Photo J. Doat.

Haute-Volta — Bois de feu en attente de transport.

L'INFLAMMABILITÉ DE QUELQUES BOIS TROPICAUX *

par Jacqueline DOAT (1) et Jean-Charles VALETTE (2)

(1) Division Cellulose et Chimie C. T. F. T. - Nogent-sur-Marne.

(2) Station de Sylviculture Méditerranéenne Département de Recherches Forestières I. N. R. A. - Avignon.

(*) Avec la collaboration technique de L. CAUMARTIN (C. T. F. T.) et J. BETTACHINI (I. N. R. A.).

SUMMARY

THE INFLAMMABILITY OF SOME TROPICAL WOODS

From the angle of the utilization of tropical woods for energy purposes, the inflammability of 16 of them has been studied in order to list them in this respect and to determine the physical and chemical parameters influencing inflammability.

Okoumé and Arofy, together with Parasolier and Gmelina, are markedly more inflammable than Doussié, Azobé and Strombosia.

A highly inflammable wood is one which has a low lignin and water-extract content, is not very dense, has a high cavity, and possesses short, broad fibres.

RESUMEN

GRADO DE INFLAMABILIDAD DE ALGUNAS MADERAS TROPICALES

Situándose en la óptica de la utilización energética de las maderas tropicales, se ha procedido al estudio del grado de inflamabilidad de 16 de las mismas, con objeto de jerarquizar las especies entre sí y determinar los parámetros fisicoquímicos que ejercen influencia a este respecto.

El Okumé y el Arofy, así como el Parasolier y el Gmelina, son mucho más inflamables que el Dusié, el Azobé o el Strombosia.

Una madera sumamente inflamable es una madera de bajo contenido de lignina y extractos hídricos, poco densa, de fuerte cavidad y de fibras cortas y largas.

INTRODUCTION

Depuis quelques années, celles qui ont suivi la crise pétrolière mondiale, la division Cellulose-Chimie du C. T. F. T. s'intéresse aux problèmes énergétiques en général et étudie plus particulièrement toutes les possibilités d'emploi des bois tropicaux comme source d'énergie de remplacement.

Les emplois énergétiques des bois sont nombreux et variés puisqu'ils vont de la simple combustion jusqu'aux utilisations très sophistiquées de la xylochimie en passant par la pyrolyse, la carbonisation, la gazéification, etc...

Les recherches du C. T. F. T. dans ce domaine ont été orientées dans plusieurs directions ; certaines d'ordre pratique visant à sélectionner les essences à meilleur potentiel énergétique, à préciser les meilleures conditions techniques d'emploi ; d'autres plus théoriques visant à trouver des lois générales expliquant les différents phénomènes et à déterminer les corrélations éventuelles entre la nature de la matière première et les résultats obtenus.

La Station de Sylviculture Méditerranéenne du Département de Recherches Forestières de l'I. N. R. A., de son côté, s'est intéressée aux incendies de forêt en général et plus spécialement aux problèmes sylvicoles que pose la strate arbustive basse des peuplements forestiers méditerranéens. Ses chercheurs ont étudié en particulier l'inflammabilité et la combustibilité de différents végétaux en fonction de leur état végétatif, de leur humidité, etc... Un appareillage spécifique donnant des résultats fiables et reproductibles a été mis au point.

Les deux laboratoires, ayant des expériences différentes mais complémentaires, ont décidé de collaborer à une étude sur l'inflammabilité des bois. Le but de ce travail était d'essayer de cerner le problème de l'inflammabilité non plus en ce qui concerne l'arbre sur pied (lutte contre l'incendie) mais plutôt dans l'optique de l'emploi des bois tropicaux comme bois de feu pour un usage ménager ou un usage industriel. L'étude de l'inflammabilité semblait intéressante pour compléter les informations fournies par l'étude des pouvoirs calorifiques. Au cours de ces recherches, on avait pu démontrer qu'il y avait une corrélation très nette entre la composition chimique des bois et leur pouvoir calorifique mais que la nature physique d'une essence était sans relation avec son potentiel énergétique. En est-il de même pour l'inflammabilité ? C'est ce que le travail qui suit doit préciser.

MÉTHODOLOGIE

COMPOSITION CHIMIQUE DES BOIS

L'analyse chimique des bois a été effectuée sur la sciure de granulométrie connue (entre 0,40 et 0,16 mm). On a déterminé les teneurs en extraits à l'alcool-benzène, à l'eau, à la soude, les pourcentages de lignine, de pentosanes, de cellulose et de matières minérales. Le détail des modes opératoires suivis est donné en annexe I.

DENSITÉ

Les densités ont été effectuées sur bois secs à l'air (humidité de l'ordre de 12 %) par pesées au mg près et mesure des volumes à l'aide d'un voluménomètre à mercure (précision au mm^3).

CARACTÉRISTIQUES ANATOMIQUES

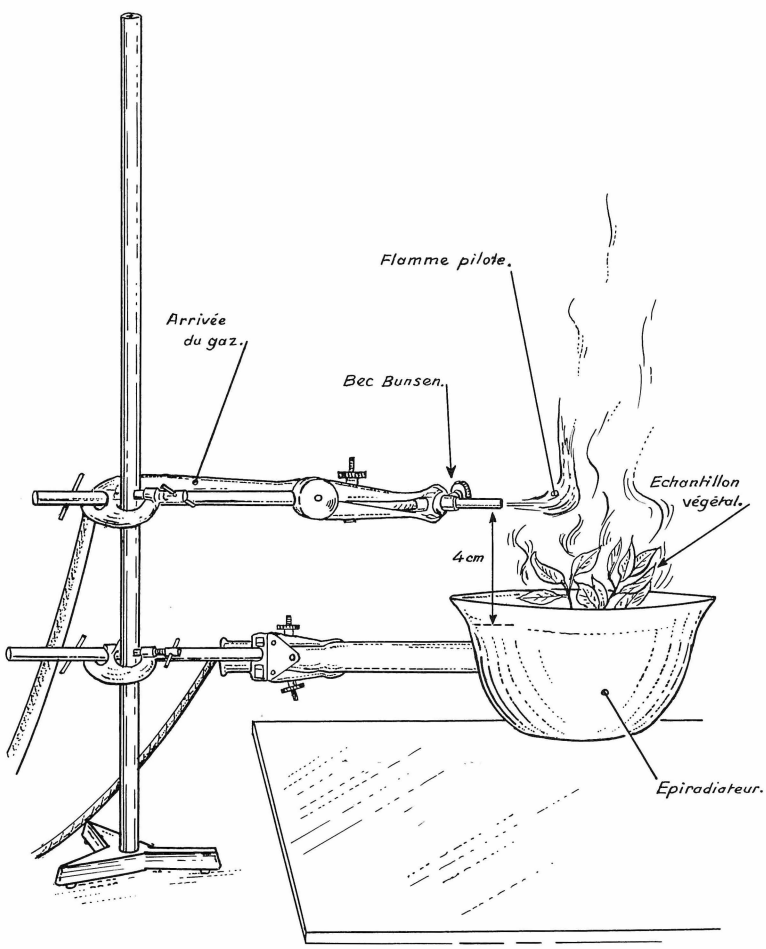
On a également déterminé au microscope, après dissociation, les mensurations des fibres de chaque essence (longueur, largeur, cavité) et calculé les indices de feutrage L/1 et les coefficients de souplesse c/1 des fibres.

POUVOIRS CALORIFIQUES

On a mesuré les pouvoirs calorifiques supérieurs des bois anhydres (séchés à l'étuve à 105 °C) dans une bombe calorimétrique placée dans un calorimètre adiabatique. La technique opératoire suivie est la même que celle indiquée dans l'article cité référence (3).

INFLAMMABILITÉ

L'inflammabilité, capacité que possède un échantillon de matière végétale à s'enflammer après exposition à un rayonnement calorifique, a été mesurée à l'aide d'un appareil conçu à l'I. N. R. A. dont le schéma est donné ci-après.



Le principe de la mesure et le déroulement d'un essai sont les suivants : 50 à 100 échantillons de 1 g de bois d'une même espèce sont successivement soumis à l'épiradiateur. On note pour chaque essence le nombre de tests positifs (tests où l'inflammabilité s'est produite pour un délai inférieur ou égal à 30 secondes) et les délais d'inflammation.

BOIS ÉTUDIÉS

Seize bois tropicaux de provenances diverses (comprenant des bois de plantations et des essences de la forêt naturelle) ont été retenus pour cette étude ainsi qu'un bois métropolitain, le hêtre.

Les espèces (voir tableau 1) ont été choisies à dessein, aussi variées que possible du point de vue aspect physique, densité et constitution chimique.

Tableau 1

BOIS TESTÉS AU COURS DE L'ÉTUDE

N°	Nom vernaculaire	Nom scientifique	Famille	Provenance
1	Okoumé	*Aucoumea klaineana*	Burceracées	Gabon
2	Arofy	*Commiphora pterocarpa*	Burceracées	Madagascar
3	Parasolier	*Musanga cecropioïdes*	Moracées	Côte-d'Ivoire
4	Gmelina	*Gmelina arborea*	Verbenacées	Côte-d'Ivoire
5	Hêtre	*Fagus sylvatica*	Fagacées	France
6	Balata	*Manilkara bidentata*	Sapotacées	Guyane
7	Eucalyptus 12 ABL × saligna	*Eucalyptus hybride terreticornis × saligna*	Myrtacées	Congo
8	Curriquiro	*Nectandra sp.*	Lauracées	Equateur
9	Eucalyptus deglupta	*Eucalyptus deglupta*	Myrtacées	Côte-d'Ivoire (San Pedro)
10	Wacapou	*Vouacapoua americana*	Légumineuses Cesalpiniées	Guyane
11	Ossimiale	*Newtonia leucocarpa*	Mimosées	Gabon
12	Koto	*Pterygota macrocarpa*	Sterculiacées	Côte-d'Ivoire
13	Doussié	*Afzelia bipindensis*	Légumineuses Cesalpiniées	Cameroun
14	Coula (kumunu-kumunu)	*Coula edulis*	Olacées	Congo
15	Azobé	*Lophira alata*	Ochnacées	Gabon
16	Eucalyptus 12 ABL	*Eucalyptus terreticornis*	Myrtacées	Côte-d'Ivoire (Angédédou)
17	Strombosia (NGhila)	*Strombosia grandifolia*	Olacacées	Congo

RÉSULTATS OBTENUS

CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES DES BOIS

Les résultats trouvés à l'analyse chimique sont donnés dans le tableau n° 2.

TABLEAU 2

COMPOSITION CHIMIQUE DES BOIS (EXPRIMÉE EN % DU BOIS ANHYDRE)

Essences	N°	Extrait A. B. %	Extrait eau %	Lignine %	Cellulose %	Pentosanes %	Carbohydrates totaux %	Cendres %	SiO_2 %
Okoumé	1	1,5	1.5	29,8	46,1	15,1	61,2	0,6	0,17
Arofy	2	19,2	2,35	24,6	33,2	13,8	47,0	2,05	0,015
Parasolier	3	3,5	1,5	23,9	50,2	15,1	65,3	0,85	0,006
Gmelina	4	4,0	1,2	26,0	45,6	16,1	61,7	0,8	0,01
Hêtre	5	0,9	1,3	23,2	40,3	26,3	66,6	0,5	0,003
Balata	6	4,6	1,6	32,4	41,8	16,3	58,1	0,4	0,003
E. saligna × 12 ABL	7	1,5	0,9	31,6	44,5	16,5	61,0	0,3	0,01
Curriquiro	8	1,05	2,1	19,9	58,7	15,8	74,5	0,45	0,002
E. deglupta	9	1,25	1,6	29,0	43,6	18,7	62,3	0,55	0,005
Wacapou	10	17,9	2,8	29,1	34,0	14,3	48,3	0,45	0,000
Ossimiale	11	3,5	2,3	29,8	45,9	16,4	62,3	0,6	0,018
Koto	12	2,25	5,75	21,0	38,4	17,6	56,0	1,7	0,005
Doussié	13	14,2	3,7	27,1	35,9	15,4	51,3	1,4	0,007
Coula	14	5,0	3,8	37,4	38,1	13,3	51,4	0,15	0,005
Azobé	15	1,15	2,55	39,8	39,7	13,2	52,9	0,45	0,03
E. 12 ABL	16	1,85	4,2	34,2	41,0	16,0	57,0	0,55	0,002
Strombosia	17	1,7	3,1	34,3	42,9	13,1	56,0	0,9	0,01

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET ANATOMIQUES DES BOIS

Les caractéristiques anatomiques des bois sont données avec la densité, au tableau n° 3. Comme indiqué précédemment, on a calculé à partir des mesures de longueurs (L), largeurs (l) et cavités des fibres (c) les coefficients de souplesse (c/1) et les indices de feutrage (L/1). Ces indices sont inscrits dans le même tableau ainsi que les pouvoirs calorifiques supérieurs déterminés sur bois anhydres.

TABLEAU 3

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET ANATOMIQUES DES BOIS

N°	Essence	Densité des bois	Longueur des fibres (mu)	Largeur des fibres (mu)	Cavité (mu)	I. F. (L/1)	C. S. (c/1)	p. c. s. Kcal/kg
1	Okoumé	0,45	1.220	26	19	47	73	4.775
2	Arofy	0,4	1.000	36	30	28	83	5.085
3	Parasolier	0,3	1.270	52	45	24	86	4.825
4	Gmelina	0,45	1.045	30	24	35	83	4.875
5	Hêtre	0,65	1.000	18	6	55	33	4.700
6	Balata	1,0	1.650	24	4	69	16	4.840
7	E. saligna × 12 ABL	0,7	1.050	20	10	53	50	4.830
8	Curriquiro	0,45	1.550	28	9	55	31	4.890
9	E. deglupta	0,45	1.020	19,5	12	52	61	4.780
10	Wacapou	0,85	1.300	19,5	4,5	67	23	5.155
11	Ossimiale	0,7	1.150	17	9	68	53	5.040
12	Koto	0,55	1.700	28	11	61	39	4.340
13	Doussié	0,85	1.550	25	12	60	48	5.045
14	Coula	1,1	2.100	26	4	81	15	5.015
15	Azobé	1,1	2.000	26	2	77	8	4.985
16	E. 12 ABL	0,75	1.000	15,5	7	65	45	4.890
17	Strombosia	1,0	3.500	31	2	113	6	4.800

RÉSULTATS D'INFLAMMABILITÉ

Les résultats d'inflammabilité sont donnés au tableau n° 4 (p. 48) pour les délais d'inflammation et au tableau n° 5 pour le nombre de tests positifs (tests où l'inflammation s'est produite dans un délai inférieur ou égal à 30 s).

TABLEAU 5

TESTS POSITIFS D'INFLAMMATION

Espèces	N°	Nbre de tests total	Nbre de tests positifs	Pourcentage tests positifs
Okoumé	1	52	52	100
Arofy	2	27	27	100
Parasolier	3	29	29	100
Gmelina	4	100	96	96
Hêtre	5	55	55	100
Balata	6	31	30	96,8
E. saligna × 12 ABL	7	100	98	98
Curriquiro	8	83	78	94
E. deglupta	9	43	42	97,7
Wacapou	10	88	87	98,9
Ossimiale	11	49	47	95,9
Koto	12	46	29	63
Doussié	13	27	22	81,5
Coula edulis	14	56	42	75
Azobé	15	27	23	85,2
E. 12 ABL	16	76	40	52
Strombosia	17	64	42	65,6

TABLEAU 4
DÉLAIS D'INFLAMMATION

Délais en secondes			Tests positifs																													Valeur moyenne du délai d'inflammation pour les tests positifs
Espèces	N°	Nbre de tests	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	> 30	
Okoumé	1	52	7	22	4	9	4	—	1	1	1	2	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,35 (52 tests)
Arofy	2	27	—	12	4	3	4	1	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,07 (27 tests)
Parasolier	3	29	1	4	4	7	1	3	2	3	—	1	1	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,38 (29 tests)
Gmelina	4	99	3	11	14	17	11	6	8	6	2	5	3	—	2	1	—	2	—	2	—	1	—	—	—	—	1	—	—	—	—	4	7,15 (95 tests)
Hêtre	5	55	—	—	1	3	4	4	4	6	5	8	4	6	4	4	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10,40 (55 tests)
Balata	6	31	—	—	—	1	1	3	1	4	3	6	1	2	1	1	1	1	—	—	1	—	1	—	—	1	1	—	—	—	—	1	12,17 (30 tests)
E. saligna × 12 ABL	7	100	—	—	—	5	8	6	5	11	6	6	4	9	5	8	4	5	4	2	1	2	2	2	—	1	—	—	—	1	1	2	12,55 (98 tests)
Curriquiro	3	83	—	—	—	3	—	6	4	6	6	9	4	5	3	9	3	7	3	4	1	1	2	—	—	1	—	1	—	—	—	5	13,15 (78 tests)
Eucalyptus deglupta	9	43	—	—	—	—	—	1	4	1	3	5	5	5	5	1	1	3	1	2	1	—	1	—	1	—	1	—	—	1	—	1	13,98 (42 tests)
Macapou	10	88	—	—	—	—	4	4	2	8	6	6	6	3	5	9	5	8	2	4	1	5	2	2	—	1	1	1	—	—	2	1	14,52 (87 tests)
Ossimiale	11	49	—	—	—	—	—	—	2	2	1	4	3	2	2	2	2	2	4	4	4	—	—	1	1	4	2	2	2	—	1	2	17,89 (47 tests)
Koto	12	45	—	—	—	—	1	2	—	—	—	—	2	1	2	2	3	—	3	1	2	2	—	—	—	1	3	1	2	1	—	17	18,38 (29 tests)
Doussié	13	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	1	—	2	3	2	2	4	—	1	1	1	—	—	4	—	—	—	—	5	19,00 (22 tests)
Coula édulis	14	56	—	—	—	—	—	3	2	1	1	—	1	1	1	2	1	—	2	1	4	—	5	2	3	3	3	1	1	2	2	14	19,76 (42 tests)
Azobé	15	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	2	—	—	2	1	1	1	3	2	—	1	3	2	1	3	—	—	—	—	4	19,78 (23 tests)
E. 12 ABL	16	76	—	—	—	—	—	—	—	1	1	1	1	1	2	1	2	2	3	2	—	3	1	5	2	1	1	1	1	4	4	36	21,15 (40 tests)
Strombosia	17	64	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	1	—	2	2	1	—	2	1	1	4	6	1	1	2	6	2	2	2	5	22	22,79 (42 tests)

ANALYSE DES RÉSULTATS

INFLAMMABILITÉ

A partir des données du tableau 4, on a mesuré la dissemblance entre 2 espèces par la valeur du chi-deux calculé sur les histogrammes de ces espèces.
Exemple :

	Délais d'inflammation en secondes												Total
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	18	
Okoumé	7	22	4	9	4	—	1	1	1	2	1	—	52
Arofy	—	12	4	3	4	1	—	—	1	1	—	1	27
Total	7	34	8	12	8	1	1	1	2	3	1	1	n = 79

$$\chi^2 = \frac{1}{52 \times 27}\left\{\frac{(27 \times 7 - 52 \times 0)^2}{7} + \frac{(27 \times 22 - 52 \times 12)^2}{34} + \dots + \frac{(27 \times 0 - 52 \times 1)^2}{1}\right\} = 11{,}5664$$

En fait, pour se ramener à un indice variant entre 0 et 1, on a pris comme mesure de dissemblance entre deux espèces la quantité

$d = \sqrt{\frac{X^2}{n}}$; par exemple, pour le couple Okoumé-Arofy,

$$d = \sqrt{\frac{11,5/642}{79}} = 0,382$$

dij = 0 signifie que les espèces i et j ont des histogrammes proportionnels : ce sont des espèces identiques sur le plan de l'inflammabilité

dij = 1 si pour chaque valeur du délai d'inflammation, seule une espèce figure (ce serait par exemple le cas de l'Okoumé et du Strombosia si le Strombosia n'avait pas donné de test positif pour 9 et 12 secondes) ; dans un tel cas les espèces sont considérées comme totalement différentes sur le plan de l'inflammabilité.

Les valeurs des dij sont données au tableau 6 (multipliées par 1.000).

TABLEAU 6

VALEUR DES DIJ × 1.000

	1 Okoumé	2 Arofy	3 Parasolier	4 Gmelina	5 Hêtre	6 Balata	7 E. saligna 12 ABL	8 Curriquiro	9 E. deglupta	10 Wacapou	11 Ossimiale	12 Koto	13 Doussié	14 Coula	15 Azobé	16 E. 12 ABL	17 Strombosia
1		382	520	489	793	839	827	880	904	890	919	969	981	959	962	964	982
2			588	462	789	854	792	872	919	866	938	933	956	946	962	955	982
3				292	603	693	650	708	802	767	849	895	964	867	957	928	951
4					579	605	612	662	698	697	767	814	808	820	809	856	877
5						430	349	442	514	483	687	819	863	810	857	871	906
6							359	366	505	412	585	754	776	684	746	782	816
7								321	436	312	559	697	638	682	667	742	776
8									419	353	516	665	590	658	641	726	757
9										454	507	740	702	680	665	732	792
10											506	683	588	681	622	716	737
11												628	594	553	507	653	664
12													582	474	619	476	435
13														632	473	560	599
14															508	488	398
15																575	581
16																	394
17																	

Remarque : le tableau étant symétrique — (dij = dji) — seule une moitié du tableau a été retranscrite.

Pour visualiser les proximités entre espèces on a effectué une analyse en composantes principales sur le tableau 6. (On pourra consulter les résultats détaillés de cette analyse en annexe). La représentation de ces espèces dans le plan des deux premiers axes principaux (ann. 3) qui expliquent chacun 38,2 % et 21,6 % de l'inertie globale, permet d'envisager le regroupement des espèces en cinq ensembles (la discrimination opérée par le premier facteur étant facilement interprétable puisque celui-ci est fortement corrélé avec la variable mesurant la valeur moyenne du délai d'inflammation pour les tests positifs) :

1er ensemble : Okoumé et Arofy

2e ensemble : Parasolier et Gmelina

3e ensemble : Hêtre - Balata - E. saligna × 12 ABL - Curriquiro - E. deglupta - Wacapou

4e ensemble : Ossimiale

5e ensemble : Koto - Doussié - Coula edulis - Azobé - E.12 ABL - Strombosia

Enfin des tests du χ^2 effectués entre les espèces prises deux à deux, ainsi que des tests d'analyse de variance, ont permis de confirmer la valeur de ces regroupements. Si l'on n'a pas jugé bon d'en donner ici le détail c'est que les résultats de l'analyse en composantes principales, bien qu'uniquement descriptifs, étaient suffisamment éloquents.

Les coefficients de corrélation entre le délai d'inflammation, le pourcentage de tests positifs et les caractéristiques des 17 espèces étudiées sont portés au sein du tableau 7. Les coefficients en caractères gras sont supérieurs aux valeurs critiques et donc significatifs au niveau de probabilité 95 %.

Un bois sera d'autant plus inflammable qu'il aura une faible teneur en lignine et surtout une faible teneur en « extraits à l'eau ». D'autre part, un bois peu dense, à forte cavité et à fibres courtes et larges sera très inflammable.

Ces résultats peuvent être explicités par les remarques suivantes :

a) L'inflammabilité ayant été mesurée sur des échantillons de poids constant : (1 gramme) un bois de faible densité occupera un volume apparent plus important qu'un bois dense et ainsi exposera une plus grande surface au rayonnement émis par le radiateur puisque les copeaux ont été préparés d'épaisseur à peu près constante ce qui entraîne une plus grande quantité de chaleur interceptée par seconde.

b) Les espaces vides entre les fibres autorisant une « ventilation interne » qui porte au cœur du combustible les calories indispensables à sa sublimation : plus la cavité du combustible est grande, plus la quantité de calories transportées par seconde est élevée.

c) La lignine, polymère très structuré, de poids moléculaire élevé peut empêcher, ou tout au moins freiner, la pénétration de l'air chaud au sein du bois. De plus, la pyrolyse de la lignine, ainsi que sa dépolymérisation, est moins aisée que celle de la cellulose ou des hémicelluloses.

d) L'influence des extraits à l'eau semble plus difficile à expliquer. Peut-être faut-il simplement voir qu'une partie importante des matières minérales du bois (les sels et oxydes alcalins en particulier) est soluble dans l'eau, donc comptée comme « extraits », et que les cendres ne brûlent pas.

TABLEAU 7

COEFFICIENTS DE CORRÉLATION ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES D'INFLAMMABILITÉ ET LES CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES, PHYSIQUES ET ANATOMIQUES

Tests effectués		Délai d'inflammation	Pourcentage tests positifs
Caractéristiques chimiques Teneur en (%) en	Extraits alcool-benzène	− 0,16	0,20
	Extraits à l'eau	**0,67**	**− 0,84**
	Lignine	**0,50**	− 0,31
	Cellulose	− 0,22	0,22
	Pentosanes	− 0,20	0,22
	Carbohydrates totaux	− 0,28	0,29
	Cendres	− 0,15	− 0,15
	SiO_2	− 0,40	0,21
Caractéristiques physiques et anatomiques	Densité	**0,72**	− 0,41
	Longueur des fibres	0,58	− 0,50
	Largeur des fibres	− 0,42	0,15
	Cavité	**− 0,72**	0,38
	Indice de feutrage (L/l)	**0,83**	**− 0,57**
	Coeff. de souplesse (C/l)	**− 0,73**	0,41
Pouvoir calorifique supérieur		0,02	0,28

L'étude des coefficients de corrélation confirme enfin que le pouvoir calorifique et l'inflammabilité sont deux caractères indépendants, et que les deux caractéristiques d'inflammabilité sont fortement liées ($r = - 0,76$) : un bois très inflammable, dans les conditions expérimentales, s'enflamme systématiquement et au bout d'un délai réduit.

CONCLUSION

Cette étude a permis de montrer l'influence de certaines caractéristiques chimiques, physiques et anatomiques sur l'inflammabilité des bois. Mais, parce qu'elle n'était pas exhaustive, d'autres caractéristiques qui restent à définir jouent probablement un rôle.

Lors de l'utilisation comme bois de feu, que ce soit à usage ménager ou industriel, l'inflammabilité n'est pas tout. Une étude de la combustibilité reste à conduire.

Le meilleur bois de feu sera celui qui possède à la fois :

— une bonne inflammabilité pour un allumage aisé

— une bonne combustibilité afin de bien « tenir le feu »

— un pouvoir calorifique élevé donc un maximum de « calories potentielles »

ou du moins, l'espèce qui présente le meilleur compromis entre ces paramètres.

REMERCIEMENTS

Les auteurs de cette étude remercient vivement MM. Francis CAILLIEZ et Jean-Claude BERGONZINI de la Division Biométrie du C. T. F. T., pour les calculs statistiques qu'ils ont bien voulu effectuer.

BIBLIOGRAPHIE

CARAMELLE (Ph.) et CLÉMENT (A.). — « Inflammabilité et combustibilité de la végétation méditerranéenne ». Mémoire 3e cycle E. N. I. T. F. juillet 1978.

DELABRAZE (P.) et VALETTE (J.-C.). — « Inflammabilité et combustibilité de la végétation forestière méditerranéenne ». Revue Forestière Française n° Spécial « Les Incendies de forêts ». Tome I - 1974, pp. 171-177.

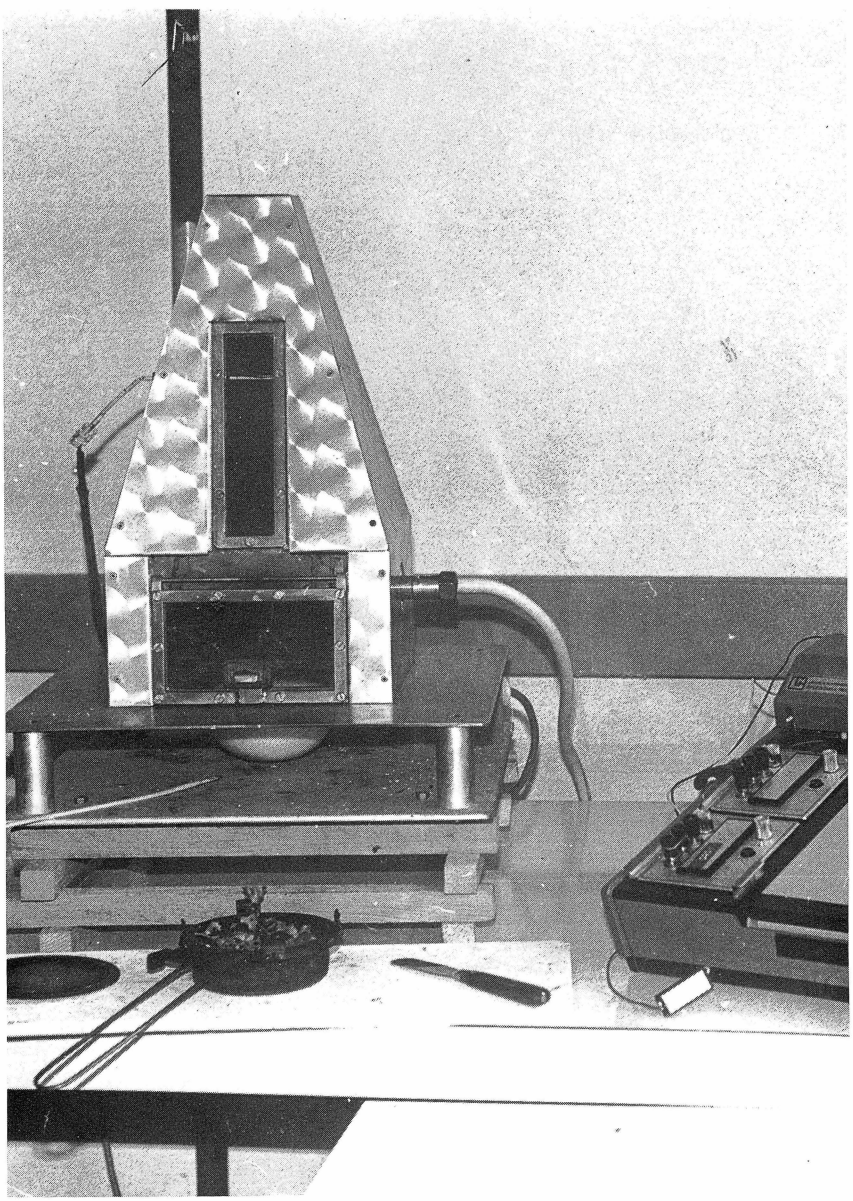
DOAT (J.). — « Le pouvoir calorifique des bois tropicaux ». Bois et Forêts des Tropiques n° 172, mars-avril 1977, pp. 33 à 55.

DOAT (J.) et VALETTE (J.-C.). — « Le pouvoir calorifique supérieur d'espèces forestières méditerranéennes ». Annales des Sciences Forestières. vol. 38 n° 4-1981.

DROUET (J.-C.). — « Propagation des feux de forêts ». Revue Technique du Feu n° 198 juin-juillet 1980.

TRABAUD (L.). — « Inflammabilité et combustibilité des principales espèces des garrigues de la région méditerranéenne ». Oecologia Plantarum - Tome II n° 2, 1976, pp. 117 à 136.

VALETTE (J. Ch.), CLÉMENT (A.) et DELABRAZE (P.). — « L'inflammabilité d'espèces méditerranéennes ». Tests rapides - Campagne été 1978 - Document interne 79-3 de la station de sylviculture méditerranéenne (39 pages).



Appareillage pour l'étude de l'inflammabilité.

ANNEXE 1

MODES OPÉRATOIRES SUIVIS POUR L'ANALYSE CHIMIQUE

Les dosages sont effectués sur des sciures tamisées entre deux tamis de 0,160 mm et 0,400 mm d'ouverture de maille.

1. Extrait à l'alcool-benzène : extraction au soxblet pendant 7 h avec un mélange 1/1 d'alcool et de benzène.

2. Extrait à l'eau : ébullition à reflux pendant 7 h sur les sciures préalablement extraites à l'alcool-benzène.

3. Extrait à la soude : ébullition à reflux pendant 7 h dans de la soude à 1 % sur les sciures préalablement extraites à l'alcool-benzène. De l'extrait à la soude total on enlève la valeur trouvée pour l'extrait à l'eau pour obtenir l'extrait net.

4. Lignine : traitement des sciures par de l'acide sulfurique à 67 % pendant une nuit. Ebullition à reflux pendant 5 h après dilution à l'eau 30 fois. Filtration, lavage et pesée du résidu. La lignine est dosée sur sciure extraite à l'alcool-benzène (et sur sciure ext. alcool-benzène et eau si l'extrait à l'eau est élevé).

5. Pentosanes : distillation en présence de ClH à 13,5 % sur sciure extraite à l'alcool-benzène. Dosage du furfural formé par du bromure-bromate 0,1 N.

6. Cellulose : 3 attaques successives de la sciure extraite à l'alcool-benzène par un mélange d'alcool absolu et d'acide nitrique fumant, durée de chaque attaque 1 h. Pesée du résidu. La cellulose nette est exprimée en % du bois après correction des restes de lignine et de pentosanes.

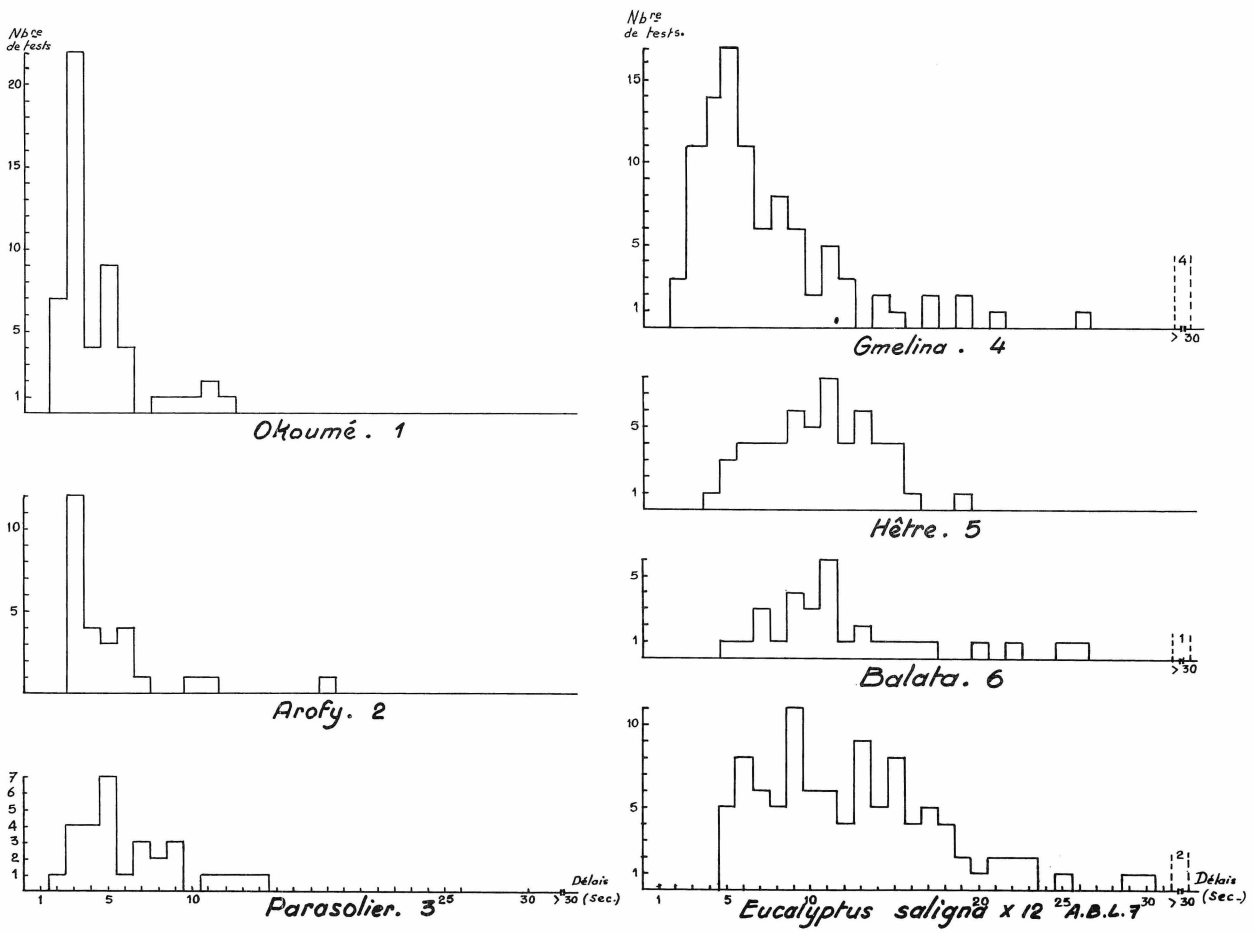
7. Cendres : incinération à 425 ° et pesée du résidu.

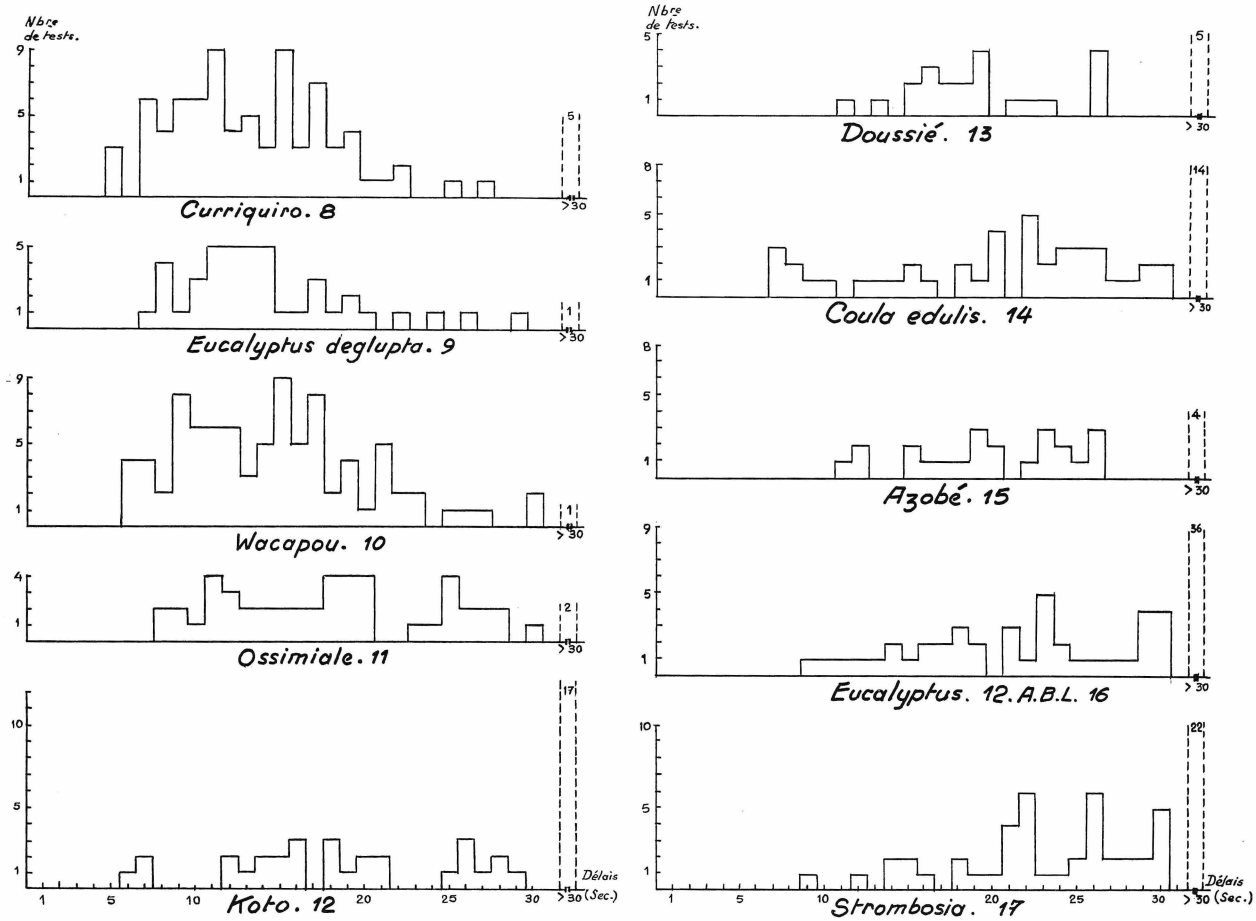
8. Silice : attaque nitroperchlorique des cendres. Pesée du résidu et élimination des impuretés par l'acide fluorhydrique.

9. Calcium : après élimination de la silice, puis du fer et de l'aluminium par précipitation à l'ammoniaque, l'ion calcium est transformé en oxalate de calcium qui est ensuite dosé par le MnO_4K.

ANNEXE 2

HISTOGRAMMES DE LA VARIABLE MESURANT LES DÉLAIS D'INFLAMMATION POUR CHAQUE ESPÈCE





ANNEXE 3

COMMENTAIRES SUR L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES EFFECTUÉE SUR LE TABLEAU 6

Pour visualiser le tableau des valeurs de d, on a effectué une « analyse factorielle sur tableau de distances » ; cette technique consiste à construire un nuage de points dans un espace à plusieurs dimensions tel que les distances entre points soient les valeurs de d, puis à faire une analyse en composantes principales qui consiste à projeter le nuage dans un espace E de faible dimension (2 ou 3) de façon à minimiser la somme des carrés des distances entre les points et leur projection sur E. L'espace E sur lequel sont projetés les points est défini par les axes principaux. Les variables correspondant aux axes principaux sont les composantes principales.

Résultats de l'analyse en composantes principales :

Composante principale n°	Valeur propre (variance de la composante principale (a)	Pourcentage d'inertie expliqué (a) / 0,239	Pourcentage d'inertie cumulé
1	0,099	38,2 %	38,2 %
2	0,055	21,6 %	59,8 %
3	0,020	8 %	67,8 %
4	0,013	5,5 %	73,3 %
:	:	:	:
etc...			
:	:	:	:
Total	0,239	100,0 %	

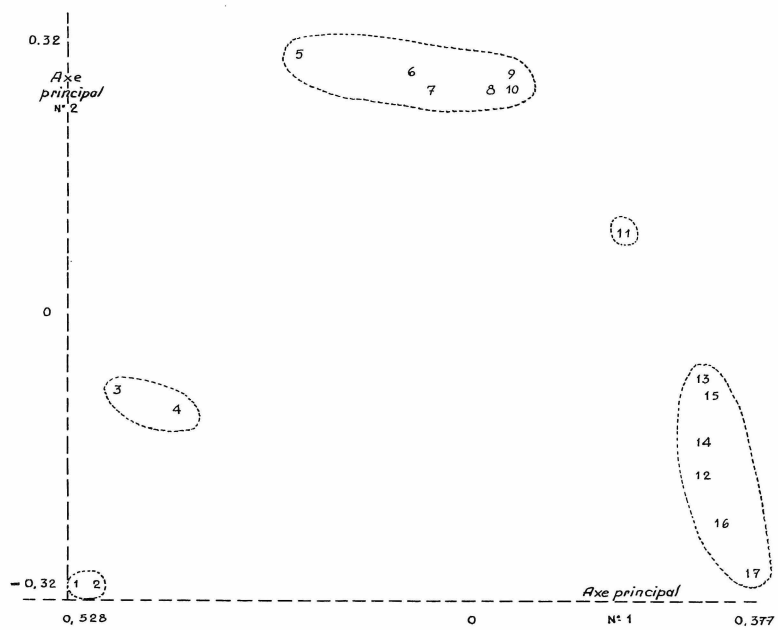
La nette décroissance du pourcentage d'inertie expliquée au-delà de la 2ème composante principale montre que les composantes principales 1 et 2 suffisent à décrire les espèces en ce qui concerne l'inflammabilité.

Les valeurs des premières composantes principales sont les suivantes :

		Composante principale		
Essence	N°	n° 1	n° 2	n° 3
Okoumé ..	1	− 0,528 3	− 0,312 4	− 0,093 85
Arofy	2	− 0,507 5	− 0,316 9	− 0,112 3
Parasolier	3	− 0,480 8	− 0,078 43	0,153 7
Gmelina ..	4	− 0,398 6	− 0,101 3	− 0,024 21
Hêtre	5	− 0,237 1	0,315 5	0,140 4
Balata	6	− 0,082 26	0,295 3	0,108 6
E. s.12ABL	7	− 0,057 68	0,269 8	− 0,003 278
Curriquiro	8	0,026 84	0,284 4	− 0,015 96
E. deglupta	9	0,046 21	0,289 9	− 0,031 02
Wacapou ..	10	0,052 95	0,273 0	− 0,073 05
Ossimiale	11	0,198 4	0,113 2	− 0,105 2
Koto	12	0,303 2	− 0,190 4	0,168 3
Doussié	13	0,313 4	− 0,072 79	− 0,288 0
Coula	14	0,309 6	− 0,151 5	0,166 8
Azobé	15	0,321 8	− 0,085 33	− 0,250 2
E. 12 ABL	16	0,342 5	− 0,243 0	0,099 6
Strombosia	17	0,377 4	− 0,289 2	0,159 8
Moyenne		0	0	0
Variance		0,099	0,055	0,020

(Les composantes principales sont des variables non corrélées).

La figure ci-jointe donne la représentation des espèces en fonction des deux premières composantes principales.



Représentation des espèces en fonction des deux premières composantes principales.

INTERPRÉTATION DES COMPOSANTES PRINCIPALES

Pour interpréter les composantes principales, on a calculé leur coefficient de corrélation avec les 3 variables suivantes qui semblent être un bon résumé des histogrammes d'inflammabilité.

I1 — Valeur moyenne du délai d'inflammation pour les tests positifs (délai d'inflammation inférieur à 30 secondes).

I2 — Pourcentage de tests positifs.

I3 — Etendue des tests positifs (différence entre le plus grand et le plus petit délai d'inflammation).

Les valeurs de ces variables sont les suivantes :

Espèce	I1	I2 (%)	I3 (sec)
1	4,35	100	10
2	5,07	100	15
3	6,38	100	12
4	7,15	96	24
5	10,40	100	15
6	12,17	96,8	21
7	12,55	98	25
8	13,15	94	22
9	13,98	97,7	22
10	14,52	98,9	24
11	17,89	95,9	22
12	18,38	63	23
13	19	81,5	15
14	19,76	75	23
15	19,78	85,2	15
16	21,15	53	21
17	22,79	65,6	21

Les coefficients de corrélations entre les trois premières composantes principales et les variables I_1 I_2 I_3 sont indiqués ci-contre :

La première composante a une signification claire : c'est une variable pratiquement identique à I_1. Par contre, il est difficile d'interpréter les deuxième et troisième composantes en terme d'inflammabilité.

	I_1	I_2	I_3
CP 1	0,99	− 0,73	
CP 2	− 0,06	0,52	0,37
CP 3	0,05	− 0,32	0,27