



Photo Armines.

*Bois en plaquettes, bois torréfié.*

# UN NOUVEAU PRODUIT ÉNERGÉTIQUE POUR LES PAYS EN DÉVELOPPEMENT

## LE BOIS TORRÉFIÉ

par Jacqueline DOAT \*

*Directeur des Recherches sur le Bois au C.T.F.T.*

### SUMMARY

#### A NEW SOURCE OF ENERGY FOR DEVELOPING COUNTRIES : TORREFIED WOOD

*As is well known, wood, charcoal and biomass in general constitute the principal sources of energy in developing countries : 60 % on average, but more than 90 % in the least favoured regions (the Sahel, Nepal, etc.). Moreover, it is in these latter regions and in urban areas that in most cases wood charcoal is preferred to wood for cooking purposes.*

*However, the transformation of wood into charcoal entails a considerable loss of the initial energy content of the wood. Thus Third World countries lose a large part of the potential energy of their forests.*

*This article deals with the possibilities of producing and using a new source of energy, « torrefied wood », which makes it possible to reconcile energy conservation with the accumulation of energy per unit volume.*

*The technique of producing torrefied wood corresponds to a partial and controlled pyrolysis of the wood. The yield of torrefied wood in terms of weight is about 70 % to 75 % by comparison with anhydrous wood, and its energetic yield is 80 % to 86 %.*

*The characteristics and future prospects of this substance are indicated in the light of results obtained with eleven tropical species.*

(\*) Avec la collaboration technique de F. CUSSON, M. POITEL et A. VITALIS-BRUN.

## RESUMEN

### NUEVO PRODUCTO ENERGETICO PARA LOS PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO : LA MADERA TOSTADA

*Ya se sabe que la madera, el carbón vegetal y la biomasa en general, constituyen las principales fuentes de energía de los países en vías de desarrollo : un 60 % en promedio, pero más del 90 % para las regiones menos favorecidas (Sahel, Nepal, etc.). Además, en la mayor parte de los casos, tanto en estas regiones como en las zonas urbanas, se prefiere utilizar el carbón vegetal en lugar de la madera, para la cocción diaria de los alimentos.*

*No obstante, la transformación de la madera en carbón vegetal se lleva a cabo con una importante pérdida de energía inicial de la madera. Los países del tercer mundo pierden de este modo una gran parte de la energía potencial de sus bosques.*

*En el presente artículo se indican las posibilidades de producción y empleo de un nuevo producto energético, la « madera tostada » que permite compaginar simultáneamente la conservación de la energía y la acumulación de la energía por unidad de volumen.*

*La técnica de fabricación de la madera tostada corresponde a una pirólisis parcial y controlada de la madera. El rendimiento ponderal en madera tostada corresponde, con respecto a la madera secada en estufa, aproximadamente, a un 70 ó un 75 % y el rendimiento energético de un 80 a un 86 %.*

*También se precisan las características y las perspectivas futuras de este combustible, en consideración a los resultados conseguidos con once especies tropicales.*

## REMARQUE PRÉLIMINAIRE

*« Cet article concerne les possibilités techniques de fabrication dans les pays en développement d'un nouveau produit énergétique mis au point en France : le bois torréfié.*

*La partie purement économique du procédé ne pourra être abordée qu'après la réalisation, la mise en place et l'exploitation de l'appareillage prototype spécial PED, en cours de réalisation. »*

## INTRODUCTION

Il est bien connu que le bois, le charbon de bois et la biomasse en général, constituent les principales sources d'énergie des pays en développement : 60 % en moyenne mais plus de 90 % pour les régions les plus défavorisées (Sahel, Népal, etc...). C'est d'ailleurs dans ces derniers, et dans les zones urbaines, que la plupart du temps le charbon de bois est préféré au bois pour la cuisson journalière des aliments.

La transformation du bois en charbon de bois s'effectue toutefois avec une perte importante de l'énergie potentielle du bois : 70 % à 40 % selon la technique de fabrication retenue. Les pays du tiers monde fabriquant la quasi-totalité de leur charbon de bois en meules ou en fosses (qui donnent des rendements pondéraux très bas, de l'ordre de 15 %) perdent ainsi un maximum d'énergie lors de cette pyrolyse. C'est pourquoi on a pu dire que

c'est la carbonisation qui entraîne le plus souvent la disparition de la forêt. Même si cette affirmation est exagérée, il est en tout cas préférable, d'un point de vue énergétique, d'employer le bois plutôt que le charbon de bois, chaque fois que cela est possible.

Malheureusement cela n'est pas toujours le cas en particulier lorsque le combustible doit être transporté sur de longues distances (exemple les zones sèches africaines). Il faut alors un produit facile à conditionner et riche en valeur calorifique par unité de volume.

Concilier à la fois la conservation de l'énergie et l'accumulation des calories par unité de volume paraît une gageure. C'est pourtant ce qui est réalisé en grande partie avec le bois torréfié dont les caractéristiques font l'objet de cet article.

## THÉORIE DE LA PYROLYSE

Pour comprendre ce qu'est la torréfaction, il est nécessaire de connaître les différents mécanismes entrant en jeu lors de la carbonisation totale du bois. Les phénomènes de pyrolyse de la biomasse ont été étudiés antérieurement au C.T.F.T. et dans différents autres organismes, il est cependant souhaitable de les rappeler brièvement ici.

Lorsque l'on chauffe du bois à l'abri de l'air, il se produit selon la température atteinte, quatre périodes distinctes :

### *Première période*

Entre l'ambiance et jusqu'à 160 °C, le bois ne perd pratiquement que de l'eau et conserve son hygroscopicité. (Il peut être réhumidifié).

### *Deuxième période*

Entre 180 et 270 °C le bois brunit, perd de l'eau mais aussi du gaz carbonique et la quasi totalité de l'acide acétique potentiel de la carbonisation. Il perd son hygroscopicité et devient friable tout en gardant une bonne consistance.

### *Troisième période*

Au-delà de 270-280 °C se manifeste une nette réaction exothermique qui élève la température jusqu'à 400-450°, et aboutit de manière incontrôlable au charbon de bois.

Des gaz oxygénés sont produits en quantités importantes, ainsi que du méthane et quelques hydrocarbures de poids moléculaire un peu plus élevé.

Des liquides contenant outre des acides organiques, un peu de méthanol, d'acétone et autres produits volatils, des goudrons plus ou moins épais peuvent également être récupérés par condensation.

### *Quatrième période*

Au-dessus de 450-500 °C, les émanations de gaz et de liquides sont plus faibles même si, en chauffant à nouveau on élève la température jusqu'à 700-800 °C. On aboutit alors à une phase de dissociation qui produit de l'hydrogène tandis que le charbon résultant s'enrichit en carbone fixe.

D'un point de vue pratique, on peut dire que les carbonisations traditionnelles artisanales, meules, fosses, fours métalliques, sont arrêtées après la réaction exothermique, donc à des températures ne dépassant pas 450 °C, alors que les fours industriels atteignent des températures de l'ordre de 550 à 650 °C (sans parler de techniques « d'activation » du charbon qui nécessitent 900 à 1.000 °C en complément de la pyrolyse).

## DÉFINITION ET CARACTÉRISTIQUES DU BOIS TORRÉFIÉ

La fabrication de bois torréfié correspond à une pyrolyse partielle du bois puisqu'elle comprend seulement les deux premières phases de la carbonisation. Le bois torréfié est réalisé lorsque la réaction est arrêtée juste avant le démarrage de la phase exothermique, c'est-à-dire vers 270-280 °C.

Produit en phase endothermique, il exigera un apport extérieur de calories et toute la difficulté réside dans le fait de réunir un large apport d'énergie dans une plage de température étroite.

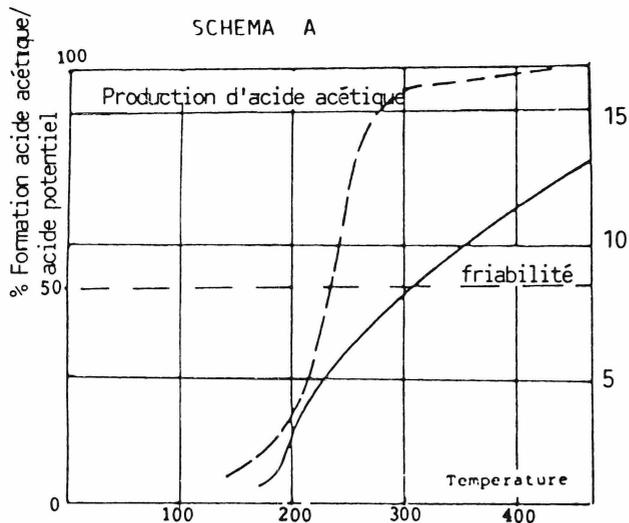
Le bois torréfié est donc un produit intermédiaire entre le bois et le charbon de bois. C'est un matériau bien défini, moins friable que le charbon de bois mais plus facile à broyer et donc à agglomérer que le bois. Cette agglomération étant par ailleurs possible sans liant, cette caractéristique représente un avantage certain pour une utilisation ménagère : grillades par exemple. On se reportera au schéma A qui donne à titre indicatif, d'une part, l'augmentation de friabilité d'un

bois en fonction de la température, d'autre part, la formation d'acide acétique en cours de pyrolyse.

Le bois torréfié est produit avec un rendement pondéral qui se situe autour des 3/4 du bois initial. Ce chiffre est à comparer aux rendements enregistrés lors de carbonisations industrielles (30-32 %) et lors de carbonisations artisanales (15 à 25 %). On donne plus loin les valeurs calorifiques de ce nouveau produit en comparaison de celles du bois de feu et du charbon à partir desquelles on peut calculer les rendements énergétiques de la transformation « torréfaction » qui se situent entre 80 et 86 %, alors que dans les carbonisations ces rendements énergétiques atteignent au maximum 60 % et le plus souvent 30 à 50 %.

Ce point est important car on voit que le bois torréfié conserve une grande part de l'énergie potentielle du bois de départ.

D'un point de vue physico-chimique, les caractéristiques des bois torréfiés dépendent dans une certaine mesure de l'essence de départ. On donnera dans le cha-



pitre suivant les résultats obtenus avec onze essences tropicales. Mais l'ordre de grandeur des résultats se situe en moyenne autour des valeurs suivantes :

- teneur en cendres : faible,
- teneur en matières volatiles : 60 à 70 %,
- pouvoir calorifique supérieur : 5.200 à 6.000 Kcal/kg (soit 22.000 à 25.000 KJ/kg) il se situe donc entre celui du bois anhydre et celui du charbon de bois, comme le montrent les chiffres suivants :

- bois anhydre ..... 4.600 à 4.800 Kcal/kg (19.200 à 20.000 KJ/kg),
- bois sec à l'air ..... 3.700 à 3.800 Kcal/kg (15.500 à 16.000 KJ/kg),
- bois vert ..... 2.200 à 2.400 Kcal/kg ( 9.200 à 10.000 KJ/kg),
- charbon de bois ..... 6.500 à 8.000 Kcal/kg (27.000 à 33.500 KJ/kg).

### EMPLOI DU BOIS TORRÉFIÉ

Ce produit peut être utilisé :

- a) *en combustion* : il peut être substitué au bois ou au charbon dans des chaudières classiques.
- b) *dans des gazogènes générateurs* : mobiles ou fixes, où il élimine les risques de corrosion liés à la production d'acides organiques et permet une stabilité améliorée de l'alimentation. Il se place, à ce titre au niveau du charbon mais il présente par rapport à celui-ci, l'avantage de contenir moins de cendres.
- c) *en réducteur métallurgique* : le bois torréfié va être utilisé dans un four produisant du silicium et retenu par un groupe industriel français important comme réducteur en substitution du mélange charbon/bois utilisé actuellement.

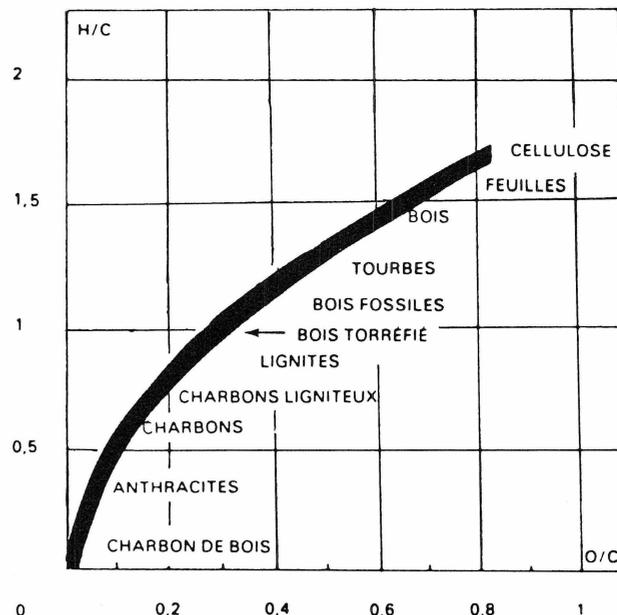


Schéma B (d'après Schwob et Bourgeois)

- analyse élémentaire : C = 55 à 60 %,  
H = 5 à 5,5 %,  
N = 0,1 à 0,2 %,  
O = 35 à 38 %.

On se reportera à titre de comparaison au schéma B suivant (d'après SCHWOB et BOURGEOIS) donnant les points sur lesquels se situent les différents combustibles en fonction de leur rapport moléculaire H/C et O/C. On y voit que le bois torréfié se place entre les charbons et les tourbes.

Il peut également être employé comme réducteur en sidérurgie.

- *comme combustible ménager* :
- dans les pays développés, son emploi en barbecue a été testé. Ce produit a reçu un accueil favorable des utilisateurs qui ont apprécié en particulier sa bonne inflammabilité.
  - dans les pays en développement, il peut être utilisé tel quel en plaquettes

ou après une agglomération peu coûteuse, puisque possible sans liant, et fournissant un produit de forte densité (0,8 à 1), facile à conditionner et à transporter. Son emploi dans des foyers améliorés doit être intéressant. Un projet de production et d'essai au niveau sénégalais est envisagé pour les prochains mois.

## PROCÉDÉS DE FABRICATION

Les promoteurs de la filière bois torréfié (ARMINES — École des Mines de Paris — 60, Boulevard Saint-Michel — 75006 PARIS) ont testé et mis au point plusieurs voies et techniques qui ont fait l'objet de la mise en place de deux pilotes et vont permettre la construction d'une installation industrielle produisant 12.000 tonnes de bois torréfié par an (projet en cours de réalisation).

Les voies explorées sont présentées rapidement ci-dessous. On citera tout d'abord deux appareils qui ont été conçus lors des phases de mise au point, puis deux autres qui sont plus avancés et qui ont dépassé, pour le dernier tout au moins, le stade expérimental.

Notons par ailleurs, que les études ont été tout d'abord effectuées sur des plaquettes de bois. D'autres tests et mises au point ont été ensuite réalisés sur des morceaux de bois de taille plus importante (déchets de scieries) avec succès. L'unité française de 12 000 t qui produira du réducteur métallurgique travaillera sur plaquettes de quelques centimètres de long.

### a) Four rotatif

Ce four correspond au premier prototype créé dans lequel le bois brut est séché et torréfié dans un four tournant en atmosphère contrôlée, avec chauffage extérieur. Facile à dominer, l'ensemble des opérations peut être rendu continu et l'emploi des techniques existantes ne pose pas de problèmes technologiques particuliers.

Malheureusement, le rendement énergétique, dans ce type de procédé, est moins favorable car les récupérations calorifiques sont difficiles.

### b) Procédé cyclique en lits fixes

Ce four plus important a été ensuite mis au point pour concilier les divers impératifs concernant le passage du bois brut au bois torréfié.

Ce dispositif (figure C) autorise une marche cyclique chaque capacité pouvant être alternativement en position de préséchage — séchage ou torréfaction. Le refroidissement du produit fini est réalisé par échange thermique avec le produit initial, économisant au maximum les thermies.

### c) Procédé simplifié (en discontinu)

Le procédé a pu être simplifié et l'on n'a retenu qu'un four de traitement. C'est le cas du pilote actuel d'Armines installé à Casteljaloux (dans le sud-ouest de la France). Les coûts d'investissement sont alors, bien entendu, nettement diminués tandis que les résultats demeurent satisfaisants. Le schéma de ce pilote correspond donc à celui donné à la figure C dans lequel n'existent plus les fours 1 & 2, car le séchage est réalisé dans le four de torréfaction.

Cette technique simplifiée peut servir de base à un appareillage de démonstration utilisable dans les pays en développement.

### d) Procédé en continu

A l'inverse de la technique précédente, qui fait appel à un four vertical, cet appareil consiste en un four horizontal permettant l'alimentation en bois et la production de bois torréfié en quantités importantes pour un niveau industriel (10 à 20 000 t/an). Les grands principes de l'appareil sont donnés dans le schéma D suivant. C'est cet appareil qui a été retenu dans le projet industriel de production de réducteur métallurgique en France.

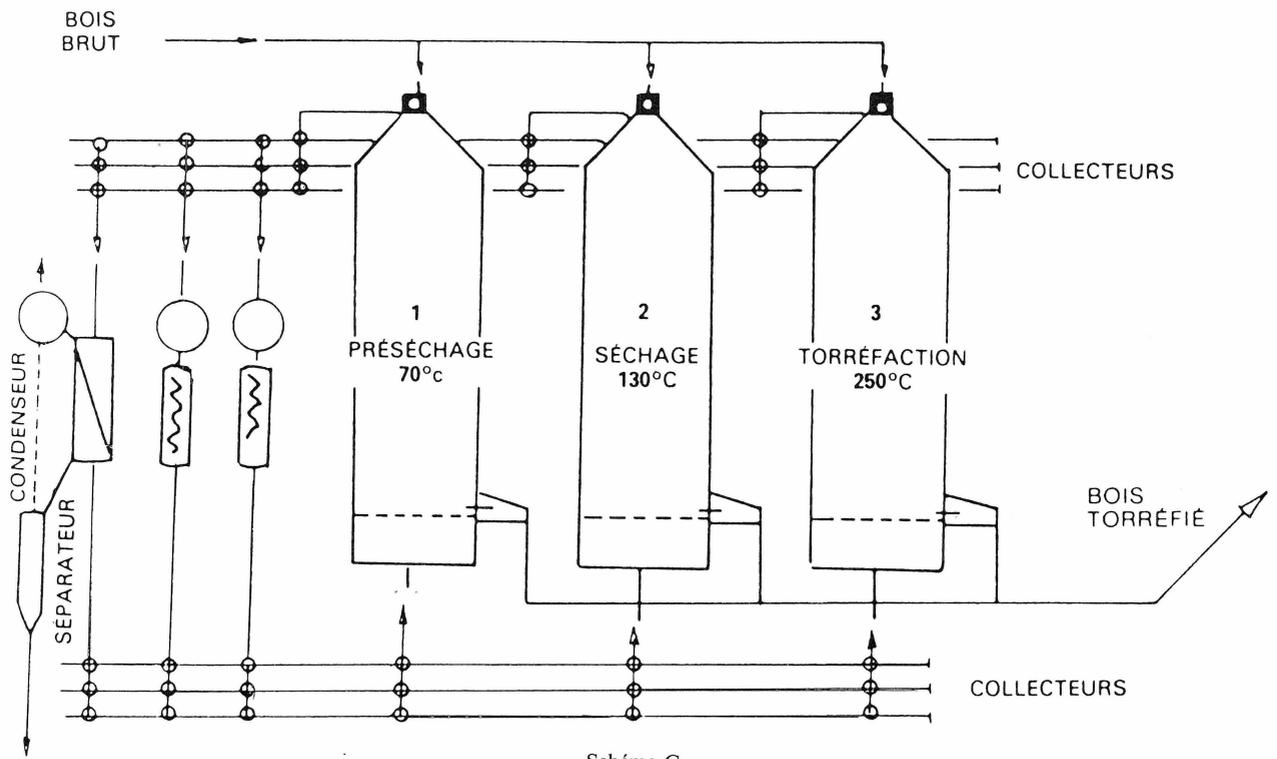


Schéma C

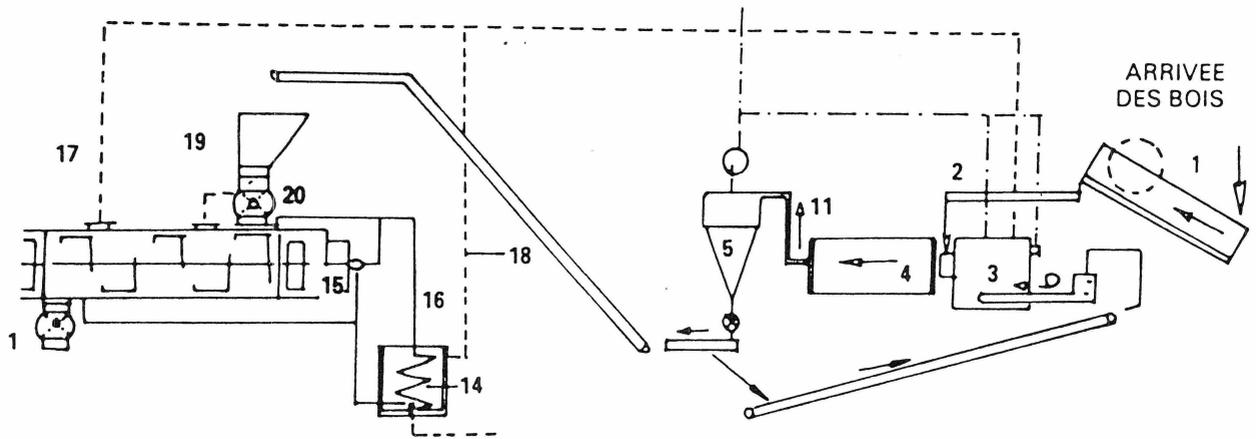


Schéma D

Torréfacteur

Séchoir

- 1) Trémie
- 2) Vis d'alimentation
- 3) Chaudière
- 4) Tambour de séchage
- 5) Cyclone
- 6) Ventilateur
- 7) Ecluse de soutirage
- 8) Vis de reprise
- 9) Recyclage du bois
- 10) Bande transporteuse

- 11) Recyclage de gaz
- 12) Bande transporteuse
- 13) Torréfacteur
- 14) Chaudière thermofluide
- 15) Entraînement
- 16) Circuit fluide thermique
- 17) Recyclage gaz de torréfaction
- 18) Recyclage fumées chaudière
- 19) Trémie d'alimentation
- 20-21) Roue cellulaire

## ESSAIS RÉALISÉS AVEC DES BOIS TROPICAUX

A titre d'exemple, on donnera ci-après le détail des essais qui ont été réalisés avec onze essences tropicales provenant de quatre pays différents. La liste des bois testés est indiquée au tableau E.

### a) Caractéristiques des bois utilisés

Ces caractéristiques sont données dans le tableau F suivant, dans lequel on remarque bien la diversité de l'échantillonnage :

- éventail de densité allant de 0,4 à 0,85,
- taux d'extraits aux solvants de 2 à plus de 15 %,
- teneur en lignine de 37 à 50 %,
- teneur en cellulose de 37 à 50 %,
- quantité de cendres (à 425 °C) de 0,2 à près de 6 %.

### b) Torréfaction des bois

Sur ces onze essences, une prépyrolyse (ou torréfaction) a été réalisée sur l'appareil pilote discontinu d'Armines pour produire du bois torréfié dans les conditions suivantes : températures 275°-285° pendant 3/4 h, temps total du procédé : 4 heures. Les résultats obtenus sont donnés au tableau G. Ils montrent que quelle que soit l'essence, la torréfaction est possible et que le produit est obtenu avec un rendement pondéral élevé allant de 69 à 78 % sans tenir compte de la présence de fines récupérables, si l'on envisage une densification du produit. Ces fines peuvent représenter environ 2 % du bois initial. Les rendements énergétiques sont de 78 à 86 %, puisque le pouvoir calorifique des bois torréfiés se situe entre 5 000 et 5 700 Kcal/kg.

TABLEAU E  
LISTE DES BOIS TESTÉS

Nom des bois		Famille	Provenance
Vernaculaire	Scientifique		
Pin	<i>Pinus caribaea</i>	Pinacées	Nouvelle Calédonie
Eucalyptus	<i>Eucalyptus urophylla</i>	Myrtacées	Congo
Dabéma Padouk	<i>Piptadeniastrum africana</i> <i>Pterocarpus soyauxii</i>	Mimosacées Fabacées	Côte-d'Ivoire Côte-d'Ivoire
Albizia	<i>Albizia ferruginosa</i>	Mimosacées	Sénégal
Neem	<i>Azadiracta indica</i>	Meliacées	Sénégal
Eucalyptus	<i>E. tereticornis</i>	Myrtacées	Sénégal
Gmelina	<i>G. arborea</i>	Verbenacées	Sénégal
Mesquite	<i>Prosopis juliflora</i>	Mimosacées	Sénégal
Vene	<i>Pterocarpus ericaceum</i>	Fabacées	Sénégal
Teck	<i>Tectona grandis</i>	Verbenacées	Sénégal

TABLEAU F  
CARACTÉRISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES DES BOIS TROPICAUX TESTÉS

Essences	Pins des Caraïbes	<i>Eucalyptus urophylla</i>	Dabéma	Padouk	Albizia	Neem	<i>Eucalyptus tereticor.</i>	Gmelina	Mesquite	Vene	Teck
<b>Principaux constituants %</b>											
Extrait alcool benzène	2,15	3,15	7,30	12,80	5,35	2,65	2,3	4,6	5,5	15,4	3,5
Extrait eau chaude	3,10	3,80	2,70	1,10	2,40	2,8	3,75	1,9	4,0	3,2	1,7
Lignine	31,10	28,15	27,30	31,40	30,2	27,05	27,3	27,5	23,15	28,8	30,4
Pentosanes	8,40	14,00	15,90	10,60	17,0	18,65	18,85	16,1	18,3	12,0	14,3
Cellulose	41,80	47,60	42,80	41,50	42,0	41,6	42,5	50,5	44,1	37,1	47,2
Mannanes	10,40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cendres (à 425°)	0,30	0,25	0,60	1,10	1,1	5,8	3,0	1,0	2,9	1,5	0,9
<b>Pouvoir calorifique supérieur</b>											
Kcal/kg	4 940	4 760	4 880	5 010	4 810	4 730	4 670	4 510	4 560	5 065	4 855
KJ/kg	20 700	19 900	20 450	20 950	20 130	19 800	19 540	18 900	19 080	21 200	20 300
<b>Densité (bois anhydre)</b>	0,41	0,55	0,65	0,70	0,50	0,63	0,57 à 0,69	0,47	0,70	0,85	0,54

TABLEAU G  
RÉSULTATS DE TORRÉFACTION

Essences	Pins des Caraïbes	<i>Eucalyptus urophylla</i>	Dabéma	Padouk	Albizia	Neem	<i>Eucalyptus tereticor.</i>	Gmelina	Mesquite	Vene	Teck
<b>Rendement pondéral à la torréfaction (bois sec) (%) *</b>	74	72	73	73	72	74	70	69	68	78	76
<b>Pouvoir calorifique du bois torréfié (%)</b>											
Kcal/kg	5 640	5 700	5 400	5 500	5 200	5 110	5 050	5 150	5 180	5 490	5 210
KJ/kg	23 600	23 800	22 600	23 050	21 800	21 400	21 150	21 550	21 660	23 000	21 800
<b>Rendement énergétique (%) *</b>	84,5	86	81	80,5	78	80	76	79	77,5	84,5	81,5
<b>Caractéristiques des produits</b>											
Cendres (%) à 800 °C	0,45	0,35	0,65	0,56	1,35	3,5	3,15	1,0	2,7	1,5	1,6
Matières volatiles (%)	71,2	68,7	70,8	69,7	66,5	64,2	62,2	69,2	61,7	67,6	69,2
Carbone fixe (%)	28,3	30,9	28,6	29,8	32,2	32,3	34,6	29,2	35,6	31,0	29,0
Densité					0,37	0,50	0,57	0,39	0,65	0,65	0,47

\* sans tenir compte des fines (2 % environ).

TABLEAU H  
COMPARAISON CARBONISATION & TORRÉFACTION

Essences	<i>Pinus caribaea</i>		<i>Eucalyptus urophylla</i>	
	Torréfaction	Carbonisation	Torréfaction	Carbonisation
Procédé				
Produits	Bois torréfié	Charbon	Bois torréfié	Charbon
Rendement pondéral (sur bois anhydre)	74 % (+ 2 % de fines)	31 %	72 % (+ 2 % de fines)	33 %
Pouvoir calorifique (Kcal/kg)	5 640	8 290	5 700	8 270
Rendement énergétique (%)	84,5 % (87 %)	52 %	86 % (88,5 %)	57 %
<b>Caractéristiques chimiques des produits</b>				
Cendres %	0,45	1,25	0,35	0,9
Mat. volatiles %	71,2	5,2	68,7	5,0
Carbone fixe %	28,3	93,5	30,9	94,1

### c) Comparaison entre carbonisation et torréfaction

Pour les deux premières essences (Pin et Eucalyptus) une pyrolyse lente classique dans le but de produire du charbon de bois a été conduite en parallèle de la torréfaction. Les conditions de traitement étaient les suivantes :

Four Herman-Moritz à chauffage électrique externe — température 500° pendant 5 heures. Temps total du procédé (après séchage du bois) : 10 h.

Les résultats comparatifs des deux techniques sont transcrits au tableau H.

Ces résultats montrent que :

— du point de vue rendements pondéral et énergétique, le bois torréfié s'avère plus intéressant que le charbon de bois ;

— les pouvoirs calorifiques sont toutefois plus favorables pour le charbon que pour le bois torréfié. Aussi, à poids égal, il semble plus profitable de transporter du charbon de bois. Mais dès qu'une agglomération est envisagée (celle-ci est facile avec le bois torréfié et per-

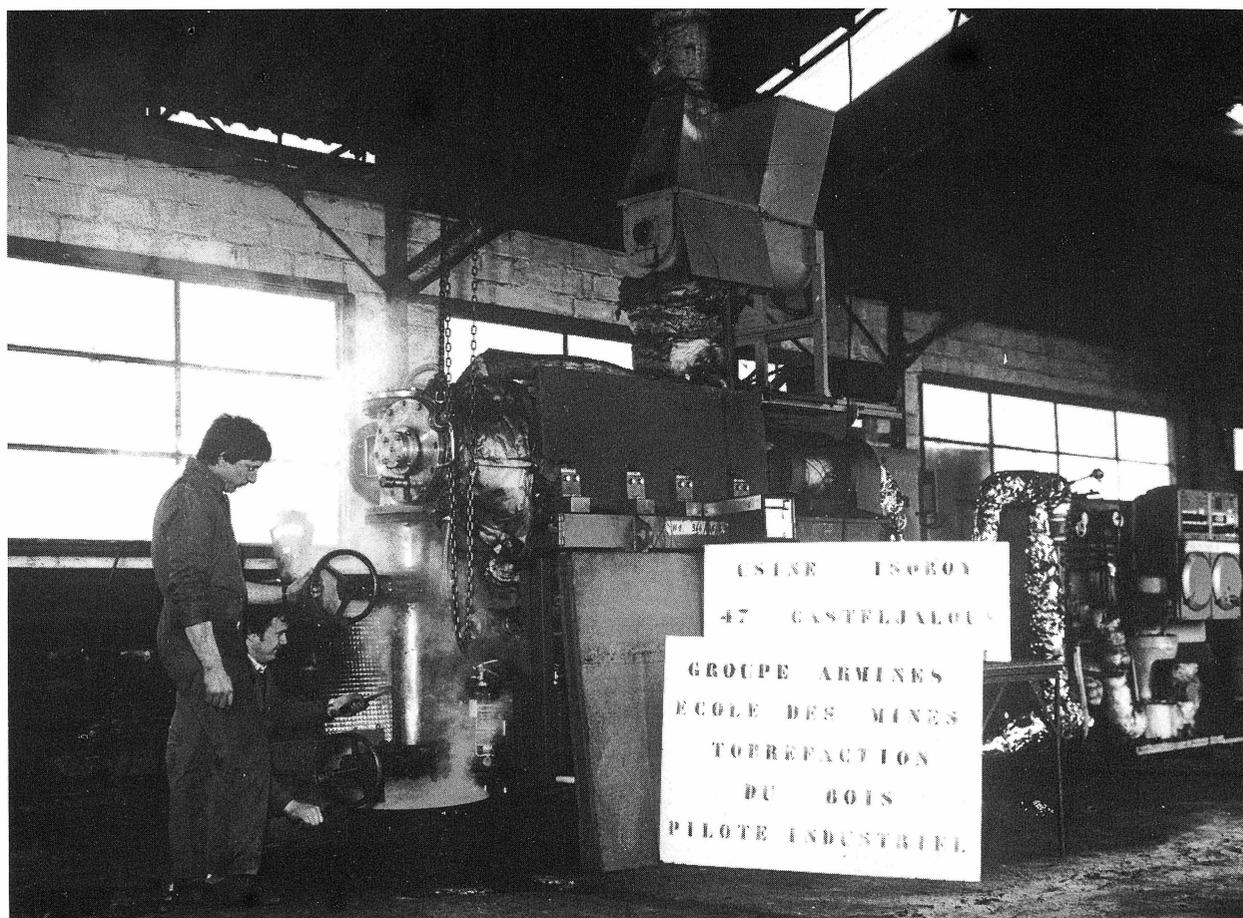


Photo Armines.

*Appareil pilote en continu Armines.*

met d'obtenir sans liant comme déjà indiqué ci-dessus un produit de densité élevée (jusqu'à 1) plus facile à conditionner) le bois torréfié reprend l'avantage ;

— par ailleurs, les caractéristiques chimiques sont plus favorables pour les charbons qui ont beaucoup plus de carbone fixe et beaucoup moins de matières volatiles, le seul avantage des bois torréfiés se situant, dans ce cas, au niveau des cendres trois fois moins élevé que dans les charbons ;

— enfin, les bois torréfiés produits ont des caractéristiques physiques supérieures à celles des charbons correspondants. Ils ne reprennent pas l'humidité aussi rapidement, ils sont moins friables et s'allument plus facilement que les charbons.

#### *d) Autres essais*

A côté des essais purement techniques, il a été effectué également quelques tests analytiques pour préciser quelle était l'action de la torréfaction.

Pour cela, bien que ce type d'analyse, courant sur les bois, ne soit généralement pas fait dans le cas des produits résultant de la pyrolyse, l'analyse chimique des bois torréfiés a été réalisée sur les produits sénégalais. Les chiffres enregistrés ont montré une augmentation apparente des teneurs en lignine et une diminution des taux de pentosanes et de cellulose, les autres composés subissant des variations moins nettes à l'exception des extraits de Vene (particulièrement importants) qui sont abaissés. Les résultats sont donnés au tableau I.

Toutefois, ces chiffres doivent être corrigés pour tenir compte du rendement pondéral de la torréfaction et ramenés aux quantités initiales de produits existant dans les bois.

Cette correction qui correspond à une diminution de l'ordre de 25-30 % montre que les pentosanes disparaissent en grande partie lors de la réaction de torréfaction. Il ne reste en effet que :

- 17 % des pentosanes initiaux de l'*Albizia*,
- 5 % des pentosanes initiaux du *Neem*,
- 15 % des pentosanes initiaux de l'*Eucalyptus tereticornis*,



Photo Armines.

Appareil pilote en discontinu (Batch) Armines.

TABLEAU I  
COMPOSITION CHIMIQUE DES BOIS TORRÉFIÉS SÉNÉGALAIS

Essences	Albizia	Neem	<i>Eucalyptus</i>	Gmelina	Mesquite	Vene	Teck
Extrait AB %	5,7	5,45	6,0	6,7	4,85	7,9	6,1
Extrait eau %	0,3	1,10	1,15	0,6	0,95	1,9	0,3
Lignine %	48,6	48,5	43,6	43,8	51,35	47,7	44,3
Pentosanes %	4,15	1,25	4,15	2,1	1,25	1,8	3,6
Cellulose %	38,0	35,9	39,0	43,5	35,2	35,3	41,7
Cendres % à 800 °C	1,35	3,5	3,15	1,0	2,7	1,5	1,3

9 % des pentosanes initiaux du *Gmelina*,  
5 % des pentosanes initiaux du *Prosopis*,  
12 % des pentosanes initiaux du Vene,  
19 % des pentosanes initiaux du Teck.

La cellulose est aussi attaquée mais de façon moins sensible, ainsi il reste pour chaque essence :

65 % pour l'*Albizia*,  
64 % pour le Neem,  
64 % pour l'*Eucalyptus tereticornis*,  
59 % pour le *Gmelina*,

67 % pour le *Prosopis*,  
73 % pour le Vene,  
67 % pour le Teck,

des teneurs initiales.

L'augmentation de la lignine n'est qu'apparente, aux erreurs d'expérience près, en particulier si l'on considère non plus la lignine seule, mais la lignine plus les extraits qui semblent se transformer et donner des composés insolubles que l'on dose avec la lignine.

## CONCLUSION

Les études réalisées montrent dès à présent qu'il est techniquement possible de fabriquer à partir des essences tropicales un produit énergétique, **le bois torréfié**, avec des rendements bien plus favorables que ceux de la carbonisation. Ce produit possède des qualités certaines qui le rendent utilisable pour différents usages : en particulier :

— l'emploi ménager (barbecues des pays industrialisés, cuisine traditionnelle ou foyers améliorés des Pays en Développement) ;

— la réduction métallurgique (une usine de production de réducteur est en cours de mise en route en France).

Il reste à présent à définir :

— d'une part, un appareillage simple, robuste et pas trop onéreux spécialement adapté aux Pays en Développement qui pourraient ainsi, dans un premier temps, utiliser leurs déchets de scierie ou des bois d'éclaircie, puis ultérieurement des bois de plantation ou de forêt naturelle ;

— d'autre part, l'acceptabilité des populations à ce nouveau produit.

Ces deux points vont être pris en compte prochainement dans le cadre d'une étude qui démarre actuellement au niveau sénégalais. D'autres projets sont également envisageables dans plusieurs pays tropicaux.

En tout état de cause, il semble donc que l'avenir du bois torréfié puisse être vu sous un jour favorable.

## BIBLIOGRAPHIE

ARMINES. — Procédé Armines de torréfaction du bois. Note technique 1983.

ARMINES. — Bois torréfié pour les pays en développement. Brochure Ecole des Mines, 1985.

J. P. BOURGEOIS et Y. SCHWOB. — Le bois torréfié, réducteur d'avenir. *Revue Forestière Française* n° 131, 1981.

J. P. BOURGEOIS. — Intérêt et perspectives d'une filière bois torréfié. *Biomasse actualité* n° spécial 5, avril 1984.

J. P. BOURGEOIS et J. DOAT. — Torrefied wood from temperate and tropical species. Advantages and Prospects. Bioenergy Conference, Göteborg, June 1984.

D. BRIANE et J. DOAT. — Guide technique de la carbonisation. Chapitre I-3 : le bois torréfié - Edisud, 1985.

J. DOAT. — Les foyers améliorés, une solution au problème de la pénurie du bois de feu dans les pays du tiers monde. B.F.T. n° 197, 1982.

J. DOAT. — Les bois tropicaux, source potentielle d'énergie. B.F.T. n° 181, 1978.

J. DOAT. — C.T.F.T. Research into wood pyrolysis. Forest Products Research International Symposium - Pretoria. avril 1983.

J. DOAT. — Les recherches du C.T.F.T. dans le domaine de la pyrolyse des bois tropicaux (avec une mention spéciale concernant le bois torréfié), 1<sup>re</sup> consultation technique du C.N.R.E./F.A.O. sur la conversion de la biomasse pour l'énergie - Freising, octobre 1985.