

raffinage, identique au premier. — Le soufre retiré des écumes et des crasses par une fonte spéciale est traité comme soufre brut.

§ V.

ÉPREUVES DU SOUFRE RAFFINÉ.

Les épreuves du soufre raffiné sont analogues à celles du soufre brut (§ III) ; l'incinération ne doit laisser aucun résidu, les eaux de lavage ne doivent pas être acides, et la dissolution sulfurique ne doit pas être précipitée en jaune par le nitrate d'argent.

CHAPITRE III.

CHARBON.

Des trois éléments de la poudre, le charbon est celui dont la préparation présente le plus de difficultés et exige le plus de soins. Il est facile, en effet, grâce aux procédés de raffinage que nous avons précédemment indiqués, d'amener le salpêtre et le soufre à un état de pureté tel qu'on peut considérer ces matières comme n'introduisant aucune substance étrangère dans la fabrication. Mais il n'en est pas de même du charbon de bois, le seul employé, qui, pour une même essence, présente une composition extrêmement variable avec la température développée pendant la carbonisation et avec la durée de cette opération. Il en résulte que sa pureté, son homogénéité et, par suite, son inflammabilité présentent elles-mêmes de grandes variations, qui ont longtemps été regardées comme l'un des éléments les plus importants de la fabrication de la poudre.

Nous aurons donc à examiner, en premier lieu, les propriétés générales des charbons et l'influence du mode de carbonisation sur leur qualité; nous décrirons ensuite les principaux systèmes de carbonisation adoptés ou proposés jusqu'à nos jours.

§ I.

GÉNÉRALITÉS SUR LES BOIS ET LES CHARBONS.

D'une manière générale, le charbon destiné à la fabrication de la poudre doit s'enflammer facilement, brûler vite et ne pas donner de cendres. Ces trois qualités dépendent à la fois de l'essence du bois

et du mode de carbonisation ; nous allons en étudier séparément l'influence.

I. PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES DIVERSES ESSENCES DE BOIS.

a) Inflammabilité des diverses essences (Proust).

Proust a proposé un procédé simple pour mesurer l'inflammabilité des diverses essences de bois. Il remplissait de petits tubes en cuivre, ayant 0^m,06 de longueur et 0^m,006 de diamètre, avec un mélange intime de 4^{gr} de salpêtre et de 0^{gr},8 de charbon de différents bois ; il y ajoutait un peu de poussier de poudre, qu'il enflammait. Il notait la durée de la combustion et le poids du résidu. Les expériences étant faites dans des conditions aussi identiques que possible, le meilleur charbon était celui dont la combustion s'effectuait le plus rapidement, et cela d'autant mieux que le résidu se trouvait être en même temps le plus faible, comme le montre le tableau ci-après :

ESSENCES DE VÉGÉTAUX. (Mélange de 4 gr. de salpêtre et de 0 ^{gr} ,775 de charbon.)	DURÉE	POIDS
	de la combustion.	du résidu.
	secondes.	gr.
Bois de chènevotte.	10	0,775
Tige d'asphodèle.	10	0,775
Cep de vigne.	12	1,275
Tige de pois.	13	1,355
Bois de pin.	17	1,936
Bois de bourdaine.	20	1,550
Fusain.	21	1,746
Bois de noisetier.	23	1,936
Tige de piment.	25	2,325
Paille de maïs.	25	2,450
Bois de châtaignier.	26	2,325
Bois de noyer.	29	2,130
Grains de maïs.	45	2,774
Houille, coke.	50	2,900
Sucre.	70	3,100

Proust trouva même des charbons qui ne brûlaient pas dans les conditions de l'expérience : tels étaient les charbons du blé, du riz, de la noix de galle, etc. Il en était de même pour la paille de blé et

d'autres graminées trop riches en silice, tandis que certains bois pourris, en particulier les bois de saule et de hêtre, donnaient un charbon excessivement friable et éminemment inflammable, avec un faible résidu. Enfin Proust a reconnu que, pour une même essence, l'écorce est moins inflammable et donne plus de cendres que le bois proprement dit.

En général, plus une essence de bois est riche en cellulose, meilleur sera son charbon ; c'est pour cela que l'on choisit, pour la fabrication du charbon à poudre, des bois tendres et légers, le plus souvent dépouillés de leur écorce.

b) Rendement en charbon des diverses essences (Violette).

Les différentes espèces de bois ne se distinguent pas seulement par la qualité de leurs charbons, mais aussi par la quantité qu'elles en produisent dans des circonstances identiques. On doit à Violette une série d'expériences destinées à déterminer les rendements de 72 espèces de bois, préalablement séchées à 150° et carbonisées à la température de 300°. Ces expériences sont résumées dans le tableau suivant :

BIBLIOTECA

NUMÉROS.	NATURE DU BOIS.	DESSICCATION A 150°				CARBONISATION A 300°			OBSERVATIONS.
		POIDS DU BOIS		PERTE		POIDS DU BOIS DESSECHÉ		RENDEMENT en charbon p. 100 parties de bois.	
		avant la dessiccation.	après la dessiccation.	relative.	pour 100.	avant la carbonisation.	après la carbonisation.		
1	Liège.	26,32	25,00	1,32	5,75	25,00	15,70	62,80	»
2	Ébène.	154,29	141,50	12,79	8,39	141,50	76,85	54,30	»
3	Satiney.	83,08	74,00	9,08	10,93	74,00	38,50	52,00	»
4	Saule pourri.	»	»	»	»	23,00	12,00	52,17	»
5	Bois d'Herculanum.	1,50	1,30	0,20	13,33	49,50	24,60	49,69	»
6	Paille de blé.	66,93	58,20	8,73	13,13	58,20	24,80	46,99	»
7	Chêne.	151,30	128,00	23,30	15,40	128,00	59,00	46,09	»
8	If.	194,14	175,20	18,94	9,75	175,20	80,70	46,06	»
9	Acajou.	115,25	98,00	17,25	8,80	98,00	44,00	44,89	»
10	Bois de lettre.	91,17	77,50	13,67	15,00	77,50	34,30	44,25	»
11	Bois de fer.	94,62	81,60	13,02	13,76	81,60	35,70	43,75	»
12	Genévrier.	110,33	67,30	43,03	39,00	67,30	29,00	43,07	»
13	Galac.	309,54	278,50	31,04	10,03	278,50	116,60	41,86	»
14	Pin maritime.	89,48	47,00	42,48	47,47	47,00	19,50	41,48	10 ans.
15	Peuplier (feuilles).	24,20	10,50	13,70	56,61	10,50	4,30	40,95	15 ans.
16	Peuplier (racines).	34,94	22,00	14,94	37,00	22,00	9,00	40,90	15 ans.
17	Pin sauvage.	69,20	37,30	31,90	46,10	37,30	15,20	40,75	10 ans.
18	Agaric de saule.	62,36	49,20	13,16	21,32	49,20	20,00	40,64	3 à 5 ans.
19	Buis.	82,00	71,70	11,70	12,56	71,70	29,00	40,44	»
20	Alisier (alouchier).	148,11	68,40	79,71	51,91	68,40	27,60	40,35	8 à 10 ans.
21	Mélèze.	132,33	95,50	36,83	27,83	95,50	38,50	40,31	10 à 12 ans.
22	Palmier.	92,05	79,50	13,55	13,63	79,50	31,40	39,49	»
23	Thuya du Canada.	72,16	50,70	21,46	29,11	50,70	20,00	39,44	12 à 15 ans.
24	Chênevotte.	56,38	51,50	4,88	14,21	51,50	20,20	39,22	»
25	Clématite.	88,65	43,00	45,65	51,50	43,00	16,70	38,83	4 à 5 ans.
26	Jonc.	14,67	13,00	1,67	11,39	13,00	5,00	38,46	»
27	Bois de cocotier.	91,30	77,50	13,80	15,12	77,50	29,40	37,93	»
28	Coton cardé.	30,70	27,80	2,90	9,44	27,80	7,40	37,41	»
29	Sureau.	197,29	141,50	55,79	28,02	141,50	52,80	37,31	8 à 10 ans.
30	Aylanthé (verniss du Japon).	112,07	78,60	33,47	29,91	78,60	29,30	37,27	5 à 6 ans.
31	Églantier.	112,06	82,50	29,56	26,38	82,50	30,70	37,21	10 ans.
32	Chèvrefeuille.	87,01	51,40	35,61	40,93	51,40	19,00	36,96	4 à 5 ans.
33	Fusain.	86,89	56,00	30,89	35,55	56,00	20,50	36,60	8 à 10 ans.
34	Vigne.	44,19	37,50	6,69	15,15	37,50	13,76	36,53	10 à 12 ans.
35	Châtaignier.	61,48	40,20	21,28	34,61	40,20	14,50	36,06	10 à 15 ans.
36	Cytise (faux-ébénier).	66,80	47,20	19,60	29,33	47,20	17,00	36,01	15 à 20 ans.

NUMÉROS.	NATURE DU BOIS.	DESSICCATION A 150°				CARBONISATION A 300°			OBSERVATIONS.
		POIDS DU BOIS		PERTE		POIDS DU BOIS DESSECHÉ		RENDEMENT en charbon p. 100 parties de bois.	
		avant la dessiccation.	après la dessiccation.	relative.	pour 100.	avant la carbonisation.	après la carbonisation.		
37	Groseillier.	90,83	68,70	22,13	24,36	68,70	24,50	35,66	3 à 4 ans.
38	Néflier.	44,04	38,50	5,54	16,16	38,50	13,70	35,57	8 à 10 ans.
39	Cerisier.	188,63	121,00	67,63	35,85	121,00	43,00	35,53	15 à 20 ans.
40	Tremble.	105,10	91,50	13,60	12,94	91,50	32,00	34,97	»
41	Bagenaudier.	65,76	54,50	11,26	17,12	54,50	19,00	34,85	5 à 6 ans.
42	Liurre.	82,06	61,00	21,06	25,67	61,00	21,20	34,75	15 à 20 ans.
43	Aubépine (alisier).	167,40	111,50	45,90	27,88	111,50	38,70	34,70	8 à 10 ans.
44	Platane.	125,33	108,00	17,33	18,82	108,00	37,50	34,69	10 ans.
45	Pommier.	169,85	147,00	22,85	13,99	147,00	51,00	34,69	7 à 8 ans.
46	Orme.	134,27	122,00	12,27	9,13	122,00	42,20	34,59	8 à 10 ans.
47	Charme.	125,21	104,50	20,71	16,54	104,50	36,00	34,44	15 à 20 ans.
48	Aune.	98,58	84,00	14,58	14,90	84,00	28,90	34,40	8 à 10 ans.
49	Épine-vinette.	93,09	66,50	26,59	28,57	66,50	22,80	34,28	10 ans.
50	Ajone.	122,58	95,50	27,08	22,86	95,50	32,70	34,24	3 à 5 ans.
51	Bouleau.	112,73	70,80	41,93	37,20	70,80	24,20	34,17	10 à 12 ans.
52	Prunier.	250,50	182,00	68,50	27,34	182,00	62,00	34,06	7 à 8 ans.
53	Sycamore (érable).	135,04	84,40	50,64	37,50	84,40	28,50	33,76	12 à 15 ans.
54	Érable.	122,68	94,80	27,88	22,72	94,80	32,00	33,75	6 à 7 ans.
55	Saule.	95,91	81,50	14,41	15,03	81,50	27,50	33,74	8 à 10 ans.
56	Bourdaine.	125,13	108,00	17,13	13,69	108,00	36,30	33,61	2 à 3 ans.
57	Robinier (faux-acacia).	100,96	67,90	33,06	32,31	67,90	22,70	33,42	10 à 12 ans.
58	Cornouiller (sanguin).	164,41	90,50	73,91	43,80	90,50	30,20	33,36	4 à 5 ans.
59	Genêt.	73,99	63,00	10,99	14,85	63,00	21,00	33,33	3 à 5 ans.
60	Frêne.	155,70	129,20	26,50	17,39	129,20	43,00	33,28	30 à 40 ans.
61	Cognassier.	104,54	70,00	34,54	33,04	70,00	23,30	33,28	8 à 10 ans.
62	Coudrier (noisetier).	106,78	75,60	31,18	29,20	75,60	24,80	32,79	4 à 5 ans.
63	Merisier à grappes.	118,15	96,00	22,15	18,75	96,00	31,40	32,70	4 à 5 ans.
64	Houx.	181,35	113,00	68,35	37,69	113,00	36,40	32,21	8 à 10 ans.
65	Troène.	113,65	78,00	35,65	31,22	78,00	25,00	32,05	8 à 10 ans.
66	Boule-de-neige.	117,93	95,20	22,73	19,27	95,20	30,50	32,03	6 à 8 ans.
67	Poirier.	147,26	114,80	32,46	22,47	114,80	36,60	31,88	7 à 8 ans.
68	Tilleul.	127,94	70,00	57,94	45,31	70,00	22,30	31,85	»
69	Lilas.	94,42	60,60	33,82	35,82	60,60	19,30	31,84	8 à 10 ans.
70	Catalpa (bignonne).	68,63	51,70	16,93	24,67	51,70	16,20	31,33	8 à 10 ans.
71	Peuplier (tronc).	47,11	25,70	21,41	45,45	25,70	8,00	31,12	15 ans.
72	Marronnier d'Inde.	116,16	62,20	53,96	46,45	62,20	19,20	30,86	20 à 30 ans.

BIBLIOTHÈQUE

La comparaison des n^{os} 15 et 16 avec le n^o 71 montre que les différentes parties d'un même arbre correspondent à des rendements inégaux : les feuilles et les racines du peuplier donnent 40,95 et 40,90 p. 100, et le tronc 31,12 seulement. Dans un autre essai relatif au bois de cerisier, Violette a trouvé que le feuillage et les filaments des racines avaient la même composition et donnaient 5 p. 100 de charbon de moins que le tronc.

Il résulte de l'ensemble de ces expériences qu'au point de vue de la carbonisation, il faut faire un choix, non-seulement entre les différents végétaux, mais encore entre les diverses parties d'un végétal déterminé. On prendra de préférence le bois proprement dit et les filaments développés qui se trouvent au-dessous de l'écorce et de l'aubier.

c) Réception des bois.

Dans les différents pays, on choisit, autant que possible, pour la fabrication du charbon à poudre, des bois tendres et légers, le plus souvent des bois blancs.

En France, le bois de bourdaine (*rhamnus frangula*), à sève rouge, est exclusivement employé pour la fabrication des poudres de guerre et de chasse; il coûte de 15 à 17 fr. les 100^k et ne donne, à 300°, qu'un rendement en charbon de 33,61 p. 100 (Violette). En outre, l'approvisionnement en devient de jour en jour plus difficile; aussi cherche-t-on à le remplacer par le saule ou le fusain. — Les bois blancs (saule, aune, peuplier, tremble, châtaignier, coudrier, fusain) sont affectés à la préparation du charbon de mine; ils ne coûtent que de 4 à 8 fr. les 100^k secs et donnent, à 300°, un rendement qui varie de 33 à 37 p. 100.

En Angleterre, on emploie le saule, l'aune, le cornouiller sanguin, et rarement la bourdaine, à cause de son prix élevé; en Belgique, le bois de chènevotte, pour les poudres de chasse, et, pour les autres poudres, la bourdaine, le saule, l'aune et le coudrier; en Espagne, la chènevotte, et quelquefois le laurier-rose, l'if, le saule et la vigne; en Italie, la chènevotte, le saule et l'aune; en Suisse, le coudrier; en Allemagne, la bourdaine, qui coûte 13,5 marcs (environ 17^{fr}) le mètre cube, le saule et l'aune; en Autriche, la bourdaine et le cornouiller, ou, au besoin, l'aune et le coudrier; en Danemark, l'aune; en Suède, l'aune et le saule; en Russie, l'aune; dans

les Indes orientales, les espèces connues sous les noms de *cytiscus cajan* (faux-ébénier), *parkinsonia*, *euphorbia tiraculli*.

Ces bois ont, en moyenne, de 2 à 10 ans; ils doivent être coupés au printemps, alors qu'ils sont en pleine végétation et que la sève est parvenue jusqu'aux branches minces et aux feuilles; les transports se font en été. Les bois doivent être, en général, dépouillés de leur écorce; en France, les bois blancs sont reçus non écorcés.

La longueur des brins est déterminée d'après celle des cylindres de carbonisation; elle doit être comprise, pour la poudrière de Sévran, entre 1^m,25 et 1^m,30, tandis qu'en Allemagne elle est fixée à 0^m,31. Leur grosseur peut varier de 0^m,027 à 0^m,070, pour les bois blancs, et seulement de 0^m,040 et 0^m,035 pour les bois de bourdaine; en Allemagne, elle ne doit guère dépasser 0^m,026 : les brins trop gros sont refendus aux frais du fournisseur. Les bois sont livrés en bottes de 0^m,30 à 0^m,40 de diamètre; les différentes essences doivent former des bottes distinctes, et les brins de même grosseur sont réunis dans les mêmes bottes. On a enlevé les menues branches en les coupant à la naissance, et l'on rejette absolument les pattes de souche, qui donnent beaucoup de cendres, les bois morts, qui contiennent peu de charbon, et les bois tortillards ou les gros nœuds, qui sont difficiles à placer dans les cylindres.

La réception se fait au poids; on déduit du poids des bottes celui des harts, déterminé par une ou plusieurs pesées effectuées sur plusieurs bottes prises au hasard. On fait, en outre, pour chaque lot, une épreuve de dessiccation. Pour cela, on prend un échantillon de 20^k par 25000^k de bois, en prélevant un ou deux brins sur chaque botte; chaque échantillon est chauffé dans un cylindre de carbonisation à la température de 125° environ, et l'on constate de temps en temps la perte de poids qu'il éprouve, jusqu'à ce que deux pesées consécutives donnent le même résultat : on obtient ainsi le déchet d'humidité.

d) Conservation des bois.

Les bois récemment coupés ont, à très-peu près, la même composition chimique. Ils renferment, en moyenne :

49,37	p. 100	de carbone,
6,14	—	d'hydrogène,
43,42	—	d'oxygène et d'azote
1,07	—	de cendres;

composition analogue à celle de la cellulose pure, qui contient :

43,69	p. 100	de carbone,
6,23	—	d'hydrogène,
50,07	—	d'oxygène et d'azote.

Mais ils sont, en outre, chargés d'une quantité d'humidité très-variable, qui peut s'élever jusqu'à 60 p. 100 et dont il faut les débarrasser, autant que possible, par une exposition prolongée à l'air libre, sans toutefois produire aucune altération de leurs tissus.

L'humidité du bois vert varie, en général, de 20 à 50 p. 100; elle est minima en hiver et maxima pendant la végétation : elle peut alors atteindre 60 p. 100. Si l'on expose le bois à l'air libre, il s'établit peu à peu un équilibre entre son état hygrométrique et celui de l'air ambiant : au bout de 1 an 1/2 ou 2 ans, il a perdu tout ce que l'air peut lui enlever, et possède encore de 12 à 15 p. 100 d'eau. Pour le dessécher plus complètement, il faut le soumettre à une température de 125 à 150°; si alors on l'expose de nouveau à l'air, il reprend rapidement 10 à 12 p. 100 d'humidité. Si l'exposition est prolongée au delà de 2 ans, le carbone est partiellement brûlé et le bois se transforme en une masse spongieuse, à cassure courte, qui est de l'humus; le même résultat se produit au bout de 1 an 1/2 environ, par une exposition à l'air humide. Enfin, l'écorce s'oppose à la dessiccation du bois : ainsi, une branche dépouillée de son écorce sur une certaine longueur a perdu, au bout de 3 mois, 39 p. 100 de son humidité pour la partie libre, et 1 p. 100 seulement pour la partie encore recouverte.

En France, les approvisionnements sont de 2 ans 1/2 pour le bois de bourdaine, et de 1 an 1/2 pour le bois blanc. Le bois est empilé, à l'air libre, en tas correspondant à chaque réception de 10 000^e environ : les bottes inférieures sont placées sur des madriers assez forts pour les préserver du contact du sol, et la partie supérieure de la pile est disposée en forme de toit pour faciliter l'écoulement des eaux. Après être resté exposé pendant un hiver et un été, le bois est empilé et conservé sous des hangars.

Malgré son utilité réelle au point de vue de la dessiccation, le système d'exposition du bois à l'air libre présente l'inconvénient d'exiger beaucoup d'espace, une grande dépense de main-d'œuvre et une mise de fonds considérable, sans compter les chances permanentes d'in-

condie; en outre, les bois peuvent être souillés de matières étrangères apportées par le vent, telles que du sable, des feuilles, etc.

En Angleterre, la durée d'exposition du bois à l'air libre est de 3 ans; elle était autrefois de 10 à 12 ans : on recueillait alors un bois poreux et filamenteux, qui n'était autre que de l'humus. — A Spandau, l'exposition se fait sur un emplacement abrité par des arbres, et dure 2 ou 3 ans; elle a pour but de produire l'entraînement des sucres végétaux par les eaux de pluie et aussi, par l'action de l'air et de la chaleur, une désorganisation partielle des tissus. — A Dresde, on conserve, au contraire, le bois dans de grands hangars, pour le soustraire à l'action du vent et à l'intempérie des saisons.

II. THÉORIE DE LA CARBONISATION.

L'essence du bois étant déterminée, il reste à considérer la température et le mode de la carbonisation. De ces deux facteurs dépendent, en effet, le rendement du bois en charbon et la composition des produits, aussi bien que les propriétés physiques et chimiques des charbons obtenus, propriétés que nous examinerons dans l'ordre suivant : aspect extérieur, densité, hygrométrie et conductibilité, pour les premières; et, pour les secondes : solubilité, inflammabilité, force de décomposition.

a) Rendement en charbon (Violette).

L'influence de la température de carbonisation sur le rendement résulte d'une série d'expériences exécutées par Violette sur des bois de bourdaine qu'il choisissait, autant que possible, du même âge, et qu'il avait préalablement desséchés à 150° : pour les températures inférieures à 350°, il opérait la carbonisation au moyen de la vapeur d'eau surchauffée; pour les températures supérieures, il se servait d'un fourneau à vent, et finalement d'un fourneau-forge. Le tableau ci-après donne les résultats de ces expériences :