (comme des variétés de canne non hybrides par exemple). Pour cette raison, les pouvoirs publics se doivent de prendre en charge cette partie de la R & D. La R & D publique est aussi indispensable pour viabiliser des petites unités de production incapables de mener à bien une recherche trop coûteuse ou de financer elles-mêmes des structures privées de R & D.

En Inde, le début de l'effort public de R & D en direction du "système canne" est ancien et remonte au XIX^e siècle. Au Brésil, les investissements publics dans la R & D deviennent importants seulement dans les deux décennies 70 et 80, suite à la mise en œuvre du programme éthanol. Leur croissance se ralentit dans les années 80 avec la stagflation qui frappe le pays⁴⁴.

L'émergence d'innovations capables de s'insérer dans des structures de production autres que celles du modèle dominant est par conséquent limitée car les acteurs industriels jouent un rôle actif dans la définition des politiques industrielles (actions de lobby). En Inde comme au Brésil, un ensemble d'acteurs publics définissent un système national d'innovation autour du "système canne". Plusieurs centres de recherches joignent leurs efforts. On distingue ainsi pour la qualité de leur travail, le Centro Tecnológico da Aeronautica (C.T.A.) au Brésil ou le Sugar Breeding Institute de Coimbatore en Inde, par exemple. Ce dernier, mis en place en 1912 par le gouvernement indien, a créé des variétés de cannes utilisées jusqu'à aujourd'hui dans le monde entier. Au Brésil, l'effort a aussi été réalisé en aval. Le C.T.A. a largement contribué au développement d'un moteur à alcool, pour les voitures individuelles. En outre les pouvoirs publics financent des efforts multiples de recherches plus fondamentales au sein des universités et centres publics de recherche (sur les processus de fermentation, etc.) dont les résultats contribuent aussi à une meilleure maîtrise nationale des technologies. Cependant, il faut noter qu'aucune innovation majeure n'a marqué le champ de la R & D pour le "système canne" au cours des récentes décennies mais qu'il s'est agit davantage d'innovations secondaires permettant de viabiliser ou d'améliorer la viabilité de quelques productions.

La politique d'environnement.

Dans ce paragraphe, nous nous bornons essentiellement au cas du Brésil où des moyens plus ouvertement liés au secteur ont été mis en place⁴⁵ et ont entraîné des améliorations de la qualité des méthodes de culture, des processus industriels ou plus en aval, des produits de consommation.

Au Brésil, des instruments de politique de l'environnement existent dans la conception sinon dans la pratique depuis 1973, date de la création du Secrétariat spécial à l'environnement (SEMA) du ministère de l'Intérieur. C'est la loi fédérale de mai 1981 (loi 6938) qui a défini plus clairement les règles et responsabilités de la politique nationale de l'environnement que l'on peut classer en quatre catégories : normes d'environnement, contrôle de l'usage des sols, processus de délivrance de licence d'activité (lié aux études d'impacts), sanctions (amendes, indemnisations).

L'application des moyens de l'action publique est entravée par les difficultés de financement des organes de contrôle (en particulier dans les récentes années de difficultés économiques au Brésil) et de gestion de l'environnement et par les conflits avec d'autres politiques sectorielles. L'impact des mesures législatives est restreint d'autant. Ces limites importantes étant énoncées, il n'en reste pas moins que des programmes d'environnement bien menés donnent de bons résultats.

C'est par exemple le cas du PROCONVE, programme de contrôle de la pollution véhiculaire du Brésil dont les résultats sont indéniables dans l'État de São Paulo. Élargi à l'ensemble de la fédération en 1986, ce programme établit un calendrier de réduction graduelle des émissions de l'ensemble des véhicules. Les valeurs limites (voir tableau ci-dessous) fixées initialement par la CETESB (Agence de la protection de l'environnement de l'État de São Paulo) sont appliquées aux véhicules neufs devant recevoir un agrément technique pour être construits. Depuis 1990, le PROCONVE va même jusqu'à imposer l'utilisation de technologies pour atteindre ces limites (objectifs) : injection et allumage électroniques, pot d'échappement catalytique.

Tableau 6

BRÉSIL
PROCONVE, limites d'émissions et valeurs moyennes d'émissions
des véhicules légers

année	observation	gaz d'échappement (gr/km)				vapeurs de combustible (gr/test)
		CO	HC	NOx	Aldéhydes	
pré-1980	essence pure	54,0	4,7	1,2	nd	nd
1986 ¹	éthanol	16,9	1,6	1,2	0,16	10,0
	gasohol ¹	28,0	2,4	1,6	0,04	23,0
1990²	limites	24,0	2,1	2,0	-	6,0
	éthanol	10,8	1,3	1,2	0,11	1,8
	gasohol ¹	13,3	1,4	1,4	0,04	2,7
1992³	limites	12,0	1,2	1,4	0,15	6,0
	éthanol	3,9	0,6	0,5	0,03	1,2
	gasohol ¹	5,9	0,5	0,6	0,01	2,3

¹pas de contrôle.

²gasohol : 78 % essence + 22 % éthanol (anhydre).

³1ère phase du PROCONVE. Moyennes de la production de véhicules légers.

⁴2ème phase du PROCONVE. Moyenne des résultats de certification des modèles.

nd : non disponible.

Source : CETESB, 1992.

Le tableau précédent montre une nette réduction, croissante avec le temps, des émissions de moteurs neufs. Il est clair que l'imposition des technologies à utiliser limite le champ des options techniques possibles même si l'augmentation des rendements des moteurs qui peut en résulter est bien un produit de l'établissement de normes contraignantes. On notera aussi qu'en accord avec les problèmes potentiels de la consommation d'alcool carburant, le Brésil est un des seuls pays au monde à avoir fixé une limite d'émissions d'aldéhydes pour les véhicules neufs (depuis 1992, cf. tableau 6)⁴⁶. Les incitations se tournent donc maintenant plus vers une taxation des moteurs et carburants relative aux degrés d'efficacité des moteurs et d'émissions de polluants des carburants, plutôt que vers une fiscalité progressive fonction de la taille des moteurs.

Des mesures de politiques permettant une prise en charge par l'État du risque d'investissement dans des projets industriels de contrôle de la pollution dont la rentabilité financière immédiate n'est pas évidente (par exemple, la matière première a un coût nul : l'eau) constitue aussi des leviers évidents pour mobiliser les entrepreneurs privés. Dans cette direction, dès 1975, l'État de São Paulo a mis en place un programme de

contrôle et d'orientation technique des raffineries de canne pour les inciter à augmenter l'efficacité de leur production en recyclant les eaux de lavage et en utilisant la vinasse comme engrais. En 1980, cet effort est renforcé par le PROCOP, Programme de contrôle de la pollution, qui met à la disposition des raffineries de canne (et d'autres industries) une ligne de crédit à taux préférentiel pour des projets d'investissement dans des technologies de contrôle de la pollution. Financé par la Banque mondiale (pour moitié environ) et géré par la CETESB, près de 200 millions de dollars ont été investis ainsi entre 1980 et 1990 dans l'industrie en général. Les complexes industriels de valorisation de la canne au Brésil ont investi dans des systèmes de traitement des eaux. On en rencontre dans la plupart des grandes usines de l'État de São Paulo. La décroissance de la consommation d'eau dans le processus industriel que nous constatons précédemment (voir tableau 3) prend sa source dans ces mesures publiques.

Le jeu des entreprises

Entre producteurs de canne à sucre, industriels, fournisseurs de technologies et entreprises concurrentes du secteur s'établit un jeu complexe. L'innovation en émerge comme le produit de réseaux de soutien, de systèmes nationaux d'innovation et de milieux innovateurs régionaux, chacun ayant une position distincte dans les processus d'innovation.

Les producteurs de canne à sucre

On rencontre en Inde et au Brésil deux types de producteurs de canne à sucre. Les premiers sont des planteurs propriétaires fonciers qui vendent le produit de leur récolte aux industries de valorisation de la canne les plus proches. Les seconds sont eux-mêmes des planteurs de canne ayant investi dans une raffinerie de canne compte tenu d'une taille suffisante de leur exploitation. On rencontre les premiers dans les deux pays. Les seconds sont beaucoup plus rares en Inde, à cause de la taille des propriétés foncières. Dans les deux cas, l'origine de nouvelles technologies est à l'extérieur. En effet, l'agriculture est essentiellement un secteur usager de technologies. L'évolution des techniques utilisées est ainsi dictée par les fournisseurs d'équipements ou d'intrants. Les raffineries ont un rôle de relais. Elles transmettent ainsi de nouvelles méthodes de culture et de nouvelles technologies dont elles peuvent parfois assumer une partie du coût. Les raffineries utilisent aussi les terres qu'elles possèdent, ou des planteurs de canne indépendants qui acceptent, pour expérimenter des techniques nouvelles (irrigation, contrôle biologique des pestes, etc.).

Il est évident que quand la technologie est disponible au niveau des raffineries et que les terres d'approvisionnement de la canne leur appartiennent, il leur est relativement aisé d'y introduire des nouvelles techniques,

généralement en réponse à une incitation extérieure (crédits préférentiels, réglementation, voir encadré 3 ci-dessous).

On constatera aisément que ce système laisse a priori peu de place au libre choix d'un petit planteur individuel, soumis au calendrier cultural dicté par la raffinerie locale. Cependant, les risques associés à un investissement dans une nouvelle technologie peuvent s'avérer trop élevés pour que ce dernier se soumette sans délais à une proposition de la raffinerie. Il peut s'agir d'un risque financier ou climatique par exemple. C'est ainsi qu'on peut expliquer une partie des lenteurs constatées par exemple dans la diffusion de nouvelles variétés de canne.

Encadré 3

Les pépinières arboricoles des raffineries de canne à sucre de l'État de São Paulo

Plusieurs lois fédérales récemment établies ont renforcé un cadre légal existant mais peu appliqué qui stipulait depuis 1965 (loi 4771) l'obligation pour les propriétaires de préserver 20% de leur terres comme Réserve forestière légale (RFL). Les lois de 1989 (loi 7803) et de 1991 (loi 8171) viennent compléter cette simple mesure initiale en définissant respectivement les zones objets d'une obligation de reboisement (berges des cours d'eau, des lacs, des réservoirs et des sources, sommets des collines, zones de déclive supérieures à 45%, etc.), ainsi que les superficies à reboiser (un trentième de la RFL par an) et les incitations fiscales exemptant les aires de reboisement de l'Impôt territorial rural considérées dès lors comme Aires de préservation permanente. La nécessité légale de reboiser avec des essences de préférence natives de la région exige le développement de technologies d'obtention de semences et de plants. L'initiative est venue de la Copersucar, coopérative de commercialisation des produits de 47 sucreries et distilleries de l'État de São Paulo. Forte du plus important centre de R & D en matière de canne à sucre du Brésil, la Copersucar a mis en place des projets de recherches sur l'implantation de pépinières arboricoles et la maintenance de forêts d'essences natives. Ce programme, anticipant les lois 1989 et 1991, commencé au début des années quatre-vingt a permis le reboisement de 1 300 ha et la production annuelle de 400 000 plants sur les sites de plusieurs usines membres de la coopérative. Un des agronomes en charge de ce projet a depuis quitté la Copersucar pour établir sa propre entreprise de commercialisation de semences et de plants et de conseil en paysagisme. Il collecte les semences sur plus de 300 espèces dispersées dans l'État de São Paulo et les États voisins.

Il est clair que depuis les deux dernières lois, les producteurs de canne à sucre et autres propriétaires terriens sont désormais davantage motivés pour lutter contre la déforestation en plantant en arbres les surfaces non cultivables (sols érodés, régions rocheuses, etc.). Si le nombre d'hectares effectivement reboisés est encore très limité, le mouvement semble se diriger dans la bonne direction. Au-delà des incitations purement monétaires, les raffineries de canne à sucre souhaitent également se défaire d'une image de destructeurs de l'environnement qui les a longtemps desservies.

Les raffineurs de canne à sucre

A partir d'une matière première dont la disponibilité est donnée, les stratégies d'investissements technologiques des raffineries de canne à sucre reposent sur leurs capacités de financement, leur perception du risque et sur leurs anticipations de demandes pour les produits de ces investissements⁴⁷. Malgré l'importance des fluctuations des marchés internationaux pour certains pays (ex. : Brésil, Cuba), les choix publics ont un impact considérable dans la structuration des offres du secteur. Enfin, les contraintes d'approvisionnement en canne (quantitatives et qualitatives) et les limites légales fixées par l'État, contraignent aussi les tailles des capacités de production. L'enjeu de la diversification et les potentiels réels de diversification doivent dès lors être perçus différemment. D'une part, les stratégies d'investissements diffèrent d'une raffinerie à l'autre en fonction des paramètres décrits précédemment, ce qui explique l'hétérogénéité des niveaux d'innovation entre raffineries relevée dans les deux pays. D'autre part, la taille limitée des raffineries de canne (comparativement aux unités de production des firmes de l'industrie de la pétrochimie par exemple) les place dans une situation de domination par rapport aux fournisseurs de technologies. De fait, leur viabilité repose davantage sur une volonté d'optimiser leurs coûts de production que sur une stratégie de conquête technologique. Enfin, en réponse aux demandes résultantes de choix publics (éthanol), les raffineries de canne, particulièrement au Brésil, ont une stratégie d'innovation qui leur offre une possibilité de flexibilité⁴⁸. Dans ce cas, l'objectif est de pouvoir bénéficier des meilleures opportunités commerciales en mettant en place des systèmes productifs permettant de modifier selon leurs souhaits le ratio sucre/éthanol.

Dans ce contexte, plusieurs phénomènes attirent notre attention. Le développement du secteur repose en grande partie sur des choix publics ayant permis de limiter les risques d'investissements privés. Cette configuration a permis l'émergence d'une classe d'acteurs sociaux privés bien organisés avec une stratégie d'innovation destinée à capter un surplus économique réel. En outre, une stratégie politique d'insertion graduelle dans les instances publiques autorise les principaux acteurs privés du secteur à orienter les politiques publiques en leur faveur, de façon à capter un surplus économique potentiel. Cette capacité, les raffineurs de canne à sucre privés ne la doivent pas au hasard. Ils appartiennent à des régions possédant initialement un tissu industriel développé. Ils sont à proximité des centres de décision⁴⁹ et de consommation et bénéficient ainsi d'économies externes qui n'existent pas dans d'autres régions. Les raffineurs forment également des réseaux sociaux d'innovation (les pionniers de l'industrie sucrière au Maharashtra appartiennent tous à la caste Marathe par exemple)⁵⁰.

Les conséquences de cette concentration de l'innovation sont importantes. Elles prennent par exemple la forme de verrouillage technologique,

empêchant ainsi l'émergence de systèmes productifs différents (de petites tailles par exemple⁵¹). La captation des fonds publics se fait au détriment d'autres secteurs ou régions. Les choix techniques ne sont pas sans arbitrages productifs négatifs pour l'environnement (développement excessif de l'irrigation par exemple).

La stratégie des raffineurs de canne a aussi conduit à une puissante organisation de la profession par l'intermédiaire d'associations pour la défense des intérêts (parfois divergents) du secteur, ex. : National Federation of Cooperative Sugar Factories (N.F.C.S.F., Inde), Associação das Industrias de Açucar e Alcool do Estado de São Paulo (A.I.A.A., Brésil). L'organisation du secteur a aussi permis la création d'institutions de R & D, ex. : le Centro de Tecnologia Copersucar (CTC, Brésil); le Vasantdada Sugar Institute (V.S.I., Inde). Leur rôle dans le transfert de technologies vers les raffineries de canne est important. Il ne doit pas pour autant faire oublier la taille des financements nécessaire à maintenir en fonction de telles institutions. Le cas du CTC est à ce titre exemplaire. Il a parfaitement fonctionné comme source d'innovation tant que le dynamisme économique des entreprises le finançant était fort. Depuis la fin des années 80, sous l'effet conjugué de la libéralisation de l'économie et des difficultés économiques du Brésil, les entreprises le finançant ayant tendance à retirer leur participation à l'effort commun de R & D, le CTC tend de plus en plus à développer des activités de prestations de services aux raffineries de canne, limitant d'autant les activités de R & D dont les résultats ne sont pas immédiats.

Les producteurs de technologies

Au Brésil et en Inde, les producteurs de technologies dominent les consommateurs (raffineurs de canne). Ce sont eux qui déterminent en grande partie la nature des innovations à promouvoir. Par rapport aux firmes internationales de production de technologie (équipements pour le "système canne"), les firmes nationales du Brésil et de l'Inde sont elles-mêmes dominées. En effet, peu de firmes privées font de la R & D une de leurs activités formelles dans ces pays. Si les firmes d'ingénierie et de biens de capital ont parfaitement assimilé toutes les technologies du système de raffinage de la canne aussi bien en Inde qu'au Brésil, elles demeurent les consommatrices d'une R & D réalisée en dehors du pays et servent de relais à des entreprises internationales. Leur rôle est confiné à celui d'adaptateur de technologies aux contextes locaux (conditions d'opérations, financement, etc.).

L'objectif initial de stimulation des industries nationales de biens de capital a donc été partiellement atteint. Tout d'abord, les incitations publiques mises en place pour promouvoir le système canne ont contribué à l'émergence de nombreux bureaux d'études liés au secteur, à des repré-

sentations industrielles locales d'entreprises internationales et à une multitude de petites entreprises commercialisant des équipements de technologies simples conçus et fabriqués localement. Les capacités d'expertise technologique existent dans ces deux pays où des infrastructures éducationnelles sont à l'œuvre depuis suffisamment longtemps pour répondre aux besoins du "système canne" en main-d'œuvre qualifiée. Le problème est plutôt de trouver des moyens d'attirer cette main-d'œuvre dans les zones rurales de localisation de l'industrie. Enfin, l'essentiel du savoir-faire technologique est concentré dans les mains d'un petit groupe de firmes d'importance qui forment un oligopole. Cette situation crée une barrière à l'entrée de nouveaux venus dans l'industrie de biens de capital. Les membres de l'oligopole préfèrent pousser les raffineries de canne à opérer et à maintenir en usage des équipements anciens à un coût moins élevé que celui qui résulterait d'investissements dans des équipements nouveaux ayant requis pour leur part un important investissement en R & D. Si les politiques publiques ont stimulé les industries de biens de capital, elles n'ont réussi que faiblement à inciter à mettre en place les véritables conditions d'une autonomie de ces industries.

Les entreprises concurrentes du secteur

L'impression générale de ce texte pourrait donner l'idée que le "système canne" évolue dans un milieu relativement protégé de la concurrence. Ce fut en effet longtemps le cas. Au Brésil cependant, le programme éthanol place d'ores et déjà les raffineurs de canne face aux producteurs de carburants fossiles depuis 1975. Depuis quelques années, la stratégie de diversification des raffineurs de canne les conduit à entrer sur des marchés soit plus concurrentiels, soit ayant des modes de régulation très distincts de ceux des marchés traditionnels du secteur. La taille moyenne des productions des raffineries les porte nécessairement à travailler sur ces marchés d'une part, et à entrer en concurrence avec des productions similaires d'origine fossile, non renouvelable ou de synthèse (pétrochimie, édulcorants de synthèse), souvent produites à grandes échelles et dans un contexte de d'exploitation croissante des potentiels nationaux des gisements de pétrole dans l'objectif d'une indépendance énergétique.

Dans ces secteurs concurrents, les potentiels d'économies d'échelles et donc de réduction des coûts de production, sont infiniment plus grands que dans l'industrie de valorisation de la canne à sucre. Or dans certains secteurs comme la chimie, les économies d'échelle se réduisent au fur et à mesure des transformations. Par exemple, plus la chimie est fine, moins les économies d'échelles sont grandes, plus les échelles de production sont petites. Mais pour investir de tels secteurs, pour vraiment maîtriser la technologie de ces produits et de fait bénéficier des très hautes valeurs ajoutées

qu'ils génèrent, les investissements en R & D sont hors de portée des raffineries de canne, même regroupées.

Les consommateurs

Même si nous considérons comme essentiel le rôle des firmes dans la construction des marchés des produits de la canne, la part des consommateurs n'est pas à négliger. Leur rôle tient moins dans l'impulsion, la construction d'une demande que dans les inflexions qu'ils peuvent lui donner.

On peut distinguer deux types de consommateurs des produits de la canne à sucre. Les ménages d'une part, consomment les produits principaux du "système canne": sucre, éthanol carburant ou alcool de bouche, etc. Le rayon de diffusion des produits principaux peut être assez élevé. Les consommateurs institutionnels d'autre part, entreprises et États dont la demande se dirige plutôt vers les sous-produits: bagasse combustible, énergie, etc. Il s'agit généralement d'une consommation de proximité, utilisant des complémentarités interindustrielles.

L'encadré 4 fait état du même problème que nous évoquons dans l'encadré 2, du point de vue des consommateurs.

Encadré 4

Brésil - éthanol ou essence, la confiance ébranlée des consommateurs

En 1989 et 1990, seules les pompes à essence de São Paulo sont capables de fournir du carburant aux véhicules à éthanol avec régularité. Dans l'ensemble du pays, plus de 30% de la flotte (plus de 4 millions de véhicules⁵²) fonctionnant à éthanol doivent alors faire face à des difficultés d'approvisionnement. La pénurie relative d'éthanol est le résultat de réallocations de la canne à sucre vers la production de sucre qui s'avère plus rentable pour les producteurs. La municipalité de São Paulo accepte alors d'utiliser du méthanol importé pour supplanter l'éthanol manquant, contre l'avis des syndicats qui y voient une source possible d'empoisonnement en cas d'ingestion accidentelle par les pompistes. Les grandes raffineries de canne ne sont pas contre puisque le méthanol est bon marché (surproduit au niveau international) et diminue ainsi le coût du carburant obtenu en mélange. Les recherches réalisées à l'époque montrent qu'une bonne solution réside dans un mélange d'éthanol (60%), d'essence (7%) et de méthanol (33%), qui permet de maintenir à l'identique les rendements des moteurs à éthanol sans augmenter significativement la pollution atmosphérique. Dans les autres grands centres urbains, l'éthanol faisant défaut, l'option éthanol est remise en cause par les consommateurs. En 1988, 88,4% des voitures vendues fonctionnaient à éthanol. En 1989 et 1990, ce chiffre passe respectivement à 61% puis 13,2%. La Petrobras, monopole public de distribution (également responsable de l'exploitation, du raffinage et de la commercialisation d'hydrocarbures) est contrainte de créer un stock stratégique pour éviter que se renouvelle un tel scénario. Depuis, les ventes de véhicules à éthanol ont repris mais la confiance des consommateurs a été sérieusement affectée.

3. PERSPECTIVES

Un potentiel technique considérable

De nouvelles technologies apparaissent et affectent directement ce secteur en créant de nouvelles concurrences et en offrant des opportunités de diversification des capacités existantes. Une infinité de combinaisons technologiques sont possibles. L'annexe 1 décrit brièvement quelques unes des technologies faisant déjà l'objet d'une commercialisation à destination des raffineries industrielles de canne.

Deux constats peuvent être faits.

Le premier est relatif à une caractéristique essentielle de la valorisation de la biomasse en général. D'une part, sa disponibilité pose la question de l'arbitrage entre différents choix de production. A court terme, la biomasse est disponible en quantité limitée et des concurrences peuvent apparaître entre produits. D'autre part, les produits issus de cette diversification sont (et seront) commercialisés sur des marchés très différents dans leur localisation, leur taille et leur organisation. Ces marchés ne répondent pas aux mêmes signaux incitatifs. Et la gestion des raffineries dans ce contexte demande des capacités managériales dont elles disposent rarement et une flexibilité de leur capacité de production. Cette flexibilité existe dans les raffineries brésiliennes où le système produit du sucre ou de l'éthanol à partir d'une même matière première. Ce n'est pas le cas dans l'industrie sucrière indienne.

Le second constat est pour dire que compte tenu de l'abondance des configurations techniques disponibles, les obstacles à une valorisation intégrale de cette biomasse sont moins de nature technologique qu'économique et/ou institutionnel. L'encadré 5 (page suivante) présente le cas de la cogénération pour lequel la technologie existe, mais les projets industriels demeurent rares.

Reprenons la thématique des biotechnologies par exemple. Les récentes années nous ont montré des tendances bien différentes que celles prévues au début des années 80. A cette époque, on considérait les biotechnologies comme un ensemble relativement homogène de technologies aux capacités pratiquement illimitées ou comme des concurrents potentiellement très importants de certaines matières premières, menaçant ainsi directement les recettes d'exportation de certains pays (exemple de la vanille).

La mise en pratique de ces technologies par les firmes s'avère plus complexe. L'utilisation des biotechnologies comme substitut à l'énergie dans la chimie des procédés ou pour modifier génétiquement des êtres vivants (plantes, semences⁵³) s'avère très difficile sur une échelle rentable

économiquement. La maîtrise de techniques avancées pour une production à grande échelle est encore balbutiante. Les biotechnologies reposant sur les caractéristiques génétiques utilisées dans les processus de sélection de nouvelles molécules, pour baisser leur coût de production dans l'industrie pharmaceutique, donnent des résultats très encourageants pour le court terme. De même, des biotechnologies intermédiaires (moins complexes, comme celles utilisées pour la reproduction in vitro de plants de canne à sucre) ont montré de réels potentiels de développement à court et moyen terme et sont déjà utilisées par les centres de R & D privés d'appui au "système canne". Compte tenu de la position des raffineries de canne par rapport à l'innovation, les potentiels de transferts de ces techniques sont limités.

Encadré 5

Les indécisions de la cogénération

Les projets d'investissements dans la cogénération présentent de nombreux avantages pour les services publics de production et de distribution d'électricité. Au-delà de la possibilité pour les raffineries de canne de baisser leurs coûts de production grâce à l'autoproduction d'une énergie renouvelable, ces projets pourraient être d'importants fournisseurs d'électricité pour les réseaux nationaux. Les potentiels effectifs sont estimés à environ 2000 MW au Brésil et en Inde d'ici à 2010⁵⁴, à un coût en capital compris entre 1000 et 2000 \$/kW suivant la puissance installée requise (60 à 5 MW). Le prix de revient de l'électricité ainsi produite est de l'ordre de 0,25 F/kWh (francs français) au Brésil⁵⁵. Dans les conditions de mises en œuvre rencontrées à l'île de la Réunion où la cogénération utilise la bagasse de la canne et du charbon pour le reste de l'année de façon à produire un excédent d'électricité pendant toute l'année, le prix de revient atteint 0,40 Ff/kWh⁵⁶. Pour les services publics, les centrales électriques à bagasse annexes aux raffineries de canne ont les intérêts suivants : une production décentralisée, en zone rurale et des temps de gestation plus courts que les projets conventionnels (hydroélectriques, thermiques, etc.). Malgré des taux de retour positifs⁵⁷ peu d'investissements ont encore été réalisés en Inde ou au Brésil. Les blocages sont de nature institutionnelle et économique. Ils tiennent principalement aux conditions d'achat des excédents d'électricité par les concessionnaires publics.

Dans les deux États étudiés, des accords ont été définis en 1990/91 entre l'industrie de la canne et les compagnies publiques d'électricité sur un prix d'achat équivalent au coût marginal en développement de la production électrique. Jusqu'à présent, les contrats entre ces acteurs laissent plusieurs problèmes non résolus qui limitent l'innovation. Comment sont financés les investissements technologiques nécessaires ? Comment se négocient les conditions d'interconnexion des raffineries de canne avec le réseau dans une situation où les premiers produisent de l'énergie seulement pendant la saison de récolte de la canne et consomment de l'électricité du réseau pour les besoins de maintenance le reste de l'année ? Comment les services publics intègrent dans la planification de leur offre d'énergie une source de génération saisonnière ? Plus généralement, l'émergence d'intervenants privés sur le marché de l'électricité pose un problème de régulation dont la solution passe en partie par une remise en question du rôle de l'État. La technologie existe mais requiert à nouveau des réformes institutionnelles dont l'essence relève du domaine politique.

En gardant en mémoire l'application d'un principe de pluralisme technologique, la question du transfert de technologies est posée. Comment rapprocher les utilisateurs des créateurs pour faire émerger un processus d'innovation? Au sein de quelles configurations institutionnelles se fera le passage du potentiel théorique aux capacités effectives de production (entre centres de R & D, industriels, planteurs)?

Réévaluer la contribution nationale d'un secteur en danger

Perspectives de la valorisation industrielle de la canne à sucre

Dans les deux pays, l'expansion du secteur est dorénavant remise en cause. Le poids sur les finances publiques du développement du secteur apparaît comme trop élevé et dans le cas du Brésil, la comparaison économique de la viabilité de la production d'éthanol relativement à celle d'essence ne semble plus positive. Bien entendu, ce calcul économique incorpore et valide un choix politique initial de la part de son auteur. Les évaluations varient considérablement suivant les hypothèses de calculs adoptées par les différentes études⁵⁸. Dans la comparaison avec les énergies fossiles, de nombreux coûts ne sont pas comptabilisés par hypothèses de simplification des calculs ou par l'absence relative de méthodes pour les évaluer⁵⁹. Quoiqu'il en soit, le coût de production de l'éthanol carburant est actuellement plus élevé que l'essence en moyenne. Pour atteindre les objectifs actuels de production d'éthanol, le Brésil a dû inciter depuis le début de la décennie 80 à l'extension de la capacité productive par la mise en opération de distilleries autonomes dont les coûts d'investissements sont plus élevés que les distilleries annexes aux sucreries. A plus long terme, les estimations du prix du pétrole s'accordent autour d'une augmentation modérée par l'action sur les marchés des pays occidentaux soucieux de préserver leur sécurité énergétique. A présent, la production d'éthanol est viable au Brésil, pour la collectivité, à partir du moment où le pétrole dépasse le prix de 18,5 \$/baril FOB Rotterdam (\$ 1990)⁶⁰. Plusieurs innovations technologiques (fermentation améliorée, etc.) permettent d'envisager une réduction supplémentaire du coût de production de l'éthanol. Une politique imposant une redéfinition de la place de l'éthanol dans le bilan énergétique national ainsi qu'un moratoire sur la construction de nouvelles capacités de production permettrait de limiter le poids des subventions sur le budget de l'État brésilien. D'autres problèmes déjà abordés viennent s'ajouter à la question de la production. Le problème de gestion de la demande de véhicules à éthanol par exemple doit être considéré avec profondeur pour éviter l'apparition de déséquilibres entre l'offre et la demande d'éthanol⁶¹. Ces résultats font écrire à certains auteurs⁶² que la première phase du programme éthanol était plus viable que la seconde.

Au Maharashtra, l'expansion prévue à venir de l'industrie sucrière impliquerait que le Gouvernement de l'État investisse à nouveau 200 M\$ en direction de cette industrie. Dans le cas de l'Inde, cette option se heurte à court terme à des contraintes physiques (ex. : quantité de terres disponibles dans les régions possédant un climat approprié à la culture de la canne) et financières (poids déjà considérable des investissements publics dans le secteur, en irrigation par exemple, coût d'opportunité élevé des devises et faiblesse de l'investissement privé). Ainsi, au Maharashtra, l'expansion des unités existantes devrait être limitée et seules 25 nouvelles unités de production de sucre pourraient s'installer dans l'État⁶³ à moyen terme, dans les conditions de productivité prévalant à l'heure actuelle. Les districts à l'Est de l'État, plus secs, seraient beaucoup plus aptes à recevoir d'autres cultures commerciales comme le coton par exemple et la mise en opération de filatures, mais l'État doit choisir et aucun leader politique n'est prêt à dénoncer une situation où les industriels de la canne à sucre accaparent l'essentiel des fonds destinés à l'industrialisation rurale, pas même les leaders paysans dont les liens avec la caste marathe sont forts⁶⁴. Si l'option éthanol carburant a jusqu'à présent été écartée de la politique énergétique de l'Inde, une possibilité de renforcer l'usage d'éthanol de canne pour l'industrie chimique semble émerger et de plus en plus de raffineries de canne cherchent à investir dans des unités de production d'intrants chimiques (acide acétique, chimie de l'éthylène, etc.), avec les limites en termes de maîtrise des technologies que nous avons décrites précédemment.

La dimension d'environnement entre maintenant de plain-pied dans la problématique de développement des biocarburants. Ainsi, au Brésil, on peut avancer que le programme éthanol mis en place par le gouvernement depuis 1975 ne peut maintenant être justifié que si l'on prend en compte ses apports à l'environnement⁶⁵. Comme substitut aux carburants fossiles, indépendamment des impacts locaux, l'usage d'éthanol et le développement de la cogénération pour l'approvisionnement du réseau électrique peuvent être envisagés comme des palliatifs dans la solution à la question globale des émissions de gaz à effet de serre. A ce titre, un exercice de prospective mené à l'Université fédérale de Rio de Janeiro en 1993 a permis de mettre en lumière quelques résultats encourageants pour l'avenir de l'éthanol de canne dans ce pays (voir aussi le tableau 11 en annexe 2). Un tel scénario (scénario 2, encadré 6) repose sur la nécessité d'un renouveau des investissements en direction de la production d'éthanol et de l'implantation d'innovation dans le domaine du traitement des effluents (ex. : méthanisation de la vinasse), sans parler de l'indispensable compensation du coût du déplacement d'autres cultures (dont les cultures vivrières). Cette stratégie suppose un engagement clair de l'État en terme de politique énergétique et plus généralement de politique d'industrialisation. La disponibilité de financements internationaux à cette

fin doit être renforcée. De ce point de vue, le cadre de la convention des Nations-Unies sur le changement climatique signée par 154 pays au printemps 1992 affirme clairement que les pays en développement devront être compensés pour les coûts de réductions incrémentaux qu'ils auront volontairement engagés pour limiter leurs émissions de gaz à effet de serre⁶⁶.

Encadré 6

Une simulation du coût d'éviction d'émissions de carbone dans le cadre d'une stratégie d'expansion de la production d'éthanol au Brésil⁶⁷

Deux scénarios énergétiques ont été construits avec des hypothèses similaires (taux de croissance démographique et économique, prix du pétrole à l'horizon 2010 et 2025). L'approche méthodologique repose sur l'utilisation d'un modèle de type Markal optimisant l'offre d'énergie pour satisfaire une demande simulée pour être consistante dans le cadre d'un modèle d'équilibre général (minimisation du coût de l'offre d'énergie sous contraintes). Le premier scénario est un scénario de référence pour les besoins de comparaison (scénario 1). Il suppose que la structure de l'offre et de la demande d'énergie de 1990 reste la même en 2025. Seul un léger ajustement a été pris en compte pour refléter une diminution (10%) de l'intensité énergétique de l'économie brésilienne (progrès technologique interne). Le programme éthanol est éliminé progressivement. En effet, si la tendance actuelle continue, les soutiens au programme éthanol diminuant, les véhicules fonctionnant à l'alcool seront progressivement mis au rebut pour disparaître conjointement à l'usage de ce carburant vers 2010. Le second scénario (scénario 2) est le produit d'une stratégie d'extension du programme éthanol dans l'optique d'une politique volontariste de réduction des émissions de carbone du système énergétique. La production d'éthanol de canne est accrue pour constituer 22% du gasohol et pour satisfaire la demande de 30% de la flotte de véhicules légers roulant à l'alcool pur en 2010. En 2025, le nombre de voitures à alcool est supposé augmenter plus encore pour atteindre 60% de la flotte. Les gains d'efficacité dans les raffineries de canne sont supposés conduire à l'extension des projets de cogénération orientés vers l'approvisionnement du réseau électrique. A partir de ces hypothèses, les résultats du modèle sont les suivants. Des réductions de l'ordre de 8 à 10% des émissions de CO₂ en 2010 peuvent être obtenues à un coût en investissements supplémentaires dans le système énergétique raisonnable par rapport au scénario de référence : de 25,5 \$/tc dans un scénario de bas prix du pétrole à moins de 2,1 \$/tc avec seulement une légère augmentation du prix du pétrole. Les émissions évitées de CO₂ grâce à l'usage d'éthanol carburant s'accroîtraient sensiblement en 2025 (77 à 81 Mtc/an), soit plus qu'un doublement des taux correspondants de réduction des émissions de carbone, atteignant environ 18% de baisse par rapport au système énergétique de référence. Les coûts incrémentaux pour atteindre un tel niveau de réduction des émissions de carbone seraient évidemment beaucoup plus élevés (81,1 à 106,5 \$/tc selon les estimations des prix du pétrole). D'autres mesures orientées vers la réduction des émissions de carbone seraient sans doute plus efficaces dans ce dernier cas (i.e. moins coûteuses) mais une telle stratégie demeure une option valide si le besoin pour une réduction plus ample des émissions de carbone se fait jour ou si les prix du pétrole venaient à augmenter de façon plus sensible. De même, si des gains de productivité plus élevés que ceux sur lesquels reposent ces résultats étaient enregistrés au niveaux des distilleries d'éthanol, cette stratégie s'avérerait encore plus prometteuse. Cependant, plusieurs limites doivent être rappelées. La première concerne l'augmentation de terres arables nécessaire à cette stratégie (cinq fois plus en 2025 que ce qui est actuellement utilisé pour la culture de la canne). Il est clair que dans ce contexte, la concurrence pour l'accès à la terre sera considérable. Sans revenir dessus, tous les inconvénients de l'extension d'une monoculture seront accrus dans cette optique, sans compter la question du traitement d'une quantité infiniment plus grande d'effluents (ex.: vinasse: 1440 GJ en 2025). L'accent devrait donc être mis sur une valorisation intégrale des produits de la biomasse de la canne à sucre dont les conditions restent à définir.

La promotion d'innovations implantées dans des échelles de production réduites : une option d'envergure limitée

La stratégie décrite dans le paragraphe précédent est parfaitement adaptée aux conditions de régions possédant une industrie de la biomasse de la canne déjà étendue ainsi qu'un certain nombre de conditions préalables en termes d'infrastructure et de disponibilité en terres et en eau. Cependant, on peut à nouveau se poser la question de l'équité sociale et régionale d'un tel développement et de sa viabilité hors de ces conditions. La valorisation de la biomasse cultivée peut être envisagée à des échelles plus réduites dans des contextes de forte population rurale opérant des petites propriétés terriennes comme c'est le cas de l'Inde (ou de la Chine). S'appuyant sur l'existence d'une multitude de villages et villes de petites tailles, un tel développement peut compléter une stratégie de valorisation de la biomasse à grande échelle là où les grandes raffineries ne peuvent s'installer.

Plusieurs contraintes limitent ces potentiels. Elles ont déjà été abordées à plusieurs reprises au cours du texte. Une d'entre elles que nous n'avons pas mentionnée jusqu'à présent concerne les impacts sur l'environnement local de telles industries. On rappellera à ce titre le cas des petites unités de production de papier annexes aux sucreries en Inde, dont l'investissement dans une unité de recyclage des intrants chimiques utilisés met en cause la viabilité économique. La possibilité de produire de l'éthanol dans de micro distilleries devrait aussi envisager le traitement de la vinasse ainsi produite. Un problème similaire se pose pour la consommation d'eau de ces unités. Ainsi, la petite taille de ces unités de valorisation de la biomasse ne permet pas de dégager les sommes nécessaires pour investir dans des unités de traitement des effluents. Soulevée dans le cas d'autres petites industries, comme les teintureriers en Inde par exemple, cette difficulté n'a pu être résolue que par la proximité des unités de production concernées se regroupant pour réunir le capital nécessaire aux investissements de dépollution communs.

L'industrie de la canne à sucre a dû et devra, pour répondre aux enjeux économiques et environnementaux présent, faire un effort d'intensification capitalistique. Il va de soi que la possibilité de configurations de petites tailles pose des problèmes distincts pour lesquels un effort d'imagination et un réel courage politique sont nécessaires. Dans le même temps, le développement de ces alternatives aux industries de grandes tailles renforce l'usage d'une biomasse. Or d'un autre côté, malgré les extensions nécessaires de surfaces cultivées, en termes d'environnement, plus le volet d'industries fondées sur la valorisation de la biomasse sera important, plus la gestion des forêts, des eaux et des sols s'imposera comme une condition nécessaire pour la survie de ces industries⁶⁸.

Dans ces conditions, maintenir un pluralisme technologique, même relatif, n'est possible que dans le cadre d'un fort engagement de l'État à

soutenir la diffusion de technologies appropriées vers quelques "niches" où leur implantation est viable, par une intervention ciblée (formation, mesures incitatives), claire et conçue pour durer.

Un effort nécessaire de refonte des systèmes d'incitations

À partir des dimensions décrites ci-dessus, les alternatives peuvent se traduire comme suit :

- *abandon* : les firmes impliquées sont privées de soutiens publics. Les pouvoirs publics laissent le système aller de crise en crise ;
- *régression planifiée* : la décadence du système est gérée, principalement de façon à en atténuer les conséquences sociales ;
- *élargissement du processus d'innovation* : on cherche à bénéficier de la capacité de production disponible pour augmenter l'économicité de l'ensemble et on identifie de nouveaux acteurs et des régions et configurations techniques d'innovations potentielles (investisseurs, petits systèmes, coopératives, etc.) pour tirer pleinement parti d'un projet de développement sociétal reposant sur la biomasse⁶⁹.

Dans l'optique de la dernière de ces trois options, la première étape consiste à reformuler les objectifs initiaux d'un développement fondé sur la biomasse. On a pu montrer une relative inadéquation des résultats actuels obtenus par rapport aux objectifs initiaux. Trois dimensions nouvelles sont à prendre en compte dans cette redéfinition pour permettre de pallier aux difficultés rencontrées : celles de l'environnement, de la génération/diffusion de technologies et la nécessité d'une participation de nouveaux acteurs.

Le choix politique qui reste à faire est de la responsabilité des sociétés dans lesquelles ces technologies seront mises en œuvre. Il reste à savoir comment à la fois intéresser les acteurs à participer à un tel projet et en garantir la durabilité.

La question de l'environnement est particulièrement délicate. Les responsables de raffineries de canne à sucre appréhendent toute innovation destinée à protéger l'environnement comme un surcoût. Il est souvent difficile de leur faire comprendre l'importance des responsabilités qui leur incombent quant aux conséquences de leurs activités industrielles sur l'environnement. Les négociations entre municipalités, responsables des communautés locales, scientifiques et industriels sur le besoin d'élaborer une étude d'impacts sur l'environnement de tel ou tel ouvrage (ex. le tracé d'une route qui sera utilisée au transport de la canne) requièrent fermeté (donc l'existence d'un argumentaire techniquement valide) et diplomatie des parties engagées contre les raffineries de canne. L'accès à l'information des entrepreneurs (en particulier quant à l'évaluation économique d'innovations technologiques) leur permet de prendre l'initiative en s'assurant le maximum de liberté de mouvement en réduisant celle des autres parties concernées. Cette situation de fait empêche l'émergence

d'alternatives et surtout, renforce la définition de politiques institutionnalisant les irréversibilités de certains choix du secteur. Leur évaluation et la construction indépendantes de normes et instruments incitatifs sont donc contraintes. En outre, un système d'incitations reformulé doit tenir compte des motivations nouvelles utilisables. Certaines des entreprises du secteur ne réagissent plus seulement à la présence d'imperfections de marché qui offrent en particulier une incitation à abuser de biens libres (eaux, etc.) mais ont un comportement déterminé aussi par d'autres forces. Parmi celles-ci on peut distinguer⁷⁰:

- des opportunités environnementales avec lesquelles les firmes sont confrontées (ex. : des nouvelles technologies "propres");

- des capacités organisationnelles internes (ex. : modifications comptables, voir en Europe l'apparition des éco-bilans);

- l'influence sociétale "macro" (le cas de l'Inde est frappant à cet égard);

- les influences sociales "micro" des institutions et infrastructures extra-firmes;

- autres régulations (ex. : désincitations à innover non intentionnelles produites par une forte incertitude de la conjoncture économique comme au Brésil à l'heure actuelle).

Malgré cela, l'exemple de l'encadré 7 (page suivante) montre combien les différents enjeux sont enchevêtrés, combien les responsabilités pourraient être redéfinies et combien un consensus social est indispensable.

Encadré 7

La remise en cause des politiques de subventions à la production d'éthanol au Brésil

Evoquée à de nombreuses reprises, la remise en question des subventions serait un facteur d'incitation à innover pour réduire le coût de production de l'éthanol. Des dysfonctionnements existent. Un exemple frappant est celui du système de distribution. Le transport de l'éthanol est confié à la Petrobras. Cette solution engendre des absurdités qui grèvent le coût de production final de l'éthanol, comme par exemple les "passeios" (promenades). Où l'éthanol d'une raffinerie de canne implantée dans tel village est transporté dans un centre de stockage éloigné pour revenir ensuite être consommé dans le village. D'un autre côté, la Petrobras est la seule entreprise capable d'offrir un service de transport sur les longues distances. Elle possède une flotte maritime et un réseau d'oléoducs qui peuvent être utilisés à des fins de transport de l'éthanol. Certains producteurs d'éthanol revendiquent la possibilité d'un développement d'un système mixte de transporteurs privés et publics. La Petrobras envisage aussi de se défaire de cette responsabilité. D'un autre côté, un bilan des capacités organisationnelles et technologiques de l'industrie de la canne peut montrer que de nombreuses unités de production n'ont plus besoin d'être considérées comme appartenant à une industrie naissante.

Les conséquences sociales et environnementales d'une élimination des subventions à la production d'éthanol sont complexes à évaluer. D'un côté on imagine aisément que les producteurs auraient tendance à chercher à réduire les coûts de main-d'œuvre et les coûts environnementaux en ne rémunérant pas ces facteurs à leurs coûts marginaux. Dans la pratique, les salaires réels continueraient à baisser comme ils l'ont fait depuis le début de la décennie et le recours à la main-d'œuvre saisonnière diminuerait, conséquence de la mécanisation progressive de la cueillette. L'utilisation de ressources naturelles libres (eau et air) pourrait augmenter sans compensations de la part des industries consommatrices. Seuls les résidus dont la valorisation serait profitable seraient objets d'investissements productifs. D'un autre côté, des effets positifs pourraient apparaître, ex. : l'embauche de main-d'œuvre qualifiée et la recherche d'optimisation de la production limitant le recours à des matières premières coûteuses.

Ne considérant que l'environnement, une politique d'élimination progressive des subventions doit être accompagnée d'une politique de contrôle de l'environnement et d'incitations à l'innovation dans le domaine de l'usage des biens libres.

Si on considère la canne à sucre d'un point de vue énergétique, la question des subventions ne peut être discutée pour l'éthanol seulement. Au Brésil, tous les combustibles liquides sont subventionnés (indirectement par les prix). L'émergence de prix réels devrait se faire graduellement, pour l'ensemble des combustibles, dans le cadre d'une politique de l'énergie claire pour tous les acteurs pour éviter les réallocations de ressources vers d'autres productions qui fragiliseraient la base même du bilan énergétique envisagé. En effet, la garantie d'efficience économique des firmes repose alors sur la flexibilité de leurs réponses aux évolutions des prix internationaux. La sécurité de l'approvisionnement énergétique en éthanol est en jeu et le coût pour l'économie d'éviction d'éventuelles pénuries peut s'avérer considérable.

La marge de manœuvre est limitée et nécessite une ferme volonté politique encore absente de la scène politique brésilienne.

CONCLUSION

Plusieurs spécificités propres aux pays du Sud et à la biomasse justifient l'insistance avec laquelle des programmes de valorisation ont été poursuivis. On peut distinguer parmi celles-ci : l'importance des volumes de biomasses produits dans les pays tropicaux ; le caractère décentralisé et l'intensité en main-d'œuvre des activités de production et de transformation industrielle ; permettant respectivement d'approvisionner des marchés isolés trop éloignés des producteurs centralisés ou urbains pour leur offrir un attrait économique et de fixer dans les campagnes une partie de la population, atténuant ainsi un exode rural déjà considérable.

Il est intéressant de constater à présent un retour et un élargissement des intérêts pour la biomasse, reflet de la prise en compte des dimensions d'environnement dans les décisions de développement. Ce constat repose notamment sur l'évaluation des impacts du programme éthanol brésilien relativement aux dimensions d'environnement global. L'impact des activités industrielles productives d'éthanol sur les équilibres globaux paraît positif pour deux raisons :

— le ratio énergie produite/énergie fossile consommée est largement supérieur à l'unité ;

— le bilan carboné de la production d'éthanol de canne est quasiment équilibré.

Un des apports essentiels de ce programme aura aussi été de montrer la faisabilité technique d'une production de biocarburant à grande échelle.

Plus généralement, les développements passés ont montré la faisabilité technique de systèmes de valorisation industrielle d'une biomasse agricole dans les pays en développement. A ce constat s'ajoutent les perspectives de commercialisation de nouvelles technologies issues des développements récents en matière de biotechnologie et de technologies de l'information (microélectronique).

La réponse à plusieurs incitations conduit à l'heure actuelle les industriels valorisant la canne à sucre à envisager une stratégie de diversification. Un premier pas dans cette direction est facilité par l'usage de systèmes mixtes (sucre/éthanol) tels qu'on les rencontre au Brésil. Deux des moteurs de l'expansion technologique des unités industrielles de production en place - diversification et optimisation des coûts de production - conduisent à des phénomènes qui affectent en retour la capacité du "système canne" à répondre aux objectifs macro que lui assignaient initialement les pouvoirs publics.

Ainsi, en termes micro-économiques, deux chaînes de causalité peuvent être mises en évidence. La première chaîne de causalité ayant conduit à la situation présente est la suivante :

- *optimisation des coûts de production*
 - ➔ *croissance des échelles de production*
 - ➔ *concentration des facteurs de production*

La seconde chaîne de causalité qui semble orienter à l'avenir les décisions des acteurs privés dans ce secteur de l'industrie prend la forme suivante :

- *diversification*
 - ➔ *flexibilité de la capacité productive*
 - ➔ *croissance de l'intensité capitalistique (automation)*

Ces chaînes de causalités s'appliquent au "système canne", c'est-à-dire à la partie principale de la valorisation de la canne à sucre en terme de valeur ajoutée.

La nature des enjeux stratégiques publics a changé depuis les premiers investissements réalisés dans le "système canne". Aux enjeux initiaux de sécurité alimentaire et énergétique, on peut en ajouter deux autres qui, s'ils existaient de façon plus ou moins implicite initialement, ont pris une ampleur considérable. Ce sont les enjeux d'environnement et de la technologie. Pour ceux-ci, les objectifs sont respectivement de préserver les équilibres écologiques ou d'améliorer la qualité de l'environnement d'une part, et de garantir l'émergence et donc l'accès à la technologie (au sens large) d'autre part, afin de promouvoir un pluralisme des solutions envisagées. En outre, les politiques de libéralisation des économies mises en place dans les années 80 ont conduit à une profonde remise en question des soutiens publics au "système canne" et à la R & D publique et privée dans les pays du Sud. Ces politiques sont aussi liées dans certains pays (comme le Brésil) à une instabilité des objectifs et des moyens mis en œuvre pour les atteindre. Dans ce cadre, ce qu'il semble important de garder à l'esprit à présent est l'opposition croissante entre la satisfaction d'intérêts collectifs garantie en principe par la puissance publique et les objectifs d'acteurs privés cherchant à résoudre deux problèmes. Le premier qui consiste à minimiser deux types d'incertitudes par un accroissement de la flexibilité des capacités productives : l'incertitude sur les évolutions des demandes effectives ; et celle sur les orientations futures des systèmes d'incitations publics. Le second problème étant un besoin des acteurs industriels de répondre à l'érosion de leurs marges de profit suite aux baisses des prix des produits principaux qu'ils commercialisent (sucre et éthanol) par une stratégie de diversification de l'appareil productif.

Deux objectifs complémentaires pourraient justifier d'une forte action des États impliqués :

— renforcer le développement industriel en intensifiant les activités dans les régions productives de canne pour améliorer l'économicité des capacités industrielles productives existantes ;

— initier un développement des activités économiques de valorisation de la biomasse cultivée à petite échelle dans des régions défavorisées en favorisant l'émergence de nouveaux marchés et l'accès à la technologie à de nouveaux acteurs.

Les moyens pour atteindre ces objectifs passent nécessairement par deux voies. La première réside en une refonte des systèmes d'incitation qui ne devront plus exclusivement se fonder sur des incitations-prix (où les anticipations des agents économiques ne reposent que sur l'observation d'un prix unique, comme celui de l'énergie), mais élargir le système pour y introduire des coûts d'environnement, des modalités claires de partage des risques d'investissements, etc. L'objectif intermédiaire d'une telle politique serait de favoriser des systèmes de production multi-produits pour éviter l'enfermement sur une seule production finale, fatale en cas de baisse des prix sur les marchés internationaux et négative en termes d'environnement. La seconde vise à une meilleure maîtrise de la technologie et doit chercher à renforcer les capacités technologiques locales. L'industrie existante est encore trop dépendante de technologies conçues dans les pays du Nord. Un effort est nécessaire pour d'une part améliorer les capacités de R & D des pays du Sud et d'autre part inciter à un rapprochement entre les demandeurs et les offreurs de technologies. De nombreuses questions institutionnelles restent cependant à résoudre. Quelles modalités de financement des investissements mettre en place ? Quelles proportions donner à la R & D publique relativement à la R & D privée ? Comment résoudre les questions d'appropriation des résultats de la R & D, seul moyen de vraiment garantir l'autofinancement de centres de R & D privés ?

Une véritable volonté politique doit agir au niveau national dans la définition d'une politique d'ensemble de valorisation de la biomasse de la canne à sucre incluant les réformes institutionnelles nécessaires mais aussi au niveau international, à la fois dans la définition des critères d'orientation et dans celle des montants des financements à mettre à la disposition de ces activités. Sans cette dernière condition, les politiques actuelles, sous la pression notamment d'un prix international du pétrole bas, continueront à se diriger vers une stagnation, voire un abandon de leur soutien aux secteurs en question.

La valorisation industrielle d'une biomasse agricole ne préjuge pas des problèmes de société propres aux structures culturelles prégnantes dans chaque configuration sociale nationale considérée et qui constituent un enjeu majeur des pays qui illustrent ce texte. Mais des bases existent pour développer des compétences uniques des pays du Sud, seules véritables sources de création d'un avantage comparatif à terme.

RÉFÉRENCES

- AIAA/SOPRAL, 1992, *Éthanol, Energy source for a sustainable society*, AIAA/SOPRAL, São Paulo.
- ANFAVEA, 1992, *Statistical Yearbook*, Anfavea, Industria Automobilistica Brasileira, São Paulo.
- ASPLANA, 1990, *Relatorio 1988/89*, Asplana, Maceio.
- ASSUCAL, 1990, *Quinquenio de produção 84/85-88/89*, Assucal, Maceio.
- AUDINET P., CATAO AGUIAR S. & LEBRE LA ROVERE E., 1992, *Sugar cane bagasse as an energy source in Brazil*, Université fédérale de Rio de Janeiro, non publié.
- BARDE J.P., 1991, *Économie et politique de l'environnement*, PUF, Paris.
- BERNARDIN M.P., 1984, *Le sucre*, 6ème édition, Dossier technique du CEDUS, Paris.
- BÖHM G.M., 1992, *Energia da biomassa e meio ambiente: experiencia do Laboratorio de poluição atmosférica experimental da Faculdade de Medicina da USP*, communication présentée au séminaire "A energia da biomassa, desenvolvimento e meio ambiente", Conselho Nacional de Industrias, Rio de Janeiro.
- C.E.D.U.S., 1992, *Le sucre, Mémo statistique 1992*, C.E.D.U.S., Paris.
- C.E.T.E.S.B., 1992, *Controle da poluição veicular no Brasil*, Cetesb, São Paulo.
- COPERSUCAR, 1989, *Proéthanol, Fundamentos e perspectivas*, Copersucar, São Paulo.
- COPERSUCAR, 1992, *Relatorio anual, 1991/1992*, Copersucar, São Paulo.
- C.S.E., 1989, *Report on the study of Economics of Land & Water resources in India*, Center for Science and Environment, New Delhi.
- DAHLMAN C.J. & FRISCHTAK C.R., 1990, *National systems supporting technical advance in industry: the Brazilian experience*, Industry and Energy Dpt. working paper, Series paper n°. 32, World Bank, Washington.
- DE CARVALHO, J. (coord.), 1992, *Desenvolvimento em harmonia com o meio ambiente*, Fundação Brasileira para a conservação da natureza, Rio de Janeiro.
- DE CARVALHO MACEDO Isaias, 1992, "The sugar cane agro-industry. Its contribution to reducing CO₂ emissions in Brazil", in *Biomass & Bioenergy*, vol. 3, n°. 2, pp. 77-80.
- D.E.S., 1989, *Handbook of basic statistics of Maharashtra State, 1989*, Directorate of Economics and Statistics, Government of Maharashtra, Bombay.
- DESARDA H.M., 1991, "Bane the mushrooming of sugar factories", in *Economic & Political Weekly*, vol. 26, n°. 15, pp. 949-950.
- DE OLIVEIRA A., 1991, "Reassessing the Brazilian alcohol programme", in *Energy Policy*, vol. 19, n°. 1, pp. 47-55.

- DHANAGARE D.N., 1992, "1992 Drought in Maharashtra, Misplaced Priorities, Mismanagement of Water Resources", in *Economical and Political Weekly*, 4 juillet, pp. 1421-1425.
- DHANAGARE D.N., 1990, "Shetkari Sanghatana: the farmers' movement in Maharashtra, Background and ideology", in *Social Action*, vol. 40, n°. 4, pp. 347-369.
- DUBEY R.S. & VARMA N.C., 1979, *Sugar by-product & subsidiary industries*, Deccan Sugar Institute, Pune.
- ECONOMIC INTELLIGENCE SERVICE, 1993, *Current Energy Scene in India*, Centre for Monitoring Indian Economy, Bombay.
- ENERGY PLANNING PROGRAM, 1991, *Present crisis and future role of alcohol program in Brazil*, 2 vol., COPPE/UFRJ, IDRC Research Project, Final Report, Rio de Janeiro.
- E.P.R.F., 1989, *Water management in Krishna River Basin*, Environmental Protection Research Foundation, Sangli, in C.S.E., 1989.
- FOWLER C. & al., 1988, "The laws of life. Another development and the new biotechnologies", in *Development Dialogue*, 1-2.
- FURTADO Celso, 1985, *A fantasia organizada*, 5ème éd., Paz e Terra.
- GALLOIS D., 1993, "Pétrole: vingt ans après", in *Le Monde*, 21 décembre, p. III.
- GATEL P., LEYGUE J.P. & POITRAT E., 1992, "Le couple éthanol/moteur: une liaison amicale pour l'environnement", in *Perspectives Agricoles*, n°. 169, mai 1992, pp. 11-23; "Bioéthanol et dérivés: vers le marché des carburants liquides", *Perspectives Agricoles*, n°. 170, juin 1992, pp. 7-15.
- GEHLAWAT J.K., 1990, *Modernisation of Indian sugar industry*, Arnold Publishers, New Delhi.
- GEMENTE & al., 1982, "Microdestilaria: viabilidade técnico-econômica", in *Brasil Açucareiro* vol. 49, n°. 4, pp. 25-72.
- GEORGE K.D. & JOLL C., 1981, *Industrial organization, competition, growth and structural change*, 3ème éd., George Allen & Unwin Ltd., Londres.
- GRASSI G. & al. (ed.), 1992, *Biomass for energy, industry and environment*, 6th E.C. Conference, Elsevier Applied Science, Bruxelles.
- HALL D.O. & al. (eds.), 1985, *Economics of Ecosystem Management*, Dr. Junk Publishers, Dordrecht.
- HILLAIRET Jean, 1990, *Co-génération, centrales électriques à bagasse*, communication au séminaire "Energia e Cana de Açucar", Maceio, 29-31 août.
- IBGE, 1990, *Anuario estatístico do Brasil*, IBGE, Rio de Janeiro.
- ISMA, 1991, *Indian Sugar Yearbook*, Vol. 1, Indian Sugar Mills Association, New Delhi.
- KOUKIOS E.G., 1985, "Biomass refining: A non-waste approach", in HALL D.O. & al., 1985.
- LALL Sanjaya (1992), "Technological Capabilities and Industrialization", *World Development*, 20, 2, pp. 165-186.

- LEBRE LA ROVERE E. & AUDINET P., 1993, *Environmental Benefits of the Brazilian Éthanol Programme*, communication à la "First Biomass Conference of the Americas", Burlington, 29 août-2 sept.
- LEBRE LA ROVERE E. & KRAUSE G., 1992, "The use of combined cycle systems for excess electricity generation in the sugar industry", in GRASSI & al., 1992; pp. 897-903.
- KIRCHHOFF V.W.J.H., 1991, *As queimadas da cana*, Transtec Editorial, São Jose do Campos.
- KIRCHHOFF V.W.J.H. & al., 1991, "Enhancements of CO and O₃ from burnings in sugar cane fields", in *Journal of Atmospheric Chemistry*, 12, pp. 87-102.
- MANOEL A., 1986, *Politica agricola, eficiencia e concentraçao na agricultura brasileira: um estudo do setor canavieiro paulista*, IPE/USP, São Paulo.
- MINISTRY OF SUGAR, 1992, *Sugar cane as the basis for a sustainable agro-industrial development*, Ministry of Sugar, La Habana.
- O.N.U., 1992, *United Nations Framework Convention on Climate Change*, A/AC237/L14, Genève.
- NAVARRO L., 1992, "Cana de açúcar: base auto-sustentavel para o suprimento de combustíveis", in DE CARVALHO, 1992, pp. 23-35.
- N.F.C.S.F., 1989, *Cooperative sugar directory & yearbook, 1986-88*, National Federation of Cooperative Sugar Factories, New Delhi.
- N.F.C.S.F., 1991, revue *Cooperative Sugar*, plusieurs numéros de l'année 1991.
- OGDEN J.M., WILLIAMS R.H. & FULMER M.E., 1990, *Cogeneration applications of biomass gasifier/gas turbine technologies in the cane sugar and alcohol industries*, Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University, Princeton.
- OMVEDT G. & PATANKAR B., 1991, "Movement for water, Tahari peasants' struggle in Maharashtra", in *Economical & Political Weekly*, vol. 26, n°. 15, pp. 955-956.
- PEARCE D., 1990, *New environmental policies: recent O.E.C.D. country experience and its relevance to the developping world*, communication à la "Conference on environmental management in developping countries", octobre, Paris.
- PLANQUE B., 1991, "Note sur la notion de réseau d'innovation", in *Revue d'Économie Régionale et Urbaine*, n°. 3/4, pp. 295-317.
- PNUD, 1993, *Rapport mondial sur le développement humain 1993*, PNUD/Economica, Paris.
- RISO/PNUE, 1993, *UNEP Greenhouse Gas Abatement Costing Studies, Methodological Framework for National Greenhouse Gas Abatement Costing Studies*, RISO/PNUE, Roskilde.
- SACHS I., 1988, *Ressources, emploi et financement du développement: produire sans détruire. Le cas du Brésil*, rapport introductif pour le séminaire du CENDEC, Brasilia, 23-25 août.

SACHS I., 1993, "Le Brésil en mal d'un projet", in *Problèmes d'Amérique Latine*, n°. 8, Janv-mars, pp. 79-88.

SEROA DA MOTTA R., 1991, "Mecanismos de mercado na politica ambiental brasileira", in *Perspectivas da economia brasileira, 1992*, I.P.E.A., Rio de Janeiro.

SNE/MME, 1992, *Balanço energético nacional, 1992*, Ministério de Minas e Energia, Brasília.

TOLMASQUIM M., 1987, "Análise comparativa entre grande destilarias de éthanol e sistemas integrados de produção de energia e alimentos", in *Anais do IV Congresso Brasileiro de Energia*, Rio de Janeiro, pp. 1159-1166.

UNNI J., 1991, "Regional variations in rural non-agricultural employment", in *Economical & Political Weekly*, vol. 26, n°. 3, pp. 1109-1122.

V.S.I., 1991, *Working results of sugar factories in Maharashtra, seasons 1988-89 and 1989-90*, Pune.

EXECUTIVE SUMMARY

The use of a biomass, a renewable raw material, is the first step of a technological strategy trying to relax the environmental constraint. The question of its industrial processing grew in importance in the past two decades regarding the energy and agricultural needs for the long run, the local and global environment dimensions and the development choices. Brazil and India have been conducting long term public development policies aiming at promoting the use of a cultivated biomass, namely sugarcane. The extent of these policies allows now for a compared assessment of strategic options.

The industrial processing of sugarcane biomass offers an example of decentralised industrialisation in which the potentials for internalising the external costs of development are fairly numerous. Both these countries illustrated in this paper are theoretically suffering from technological backwardness. However, they are the most important producers worldwide in terms of sugarcane and its products (sugar, and ethanol) and also major technology consumers for this sector.

The aim of this paper is to define and to form into a hierarchy the major stakes for the sector in order to make its development more rational and profitable for the economy as a whole mainly through a more efficient use of technology, considered as a leading factor of change.

The situation is appraised essentially from the results of investments realised within two States representing the most important breakthrough in terms of technical innovation in both countries: the State of São Paulo in Brazil and Maharashtra in India.

To complete this task, the paper reviews the three following points successively:

(1) the mixed results obtained in the sector (in terms of productivity, effects on social and regional inequalities and local and global environmental impacts of the industry);

(2) the various actors' innovation strategies involved in the sector during the last two decades and their margins of manoeuvre for the future (public actors, cane growers, sugarcane refineries, capital goods firms);

(3) the perspectives of the sector in terms of technical change through a diversification of the production and a renewal of the public incentive systems orienting the sector.

This assessment leads us to conclude the paper defining three basic interests (BI) and three major difficulties (MD) to be kept in mind while formulating technological policies in developing countries.

(1st. BI) The industrial production and use of biomass in developing countries is justified due to definite specificities of these countries. Amongst these, one can distinguish: the importance of biomass quantities produced in the developing countries and the decentralised and labour intensive features of the biomass based industry helping to promote rural employment and development.

(2nd. BI) A large production capacity has already been set up. The long run experiments of Brazil and India have proved the technical feasibility on a large scale of both a biofuel (sugarcane ethanol in Brazil) and a medium-scale industrial production of several sugarcane products (sugar, paper, chemical inputs, etc.) based on small-scale cane suppliers (sugarcane industrial complex co-operatives in India). Moreover, the production capacity is used to satisfy purposes such as national energy or food supply securities.

(3rd. BI) Biomass based industrialisation programmes contribute favourably to the environment. Locally, the past decade has showed the emergence of technical innovation at the level of the biomass refineries in order to lessen their impacts on environment. Globally, the growing threat of the greenhouse effect reinforces the positive contribution of biomass for energy as a biofuel or electricity. The ratio of produced energy to fossil fuel consumed is largely superior to 1 in the case of sugarcane ethanol in Brazil. The carbon production balance of sugarcane ethanol is almost nil. Reduction in the range from 8 to 10% of CO₂ emissions in the year 2010 can be obtained at reasonable costs: between 2.1 and 25.5 \$/tonne of carbon (according to different oil prices).

The three major difficulties are the following:

(1st. MD) Technological trajectories in this sector are synonymous with (1) a low level of technical change; the responsibility of the decrease of the medium production cost lies more in a decrease in the payment of production factors such as labour than in a growth of productivity due to technical change (2) a decrease in the self-reliance of the strategies for national security. On one hand, it is seen that the most necessary diversification strategy of the industry also leads to a need for flexibility which can go against the satisfaction of the need for a regular supply to the markets. On the other hand, the growth of the capitalistic intensity which accompanies the increase in productivity levels creates both social (lower employment requirements, land concentration, etc.) and managerial (low abilities of the firms to master the new technologies and the differentiated markets for their diversified production) disbalances.

(2nd. MD) The re-formulation of the incentive systems needed to strengthen the productivity levels and the investments for diversification in the sugarcane based industry and to curb the negative effects of the technological trajectories stumbles over several difficulties :

- how to account for the environmental costs in the final price of the products at the firm level ?

- how to include the distinct perception of risk and sharing it between different partners ?

- how to guarantee further technology diffusion, linking R & D priorities and findings with potential technology buyers and users especially in order to promote alternative technology options such as small-scale decentralised production units ?

(3rd. MD) The lack of funds is the last major difficulty faced presently by the sector. The paper states that in the framework of highly indebted public institutions and economic liberalisation policies, without a proper contribution from international funds to reformulated R & D policies in developing countries, biomass could remain a marginal raw material when it could become a real source of comparative advantage for the developing countries.

ANNEXES

ANNEXE 1

La technique : un potentiel considérable de valorisation de la biomasse de la canne à sucre

La canne à sucre : une source de biomasse aux nombreuses utilisations

Croissance des végétaux plus rapide que dans les pays du Nord, fermentations accélérées, la capacité des pays à climats tropicaux à produire et à valoriser les biomasses n'est plus à démontrer. La canne à sucre (*saccharum sp.*) est une graminée cultivée depuis la plus haute antiquité puis diffusée par les Arabes d'abord, par les Espagnols et les Portugais ensuite⁷¹. Principale source de production du sucre consommé dans le monde, la canne à sucre concurrence la betterave cultivée davantage dans l'Hémisphère Nord. Les années récentes ont vu le début d'une commercialisation à grande échelle d'édulcorants concurrents parmi lesquels on distingue les produits suivants, ceux issus de l'amidon de maïs : glucose massé, dextrose, sirops de glucose et isoglucose (plus connu sous sa dénomination anglo-saxonne *High Fructose Corn Syrup, H.F.C.S.*) ; et les édulcorants de synthèse : saccharine, cyclamates et aspartame.

L'industrie de raffinage de la biomasse recouvre les procédés de fractionnement physique/chimique/biologique et le pré-traitement des divers composants chimiques⁷².

Les approches techniques de la valorisation de la canne à sucre varient globalement en suivant deux sentiers de production. Le premier a pour objectif final la production de sucre. Le jus extrait de la canne est alors intégralement consacré à la production sucrière ayant comme sous-produits principaux la mélasse et la bagasse et plusieurs sous-produits secondaires comme les boues d'épuration ou les cendres de bagasse. Le second, rencontré en particulier au Brésil, vise à produire de l'éthanol directement à partir du jus de canne. Dans le premier cas, l'éthanol peut être produit à partir de la mélasse. La vinasse est le principal sous-produit de la production d'éthanol, indépendamment du sentier de production utilisé.

L'industrie de transformation de la canne à sucre est saisonnière puisque les principaux produits sont fabriqués au fil de l'approvisionnement en canne pendant une durée de 160 jours par an, équivalente à la

période de maturité optimale de la canne, *i.e.* aux meilleurs taux de sucrose. Les mois correspondant à cette récolte diffèrent suivant les régions et les hémisphères. Des complémentarités existent avec d'autres industries utilisant les produits de la canne à sucre⁷³.

Les innovations technologiques potentielles de la sucrochimie et de la chimie de l'éthanol permettant de valoriser l'ensemble des produits et sous-produits de la canne à sucre sont nombreuses. En laboratoire, sans compter les expériences sur la bagasse, quelques 10 000 dérivés du saccharose ont pu être mis au point avec des finalités aussi diverses que les industries pharmaceutique, alimentaire, papetière ou de production d'énergie. Seule une centaine a fait l'objet d'expériences de R & D et le passage au stade industriel se heurte souvent à l'existence de concurrents moins coûteux issus de secteurs industriels (pétrochimie, industrie de la pâte à papier, etc.) et agro-industriels (sous-produits du maïs)⁷⁴.

Cependant, l'optimisation de la production de sucre et d'éthanol et l'introduction de technologies précédemment étrangères au secteur d'une part, et la possibilité d'utiliser des produits de nature résiduelle d'autre part rendent possible les opportunités de diversification du secteur.

La matière première : les innovations portant sur la canne à sucre

Une grande partie des gains de productivité des années récentes revient aux améliorations variétales avec l'adaptation de nouvelles variétés aux conditions locales (sol, climat, pestes et prédateurs). Des variétés plus productives, plus riches en saccharose et en fibre, résistantes aux maladies (charbon, etc.) donnent lors de leur transformation des résultats sensiblement accrus en termes de pureté du jus, proportion de fibre dans la canne (cette quantité est déterminante pour la quantité de bagasse produite et les sous-produits qu'elle génère).

Des innovations phytosanitaires ont été réalisées dans le domaine de la multiplication des plants de canne, le contrôle des parasites du sols, la lutte biologique contre certains types de parasites de la plante. La tendance est à une meilleure prévention des problèmes par l'analyse d'échantillons de sols et de plante et par un contrôle plus précis, moins diffus des parasites, pestes et prédateurs de la canne à sucre.

Les méthodes d'irrigation évoluent aussi. En Inde l'idée principale est d'étendre le développement de l'irrigation au goutte-à-goutte pour réduire les quantités d'eau consommées et accroître les rendements. Au Brésil, les systèmes d'aspersion sont toujours en vigueur. Ils servent aussi à la fertilisation des sols ("fertirrigation") à partir de l'utilisation des résidus de distilleries (vinasses).

Dans le domaine de la cueillette, l'essentiel des recherches est consacré au Brésil à la possibilité de mécanisation. Prochainement, la gestion de l'occupation des sols et de la récolte sera informatisée.

La tendance à la rationalisation de la culture de la canne à sucre augmente au stade industriel de transformation de la canne à sucre le nombre et les quantités de sous-produits valorisables.

Les productions traditionnelles: sucre et éthanol

La **production industrielle de sucre** cristallisé repose sur des techniques relativement anciennes au sein d'une chaîne où interviennent successivement des étapes de lavage de la canne, coupe, extraction/pression (broyage), chaulage, filtration, évaporation/concentration, cristallisation, malaxage et essorage. L'énergie utilisée provient de la combustion de la bagasse, résidu cellulosique du broyage de la canne, dont est extrait à la fois vapeur et électricité. Des innovations récentes dans la production de sucre autorisent de sensibles accroissements de productivité de la canne à sucre. Elles sont intervenues dans le domaine de l'automatisation des chaînes de production, dans l'augmentation des rendements des chaudières et par des améliorations qualitatives tout au long du processus (broyage en particulier).

La **production d'éthanol** a évolué dans le sens d'une amélioration des processus de fermentation. Les temps de fermentation ont été réduits d'environ 16 à 8 heures grâce à l'amélioration des levures utilisées et à l'introduction de la production continue d'éthanol en cuves fermées. Aujourd'hui, la productivité industrielle est d'environ 70 l d'éthanol anhydre/tonne de canne⁷⁵. Les pertes de saccharose qui interviennent au cours du processus de production peuvent atteindre près de 15 % de la quantité de saccharose présente dans la canne⁷⁶. L'élimination de ces pertes est donc un enjeu considérable pour les industriels.

Les rendements industriels d'une tonne de canne sont résumés dans le tableau 2.

Les sous-produits de la production traditionnelle.

Le tableau 2 ne donne cependant qu'un aperçu des quantités de sous-produits potentiellement utilisables ou recyclables des deux filières. Quelques exemples: 1 t de mélasse peut servir de matière première à 250-300 l d'éthanol, la combustion de 1 t de bagasse produit 15 kg de cendres, 1 t de canne broyée pour produire du sucre donne 30-40 kg résiduels de boues de filtration, etc.

Parmi les innombrables possibilités techniques de valorisation de la canne à sucre nous nous bornons dans les lignes qui suivent à citer quelques-unes des plus prometteuses à l'avenir.

Le résidu ligneux de la bagasse peut être utilisé comme source de cellulose pour la production de pâte à papier.

L'hydrolyse de la bagasse permet de produire la matière première de rations animales.

La cogénération est l'une des principales directions prises dans la valorisation de la bagasse. Il s'agit de la capacité de génération conjointe de plusieurs formes d'énergies en récupérant l'énergie perdue d'une source initiale. Dans le cas de la canne à sucre, la technologie consiste en une chaudière⁷⁷ à bagasse productrice de vapeur à laquelle est couplée un alternateur utilisant la vapeur haute pression de la chaudière pour ensuite alimenter la chaîne de production de sucre et/ou d'éthanol en vapeur basse pression. La possibilité d'utiliser des systèmes plus performants existe. Des technologies de séchage et de compactage de la bagasse permettant de valoriser la bagasse de canne à sucre pour faciliter sa manutention (stockage, transport) et pour augmenter son pouvoir calorifique à poids équivalent sont déjà disponibles (tableaux 8 et 9). L'innovation majeure commercialisable d'ici à une dizaine d'années repose sur la gazéification préalable de la bagasse et l'utilisation de turbines à gaz dérivées par exemple des techniques mises au point dans l'aéronautique. L'intérêt de la cogénération est d'apporter une baisse des coûts de production du sucre ou de l'éthanol en réduisant le coût de la consommation énergétique et d'offrir à terme une source supplémentaire d'énergie décentralisée et moins destructrice de l'environnement que l'usage de combustibles fossiles dans la génération électrique.

Toujours dans le domaine de la production énergétique, la production d'éthanol par hydrolyse de la bagasse est à l'étude (en particulier l'hydrolyse enzymatique). Les projections optimistes envisagent la viabilité de cette technologie d'ici à 2005.

Les coûts de la production de charbon à partir de bagasse n'ont pas encore été estimés avec certitude mais la technique est disponible.

La production d'esters pyrolytiques à partir de la bagasse est étudiée à l'heure actuelle.

La plupart de ces techniques existent déjà pour d'autres matières premières cultivées davantage dans les régions tempérées (colza, blé, etc.). Plusieurs techniques (hydrolyse, pyrolyse, etc.) permettent d'ores et déjà d'obtenir au stade industriel des sous-produits chimiques extrêmement variés à partir du sucre ou de la mélasse (ex. : lysine, acide lactique, acide oxalique pour la production de composants pour l'industrie pharmaceutique), de l'alcool (ex. : acide acétique, éthylène) ou de la bagasse (ex. : furfural, panneaux de particules, éthanol).

Diverses technologies de traitement de la vinasse sont déjà commercialisées : méthanisation, crémation, etc. Certains auteurs insistent sur la possibilité d'extraire de l'énergie de ces opérations. Mais d'une part les coûts de revient sont encore souvent trop élevés comparativement aux combustibles d'origine fossile (ex. : cas du biogaz). Ou d'autre part, le partage du risque d'investissement n'est pas suffisamment clair pour inciter un nombre conséquents d'industriels à innover. Les applications existantes relèvent donc encore du domaine expérimental.

La valorisation agro-industrielle de la canne à sucre et l'environnement : des techniques disponibles pour limiter les atteintes à l'environnement

Les raffineries de canne à sucre sont à l'origine d'une large variété de polluants. Ils affectent directement l'eau, dont les usines sont très consommatrices, l'air et indirectement, d'autres facteurs comme les sols ou la biodiversité des régions de culture de la canne à sucre.

L'accroissement des capacités de production des raffineries de canne à sucre est suivi d'une augmentation de leur potentiel pollueur. Le contrôle de la pollution prend deux formes. Une modification de la conception du processus productif à la source ou l'addition de technologies en fin de procès.

Les innovations existantes apportent des solutions aux deux approches. Plus généralement, les innovations dans la production de sucre et d'éthanol cherchent à limiter les pertes et par conséquent les rejets du système. Cependant, la mise en œuvre d'autres productions (papier de bagasse par exemple) au sein du même système soulève de nouveaux problèmes. En termes agricoles, les rejets peuvent être traités par des techniques d'application des résidus industriels de distilleries (vinasse en fertirrigation) et de sucreries (boues de filtration en compost) sur les sols comme engrais comme nous l'avons déjà mentionné. Au niveau industriel, des systèmes de traitement et de recyclage d'une grande partie des eaux sont disponibles. En termes industriels, la dernière décennie a mis l'accent sur le recyclage/traitement des eaux utilisées et la réduction de la demande en eau d'opérations très consommatrices (comme le lavage de la canne par exemple). Les raffineries de canne peuvent maintenant travailler en circuits fermés. Le besoin théorique de renouvellement des eaux nécessaires se trouve ainsi limité à un apport en début de saison pour lancer le processus et ensuite aux remplacement des pertes du système (évaporation, etc. ; tableau 3)⁷⁸. Ensuite, le traitement des effluents de sucreries par des processus de biodigestion anaérobique est aussi possible.

Les émissions de polluants atmosphériques sont principalement causées par les rejets des chaudières utilisées pour la production de vapeur. Leur contrôle est possible par l'optimisation de la combustion de la bagasse dans les chaudières et par l'implantation de technologies filtrant les gaz de cheminées pour éviter les émissions de particules (cyclones).

Tableau 7

BRÉSIL

Émissions de carbone évitée par la consommation d'éthanol carburant
1980-1990

		production éthanol (10E6 m ³)	essence remplacée (10E6 m ³)	émission évitée de C (10E6 t)
1980	alcool hydraté	1.50	1.20	0.91
	alcool anhydre	2.18	2.26	1.72
	TOTAL			2.63
1981	alcool hydraté	2.59	2.07	1.57
	alcool anhydre	1.35	1.40	1.07
	TOTAL			2.64
1982	alcool hydraté	2.09	1.67	1.27
	alcool anhydre	3.53	3.67	2.79
	TOTAL			4.06
1983	alcool hydraté	5.40	4.32	3.28
	alcool anhydre	2.56	2.66	2.02
	TOTAL			5.30
1984	alcool hydraté	7.06	5.65	4.29
	alcool anhydre	2.14	2.23	1.69
	TOTAL			5.98
1985	alcool hydraté	8.42	6.74	5.12
	alcool anhydre	3.14	3.27	2.49
	TOTAL			7.60
1986	alcool hydraté	7.86	6.29	4.78
	alcool anhydre	2.12	2.20	1.68
	TOTAL			6.46
1987	alcool hydraté	10.19	8.15	6.19
	alcool anhydre	2.16	2.24	1.70
	TOTAL			7.90
1988	alcool hydraté	9.84	7.87	5.98
	alcool anhydre	1.69	1.75	1.33
	TOTAL			7.31
1989	alcool hydraté	10.32	8.25	6.27
	alcool anhydre	1.49	1.55	1.18
	TOTAL			7.45
1990	alcool hydraté	10.67	8.54	6.49
	alcool anhydre	0.85	0.88	0.67
	TOTAL			7.16
TOTAL ÉMISSIONS ÉVITÉES (10E6 t)				64.50
Moyenne annuelle (10E6t/an)				5.86

Note 1 : émissions de C de l'essence = 0,76 kg C/l.

Note 2 : équivalences alcool/essence :

* 1 l alcool hydraté = 0,8 l essence (moteurs à éthanol pur) ;

* 1 l alcool anhydre = 1,04 l essence (moteurs à mélange éthanol-essence).

Source : SNE/MME, 1992.

Tableau 8

Disponibilité calorifique de la bagasse suivant différents degrés d'humidité

Degré d'humidité (%)	pouvoirs calorifiques (Kcal/kg)		ratio d'utilisation de la chaleur
	supérieurs	inférieurs	
50	2300	1825	0,79
40	2760	2310	0,84
30	3220	2795	0,87
20	3680	3280	0,89
10	4140	3765	0,91
0	4600	4250	0,92

Tableau 9

**Coûts des séchoirs à bagasse
(technique de récupération des gaz perdus)
suivant différentes capacités de transformation des raffineries de canne**

capacités de séchage (t/heure)/ capacités de broyage (TCD)	coût du capital (10E3 \$)	coûts opérationnels annuels (10E3 \$) ¹
35/2500	493,0	130,6
45/3500	563,1	149,2
65/5000	630,4	167,1

¹ Coûts d'opération et de maintenance estimés à 5 % du coût du capital.

Note : \$ de 1989.

Tableau 10

Coûts de quatre techniques de compactage de la bagasse

	mise en bale simple	Bagatex-20	briquetage	'pelletization'
capacité de consommation de bagasse (t à 50 % humid./an)	86400	40000	30900	30900
capacité de prod. de bagasse compactée (t/an)	86400	25000	17610	18230
coût du capital (10E3 \$)	194,3	320,2	249,1	326,6
coûts opérationnels (id.)	77,9	210,1	132,0	188,1
coût de production (\$/t)	0,9	8,4	8,8	11,7
id. en équivalent énergétique (\$/Gcal/t)	0,5	2,6	2,4	3,4
humidité de la bagasse compactée (%)	50	20	12	15
main-d'œuvre requise (hommes)	12	84	16	14
quantité de bagasse consommée dans la transformation (% total)	0	0	15	12
nombre de jours d'opération	240	180	300	300

Notes :

- Bagatex-20 est un procédé brésilien de séchage à l'air libre par fermentation contrôlée et ensuite de mise en bale de la bagasse sèche ;
- les coûts de production sont calculés sur la base de la production effective de bagasse transformée (moins la quantité de bagasse consommée dans le processus comme combustible pour le séchage) ;
- les chiffres de Gcal/t utilisés sont les suivants : 1825 (bagasse à 50 % d'humidité), 3280 (20 %), 3620 (12 %), 3674 (15 %) ;
- \$ de 1989.

Source : AUDINET & al., 1992.

Tableau 11

BRÉSIL
**Coûts de réduction des émissions de carbone liés à l'extension
de la production d'éthanol
(\$ 1990)**

Prix du pétrole (\$/baril)	bas				haut			
	21		23		24		28	
Années	2010		2025		2010		2025	
Scénarios	1	2	1	2	1	2	1	2
Coût d'investissement (G\$/an)	182,8	183,3	351,1	359,8	184,9	184,9	359,5	365,8
Croissance des coûts (%)	-	0,3	-	2,8	-	0	-	1,7
Émissions de carbone (Mtc/an)	209,3	188,4	439,4	358,5	205,9	188,7	438,0	361,1
Réduction des émissions (%)	-	-10,0	-	-18,4	-	-8,4	-	-17,6
Coût de réduction (\$/tc)	-	25,5	-	106,5	-	2,1	-	81,1
Production total d'éthanol (Gl/an)	-	24,3	-	110,9	-	24,3	-	110,9
Croissance surface cultivée en canne (Mha)	-	2,3	-	16,5	-	2,3	-	16,5

Hypothèses de calculs :

- estimations des prix du pétrole : RISO/PNUE, 1993.
 - taux annuel moyen de croissance démographique 1990-2025 : 1,38% (de 1,7%/an en début de période à 1,25%/an en fin) ;
 - taux annuel moyen de croissance économique (PIB) : 4,7% (cela conduit à un PIB/tête de 7 500 \$ en 2025, \$ 1990) ;
 - productivité de la canne à l'hectare : la productivité moyenne au niveau du Brésil rejoint les rendements maximum atteints par les raffineries les plus efficaces de l'État de São Paulo en 1990 (75t/ha cultivé). Entre 2010 et 2025, pas de gains de productivité sont supposés prendre place.
- (Ces hypothèses de calculs sont volontairement conservatrices).

Source : Lèbre La Rovere & Audinet, 1993.

NOTES

- 1 Entre autres. Les États-Unis mènent depuis la fin des années 70 un programme de valorisation de la biomasse du maïs à des fins énergétiques (production d'éthanol).
- 2 C.E.D.U.S., 1992.
- 3 Les notations suivantes sont utilisées dans l'ensemble de l'étude : G pour "giga" et M pour "méga"; l = litre, \$= dollar États-Unis, t = tonne, ha = hectare.
- 4 COPERSUCAR, 1992 et documentation interne.
- 5 SNE/MME, 1992, p 45.
- 6 Copersucar, 1992.
- 7 D'autres formes de sucre (gur et khandsari) constituent le reste de la production. Ils sont produits dans des unités d'échelles inférieures à celles dont nous parlons dans ce texte et sont destinés à une clientèle davantage rurale.
- 8 Source Copersucar.
- 9 N.F.C.S.F., 1989.
- 10 Tolmasquim, 1987; Gemente & al., 1982.
- 11 Navarro, 1992.
- 12 Date d'entrée en vigueur des premières mesures de protection de l'industrie sucrière indienne.
- 13 Entre 3 et 4 M\$ par unité de production sont avancés par le gouvernement de l'État. Voir aussi Desarda, 1991.
- 14 Entreprises en difficultés; la principale étant la garantie d'un approvisionnement régulier en canne mettant en cause la viabilité financière des unités de production.
- 15 Voir l'exemple du Krishna-Koyna Lift Irrigation Project décrit par Omvedt & Patankar, 1991.
- 16 Copersucar, 1991.
- 17 Energy Planning Program, 1991.
- 18 Sources : Brésil, Energy Planning Program, 1991 ; Inde, Gehlawat, 1990.
- 19 Dans un pays comme Cuba, le discours des pouvoirs publics valorise depuis plusieurs années la diversification comme un moyen d'industrialisation et de développement social des pays en développement et non comme une réponse stratégique à la crise des marchés sucriers (sic, Ministry of Cuba, 1992).
- 20 Il s'agit en particulier d'un anti-inflammatoire exporté par l'Inde - l'Ibuprofen.
- 21 Les modalités de soutien peuvent varier. Elles peuvent par exemple prendre la forme d'une subvention aux investissements de capacité par l'intermédiaire d'un prix d'achat de l'électricité excédentaire par les concessionnaires fortement rémunérateur.
- 22 ISMA, 1991, p5.
- 23 De l'ordre de 2 \$/jour au Brésil et 0,25 \$/jour en Inde pour les coupeurs de canne.
- 24 Unni (1991) a montré une forte corrélation positive entre les taux de chômage par personne-jour et la proportion de travailleurs ruraux non-agricoles (14,3% de la population rurale active au Maharashtra en 1983).

- 25 Manoel, 1986.
- 26 Une raffinerie de taille moyenne s'approvisionne à partir d'une surface cultivée en canne d'environ 10 000 ha.
- 27 Au Maharashtra par exemple, elle est généralement inférieure à 10 ha (D.E.S., 1989) et la concentration des terres est limitée juridiquement.
- 28 Les surfaces irriguées (toutes cultures confondues) ont été multipliées par plus de trois dans l'État de São Paulo entre 1970 et 1992 (source IBGE) et par plus de un et demi dans celui du Maharashtra entre 1970 et 1988 (D.E.S., 1989, p 194).
- 29 Qui produit une salinisation des sols, un facteur à l'origine de l'exclusion chaque année de plusieurs milliers d'hectares de terres de cultivables, transformées en *wastelands* en Inde.
- 30 Voir chiffres pour l'Inde in E.P.R.F., 1989.
- 31 Qui constitue à utiliser les vinasses comme engrais.
- 32 D'après interviews personnelles. Actuellement au Brésil, environ 60% de la vinasse produite est recyclée sous forme d'engrais.
- 33 Des exemples d'accidents existent. Ex.: BLEVE ("*Boiling liquid expanding vapour explosion*") de cuves de stockage d'acide acétique au Maharashtra (1988?) ayant entraîné la mort de plusieurs ouvriers.
- 34 Kirchhoff & al., 1991.
- 35 Böhm, 1992.
- 36 En 1990, une opération de contrôle ponctuelle organisée dans la région métropolitaine de São Paulo a permis de constater que sur 2178 véhicules contrôlés, 90% étaient déréglés (CETESB, 1992).
- 37 De Carvalho Macedo, 1992.
- 38 De Carvalho Macedo, op cit.
- 39 A condition que l'on puisse véritablement mesurer et comparer les différentes mesures et dégager des tendances larges à partir d'expériences locales.
- 40 Gallois, 1993.
- 41 Au Brésil, cette politique a été dénoncée comme une subvention offerte aux propriétaires de véhicules individuels au détriment de l'accès à une denrée de base: le sucre.
- 42 En Inde, le système de rémunération des coopératives de production du sucre repose sur un principe similaire d'estimation du prix de revient moyen de la canne à sucre, de façon à rémunérer au mieux les producteurs de canne.
- 43 Au Brésil par exemple, l'éthanol n'est qu'un substitut de l'essence. La demande de diesel a donc continué à croître et requiert des investissements supplémentaires (notamment en biens de capital importés) pour adapter la capacité de raffinage à une offre de diesel proportionnellement plus forte.
- 44 Dahlman & Frischtak, 1990.
- 45 Le lecteur ne devra pas pour autant en déduire que l'Inde n'a pas adopté une politique d'environnement, mais les mesures mises en place dans ce pays y sont plus diffuses et concerne davantage l'industrie dans son ensemble.
- 46 Cependant, la combustion d'éthanol produit en majorité des aldéhydes acétiques - acétaldéhydes - moins agressifs pour l'organisme que les aldéhydes formiques - formaldéhydes.

- 47 Les blocages à la constitution de nouveaux marchés ou la saturation de ceux-ci sont des freins évidents à l'innovation. Un exemple : malgré l'existence de technologies disponibles valorisant la bagasse de la canne à sucre (séchage et compactage ; voir tableaux en annexe) pour offrir un produit énergétique amélioré, peu de producteurs investissent dans ce secteur. Dans l'État de São Paulo, le marché de la bagasse combustible est déjà saturé et les perspectives de retour sur les investissements sont donc trop faibles pour inciter les producteurs à innover. En Inde ou au Brésil, les complexes sucre-éthanol sont maintenant capables de générer des surplus de bagasse d'environ 4 à 15 % du total de la bagasse produite. Cependant, l'absence d'incitations pour l'utilisation de la bagasse ne motive pas les raffineries à augmenter l'efficacité des processus industriels (ex. : chaudières). Elle ne veut pas être contraintes d'avoir à gérer un excédent non valorisable économiquement et préfèrent conserver des équipements inefficients mais qui leur permettent de se libérer de cette biomasse.
- 48 Les raffineries possédant à la fois une sucrerie et une distillerie produisent de l'éthanol directement à partir du jus de la canne et non pas comme en Inde, à partir de la mélasse, résidu de la production de sucre. Elles peuvent donc moduler leur production de sucre et/ou d'éthanol suivant les besoins. Voir annexe 1.
- 49 La proximité des centres de décision peut être un facteur spatial (cas des zones de canne situées près de grands centres urbains : Bombay ou de São Paulo dans des États disposant de fabricants locaux de technologies, d'industries complémentaires consommatrices de sous-produits, de réseaux de transport étendus, de systèmes financiers forts) ou social (quand pouvoir économique et pouvoir politique se mêlent).
- 50 Planque, 1991 ; "l'innovation est comme favorisée par ou découlant de procédures collectives d'alliances, (...) de synergies globalement développées au sein de "réseaux d'innovation" (...) reliant plus ou moins explicitement plusieurs "organisations hiérarchiques" (...)" (p. 295).
- 51 Un exemple évident est celui des microdistilleries dont la mise en œuvre n'a jamais pu voir le jour dans des États producteurs de canne comme celui de São Paulo.
- 52 Source Programa Planejamento Energético, Université fédérale de Rio de Janeiro.
- 53 Les 3 principales entreprises brésiliennes spécialisées dans la production de semences modifiées ont fermé.
- 54 Sources : Brésil, Agência para a Aplicação da Energia, São Paulo ; Inde, Energy Management Center, New Delhi ; les estimations officielles sont souvent plus importantes mais fortement improbables.
- 55 Lèbre La Rovere & Krause, 1992.
- 56 Hillairet, 1990.
- 57 Lèbre La Rovere & Krause, op cit.
- 58 Au Brésil, les résultats sont compris entre 0,16 \$ et 0,46 \$/l d'éthanol (\$ 1990, De Oliveira, 1991).
- 59 Ex. : coûts des impacts sur la terre à long terme de l'utilisation de vinasse ou des investissements nécessaires pour réduire le contenu en soufre du diesel au Brésil, évalués à 1,2 G\$ à court terme en 1992 (AIAA/SOPRAL, 1992).

- ⁶⁰ Navarro, op cit.
- ⁶¹ De Oliveira, op cit.
- ⁶² Ibid., par exemple.
- ⁶³ Desarda, op. cit.
- ⁶⁴ Dhanagare, 1990.
- ⁶⁵ Outre les résultats mitigés décrits dans les précédents paragraphes, on pourrait ajouter que l'expansion de la production et de la consommation d'éthanol a aussi érodé les finances publiques en substituant un carburant subventionné (l'éthanol) à un carburant taxé (l'essence). Or le produit de cet impôt est une source importante de revenu pour le budget de l'État.
- ⁶⁶ O.N.U., 1992.
- ⁶⁷ Lèbre La Rovere & Audinet, 1993.
- ⁶⁸ Sachs, 1993.
- ⁶⁹ En ce sens, il va de soi que la biomasse de la canne à sucre n'est pas seule en cause. Il ne s'agit surtout pas de transformer l'ensemble des terres cultivables des pays du Sud en une vaste monoculture de canne !
- ⁷⁰ Tomer, 1992.
- ⁷¹ Bernardin, 1984.
- ⁷² Koukios, 1985.
- ⁷³ C'est le cas de l'industrie de transformation des agrumes dans l'État de São Paulo dont le calendrier annuel de production coïncide avec celui des raffineries de canne et permet ainsi à ces dernières de lui vendre sa bagasse de canne utilisée comme combustible. Au Maharashtra, la saison de récolte de la canne correspond à la saison sèche, époque de bas niveaux des réservoirs des barrages et donc de déficit en énergie électrique. L'industrie sucrière peut dès lors envisager la vente de ses excédents d'électricité au réseau de l'État.
- ⁷⁴ Dubey & Varma, 1979.
- ⁷⁵ Correspondant à 73,5l d'alcool hydraté/tonne de canne.
- ⁷⁶ i.e. environ 135kgs/tonne de canne; quantité variant suivant les variétés de canne et l'organisation de la récolte.
- ⁷⁷ La pression la plus couramment rencontrée est 21 kg/cm². Dans l'objectif de produire plus d'électricité, les usines pourraient installer des chaudières de pressions plus forte allant jusqu'à 80 kg/cm².
- ⁷⁸ Un engin de collecte de la canne dans les champs a été développé récemment au Brésil par la Copersucar et permet même d'éviter le lavage de la canne en éliminant les impuretés accumulées dans la canne (terre, végétaux, etc.).

DOSSIERS DÉJÀ PARUS DANS LA COLLECTION DOSSIERS POUR UN DÉBAT

1. **Pour des agricultures paysannes**, par Bertrand Delpeuch (*un argumentaire en faveur des agricultures paysannes et une réflexion sur leurs conditions de développement*). FPH, mars 1989, 106 p. (existe également en portugais).

2. **Désétatisation et décollectivisation du secteur agricole dans les pays socialistes de l'Est et du Sud**, dossier coordonné par Laurent Raguin (*restitution d'interviews et de synthèses sur une dizaine de cas, allant du Cambodge au Pérou en passant par la Hongrie, la Tanzanie, etc.*). FPH, nov. 1989, 172 p. (existe également en espagnol et en portugais).

3. **Inventions, innovations, transferts : des chercheurs mènent l'enquête**, dossier coordonné par Monique Peyrière (*du camembert moulé à la louche à l'invention de la 2 CV, l'histoire d'innovations techniques singulières, racontées par des historiens, des économistes, des sociologues*). FPH, mai 1989, 150 p.

4. **Agricultures paysannes au Brésil : enquête sur un enjeu national**, coordonné par Philippe Adant et Iara Altafin (*réflexions sur l'avenir de la petite agriculture dans un pays où la réforme agraire ne se fait toujours pas*). FPH, juin 1991, 163 p.

5. **Coopérants, volontaires et avatars du modèle missionnaire**, dossier coordonné par François Greslou, avec des textes de Pierre de Zutter, Bertrand Hervieu, Pierre-Yves Guihéneuf, Jacques Leclerc du Sablon sur le thème : *pourquoi, à quoi et comment a-t-on coopéré, avec quel rôle et quel statut ?* FPH, juin 1991, 71 p.

6. **Les chemins de la paix : dix défis pour passer de la guerre à la paix et à la démocratie en Éthiopie. L'apport de l'expérience d'autres pays** (*mémoire de la conférence de Paris pour la paix en l'Éthiopie à la FPH en juil. 1991*). CCFD/FPH, déc. 1991, 150 p.

7. **The paths to peace**, même dossier que le précédent, en anglais, 137 p. (existe également en amharique).

8. **La décollectivisation dans tous ses États : la recherche d'autres voies de développement de l'agriculture dans les pays d'Europe Centrale et Orientale**, dossier coordonné par Cécile Moreau (*mémoire des journées organisées en Pologne par la FPH, la Fondation Batory et Solidarité Rurale sur la reconstruction des agricultures des pays de l'Est*). FPH, déc. 1991, 85 p. (existe également en polonais et en brésilien).

11. **Politiques agricoles dans les pays industrialisés, éléments de comparaison et de réflexion**, Christophe Roman (*comparaison des politiques de la France et de plusieurs pays de l'OCDE, rôle de l'État, rapports avec le reste de l'économie*). FPH, déc. 1991, 71 p.

10. **Agriculture en difficulté : problèmes économiques et sociaux des paysans en France ; état des lieux** (*Synthèse réalisée par Francis Thomas à partir du travail de la Confédération Paysanne et des associations "SOS Agriculteurs en difficulté"*). FPH/Conf. paysanne, déc. 1991, 56 p.

11. **Une voie d'insertion méconnue : la création de son propre emploi**, Maria Nowak, A.-L. Federici, Anne Le Bissonnais, Rafik Missaoui (*un débat sur la création de leur emploi par les chômeurs et les exclus ; lacunes des mesures publiques et suggestions*). FPH/ADIE, juin 1992, 67 p.

12. **Le paysan, l'expert et la nature**, Pierre de Zutter (*sept fables et récits sur l'écologie et le développement dans les pays andins*). FPH, septembre 1992, 103 p.

13. **Monsieur Li, Chico, Antoine et les autres ; récits vraisemblables d'aventures cliniques**, Jean-Pierre Boyer (*sur la relation soignant-soigné, l'alcoolisme, la santé mentale...*). FPH/ALPSYSOM, nov. 1992, 129 p.

14. **Soleil du Sud : une expérience d'échanges des savoirs en énergie solaire et en aviculture au Pérou : réflexions sur le développement**, Christine Bénard, Dominique Gobin (*capitalisation de l'expérience d'un projet original*). FPH/Runamaqui, sept. 1992, 190 p.

15. La réhabilitation des quartiers dégradés : leçons de l'expérience internationale (*déclaration de Caracas et textes de Pierre Calame et de Jean-Marie Delarue, délégué ministériel à la Ville*). FPH/DIV, novembre 1992, 38 p.

16. Les Cambodgiens face à eux-mêmes ? Contributions à la construction de la paix au Cambodge, coordonné par Christian Lechervy et Richard Pétris, (*pour mieux comprendre, à la veille des élections au Cambodge, les enjeux du processus démocratique*). FPH/Association des amis d'une École de la Paix à Grenoble, février 1993, 175 p.

17. Le capital au risque de la solidarité : une épargne collective pour la création d'entreprises employant des jeunes et des chômeurs de longue durée, coordonné par Michel Borel, Pascal Percq, Bertrand Verfaillie et Régis Verley (*enquêtes de journalistes et d'étudiants à l'École Supérieure de Journalisme de Lille sur les "actionneurs", les créateurs d'entreprise et les experts bénévoles de l'association Autonomie et Solidarité*). FPH/Autonomie et Solidarité/ESJL, septembre 1993, 135 p.

18. Orient : la mémoire et la paix ; réflexions de voyage en Inde, en Chine et au Japon, Édith Piat-Sigg et Bernard W. Sigg (*le carnet de bord d'un psychanalyste et d'une ethno-linguiste sur la rencontre des cultures, les langues, la mémoire et la paix*). FPH, sept. 1993, 32 p.

19. Penser l'avenir de la planète : agir dans la complexité, Pierre Calame (*une analyse des systèmes bio-socio-techniques et un ensemble de propositions d'action*). FPH, septembre 1993, 41 p. (également disponible en anglais).

20. Stratégies énergétiques pour un développement durable, Benjamin Dessus (*une vision prospective alternative et des propositions originales pour une maîtrise des énergies non renouvelables et une meilleure exploitation des énergies non polluantes*). FPH, septembre 1993, 55 p. (également disponible en anglais).

21. La conversion des industries d'armement, ou comment réaliser la prophétie de l'épée et de la charrue, Richard Pétris (*une analyse de la situation et des perspectives des industries d'armement dans plusieurs régions du monde, et des propositions pour une reconversion de ces industries en vue de la construction de la paix*). FPH/Les amis d'une école de la Paix à Grenoble, septembre 1993, 82 p. (également disponible en anglais).

22. **L'argent, la puissance et l'amour : réflexions sur quelques valeurs occidentales**, François Fourquet (*où l'on voit que tout ne se réduit pas à l'échange marchand dans les sociétés contemporaines et que les valeurs du don et de l'amour y ont plus que jamais un rôle déterminant*). FPH, sept. 1993, 107 p. (également disponible en anglais).

23. **Regards sur l'avenir de la planète** (*à propos de rencontres dans sept régions du monde en vue de la convention préparatoire aux États Généraux de la Planète*). FPH, septembre 1993, 97 p. (également disponible en anglais).

24. **Marchés financiers : une vocation trahie?** (*ce que la Bourse a fait, dans les pays d'Europe, de sa vocation initiale de soutien de l'économie. Étude réalisée par un institut d'études économiques indépendant helvétique*). FPH/Eco'Diagnostic, septembre 1993, 105 p. (également disponible en anglais).

25. **Des paysans qui ont osé : histoire des mutations de l'agriculture dans une France en modernisation – la révolution silencieuse des années cinquante** (*compte rendu du premier séminaire de Saint-Sabin "Comment la société change", avec l'intervention de Bertrand Hervieu*). FPH, décembre 1993, 45 p.

26. **Autour de Jean-Louis Chleq** (*un ingénieur, franciscain et bricoleur, au service de l'hydraulique villageoise au Sahel. Récit, débats et témoignages*), dossier coordonné par Daniel Durand. FPH, décembre 1993, 146 p.

27. **Partenaires de paix ; échange entre artisans de la paix** (*trois Prix Nobel dialoguent avec des Organisations non-gouvernementales ; mémoire de la rencontre à l'Arche de la Fraternité, le 27 octobre 1993*). FPH/CCFD, 1994, 49 p.

28. **L'Agriculture Paysanne : des pratiques aux enjeux de société** (*premières rencontres nationales de l'Agriculture Paysanne, organisées par la Confédération Paysanne et la FADEAR à Saint-Lô Thère, 21-22 mai 1993 Témoignages et débats*). FPH/Confédération Paysanne, 1994, 161 p.

29. **La planète rock : histoire d'une musique métisse, entre contestation et consommation** (*une contribution aux séminaires de Saint-Sabin sur le thème : comment la société change*). FPH, 1994, 33 p.

30. **Biodiversité, le fruit convoité ; l'accès aux ressources génétiques végétales : un enjeu de développement** (*Actes des journées d'études de juin 1993, coordonnés par D. Arnaud, H. Ilbert et R. Mongruel*). FPH/SOLAGRAL, 1994, 100 p.

31. **La chance des quartiers** (*récits et témoignages d'acteurs du changement social en milieu urbain, présentés par Yves Pedrazzini, Pierre Rossel et Michel Bassand*). FPH/ARCI, mai 1994, 158 p.

Pour commander ces dossiers, vous pouvez vous adresser à Interface-VPC, en indiquant le numéro, le titre, et le nombre d'exemplaires des dossiers que vous souhaitez recevoir.

Interfaces-VPC
c/o Éditions Descartes & Cie
52 rue Madame
75006 PARIS

Participation aux frais : 35 F par dossier (frais d'envoi compris).
Chèques à libeller à l'ordre de Descartes & Cie.