

Alcoolerie. Appareillage de distillation.

Photo Lamblotte France.

PYROLYSE DES BOIS TROPICAUX

INFLUENCE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES BOIS SUR LES PRODUITS DE DISTILLATION ⁽¹⁾

par Georges PETROFF et Jacqueline DOAT

*Division de Cellulose et de Chimie
du Centre Technique Forestier Tropical*

SUMMARY

THE PYROLYSIS OF TROPICAL WOODS : THE INFLUENCE OF THEIR CHEMICAL COMPOSITION ON THE PRODUCTS OF DISTILLATION

Six samples of wood were pyrolysed in the laboratory : three tropical mixtures consisting of woods rich in lignin, rich in extracts, or rich in carbohydrates ; two reforestation species (Gmelina and Eucalyptus) ; and a mixture of French hardwoods serving as a reference.

(1) Cette étude a été effectuée avec la collaboration technique de M. Patrick BEAUCHESNE, Technicien à la Division Cellulose et Chimie.

It was observed that the tropical woods gave slightly more charcoal and slightly less pyrotigneous products than temperate-zone woods. Furthermore, the products obtained seem linked with the chemical composition of the wood ; a high lignin content is reflected in a higher charcoal yield, a high percentage of pentosanes gives more acetic acid and acetates, and a high cellulose content results in more methanol. Moreover, woods containing large amounts of alcohol benzene extractives may cause tarry deposits in the circuits.

From a practical point of view, it seems that it can be envisaged, without too great a risk, to replace temperate-zone hardwoods by tropical species to supply an industrial charcoal line.

RESUMEN

PIROANALISIS DE LAS MADERAS TROPICALES. INFLUENCIA DE LA COMPOSICION QUIMICA DE LAS MADERAS SOBRE LOS PRODUCTOS DE DESTILACION

Se ha procedido a la pirólisis en laboratorio de seis lotes de maderas : tres mezclas tropicales formadas, ya sea por maderas ricas en lignina o bien por maderas ricas en extractos o tambien por maderas ricas en carbohidratos, dos especies de repoblación forestal (Gmelina y Eucalipto) y, a título de referencia, una mezcla de maderas frondosas francesas.

Se ha podido observar que las maderas tropicales donan una mayor proporción de carbón y, en cambio, una menor proporción de piróleosos que las maderas de las zonas templadas. Además, los productos obtenidos parecen encontrarse relacionadas con la composición química de las maderas : un elevado coeficiente de lignina se pone de manifiesto por un rendimiento en carbón más elevado, un porcentaje importante de pentosanos, por una mayor producción de ácido acético y acetatos, asimismo, un elevado contenido de celulosa por un aumento del metanol. Por otra parte, las maderas que contienen cantidades elevadas de productos extraíbles al alcohol benceno corren el riesgo de ocasionar sedimentaciones de breas en los circuitos.

De un punto de vista práctico, existe la posibilidad, por lo que parece, de remplazar sin riesgos demasiado elevados, el empleo de las maderas frondosas de las regiones templadas por especies tropicales, para el aprovisionamiento de una cadena industrial de carbonización.

INTRODUCTION

La crise mondiale énergétique a mis en évidence l'intérêt qu'il y aurait à utiliser des matières premières végétales renouvelables à la place des produits pétroliers. Les besoins en énergie de remplacement existent partout mais ils sont plus particulièrement importants dans certains pays du tiers monde où le prix de revient du Kwh à partir du fuel importé atteint un prix prohibitif. Dans ces régions, des économies de devises pourraient être réalisées par l'emploi de matières premières locales existantes, la forêt tropicale par exemple.

Toutefois, on connaît mal les conditions d'emploi

comme source d'énergie des bois tropicaux dont la nature et les constituants diffèrent quelque peu de ceux des bois tempérés. Aussi, pour parvenir à une exploitation rationnelle de ces essences, on a jugé nécessaire de procéder, dans un premier stade, à des essais de carbonisation en laboratoire sur des bois ou mélanges de bois tropicaux. Cette étude a été réalisée en 1977 grâce à une subvention accordée au C. T. F. T. par la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique. Elle constitue une étape préliminaire à des essais ultérieurs qui seront effectués à l'échelle semi-industrielle ou industrielle.

CONDUITE DE LA RECHERCHE

MATIÈRES PREMIÈRES UTILISÉES

On s'est approvisionné en échantillons de bois tropicaux offrant des caractéristiques aussi variées que possible, afin de constituer des groupes de bois possédant des propriétés spécifiques très diversifiées et particulièrement intéressantes pour cette étude.

On s'est d'abord procuré du bois d'Eucalyptus et de *Gmelina arborea* qui représentent deux essences de reboisement à croissance rapide fréquemment rencontrées en Afrique tropicale. Puis à titre de

référence, on a constitué un mélange de bois feuillus français comprenant Bouleau, Peuplier, Hêtre et Chêne. Enfin, dans le cas des mélanges hétérogènes, on a associé des bois en fonction de leur composition chimique afin d'élargir la gamme des résultats. Trois mélanges hétérogènes ont été réalisés :

— mélange de bois riches en lignine ;

— mélange de bois riches en extrait à l'alcool benzène ;

TABLEAU N° 1
ECHANTILLONNAGE DE BOIS

Code	Nature des bois	Nom des bois		% dans le mélange	Provenance
		Nom courant	Nom scientifique		
E	Essence tropicale de reboisement	Eucalyptus	Euc. hybride 12 ABL x E saligna	100	Congo
G	Essence tropicale de reboisement	Gmelina	<i>Gmelina arborea</i>	100	Côte-d'Ivoire
T1	Mélange tropical riche en lignine	Azobé	<i>Lophira alata</i>	18,88	Gabon
		Essona	<i>Saccoglottis gabonensis</i>	18,66	Gabon
		Macaïro	<i>Guarea</i> sp.	18,66	Equateur
		Lulo	<i>Aegiphilla</i> sp.	18,66	Equateur
		Yaso	<i>Eschweilera</i> sp.	18,66	Equateur
		Spikri Oedoe	<i>Mouriria</i> sp.	18,66	Surinam
T2	Mélange tropical riche en extraits à l'alcool-benzène	Arofy	<i>Commiphora pterocarpa</i>	20	Madagascar
		Bi oudou	<i>Eperua falcata</i>	20	Guyane
		Wacapon	<i>Vouacapoua americana</i>	20	Guyane
		Doussié	<i>Azelia bipendensis</i>	20	Cameroun
		Jono kabbes	<i>Hymenobium</i> sp.	20	Surinam
T3	Mélange tropical pauvre en lignine et extraits	Koto	<i>Pterygota macrocarpa</i>	20	Côte-d'Ivoire
		Cariquiro	<i>Neelandra</i> sp.	20	Equateur
		Suntuch	<i>Didymopanax</i> sp.	20	Equateur
		Mora	<i>Miconia</i> sp.	20	Equateur
		Achiotillo	<i>Hellocarpus</i> sp.	20	Equateur
F. F.	Mélange feuillus français	Peuplier	<i>Populus alba</i>	25	France
		Hêtre	<i>Fagus sylvatica</i>	25	France
		Bouleau	<i>Betulus alba</i>	25	France
		Chêne	<i>Quercus</i> sp.	25	France

— mélange de bois pauvres en lignine et en extrait à l'alcool benzène (c'est-à-dire riches en cellulose et hémicelluloses).

Les deux premiers mélanges tropicaux avaient une densité moyenne de 0,73 et 0,75 et le troisième

une densité de 0,51, ce qui représente pour des mélanges prélevés en forêt naturelle, des valeurs d'une part assez élevées et d'autre part assez faibles.

Au total, six échantillonnages de bois ont donc été testés dont la composition et les provenances sont indiquées au tableau n° 1.

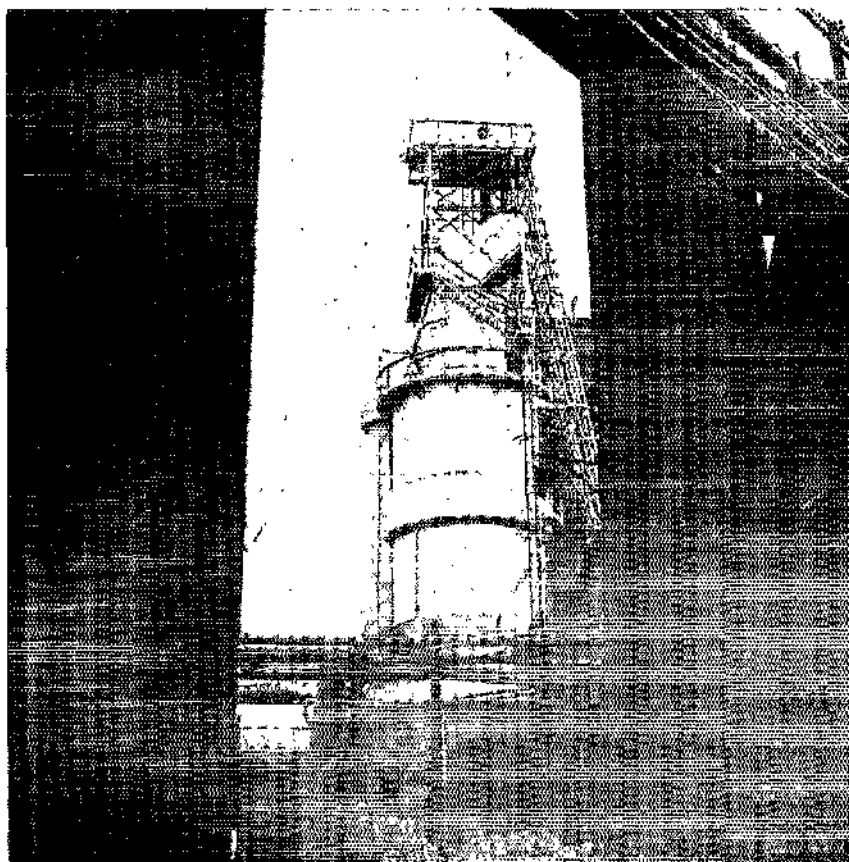
APPAREILLAGE ET MODE OPÉRATOIRE

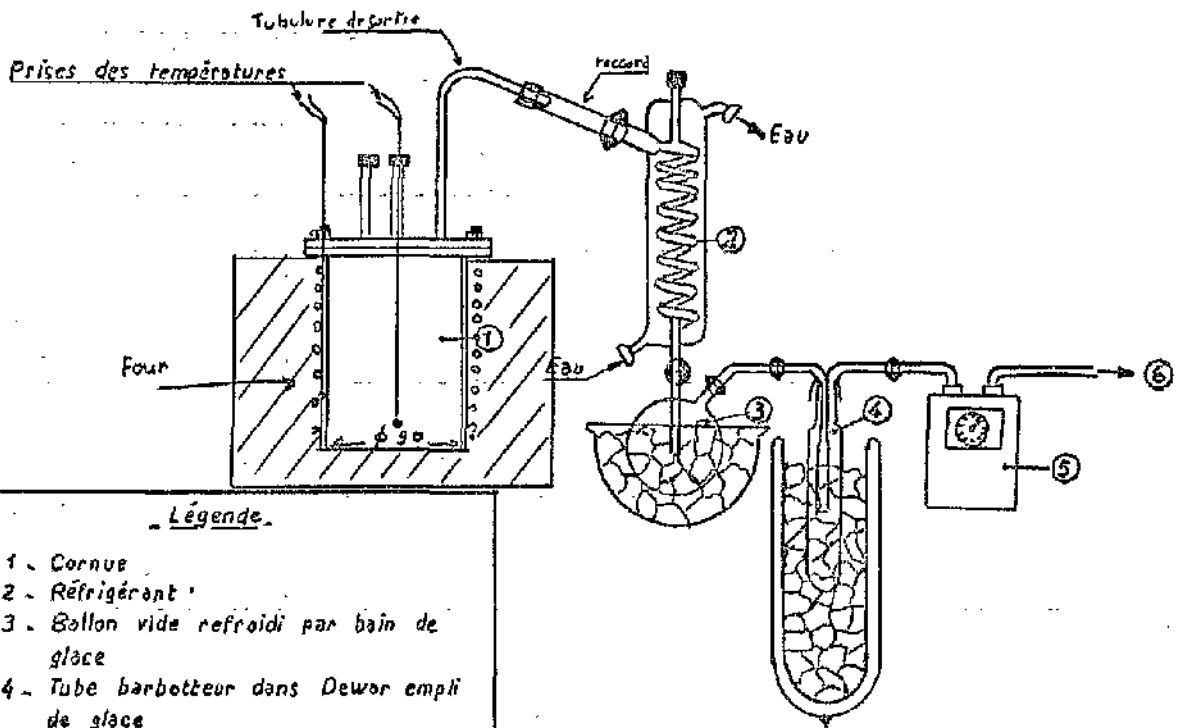
La pyrolyse des bois a été effectuée en cornues placées dans des fours électriques à régulation automatique (voir figure n° 1). L'appareillage A qui permet de tester quelques centaines de grammes de bois a été principalement utilisé pour la récupération et l'analyse des pyroligneux et des gaz ; l'appareillage B, qui permet de tester 50 à 120 grammes de bois, pour la récupération du charbon et du pyroligneux. On a vérifié que les deux appareils donnaient des résultats semblables et les résultats de carbonisation qui sont donnés ci-après correspondent à la moyenne de plusieurs essais (3 à 7 selon le cas).

Les carbonisations ont été conduites à 500° pendant 4 h, avec une montée en palier de 4 h soit environ 2° à la minute. Les produits dégagés ont été refroidis dans des réfri-

*Séchoir à bois industriel
utilisé avant carbonisation à l'usine.*

Photo Lambiotte France.

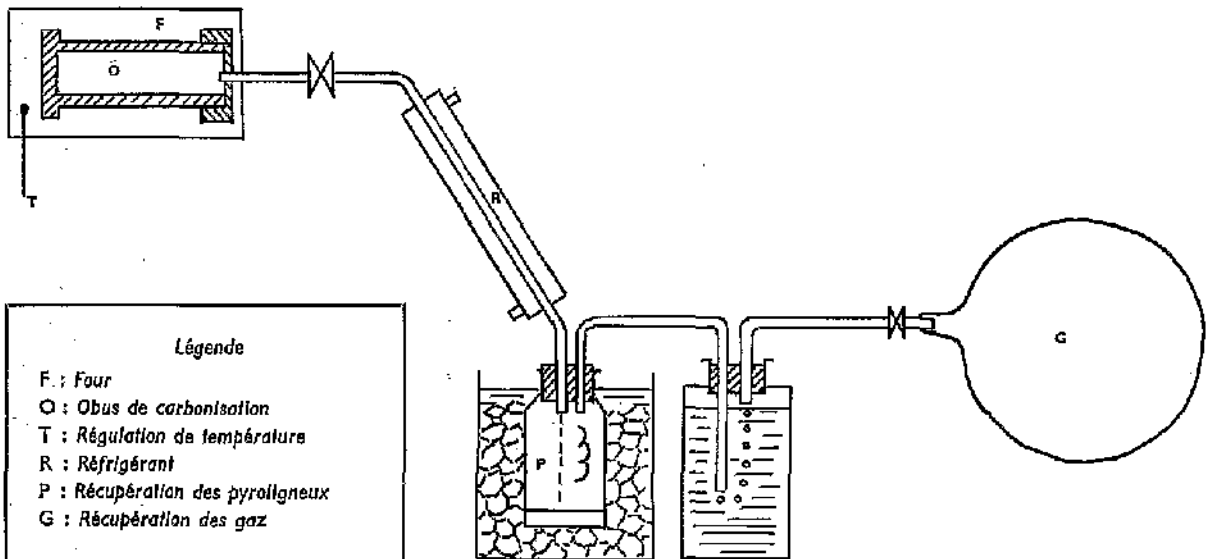




Légende.

- 1 - Cornue
- 2 - Réfrigérant
- 3 - Ballon vide refroidi par bain de glace
- 4 - Tube barboteur dans Dewar rempli de glace
- 5 - Compteur à gaz
- 6 - Récupération ou évacuation des gaz

A



Légende

- F : Four
- O : Obus de carbonisation
- T : Régulation de température
- R : Réfrigérant
- P : Récupération des pyrolytiques
- G : Récupération des gaz

B

gérants à eau et les condensats recueillis dans des flacons barboteurs refroidis à la glace. Les produits gazeux non condensables ont été récupérés

dans des ampoules ou des ballons de plastique selon les quantités. Les volumes ont été mesurés à l'aide d'un compteur à gaz.

ESSAIS EFFECTUÉS ET RÉSULTATS OBTENUS

Analyse des bois.

On a procédé tout d'abord à l'analyse physicochimique des bois pour lesquels on a déterminé :

— la densité exprimée en poids de bois anhydre/volume de bois anhydre. Pour les mélanges de bois, la densité a été chiffrée en faisant la moyenne des densités de chaque essence constituant le mélange ;

— le pouvoir calorifique supérieur des bois secs 100 % à l'aide d'une bombe calorimétrique placée dans un calorimètre adiabatique Gallemkamp ;

— la composition chimique soit :

• l'extrait à l'alcool-benzène par extraction au Soxhlet pendant 7 h avec un mélange 1/1 des deux solvants,

• l'extrait à l'eau par ébullition à reflux dans de l'eau distillée pendant 7 h,

• la lignine par insolubilisation à l'acide sulfurique à 66 % (méthode de Klason),

• les pentosanes par attaque à l'acide chlorhydrique à 13,5 %, distillation du furfural formé et dosage au bromure-bromate,

• la cellulose par 3 attaques successives de 1 h au mélange nitro-alcoolique, puis correction des cendres et pentosanes restants,

• les matières minérales totales par incinération à 425 °C au moufle jusqu'à poids constant,

• la silice par attaque des cendres au mélange nitroperchlorique et détermination des impuretés à l'acide fluorhydrique,

Les résultats obtenus au cours de ces analyses sont donnés dans le tableau n° 2 en % des bois anhydres.

Carbonisation des bois.

Les bois ont été fractionnés en plaquettes de quelques centimètres sur quelques millimètres puis pyrolysés comme indiqué précédemment.

TABLEAU N° 2
CARACTÉRISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES DES BOIS

	E Eucalyptus	F. F. Feuillus Français	G Gmelina	T1 Mélange riche en lignine	T2 Mélange riche en Ext. A. B.	T3 Mélange pauvre en lignine + Ext. A. B.
<i>Caractéristiques physiques</i>						
Densité	0,68	0,57	0,36	0,75	0,73	0,51
p. c. s.	4.820	4.740	4.875	4.800	5.015	4.590
<i>Caractéristiques chimiques (% bois sec)</i>						
Ext. A. B.	1,5	2,15	2,95	0,95	16,6	2,5
Ext. eau	0,9	1,2	0,4	2,85	0,5	2,8
Lignine	31,6	22,7	35,05	25,3	26,55	23,5
Cellulose	44,5	42,05	43,15	42,8	37,0	40,7
Pentosanes	16,5	24,9	16,15	13,5	13,7	22,0
Cendres totales	0,3	0,5	0,9	1,0	0,95	2,7
SiO ₂	0,018	0,007	0,05	0,26	0,009	0,01
Lignine + Ext. A. B. ...	33,1	27,05	27,6	36,25	43,15	26,0
Cellulose + Pentosanes ..	61,0	66,95	64,65	56,3	50,7	62,7

TABLEAU N° 3
RÉSULTATS MOYENS DE CARBONISATION

	E Eucalyptus	F. F. Feuillus Français	G Gmelina	T1 Mélange riche en lignine	T2 Mélange riche en Ext. A. B.	T3 Mélange pauvre en lignine + Ext. A. B.
Rendement en charbon (% bois sec)	32,4	30,1	30,6	33,4	36,6	32,9
Rendement en pyroigneux to- tal (% bois sec)	49,7	53,1	50,1	45,5	42,9	50,6
Gaz totaux (litres % bois sec)	14,7	15,1	17,7	15,4	14,9	15,6

Les essais ont été répétés plusieurs fois et l'on a calculé les moyennes des résultats qui sont données dans le tableau n° 3 en % par rapport au bois sec s'il s'agit du charbon ou du pyroligneux et en litres pour 100 g de bois sec quand il s'agit des gaz.

Analyse des charbons.

On a déterminé :

— le pouvoir calorifique supérieur des charbons obtenus comme cela avait déjà été fait pour les bois,

— la densité des charbons exprimée en poids de charbon sec 100 % par volume sec 100 % (1),

— le taux de matières volatiles à 900 °C pendant 10 mn sur granulés calibrés,

— les quantités de cendres totales par incinération à 425 °C jusqu'à poids constant,

— les teneurs en phosphore par dosage colorimétrique au réactif vanado-molybdique,

— les teneurs en soufre par oxydation en sulfate et dosage pondéral de SO_4Ba ,

— les quantités de carbone fixe par différence entre charbon brut et la somme des matières volatiles à 900 °C et des cendres.

Les résultats obtenus exprimés en % du charbon sec sont indiqués dans le tableau n° 4.

Analyse des pyroligneux.

Une analyse complète des pyroligneux a été effectuée pour chacun des six échantillons.

On a d'abord déterminé, dans la totalité du pyroligneux recueilli, les différentes phases soit :

— les dépôts dans les circuits qui correspondent à des cires, graisses, résines diverses condensables à froid,

— la phase aqueuse,

— la phase organique.

On a ensuite dosé par chromatographie gazeuse les principaux constituants de ces deux phases, c'est-à-dire les proportions (en % du bois sec initial) de méthanol, éthanol, acide formique, acétone, acétate de méthyle, acide acétique, méthyléthylcétone, acétate d'éthyle, gaïacol, phénol et crésols.

Les différents chiffres obtenus sont indiqués dans le tableau n° 5.

Analyse des gaz.

Les gaz recueillis au cours des tests définitifs de pyrolyse ont été analysés. On a utilisé l'appareil d'Orsat pour le dosage du gaz carbonique, de l'oxygène, de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène formés. Les hydrocarbures (méthane, éthane, éthylène et autres composés de C_3 à C_6) ont été dosés par chromatographie gazeuse. On trouvera dans le tableau n° 6 la composition volumique des gaz et dans le tableau n° 7 la composition pondérale (en % du bois sec initial). On a aussi indiqué à la fin du tableau n° 6 les p. c. s. et les p. c. l. (2) calculés en fonction des résultats d'analyse des gaz, sans tenir compte de l'air parasite présent dans l'appareillage en début d'essai.

ANALYSE DES RÉSULTATS

CONDUITE DE LA CARBONISATION

Le processus de carbonisation avec un palier à 500° n'a pas mis en évidence de difficultés particulières d'emploi des bois tropicaux par rapport aux

feuillus français. Toutefois, dans le cas du mélange T2 riche en extraits et, dans une moindre mesure, dans le cas du *Gmelina*, des dépôts plus ou moins

(1) Les chiffres trouvés pour la densité sont un peu moins précis que pour les bois, car du fait de la taille des fours et des corues on a dû fractionner le bois en petits éléments. Les charbons résultants se présentaient donc en fragments et l'erreur sur la pesée et la mesure des volumes était relativement plus importante. Par ailleurs, comme dans 4 cas sur 6, on travaillait sur des mélanges de bois, il n'était pas possible d'identifier l'espèce botanique à laquelle appartenait chaque fragment de charbon. Pour pallier ces difficultés on a décidé de procéder de la façon suivante : on s'est procuré des sacs de matière plastique que l'on a tarés et sur lesquels on a marqué, le plus exactement possible, un repère correspondant à 500 ml. On a rempli les sacs de charbon jusqu'au repère et pesé pour chaque essai les sacs pleins. On a, également, admis que le taux de remplissage des sacs de charbon en vrac était de 0,45 (chiffre trouvé dans la documentation). On a calculé alors la densité de la façon suivante :

$$d = \frac{\text{Poids sac plein} - \text{Poids sac vide}}{500 \times 0,45}$$

On a vérifié, dans le cas de charbons d'essences isolées, que les valeurs de la densité, mesurée copeau par copeau et mesurée à l'aide des sacs de 500 ml n'étaient pas trop différentes.

(2) Le pouvoir calorifique est dit « pouvoir calorifique supérieur » (p. c. s.), lorsque la combustion s'effectue à volume constant et quand l'eau formée au cours de la combustion est condensée (cas de la bombe calorimétrique).

Il est dit « pouvoir calorifique inférieur » (p. c. l.), lorsque la combustion est effectuée à pression constante, c'est-à-dire à l'air libre. Dans ce cas, l'eau de combustion n'est pas condensée.

Pour plus de détails, se reporter à l'article publié dans le n° 172, p. 33 et consacré au « Pouvoir calorifique des bois tropicaux ».

TABLEAU N° 4
ANALYSE PHYSICOCHIMIQUE DES CHARBONS

	E Eucalyptus	F. F. Feuillus Français	G. Gmelina	T1 Mélange riche en lignine	T2 Mélange riche en Ext. A. B.	T3 Mélange pauvre en lignine + Ext. A. B.
Densité charbon	0,27	0,22	0,16	0,33	0,29	0,26
p. c. s.	8.170	8.070	8.185	8.000	7.340	7.710
Matières volatiles (% charbon sec)	12,95	14,0	12,9	13,1	16,0	11,8
Cendres (% charbon sec)	1,05	1,45	2,35	2,9	2,35	6,6
Phosphore (% charbon sec)	0,105	0,031	0,034	0,128	0,009	0,016
Soufre (% charbon sec)	0,014	0,024	0,024	0,035	0,020	0,063
Carbone fixe (% charbon sec)	86,0	84,55	84,25	81,0	81,65	81,8

TABLEAU N° 5
ANALYSE DU PYROLIGNEUX

	E Eucalyptus	F. F. Feuillus Français	G. Gmelina	T1 Mélange riche en lignine	T2 Mélange riche en Ext. A. B.	T3 Mélange pauvre en lignine + Ext. A. B.
Pyroligneux total (% bois sec)	50,5	52,1	47,4	46,5	44,8	51,2
Cires, goudrons, résines condensables (% bois sec)	1,9	0,5	7,2	0,9	12,0	2,4
Jus de pyroligneux						
Phase aqueuse (% bois sec)	38,8	42,3	38,9	35,1	30,5	40,7
Phase organique (% bois sec)	8,3	6,8	9,2	8,7	1,7	5,6
Non récupérés	1,5	2,5	1,1	1,8	0,2	2,5
<i>Principaux constituants (dans phase aqueuse et organique) % bois sec.</i>						
Méthanol	1,84	1,40	1,94	1,45	1,02	1,43
Ethanol + acide formique	0,10	0,09	0,04	0,02	0,03	0,03
Acétone	0,11	0,15	0,11	0,13	0,13	0,11
Acétate de méthyle	0,32	0,78	0,56	0,24	0,12	0,64
Acide acétique	2,35	3,62	2,44	1,89	1,96	3,82
Méthyléthylcétone + acétate d'éthyle	0,13	0,17	0,15	0,15	0,15	0,15
Galacol	0,61	0,46	0,29	0,75	0,21	0,37
Phénol + o. crésol	0,37	0,58	0,07	0,47	0,17	0,23
m. + p. crésols	0,19	0,13	0,05	0,28	0,07	0,13

TABLEAU N° 6
ANALYSE DES GAZ. COMPOSITION VOLUMIQUE (% volume gazeux)

	E Eucalyptus	F. F. Feuillus Français	G. Gmelina	T1 Mélange riche en lignine	T2 Mélange riche en Ext. A. B.	T3 Mélange pauvre en lignine + Ext. A. B.
Gaz totaux (litres % bois sec)	14,7	15,1	17,7	15,4	14,9	15,8
H ₂ (% vol. gaz)	1,7	2,6	1,85	0,8	1,4	2,7
O ₂	2,15	0,5	—	1,6	2	2,7
CO ₂	52,4	50,9	48,55	53,8	51,5	45,7
CO	32,5	32,4	35,7	33,0	31,2	31,5
CH ₄	9,05	12,1	11,55	7,4	10,25	16
C ₂ H ₄	0,45	0,4	0,5	0,45	0,45	0,6
C ₂ H ₄ + C ₂ H ₆	0,65	—	0,6	0,7	1,0	1,3
C ₂ H ₆	1,1	1,1	1,25	1	1,1	1,7
C ₂ H ₈	—	—	—	—	0,2	0,5
C ₂ H ₂	—	—	—	—	—	—
p. c. s. (cal./l)	2.320	2.450	2.680	2.170	2.530	3.380
p. c. l. (cal./l)	2.180	2.310	2.520	2.050	2.380	3.160
Nombre de calories fournies par 100 g de bois	34.100	37.000	47.440	38.420	37.700	52.730

TABLEAU N° 7
ANALYSE DES GAZ. COMPOSITION PONDERALE (% bois sec)

	E Eucalyptus	F. F. Feuillus Français	G Gmelina	T1 Mélange riche en lignine	T2 Mélange riche en Ext. A. B.	T3 Mélange pauvre en lignine + Ext. A. B.
H ₂ (% bois sec)	0,02	0,03	0,03	0,01	0,02	0,03
O ₂ —	0,42	0,10	—	0,33	0,40	0,56
CO ₂ —	14,1	14,0	15,7	15,1	14,0	13,0
CO —	5,55	5,7	7,35	6,05	5,4	5,7
CH ₄ —	0,98	1,21	1,36	0,76	1,01	1,65
C ₂ H ₄ —	0,09	0,07	0,10	0,08	0,08	0,11
C ₃ H ₆ + C ₄ H ₈	0,19	—	0,21	0,22	0,29	0,41
C ₂ H ₆ —	0,20	0,21	0,27	0,19	0,20	0,33
C ₂ H ₂ —	—	—	—	—	0,05	0,14
C ₂ H ₂ —	—	—	—	—	—	—
Total hydrocarbures (% bois sec)	1,46	1,49	1,94	1,25	1,63	2,64

Importants sont apparus sur les tuyaux d'évacuation du pyroligneux et des gaz. Le poids des dépôts est indiqué dans le tableau n° 5 sous l'appellation : cirés, goudrons, résines condensables. Dans la pratique industrielle, un encrassement des circuits serait donc possible au cours du traitement de certains bois tropicaux riches en produits extractibles. Cependant, il convient de noter que le mélange T2 représente un cas très exceptionnel avec 18,6 % d'extraits alors que la moyenne des essences tropi-

cales se situe plutôt autour de quelques % d'extraits. Une attention particulière devrait être portée sur ce point si l'on procède ultérieurement à des essais industriels.

Enfin, bien qu'*a priori*, il ne semble pas que des produits très valorisants puissent être tirés de ces goudrons, à l'exception peut-être de llants, il serait éventuellement intéressant, d'analyser dans un stade ultérieur de recherches, la nature de ces dépôts.

RENDEMENTS A LA CARBONISATION (tableau n° 3)

Pour les bois ou mélanges de bois tropicaux, le rendement moyen en charbon de bois varie de 30,6 à 36,6 % alors que le mélange de feuillus français donne 30,1 % de charbon.

Les quantités moyennes de pyroligneux obtenues à partir des essences tropicales vont de 42,9 à 50,6 % ; les feuillus tempérés ont donné 53,1 % de pyroligneux. Il semble donc que dans l'ensemble, les feuillus tempérés donnent moins de charbon et plus de produits condensables que les bois tropicaux, ce qui peut moduler les données techniques et économiques de la carbonisation.

En ce qui concerne les gaz formés, on ne note pas de grandes différences entre les bois. On a environ 15 l de gaz totaux pour 100 g de bois sec, à l'exception du *Gmelina* qui en a fourni 17,7 l.

On a essayé également, de mieux préciser les phénomènes et l'on a tracé à la figure n° 2 des courbes représentant la variation du rendement en charbon et en pyroligneux en fonction de la composition chimique des bois et en particulier en fonction des pentosanes et des carbohydrates totaux (cellulose + pentosanes) contenus dans les bois. On remarque que ce sont les bois riches en carbohydrates qui donnent le moins de charbon et le plus de pyroligneux. A l'inverse, les bois ou mélanges de

bois contenant beaucoup de lignine et d'extraits ont un meilleur rendement en charbon. Le pyroligneux varie aussi comme les teneurs en pentosanes des bois.

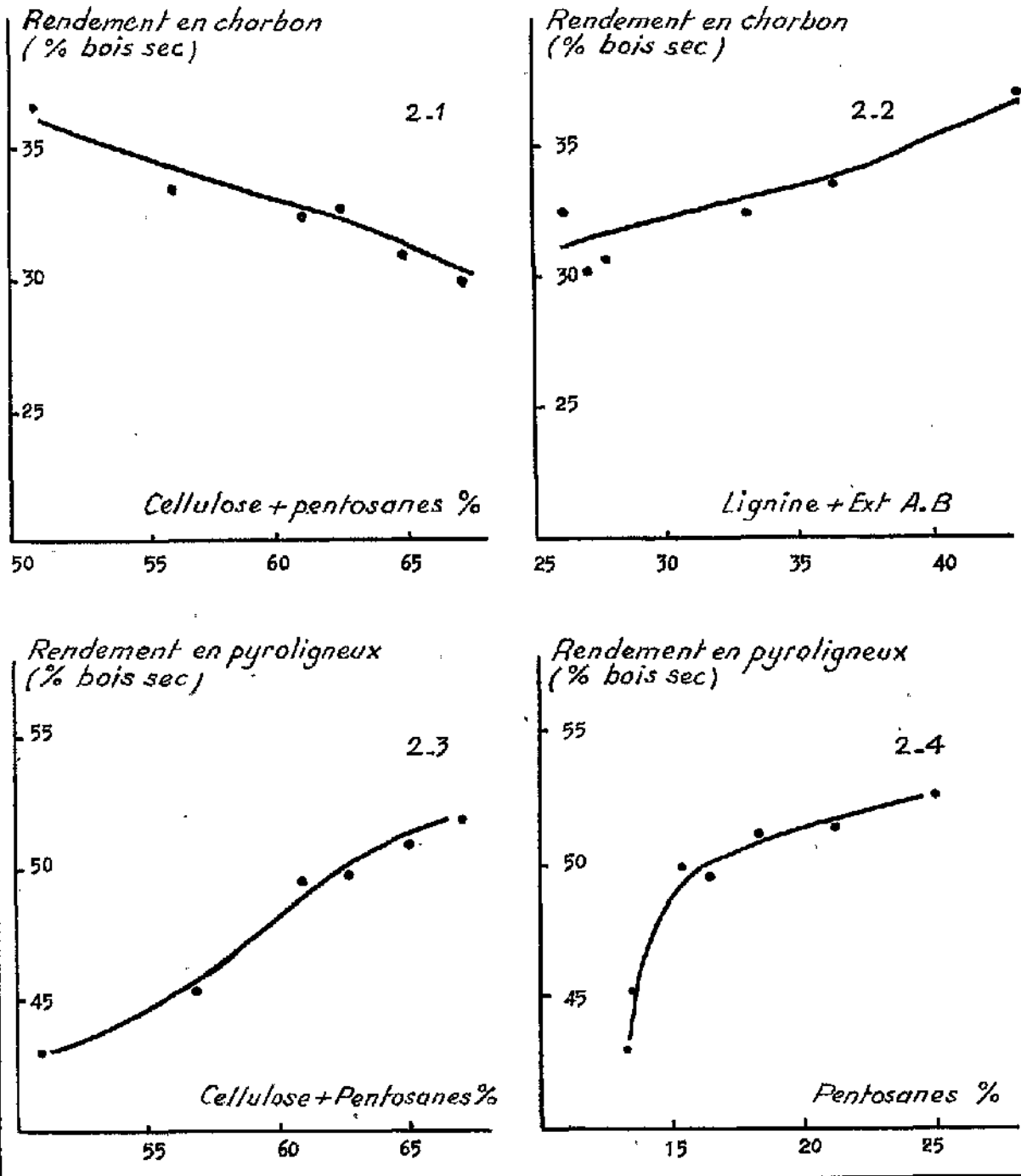
Il est évident qu'il n'est pas possible de tirer de conclusions définitives à partir d'une étude réalisée seulement sur six échantillonnages de bois. Cependant, ces résultats apparaissent tout à fait logiques si l'on considère la composition chimique globale des constituants des bois. Ainsi, dans la cellulose (C₆H₁₀O₅)_n et les pentosanes (C₅H₈O₄)_n, on trouve environ 45 % de carbone alors que la lignine dont la formule exacte est mal définie mais qui est constituée d'un mélange d'aldéhydes coniférylique et hydroxyconiférylique (C₁₀O₃H₁₀ et C₁₀O₄H₁₂) en contient 61 à 67 %. On peut donc supposer que la lignine donnera à la pyrolyse plus de carbone résiduel que les carbohydrates, donc que les bois riches en lignine donneront un plus fort rendement en charbon.

Enfin, les extraits aux solvants dont la composition chimique est très variable mais qui sont généralement riches en carbone, représentent vraisemblablement un matériau favorable à la production de charbon.

Ces remarques ont d'ailleurs été confirmées par des essais ultérieurs de carbonisation sur une pâte

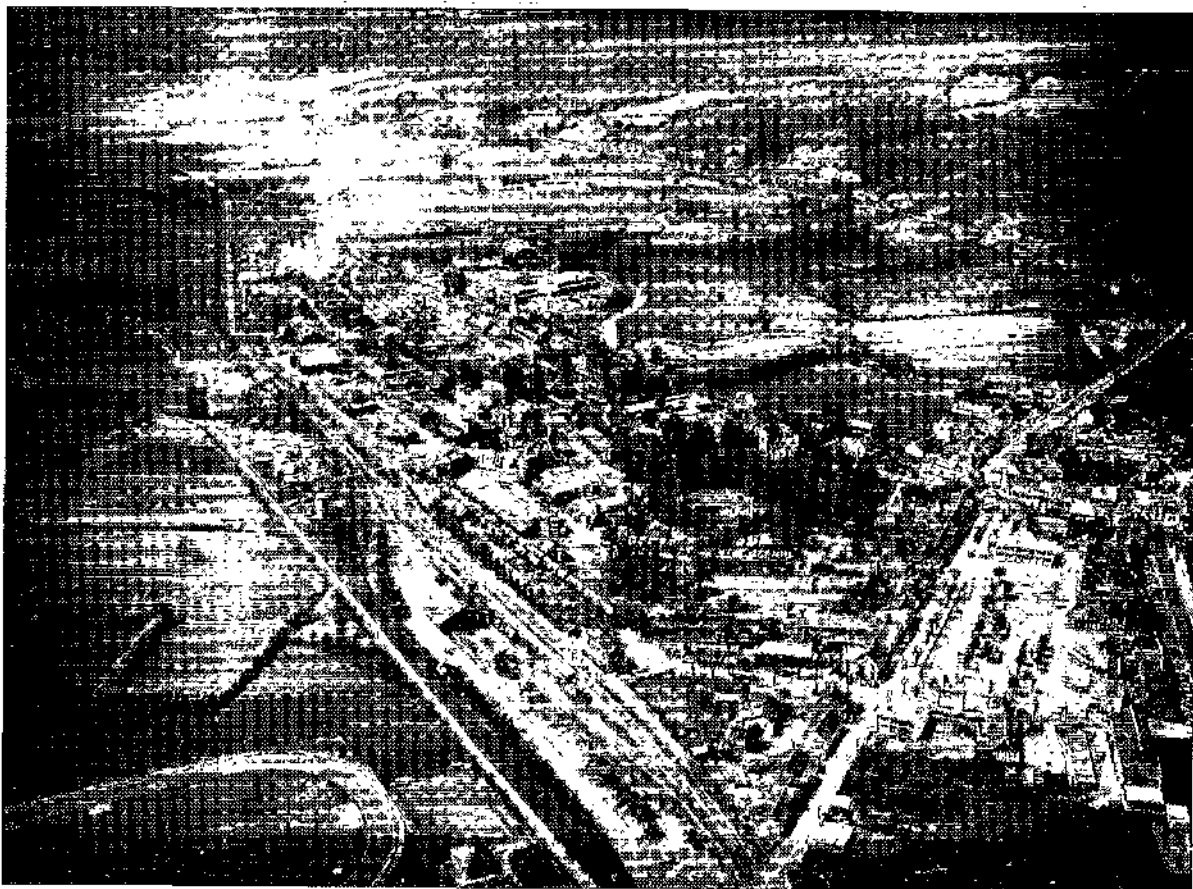
FIG. 2.

Variation du rendement en charbon et en pyroligneux en fonction de la composition chimique des bois



cellulosique blanchie, ne contenant pratiquement que de la cellulose et des pentosanes, et sur de la lignine extraite des bois à l'acide sulfurique. Les

rendements en charbon qui étaient de 28 % pour la pâte et de 60 % pour la lignine, encadraient bien ceux trouvés avec les bois.



Vue générale des usines Lambiotte France à Premery.

QUALITÉ DES CHARBONS

L'analyse du tableau n° 4 montre que les caractéristiques physicochimiques des charbons diffèrent assez nettement selon l'espèce : densité variant de 0,16 à 0,33, p. c. s. de 7710 à 8185, taux de matières volatiles de 11,8 à 16%, cendres de 1,05 à 6,8%. Les charbons de bois obtenus à partir de feuillus français se classent à l'intérieur de ces fourchettes et ne se distinguent pas de l'ensemble des bois tropicaux.

Deux types de charbons tropicaux se sont avérés assez riches en phosphore avec des teneurs de 0,105 et 0,128 % : l'Eucalyptus et le mélange T1 constitué de bois riches en lignine. Ces charbons pourraient éventuellement être rejetés pour des emplois en métallurgie.

De plus, le mélange tropical T3 constitué de bois pauvres en lignine et en extraits accuse un taux de cendres très élevé (6,6 %). Ceci pourrait entraîner un refus pour certaines utilisations industrielles.

On a confirmé, au cours de cette étude, qu'une forte corrélation existait d'une part, entre la densité des bois et la densité des charbons résultants, d'autre part, entre les teneurs en cendres des bois et celle des charbons (voir fig. n° 3, courbes 31 et 32). Inversement on n'a pas observé de corrélations entre les p. c. s. des bois et ceux des charbons. En fait les p. c. s. des charbons dépendent de leur constitution chimique finale c'est-à-dire des produits volatils, des taux de cendres et des taux de carbone fixe (voir fig. n° 3, courbes 33, 34, 35 et 36).

COMPOSITION DES PYROLIGNEUX

Le détail des analyses est donné au tableau n° 5. On remarque tout d'abord que la composition qualitative des pyroligneux est la même. Quel que

soit le bois ou le mélange de bois pyrolysé, on retrouve les mêmes constituants.

Cependant, l'analyse quantitative révèle quel-

FIG. 3.

Densité, cendres et pouvoir calorifique des charbons en fonction de la densité et de la composition chimique des bois

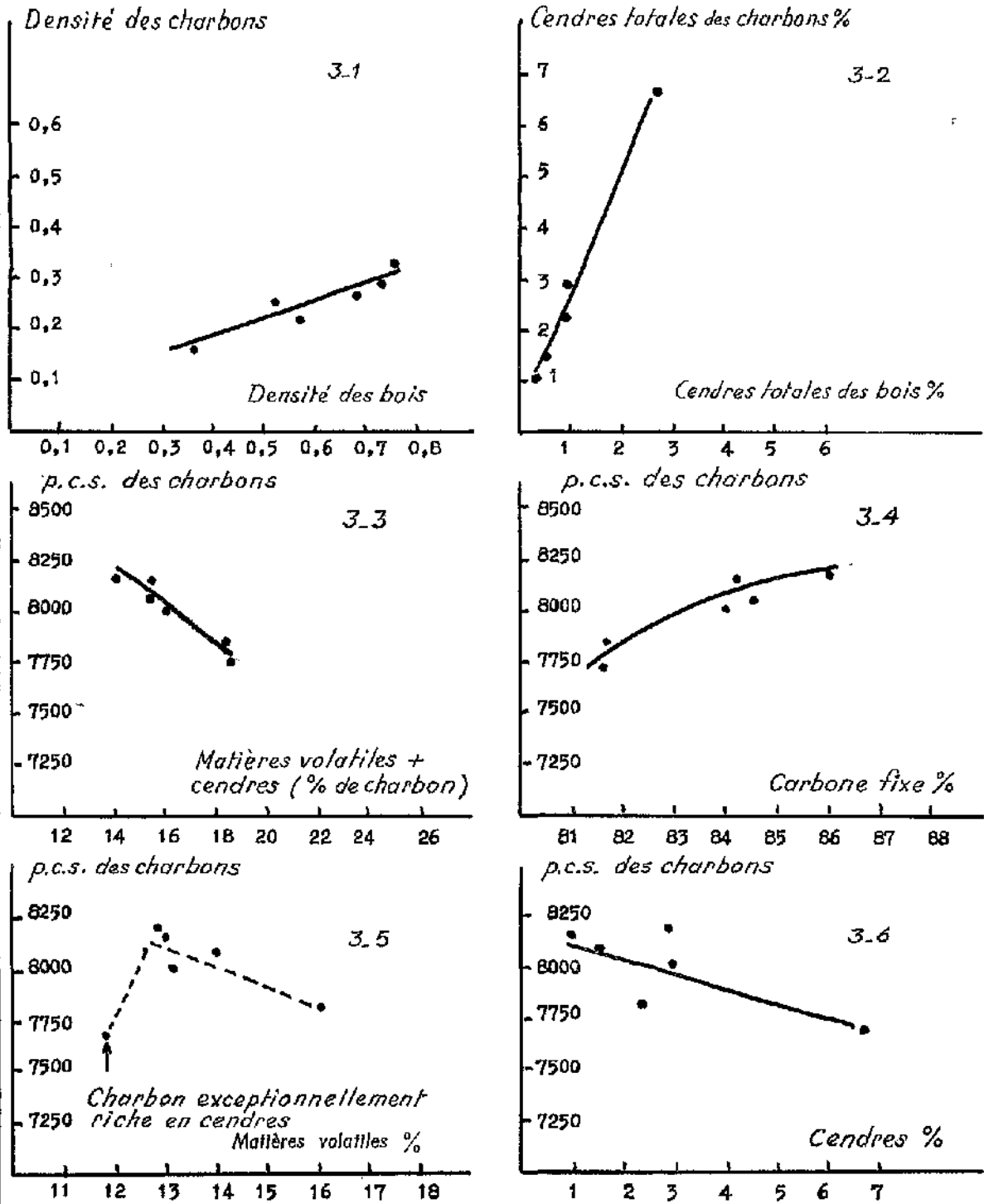
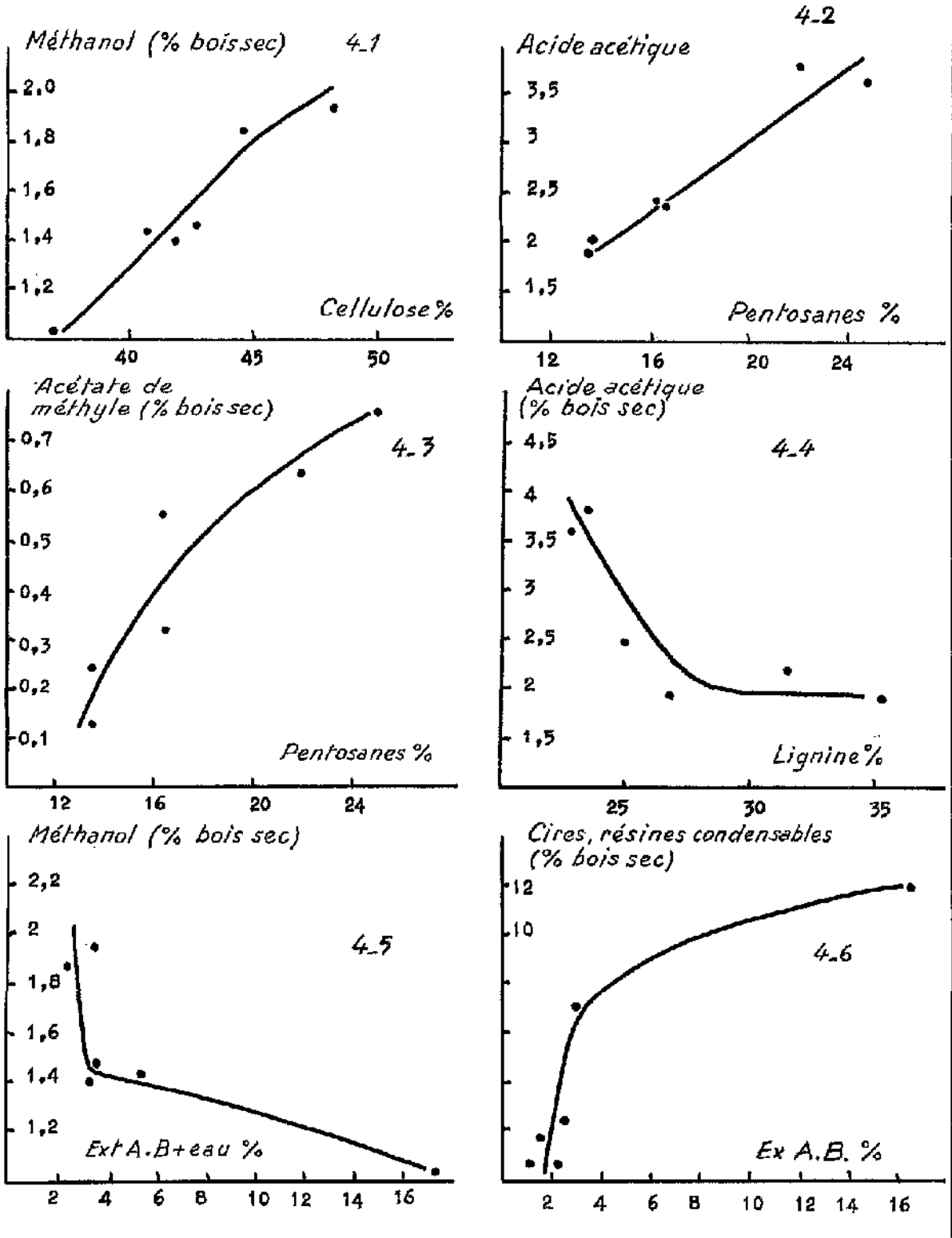


FIG. 4.

Produits pyrolytiques en fonction de la composition chimique des bois : méthanol, acide acétique, acétate de méthyle, cires, résines



ques différences (on rappelle que les rendements totaux en pyroligneux n'étaient pas identiques pour toutes les essences). Ainsi, pour les bois tropicaux, on a recueilli 1,02 à 1,94 % de méthanol ; 1,89 à 3,82 % d'acide acétique ; 0,21 à 0,75 % de gaïacol ; 0,12 à 0,75 % de phénols + crésols, soit, selon les cas, deux à six fois plus de produits. Seule l'acétone ne semble pas dépendre de la nature du bois puisque l'on n'a observé que peu de variations (0,11 à 0,15 %).

Il faut noter qu'ici aussi les feuillus tempérés ne se distinguent pas particulièrement des bois tropicaux.

On a cherché à établir l'influence de la composition chimique des bois sur la formation de certains composés de pyrolyse. On a tracé à la figure n° 4, la variation des quantités de méthanol, d'acide acétique, d'acétate de méthyl, de goudrons condensables en fonction des pourcentages des divers constituants du bois.

La courbe 41 montre que des quantités plus

importantes de méthanol sont produites par les bois riches en cellulose.

Par ailleurs, l'acide acétique et l'acétate de méthyl augmentent quand les bois contiennent beaucoup de pentosanes (courbes 42 et 43).

De plus, les dépôts condensables semblent suivre les teneurs en extraits alcool-benzène des bois (courbe 46).

Enfin, les bois riches en lignine donneraient moins d'acide acétique (courbe 44) et les bois riches en extrait (alcool-benzène et eau) moins de méthanol (courbe 45).

On n'a pas observé de tendance très nette en ce qui concerne la formation de gaïacol, de phénols ou de crésols, car les courbes présentent quelques anomalies difficilement explicables. Toutefois, d'un point de vue théorique, ces constituants devraient être issus de la lignine car on retrouve des structures chimiques analogues. C'est effectivement pour le mélange T1, riche en lignine, que l'on observe un rendement maximum en gaïacol, phénol, crésols.

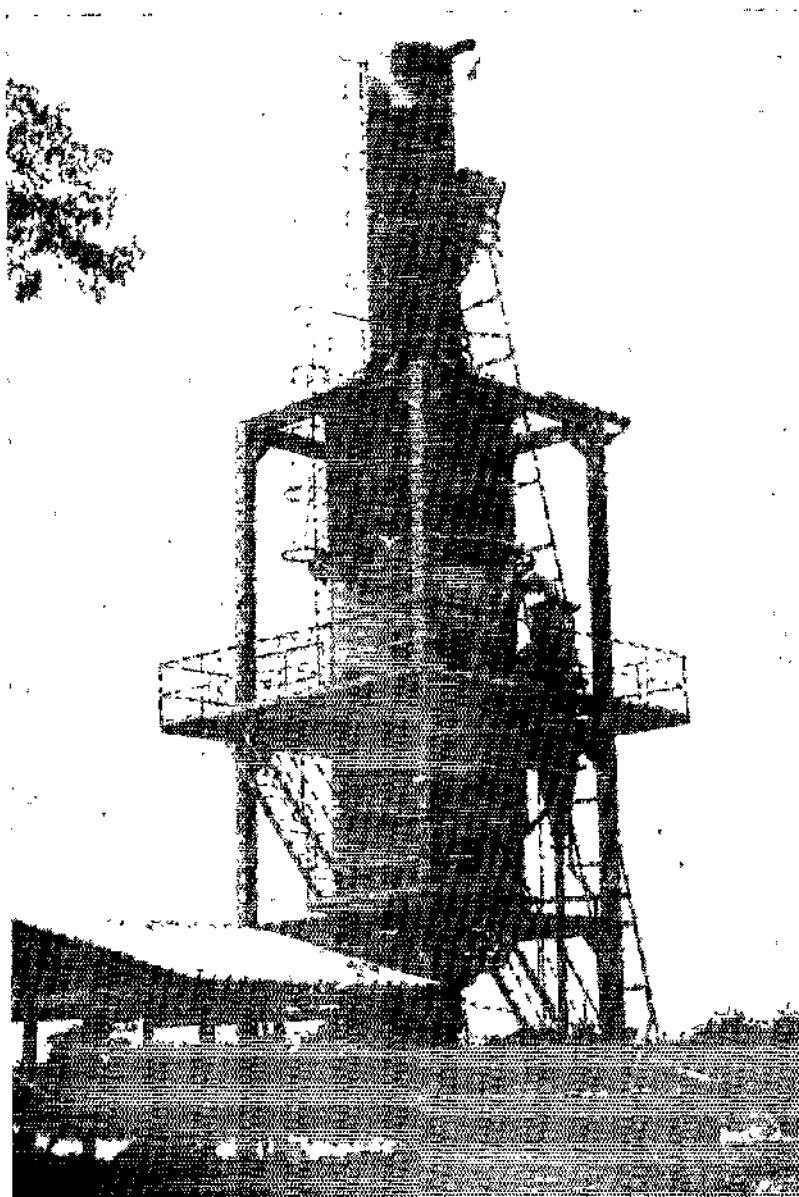
COMPOSITION DES GAZ

Quel que soit le bois ou le mélange de bois, les gaz de pyrolyse sont composés essentiellement de gaz carbonique, d'oxyde de carbone et de méthane. On trouve en plus petites quantités, de l'oxygène et de l'hydrogène, de l'éthane et de l'éthylène. On n'a pas trouvé d'acétylène. Des traces de propane n'ont été décelées que pour deux mélanges tropicaux T1 et T2. Les teneurs de ces différents composés sont données dans le tableau n° 6 en % du volume total de gaz et dans le tableau n° 7 en % du bois sec initial. La composition des gaz varie selon l'essence carbonisée. Le gaz carbonique est le constituant principal (de 45,7 à 53,8 % en volume ou de 13 à 15,7 % par rapport au bois initial) ; vient ensuite l'oxyde de carbone (de 31,2 à 35,7 % en volume ou de 5,4 à 7,35 % par rapport au bois initial). Les quantités de méthane varient de 7,4 à 16 % en volume (ou 0,76 à 1,65 % par rapport au bois) et les taux d'hydrocarbures totaux de 9,5 à 20,1 % en volume (ou 1,25 à 2,64 % par rapport au bois) soit du simple au double. Comme dans le cas du charbon ou du pyroligneux, on remarque que les résultats trouvés pour les feuillus français, se situent dans la fourchette moyenne des résultats globaux.

Le p. c. s. des gaz varie en fonction des teneurs en hydrocarbures totaux de 2.170 à 3.380 calories par litre, avec un chiffre de 2.450 pour les bois français. Si l'on calcule le nombre de calories pouvant être fournies par 100 g de bois sec, des différences apparaissent également, les résultats s'écartant entre 33,4 à 52,7 kg calories. Le

Côte d'Ivoire — Four de carbonisation de 1.500 tonnes
(Four Lambiotte — Belgique).

Photo Laurent.



mélange T3 et le *Gmelina* se détachent nettement et donnent les chiffres les plus favorables.

La recherche de corrélation entre la composition

chimique du bois et celle des gaz s'est soldée par un résultat négatif. Il est donc très difficile de formuler des hypothèses sur l'origine des composés gazeux.

CONCLUSION

Les essais réalisés montrent que l'on peut envisager sans trop de risques le remplacement de bois feuillus français par des bois ou mélanges de bois tropicaux pour l'approvisionnement d'une chaîne de carbonisation avec production de charbon, de pyroligneux et de gaz. Toutefois, certaines différences pourront apparaître dans les rendements en produits de carbonisation, tant en ce qui concerne le charbon que les composants liquides ou gazeux. Il peut en résulter de légères modifications du réglage des appareils. La valeur énergétique des produits gazeux en particulier peut varier d'un mélange de bois à l'autre. Enfin, des risques accrus d'encrassement peuvent apparaître dans le cas de quelques bois tropicaux riches en extraits aux solvants organiques.

Il n'en reste pas moins démontré que l'utilisation énergétique ou chimique des bois tropicaux est envisageable et mérite de faire l'objet de quelques essais semi-industriels, soit à partir d'espèces de reboisements artificiels, soit à partir de mélanges

hétérogènes provenant de la forêt naturelle, ces mélanges donnant *a priori* des résultats également satisfaisants.

D'un point de vue théorique, l'étude est intéressante car elle fournit une série d'informations sur l'origine des corps obtenus à la pyrolyse conduisant à une meilleure compréhension des mécanismes de carbonisation. On entrevoit la possibilité d'orienter ultérieurement la carbonisation vers une production accrue de certains produits par une sélection judicieuse des matières premières. On pourrait par exemple accroître la production d'acide acétique et d'acétates par l'emploi de produits riches en pentosanes comme la paille et les bambous ou augmenter le rendement en charbon en utilisant des bois riches en lignine ou encore diminuer la densité du charbon par l'emploi de bois légers. Il ne s'agit pour le moment que d'hypothèses à vérifier au cours de recherches ultérieures, mais la voie est prometteuse et mérite d'être explorée.

